РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 827 917**(13) **C1**

(51) МПК
A61N 1/39 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A61N 1/39 (2024.08)

(21)(22) Заявка: **2023132941, 13.12.2023**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.12.2023

Дата регистрации:
03.10.2024

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **13.12.2023**

(45) Опубликовано: **03.10.2024** Бюл. № **28**

Адрес для переписки:
124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, 1, МИЭТ, патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):
Горбунов Борис Борисович (RU),
Нестеренко Игорь Валерьевич (RU),
Селищев Сергей Васильевич (RU),
Телышев Дмитрий Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 9526910 B2, 27.12.2016. CN 100560159 C, 18.11.2009. US 5748427 A, 05.05.1998. US 5594287 A, 14.01.1997. JPH 08330760 A, 13.12.1996. DE 3910741 A1, 04.10.1990. GB 1535829 A, 13.12.1978. RU 2645244 C2, 19.02.2018.**

(54) Способ формирования дефибрилляционного импульса со ступенчатой формой фронта и среза и устройство для его осуществления

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к медицине, а именно к способу формирования трапецеидального биполярного дефибрилляционного импульса со ступенчатой формой фронта и среза и к устройству для его осуществления. При этом осуществляют подачу на грудную клетку пациента дефибрилляционного импульса с блока параллельно / последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов. В начале формирования дефибрилляционного импульса определяют величину электрического сопротивления грудной клетки пациента. В процессе формирования фаз дефибрилляционного импульса повышают напряжение в начале каждой фазы импульса через промежутки времени, равные заданной длительности фронта импульса, деленной на количество ступеней повышения напряжения. Снижают напряжение в конце каждой фазы импульса через промежутки времени, равные заданной длительности среза импульса, деленной на количество ступеней снижения напряжения. Количество ступеней повышения и снижения напряжения для каждой фазы, а также длительность первой и второй фаз дефибрилляционного импульса задают в зависимости от величины электрического сопротивления грудной клетки пациента. Устройство для формирования дефибрилляционного импульса содержит блок последовательно / параллельно коммутируемых накопительных конденсаторов, соединенных между собой последовательно управляющими ключами, и мостовой переключатель полярности. Блок конденсаторов соединен с мостовой схемой переключения полярности последовательным соединением дополнительных резисторов,

RU 2827917 C1

RU 2827917 C1

параллельно которым для управления их включением в цепь разряда присоединены ключи. Достигается повышение эффективности дефибрилляционного импульса в диапазоне сопротивлений грудной клетки свыше 175 до 300 Ом. 2 н. и 1 з.п. ф-лы, 8 ил., 3 табл.

RU 2827917 C1

RU 2827917 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 827 917**(13) **C1**

(51) Int. Cl.
A61N 1/39 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
A61N 1/39 (2024.08)

(21)(22) Application: **2023132941, 13.12.2023**

(24) Effective date for property rights:
13.12.2023

Registration date:
03.10.2024

Priority:
(22) Date of filing: **13.12.2023**

(45) Date of publication: **03.10.2024** Bull. № **28**

Mail address:
124498, Moskva, Zelenograd, pl. Shokina, 1, MIET, patentno-litsenzionnyj otdel

(72) Inventor(s):
Gorbunov Boris Borisovich (RU),
Nesterenko Igor Valerevich (RU),
Selishchev Sergej Vasilevich (RU),
Telyshev Dmitrij Viktorovich (RU)

(73) Proprietor(s):
Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Natsionalnyj issledovatelskij universitet "Moskovskij institut elektronnoj tekhniki" (RU)

RU 2827917 C1

(54) METHOD OF GENERATING DEFIBRILLATION PULSE WITH STEPPED SHAPE OF FRONT AND EDGE AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION

(57) Abstract:

FIELD: medicine.

SUBSTANCE: group of inventions relates to medicine, namely to a method for generating a trapezoidal bipolar defibrillation pulse with a stepped shape of the front and an edge, and to a device for its implementation. Defibrillation pulse is supplied to the patient's chest from a unit of parallel/serially switched storage capacitors. At the beginning of defibrillation pulse generation, the patient's chest resistance is determined. During formation of phases of defibrillation pulse voltage is increased at the beginning of each phase of pulse through time intervals equal to pre-set duration of pulse front divided by number of voltage increase steps. Voltage is reduced at the end of each phase of the pulse through time intervals equal to the specified duration of the pulse edge divided by the number of voltage reduction steps. Number of steps of increasing and decreasing the voltage for each phase, as well as the duration of the first and second phases of the defibrillation pulse are set depending on the value of the electrical resistance of the patient's chest. Device for generating a defibrillation pulse comprises a unit of series/parallel switched storage capacitors interconnected in series by control keys, and a bridge polarity switch. Unit of capacitors is connected to a bridge circuit of polarity switching by series connection of additional resistors, in parallel to which keys are connected to control their connection to the discharge circuit.

EFFECT: higher efficiency of defibrillation pulse in the range of chest resistance over 175 to 300 Ohm.

3 cl, 8 dwg, 3 tbl

RU 2827917 C1

Изобретение относится к изделиям медицинской техники, а именно к наружным сердечным дефибрилляторам.

Согласно стандарту ГОСТ Р МЭК 60601-2-4-2013 дефибрилляторы должны обеспечивать формирование терапевтического импульса в диапазоне сопротивлений нагрузки - сопротивлений грудной клетки 25-175 Ом [1].

В настоящее время в мировой практике для дефибрилляции широко применяются одноразовые дефибрилляционные электроды. Их использование приводит к увеличению диапазона сопротивлений грудной клетки выше регламентируемого стандартом. Так, при исследовании догоспитальной остановки сердца у 749 больных максимальное значение сопротивления грудной клетки при первом разряде составило 300 Ом [2].

В другом аналогичном исследовании у 300 больных сопротивление грудной клетки находилось в диапазоне от 50 до 250 Ом [3]. Существует несколько причин для таких высоких значений сопротивления грудной клетки: неправильное наложение дефибрилляционных электродов, образование воздушных пузырей под электродами, отсутствие усилия прижима электродов при нанесении дефибрилляционного разряда, наличие отека легких у пациента. При использовании многоразовых дефибрилляционных электродов также возможно повышение сопротивления грудной клетки из-за высохшего на электродах контактного геля. Поскольку случаи повышенного сопротивления грудной клетки при эксплуатации дефибрилляторов исключить нельзя, для повышения выживаемости больных необходимо обеспечить повышенную энергетическую эффективность и энергию разряда на сопротивлениях грудной клетки до 300 Ом. Исследования на модели кардиомиоцита показали, что пороговая энергия дефибрилляции уменьшается при увеличении длительности фронта трапецеидального импульса вплоть до пороговой энергии энергетически оптимального импульса полусинусоидальной формы, а увеличение длительности среза импульса уменьшает разброс значений пороговой энергии дефибрилляции в диапазоне энергетически эффективных длительностей импульса и сдвигает диапазон энергетически эффективных длительностей импульса в сторону увеличения их значений [4].

Таким образом, при определенных значениях длительности фронта и среза трапецеидального импульса его длительность можно варьировать в некотором диапазоне значений без уменьшения энергетической эффективности. Кроме того, минимальная пороговая энергия дефибрилляции биполярным импульсом обеспечивается при отношении амплитуды второй фазы к первой в пределах от 0,5 до 0,6 [5, 6]. Немаловажное значение при проектировании дефибриллятора имеет и минимизация стоимости компонентов аппарата для обеспечения его конкурентоспособности.

Получаемый при осуществлении изобретения технический результат заключается в стабилизации длительности фронта и среза фаз биполярного трапецеидального импульса в диапазоне значений сопротивления грудной клетки 25-300 Ом, что обеспечивает его повышенную энергетическую эффективность, и повышении энергии импульса, отдаваемой при высоких значениях сопротивления грудной клетки.

Одним из известных способов стабилизации длительности фронта и среза импульса в широком диапазоне сопротивлений нагрузки является использование широтно-импульсной модуляции при формировании дефибрилляционного импульса. Решение устройства для формирования дефибрилляционных импульсов произвольной формы представлено в патенте РФ 2345475 [7]. Способ формирования представлен в патенте РФ 2380125 [8]. Устройство содержит мостовые ячейки с накопительными конденсаторами, каждая из которых содержит четыре силовых транзистора. Каждая мостовая ячейки обеспечивают переключение полярности, для входящего в нее

накопительного конденсатора. Недостатком такой схемы является большое количество используемых силовых транзисторов. Поскольку способ предполагает большое количество коммутаций этих транзисторов за время формирования импульса дефибрилляции, которое увеличивается с ростом сопротивления нагрузки из-за особенности разряда индуктивного элемента на резистивную нагрузку, для реализации устройства требуются быстродействующие силовые транзисторы, что приводит к увеличению его стоимости. Альтернативным путем стабилизации длительности фронта и среза импульса в широком диапазоне сопротивлений нагрузки может является применение блока параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов, позволяющего реализовать ступенчатую форму фронта и среза.

Одно из таких решений представлено в патенте США 5968080 [9]. Представленная в патенте реализация устройства обеспечивает параллельную зарядку и параллельное/последовательное переключение накопительных конденсаторов блока в произвольном порядке. Недостатком реализации устройства является большое количество используемых ключей - для зарядки и коммутации в схеме, содержащей 6 накопительных конденсаторов используется 31 ключ, что существенно увеличивает стоимость устройства.

Представленная в патенте ЕАПВ 34946 реализация устройства включает в себя последовательное соединение блоков параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов, содержащих по два накопительных конденсатора [10]. Недостатком такого решения является не более чем двухкратное изменение выходного напряжения вне зависимости от количества последовательно соединенных блоков накопительных конденсаторов и невозможность параллельной зарядки накопительных конденсаторов.

Наиболее близким аналогом настоящего изобретения является решение по патенту США 9526910 [11]. Недостатком этого решения является замыкание минусовых выводов накопительных конденсаторов при параллельном разряде и зарядке ключами на общий провод, из-за чего эти ключи в зависимости от своего положения в схеме должны быть рассчитаны на напряжение, кратное максимальному напряжению заряда накопительных конденсаторов.

Задачей настоящего изобретения является повышение эффективности дефибрилляционного импульса в диапазоне сопротивлений грудной клетки свыше 175 Ом до 300 Ом.

Это достигается тем, что способ формирования трапецеидального биполярного дефибрилляционного импульса со ступенчатой формой фронта и среза, включает в себя подачу на грудную клетку пациента дефибрилляционного импульса с блока параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов, причем в начале формирования дефибрилляционного импульса определяют величину электрического сопротивления грудной клетки пациента, а в процессе формирования фаз трапецеидального биполярного дефибрилляционного импульса через промежутки времени, равные заданной длительности фронта (среза) импульса, деленной на количество ступеней повышения/снижения напряжения повышают напряжение в начале каждой фазы и снижают напряжение в конце каждой фазы импульса, причем количество ступеней повышения/снижения напряжения для каждой фазы, а также длительность первой и второй фаз дефибрилляционного импульса задают в зависимости от величины электрического сопротивления грудной клетки пациента. Способ отличается тем, что в зависимости от определенной в начале формирования дефибрилляционного импульса величины электрического сопротивления грудной клетки пациента при формировании

первой и второй фаз дефибрилляционного импульса в цепь разряда между блоком параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов и грудной клеткой пациента последовательно включают дополнительные резисторы.

Устройство для формирования трапецеидального биполярного дефибрилляционного импульса со ступенчатой формой фронта и среза содержит блок последовательно/параллельно коммутируемых накопительных конденсаторов и мостовой переключатель полярности, обеспечивающий коммутацию блока для формирования первой и второй фаз импульса с противоположными полярностями, причем содержит блок последовательно/параллельно коммутируемых накопительных конденсаторов, включающий не менее четырех накопительных конденсаторов, соединенных между собой последовательно управляющими ключами, обеспечивающими ступенчатое повышение и ступенчатое понижение напряжения на выводах блока на величину напряжения на накопительных конденсаторах, таким образом, что управляющий ключ соединяет плюсовой вывод предыдущего накопительного конденсатора с минусовым выводом следующего накопительного конденсатора, причем минусовой вывод первого накопительного конденсатора соединен с отрицательным выводом блока, а плюсовой вывод последнего накопительного конденсатора соединен с положительным выводом блока, а также минусовой и плюсовой выводы предыдущего накопительного конденсатора соединены соответственно с минусовым и плюсовым выводами следующего накопительного конденсатора диодами, включенными в прямом направлении относительно плюсового вывода блока, при этом блок параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов соединен с мостовой схемой переключения полярности последовательным соединением дополнительных резисторов, параллельно которым для управления их включением в цепь разряда присоединены ключи.

При осуществлении изобретения повышение эффективности дефибрилляционного импульса достигается за счет стабилизации длительности фронта и среза фаз дефибрилляционного импульса независимо от сопротивления грудной клетки пациента, изменения длительности фаз дефибрилляционного импульса в зависимости от значения сопротивления грудной клетки пациента, последовательного включения в цепь разряда резисторов в зависимости от сопротивления грудной клетки для поддержания оптимального отношения амплитуды второй фазы к первой и увеличения отдаваемой энергии дефибрилляционного импульса на диапазоне значений сопротивления грудной клетки свыше 175 до 300 Ом.

Изобретение поясняется следующими графическими материалами.

На фиг. 1 показана структурная схема варианта реализации устройства для формирования трапецеидального биполярного дефибрилляционного импульса со ступенчатой формой фронта и среза, где:

- 1, 3, 7, 11 - накопительные конденсаторы;
- 2, 6, 10 - управляющие ключи;
- 4, 8, 12 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между плюсовым выводом накопительного конденсатора и плюсовым выводом следующего накопительного конденсатора;
- 5, 9, 13 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между минусовым выводом накопительного конденсатора и минусовым выводом следующего накопительного конденсатора;
- 14, 15, 16 - зарядные ключи;
- 17 - схема зарядки накопительных конденсаторов;

- 18 - блок параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов;

- 19 - схема управления;

- 20 - датчик тока разряда;

- 21 - датчик напряжения разряда;

- 22 - разрядный резистор;

- 23 - ключ коммутации разрядного резистора;

- 24 - индуктор;

- 25 - диод разряда остаточной энергии индуктора;

- 26 - мостовая схема переключения полярности;

- 27 - ключ коммутации мостовой схемы переключения полярности;

- 28 - диод защиты ключа коммутации мостовой схемы переключения полярности от обратного напряжения;

- 29, 30 - последовательные резисторы в цепи разряда;

- 31, 32 - ключи коммутации последовательных резисторов в цепи разряда;

- 33 - дефибрилляционные электроды;

- 34 - грудная клетка пациента.

На фиг. 2 показана схема блока параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов, содержащего 4 накопительных конденсатора, где:

- 1, 3, 7, 11 - накопительные конденсаторы;

- 2, 6, 10 - управляющие ключи;

- 4, 8, 12 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между плюсовым выводом накопительного конденсатора и плюсовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 5, 9, 13 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между минусовым выводом накопительного конденсатора и минусовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 35 - положительный вывод блока;

- 36 - отрицательный вывод блока.

На фиг. 3 показаны пути тока разряда блока параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов при разомкнутых ключах, где:

- 1, 3, 7, 11 - накопительные конденсаторы;

- 2, 6, 10 - управляющие ключи;

- 4, 8, 12 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между плюсовым выводом накопительного конденсатора и плюсовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 5, 9, 13 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между минусовым выводом накопительного конденсатора и минусовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 35 - положительный вывод блока;

- 36 - отрицательный вывод блока.

На фиг. 4 показаны пути тока разряда блока параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов при одном замкнутом ключе, где:

- 1, 3, 7, 11 - накопительные конденсаторы;

- 2, 6, 10 - управляющие ключи;

- 4, 8, 12 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между плюсовым выводом накопительного конденсатора и плюсовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 5, 9, 13 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между минусовым выводом накопительного конденсатора и минусовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 35 - положительный вывод блока;

- 36 - отрицательный вывод блока.

На фиг. 5 показаны пути тока разряда блока параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов при двух замкнутых ключах, где:

- 1, 3, 7, 11 - накопительные конденсаторы;

- 2, 6, 10 - управляющие ключи;

- 4, 8, 12 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между плюсовым выводом накопительного конденсатора и плюсовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 5, 9, 13 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между минусовым выводом накопительного конденсатора и минусовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 35 - положительный вывод блока;

- 36 - отрицательный вывод блока.

На фиг. 6 показан путь тока разряда блока параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов при трех замкнутых ключах, где:

- 1, 3, 7, 11 - накопительные конденсаторы;

- 2, 6, 10 - управляющие ключи;

- 4, 8, 12 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между плюсовым выводом накопительного конденсатора и плюсовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 5, 9, 13 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между минусовым выводом накопительного конденсатора и минусовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 35 - положительный вывод блока;

- 36 - отрицательный вывод блока.

На фиг. 7 показаны пути тока при параллельной зарядке накопительных конденсаторов блока параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов, где:

- 1, 3, 7, 11 - накопительные конденсаторы;

- 2, 6, 10 - управляющие ключи;

- 4, 8, 12 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между плюсовым выводом накопительного конденсатора и плюсовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 5, 9, 13 - обходные диоды, подключенные в прямом направлении между минусовым выводом накопительного конденсатора и минусовым выводом следующего накопительного конденсатора;

- 14, 15, 16 - зарядные ключи;

- 17 - схема зарядки накопительных конденсаторов;

- 35 - положительный вывод блока;

- 36 - отрицательный вывод блока.

На фиг. 8 представлены временные диаграммы дефибрилляционного импульса с выбранной энергией 200 Дж для примера реализации изобретения на различных сопротивлениях нагрузки.

Основу устройства формирования трапецеидального биполярного

дефибрилляционного импульса со ступенчатой формой фронта и среза составляет блок параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов, частный случай которого, содержащий 4 накопительных конденсатора, представлен на фиг. 2. Между накопительными конденсаторами 1, 3, 7, 11 включены управляющие ключи 2, 6, 10. Поскольку эти ключи должны замыкаться и размыкаться при формировании дефибрилляционного импульса, они должны быть выполнены на транзисторах. Плюсовой вывод накопительного конденсатора 11 подсоединен непосредственно к положительному выводу блока 35, плюсовые выводы накопительных конденсаторов 1, 3, 7 связаны с положительным выводом блока последовательным соединением диодов 4, 8, 12, включенных в прямом направлении. Минусовой вывод накопительного конденсатора 1 подсоединен непосредственно к отрицательному выводу блока 36, который связан с минусовыми выводами накопительных конденсаторов 3, 7, 11 последовательным соединением диодов 5, 9, 13, включенных в прямом направлении. Блок, содержащий два накопительных конденсатора, содержит один управляющий ключ и два диода. Блок, содержащий N накопительных конденсаторов (N больше двух), содержит N-1 управляющих ключей и 2×(N-1) диодов. Для параллельного разряда необходимо, чтобы все накопительные конденсаторы блока до начала разряда заряжались до одинакового начального напряжения (Uн). Все диоды и управляющие ключи блока должны быть рассчитаны на максимальное напряжение заряда накопительных конденсаторов и максимальный ток разряда блока. Когда все ключи управления 2, 6, 10 разомкнуты, накопительные конденсаторы 1, 3, 7, 11 включены параллельно. Пути тока разряда накопительных конденсаторов показаны на фиг. 3. Напряжение между положительным 35 и отрицательным 36 выводами блока в начале разряда равно начальному напряжению заряда накопительных конденсаторов (Uн) за вычетом падения напряжения на диодах. В цепь разряда каждого из накопительных конденсаторов включены 3 диода (в блоке, содержащем N накопительных конденсаторов - N-1 диодов). При замкнутом ключе 10 и разомкнутых ключах 2, 6 (пути тока разряда накопительных конденсаторов показан на фиг. 4) диод 13 запирается напряжением на накопительном конденсаторе 7, а диод 12 - напряжением на накопительном конденсаторе 11, следствием чего является последовательное соединение накопительного конденсатора 11 с параллельным соединением накопительных конденсаторов 1, 3, 7. Напряжение между положительным 35 и отрицательным 36 выводами блока в начале разряда равно удвоенному начальному напряжению заряда накопительных конденсаторов (2×Uн) за вычетом падения напряжения на двух диодах и ключе 10. После замыкания ключа 6 при замкнутом ключе 10 и разомкнутом ключе 2 (пути тока разряда накопительных конденсаторов показаны на фиг. 5) диод 9 запирается напряжением на накопительном конденсаторе 3, а диод 8 - напряжением на накопительном конденсаторе 7, следствием чего является последовательное соединение накопительных конденсаторов 11 и 7 с параллельным соединением накопительных конденсаторов 1 и 3. Напряжение между положительным 35 и отрицательным 36 выводами блока в начале разряда равно утроенному начальному напряжению заряда накопительных конденсаторов (3×Uн) за вычетом падения напряжения на одном диоде и ключах 10, 6. После замыкания ключа 2 при замкнутых ключах 6 и 10 (путь тока разряда накопительных конденсаторов показан на фиг. 6) диод 5 запирается напряжением на накопительном конденсаторе 1, а диод 4 - напряжением на накопительном конденсаторе 3, следствием чего является последовательное соединение всех накопительных конденсаторов 11, 7, 3 и 1. Напряжение между положительным 35 и отрицательным 36 выводами блока в начале

разряда равно учетверенному начальному напряжению заряда накопительных конденсаторов (4×Uн) за вычетом падения напряжения на ключах 10, 6, 2. Таким образом, блок коммутируемых накопительных конденсаторов, содержащий 4 накопительных конденсатора, обеспечивает возможность задания четырех уровней выходного напряжения, а в общем случае блок, содержащий N конденсаторов (N больше двух) - задания N уровней выходного напряжения.

Для параллельной зарядки блока параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов необходимо добавить зарядные ключи, параллельные диодам, связывающим отрицательный вывод блока с минусовыми выводами накопительных конденсаторов. Пути тока заряда накопительных конденсаторов блока показаны на фиг. 7. Параллельную зарядку накопительных конденсаторов блока схемой зарядки 19 обеспечивает замыкание ключей 16, 17, 18, при этом управляющие ключи 2, 6, 10 должны быть разомкнуты. Поскольку время зарядки накопительных конденсаторов, называемой в дефибрилляторах набором энергии, многократно больше времени дефибрилляционного разряда, требования к максимальному току для зарядным ключей также гораздо ниже. По напряжению они должны быть рассчитаны на максимальное напряжение заряда накопительных конденсаторов. Зарядные ключи могут быть выполнены на недорогих маломощных тиристорах.

Частный случай реализации устройства формирования трапецеидального биполярного дефибрилляционного импульса со ступенчатой формой фронта и среза показан на фиг. 1. Устройство содержит блок из четырех параллельно/последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов 18 с устройством заряда накопительных конденсаторов 17 и зарядными ключами 14-16, схему управления 19, выполняющую, в частности, функции блока управления, связанного с органами управления и индикации дефибриллятора. В состав устройства входят также датчик тока разряда 20, датчик напряжения разряда 21, разрядный резистор 22 и ключ коммутации разрядного резистора 23, сглаживающий индуктор 24, последовательные резисторы 29, 30 с подключенными параллельно им транзисторными ключами управления 31, 32, мостовую схему переключения полярности 26 и ключ коммутации мостовой схемы 27, соединенный с диодом, разряжающим остаточную энергию индуктора 25 и диодом защиты ключа от обратного напряжения 28. Мостовая схема переключения полярности 26 выполняется на тиристорах. Ключ коммутации мостовой схемы 27 замыкается в начале каждой фазы формирования дефибрилляционного импульса, и размыкается в ее конце, когда накопительные конденсаторы 1, 3, 7, 11 соединены параллельно. Таким образом, напряжение на ключе 27 составляет не более начального напряжения на накопительных конденсаторах Uн. Размыкание ключа 27 в паузе между фазами дефибрилляционного импульса обеспечивает прекращение протекания тока через мостовую схему переключения полярности, необходимое для запирания открытой диагонали мостовой схемы. Поскольку ключ 27 замыкается и размыкается при формировании дефибрилляционного импульса, он должен быть выполнен на транзисторе. Замыкание ключа 23 после завершения формирования дефибрилляционного импульса обеспечивает разряд оставшейся в накопительных конденсаторах 1, 3, 7, 11 энергии через разрядный резистор 22, при этом накопительные конденсаторы соединены параллельно. Этот ключ может быть выполнен на тиристоре или на реле. В процессе работы устройства выход мостовой схемы переключения полярности 26 соединяют с помощью дефибрилляционных электродов 33 с грудной клеткой пациента 34, которая для устройства является резистивной электрической нагрузкой.

В исходном состоянии управляющие ключи 2, 6, 10, ключи управления

последовательными резисторами 31, 32 и ключ коммутации мостовой схемы переключения полярности 27 разомкнуты. Перед формированием дефибрилляционного импульса оператор выбирает энергию разряда и подает команду на набор энергии. Схема управления 19 замыкает зарядные ключи 14-16 и подает команду заряда накопительных конденсаторов до определяемого выбранной энергией разряда напряжения на схему зарядки 17. Схема зарядки 17 по достижению напряжением на накопительных конденсаторах установленного значения напряжения прекращает зарядку и подает сигнал готовности к нанесению дефибрилляционного разряда на схему управления. Перед началом формирования дефибрилляционного импульса замыкается ключ коммутации мостовой схемы переключения полярности 27. Формирование первой фазы дефибрилляционного импульса начинается подачей устройством управления 19 сигнала включения первой диагонали моста на мостовую схему переключения полярности 26. В начале формирования импульса оценивается значение сопротивления грудной клетки пациента Rн. В одном частном случае оценка сопротивления грудной клетки производится по значению сигнала датчика тока 20 при достижении заданного уровня напряжения по сигналу от датчика напряжения 21. В другом частном случае сопротивление определяют при достижении предустановленного времени от начала формирования импульса делением значения сигнала напряжения на значение сигнала датчика тока. После определения значения сопротивления грудной клетки пациента схемой управления выбираются соответствующие ему значения длительности первой и второй фаз дефибрилляционного импульса, количество включаемых управляющих ключей 2, 6, 10 в первой и второй фазе, временные интервалы между последовательным включением и выключением управляющих ключей в первой и второй фазах исходя из обеспечения требуемой длительности фронта и среза импульса, включение в цепь разряда последовательных резисторов 29, 30 в первой и второй фазе. Эти параметры обеспечивают формирование временной диаграммы формируемого биполярного импульса дефибрилляции. Включение в цепь разряда последовательных резисторов 29, 30 в первой и второй фазе обеспечивается оптимальное отношение амплитуд второй фазы импульса к первой. В начале каждой фазы через одинаковые промежутки времени $\Delta t_{фр}$ последовательно выполняется повышение напряжения на нагрузке посредством замыкания каждый раз одного из управляющих ключей 2, 6, 10, что обеспечивает формирование импульса с установленным значением длительности фронта $t_{фр}$. В зависимости от количества включаемых в данной фазе импульса управляющих ключей $N_ф$ это время составляет $\Delta t_{фр}=t_{фр}/N_ф$. В конце каждой фазы через одинаковые промежутки времени $\Delta t_{ср}$ последовательно выполняется снижение напряжения на нагрузке посредством размыкания каждый раз одного из управляющих ключей 2, 6, 10, что обеспечивает формирование импульса с установленным значением длительности среза. В зависимости от количества включаемых в данной фазе импульса управляющих ключей $N_ф$ это время составляет $\Delta t_{ср}=t_{ср}/N_ф$. После формирования первой фазы импульса размыкается ключ коммутации мостовой схемы переключения полярности 27, и снова замыкается перед началом формирования второй фазы. Формирование второй фазы дефибрилляционного импульса начинается подачей устройством управления 19 сигнала включения второй диагонали моста на мостовую схему переключения полярности 26. После завершения формирования второй фазы дефибрилляционного импульса размыкается ключ коммутации мостовой схемы переключения полярности 27 и замыкается ключ коммутации разрядного резистора 23, обеспечивающий разряд оставшейся энергии в накопительных конденсаторах 1, 3, 7, 11 блока параллельно/

последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов 18.

Замыкание управляющих ключей 2, 6, 10 производится однократно при формировании фронта фаз импульса, а размыкание - однократно при формировании среза фаз импульса. Таким образом, количество переключений управляющих ключей составляет не более четырех за время формирования биполярного дефибрилляционного импульса. Это позволяет применить в качестве управляющих ключей недорогие низкоскоростные транзисторные ключи.

В частном случае у схемы, представленной на фиг. 1, выбраны следующие параметры компонентов:

- Емкость накопительных конденсаторов 1, 3, 7, 11 - 370 мкФ;
- максимальное напряжения заряда накопительных конденсаторов (при выбранной энергии 200 Дж) - 770 В;
- индуктивность и внутреннее сопротивление индуктора 24 - 5 мГн, 12 Ом;
- сопротивление резистора 22 - 50 Ом;
- сопротивление резистора 29 - 10 Ом;
- сопротивление резистора 30 - 20 Ом.

Для формируемого биполярного дефибрилляционного импульса были выбраны следующие параметры:

- длительность фронта первой фазы импульса - 1,2 мс;
- длительность среза первой фазы импульса - 1,8 мс;
- пауза между фазами импульса - 1 мс;
- длительность фронта второй фазы импульса - 0,7 мс;
- длительность среза второй фазы импульса - 1 мс.

Параметры работы схемы, зависящие от сопротивления нагрузки, представлены в таблицах 1 и 2, где величина последовательного сопротивления в цепи разряда определяется коммутацией ключей 31, 32. Длительность второй фазы импульса задана равной 0,8 от длительности первой фазы.

Таблица 1

Параметр	Диапазон сопротивлений нагрузки, Ом					
	20-35	36-61	62-87	88-112	113-137	138-162
Последовательное сопротивление в цепи разряда в первой фазе, Ом	10	0	20	20	10	0
Последовательное сопротивление в цепи разряда во второй фазе, Ом	30	20	20	20	20	20
Количество замыкаемых управляющих ключей 2, 6, 10 в первой фазе	2	2	3	3	3	3
Количество замыкаемых управляющих ключей 2, 6, 10 во второй фазе	2	2	2	2	2	2
Длительность первой фазы, мс	4,5	5,5	5,8	6,0	5,9	5,9
Длительность второй фазы, мс	3,6	4,4	4,6	4,8	4,7	4,7

Таблица 2

Параметр	Диапазон сопротивлений нагрузки, Ом					
	163-187	188-212	213-237	238-262	263-287	288-330
Последовательное сопротивление в цепи разряда в первой фазе, Ом	0	0	0	0	0	0
Последовательное сопротивление в цепи разряда во второй фазе, Ом	20	20	20	20	30	30
Количество замыкаемых управляющих ключей 2, 6, 10 в первой фазе	3	3	3	3	3	3
Количество замыкаемых управляющих ключей 2, 6, 10 во второй фазе	2	2	2	2	2	2
Длительность первой фазы, мс	6,3	6,8	7,3	7,7	8,3	8,8
Длительность второй фазы, мс	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0

Параметры формируемых вышеописанной схемой биполярных дефибрилляционных импульсов представлены в таблице 3, временные диаграммы - на фиг. 8.

Таблица 3

Параметр	Сопротивление нагрузки, Ом					
	50	100	150	200	250	300
Отдаваемая энергия, Дж	195	195	196	195	195	196
Амплитуда тока первой фазы, А	33,4	21,8	18,0	13,9	11,3	9,6
Отношение амплитуды второй фазы к амплитуде первой фазы	0,58	0,56	0,53	0,55	0,56	0,55

Последовательная коммутация всех накопительных конденсаторов блока последовательно/параллельно коммутируемых накопительных конденсаторов в описанной реализации изобретения обеспечивает высокую величину начального напряжения - 3080 В. Это, в совокупности с увеличением длительности фаз дефибрилляционного импульса, позволяет обеспечить высокое значение отдаваемой энергии в диапазоне сопротивлений грудной клетки свыше 175 до 300 Ом.

Изобретение обеспечивает в расширенном диапазоне сопротивлений грудной клетки 25-300 Ом постоянную длительность фронта и среза фаз дефибрилляционного импульса при оптимальном отношении амплитуды второй фазы импульса к первой и высокие значения отдаваемой энергии при сопротивлении грудной клетки пациента в диапазоне значений свыше 175 до 300 Ом, что обеспечивает повышение эффективности дефибрилляции сердца.

Источники информации:

1. ГОСТ Р МЭК 60601-2-4-2013. Изделия медицинские электрические. Часть 2-4. Частные требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик к кардиодефибрилляторам.

2. Li Y., Quan W., Freeman G., Tang W. Abstract 118: Distribution of transthoracic impedance measured in pre-hospital sudden cardiac arrest // Circulation. 2010. Vol. 122. suppl_21. P. A118.

3. Li Y., Quan W., Freeman G., Tang W. Abstract 16068: Evaluation of current-based impedance compensation defibrillation in pre-hospital sudden cardiac arrest with different transthoracic impedances // Circulation. 2010. Vol. 122. suppl_21. P. A16068.

4. Горбунов Б.Б., Востриков В.А., Нестеренко И.В., Селищев С.В., Телышев Д.В. Оценка влияния длительности фронта и среза дефибрилляционного монополярного трапецеидального импульса на его энергетическую эффективность на модели кардиомиоцита ten Tusscher-Panfilov // Медицинская техника. 2020. №4. С. 31-34.

5. Вострикov В.А., Богушевич М.С. Влияние амплитуды 2-й фазы биполярного синусоидального импульса на эффективность наружной дефибрилляции желудочков сердца // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2000. Т. 129, Приложение №2. С. 40-41.

6. Vostrikov V.A., Venin I.V. Comparison of efficiency of biphasic sinusoidal waveform with different amplitude of second phases in transthoracic defibrillation of dogs // Resuscitation. 2000. Vol. 45. №1. P. S6.

7. Патент РФ №2345475.

8. Патент РФ №2380125.

9. Патент США 5968080.

10. Евразийский патент №34946.

11. Патент США 9526910 - прототип.

(57) Формула изобретения

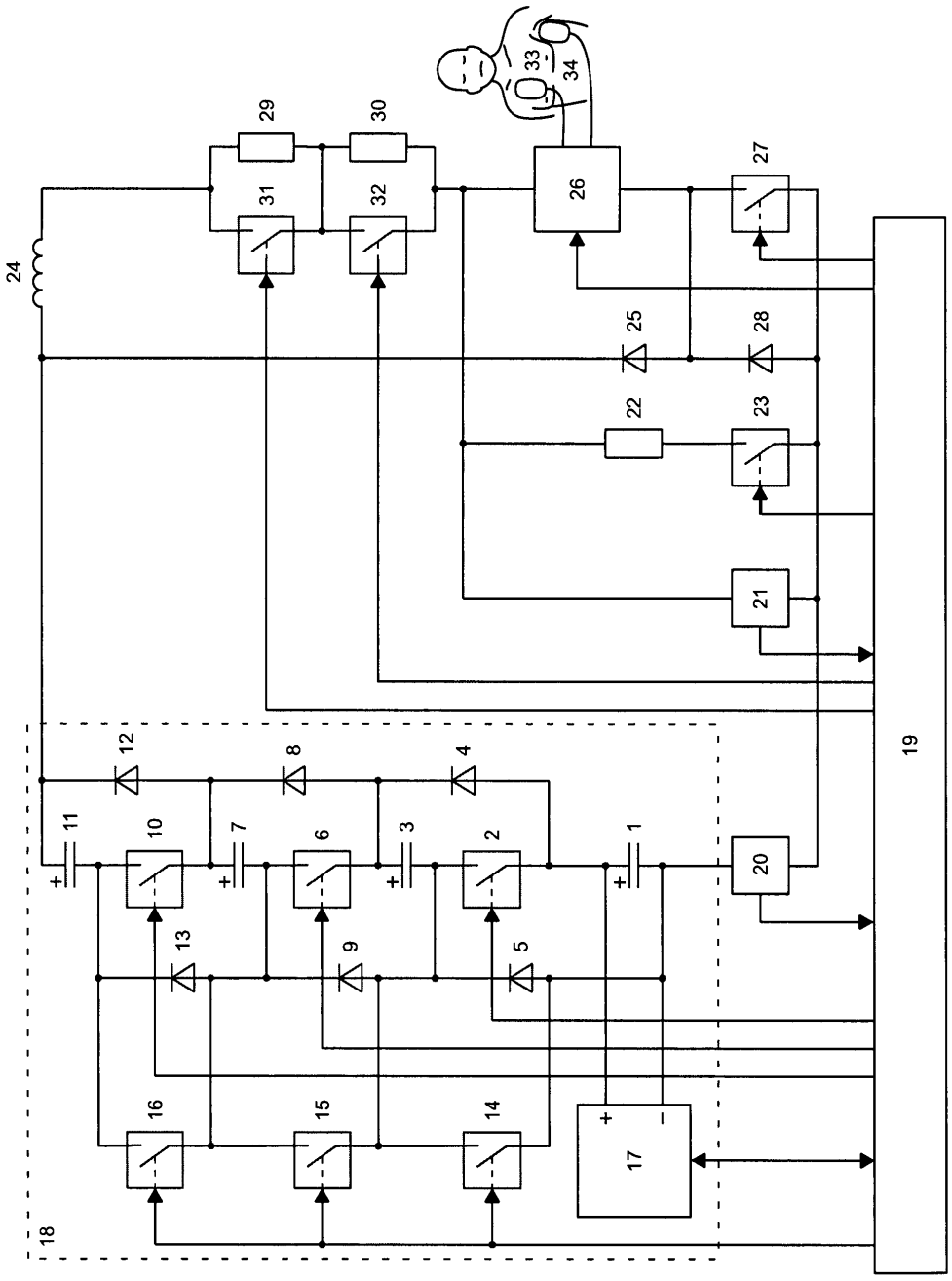
1. Способ формирования трапецеидального биполярного дефибрилляционного импульса со ступенчатой формой фронта и среза, включающий подачу на грудную клетку пациента дефибрилляционного импульса с блока параллельно / последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов, отличающийся тем, что в начале формирования дефибрилляционного импульса определяют величину электрического сопротивления грудной клетки пациента, в процессе формирования фаз трапецеидального биполярного дефибрилляционного импульса повышают напряжение в начале каждой фазы импульса через промежутки времени, равные заданной длительности фронта импульса, деленной на количество ступеней повышения напряжения, и снижают напряжение в конце каждой фазы импульса через промежутки времени, равные заданной длительности среза импульса, деленной на количество ступеней снижения напряжения, причем количество ступеней повышения и снижения напряжения для каждой фазы, а также длительность первой и второй фаз дефибрилляционного импульса задают в зависимости от величины электрического сопротивления грудной клетки пациента таким образом, что после определения значения сопротивления грудной клетки пациента схемой управления выбирают соответствующие ему значения длительности первой и второй фаз дефибрилляционного импульса, количество включаемых управляющих ключей в первой и второй фазах, временные интервалы между последовательным включением и выключением управляющих ключей в первой и второй фазах, исходя из обеспечения требуемой длительности фронта и среза импульса, включение в цепь разряда последовательных резисторов в первой и второй фазах.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в зависимости от определенной в начале формирования дефибрилляционного импульса величины электрического сопротивления грудной клетки пациента при формировании первой и второй фаз дефибрилляционного импульса в цепь разряда между блоком параллельно / последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов и грудной клеткой пациента последовательно включают дополнительные резисторы.

3. Устройство для формирования трапецеидального биполярного дефибрилляционного импульса со ступенчатой формой фронта и среза, содержащее блок последовательно / параллельно коммутируемых накопительных конденсаторов и мостовой переключатель полярности, выполненный с возможностью коммутации блока для формирования первой и второй фаз импульса с противоположными полярностями, отличающееся тем, что блок последовательно / параллельно

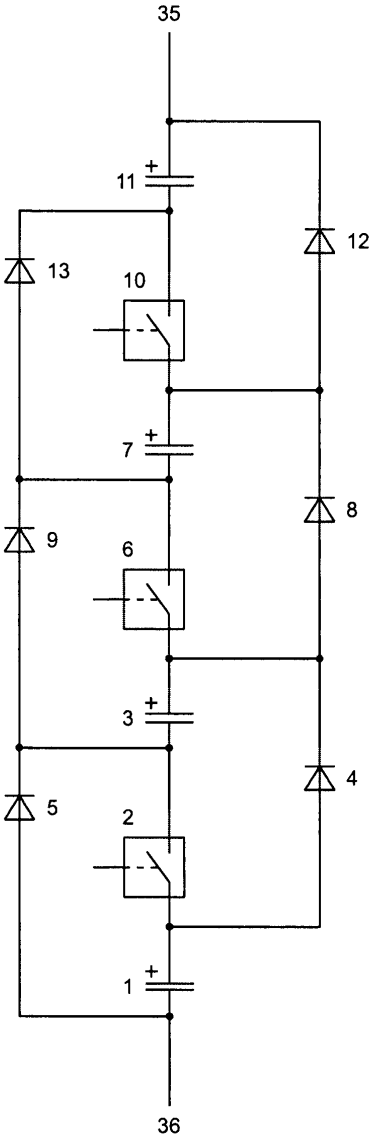
коммутируемых накопительных конденсаторов включает не менее четырех накопительных конденсаторов, соединенных между собой последовательно управляющими ключами, выполненными с возможностью ступенчатого повышения и ступенчатого понижения напряжения на выводах блока на величину напряжения на накопительных конденсаторах таким образом, что управляющий ключ соединяет плюсовой вывод предыдущего накопительного конденсатора с минусовым выводом следующего накопительного конденсатора, причем минусовый вывод первого накопительного конденсатора соединен с отрицательным выводом блока, а плюсовой вывод последнего накопительного конденсатора соединен с положительным выводом блока, а также минусовый и плюсовой выводы предыдущего накопительного конденсатора соединены, соответственно, с минусовым и плюсовым выводами следующего накопительного конденсатора диодами, включенными в прямом направлении относительно плюсового вывода блока, при этом блок параллельно / последовательно коммутируемых накопительных конденсаторов соединен с мостовой схемой переключения полярности последовательным соединением дополнительных резисторов, параллельно которым для управления их включением в цепь разряда присоединены ключи.

1


33
34
29
30
31
32
26
27
24
25
28
22
23
21
19
12
8
4
11
10
7
6
3
2
1
20
13
9
5
16
15
14
17
18

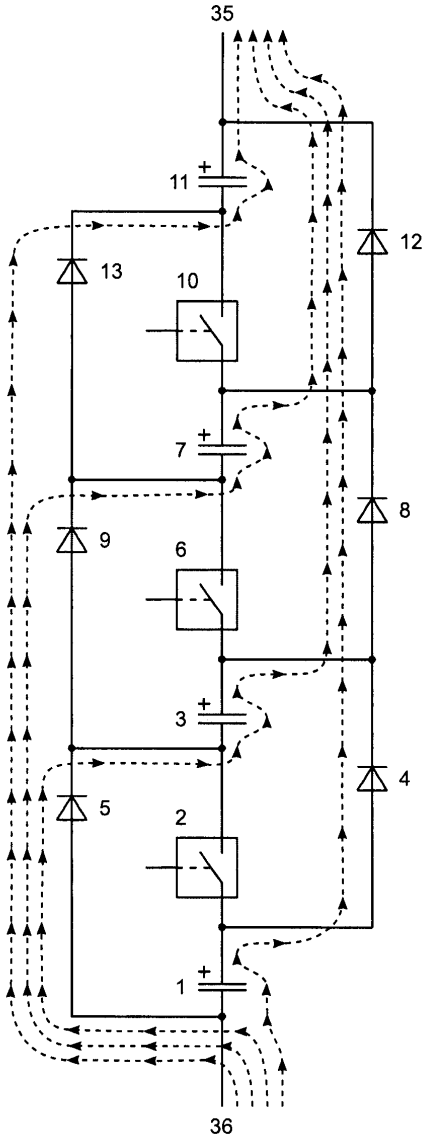
Фиг. 1

2



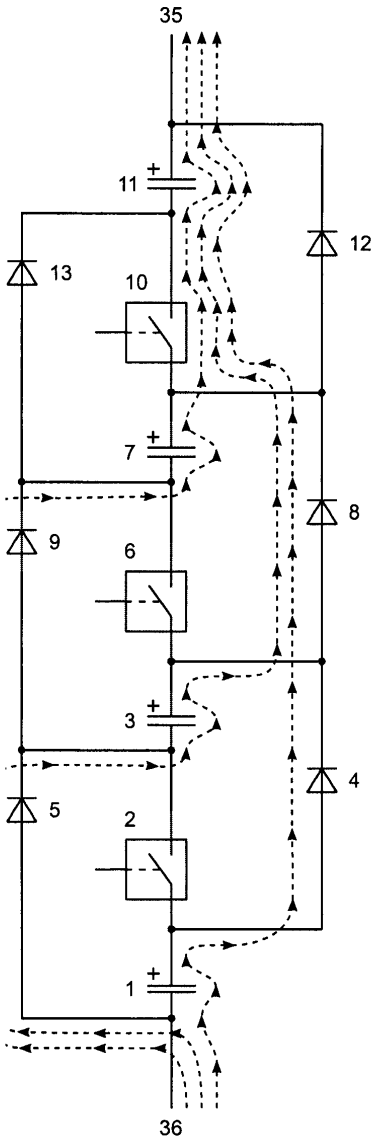
Фиг. 2

3

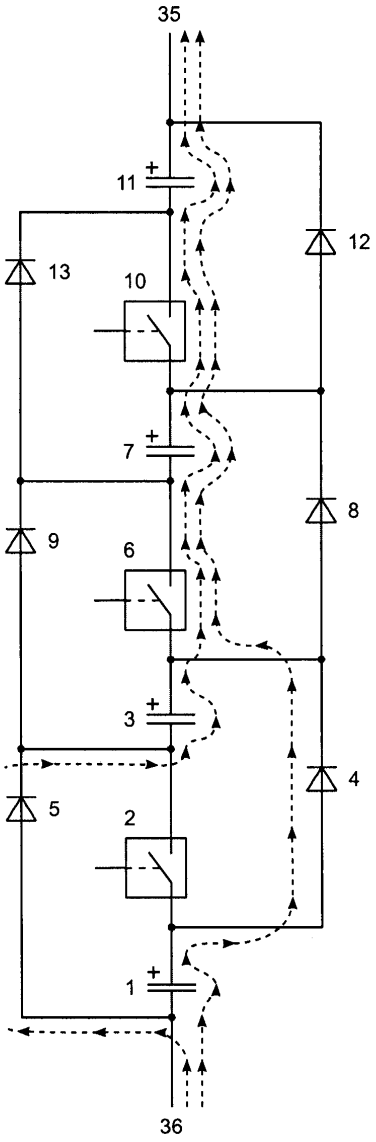


Фиг. 3

4

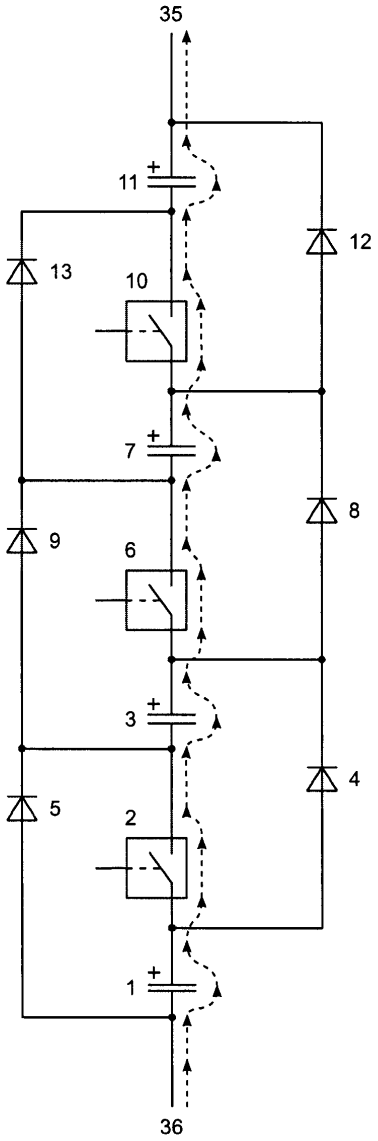


Фиг. 4



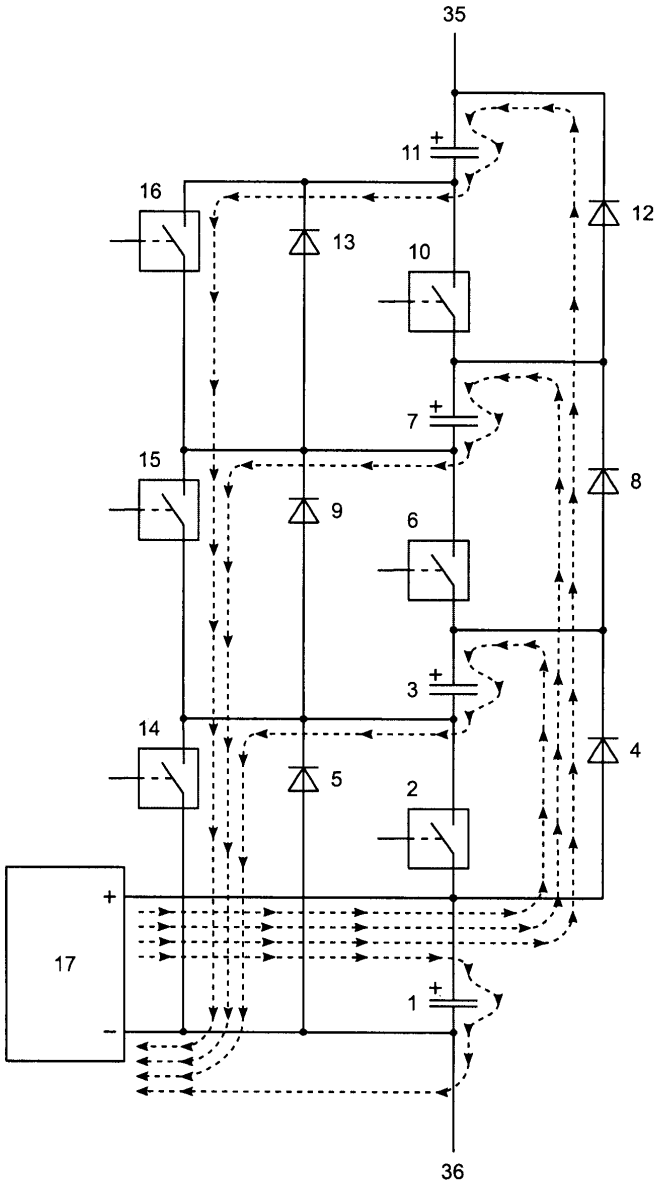
Фиг. 5

6



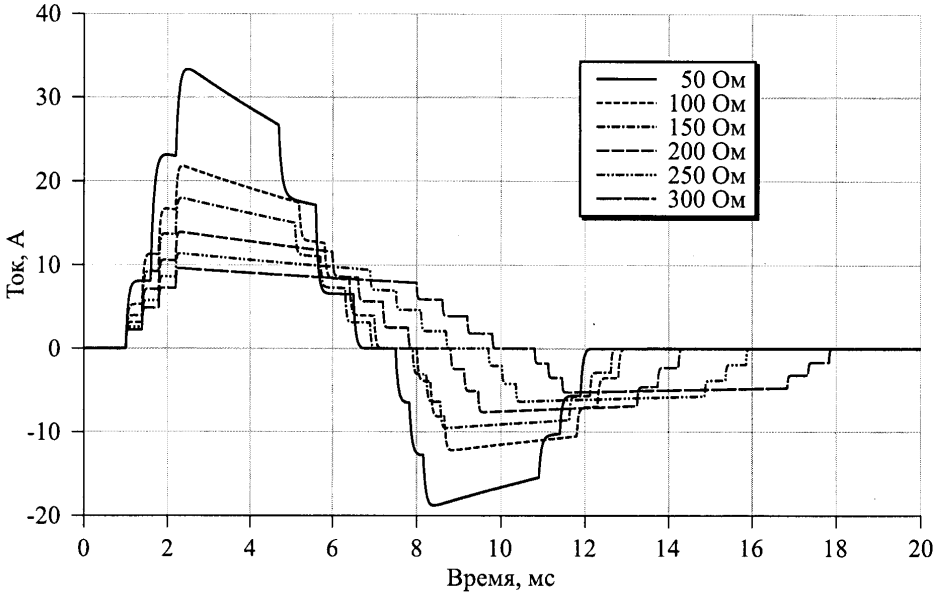
Фиг. 6

7



Фиг. 7

8


40
30
20
10
0
-10
-20
Ток, А
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Время, мс
50 Ом
100 Ом
150 Ом
200 Ом
250 Ом
300 Ом

Фиг. 8