



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008149267/09, 16.12.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.12.2008

(45) Опубликовано: 27.01.2010 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 6546287 B1, 08.04.2003. RU 2218656 C1,
10.12.2003. SU 1290500 A1, 15.02.1987. US
6097982 A, 01.08.2000.

Адрес для переписки:

124498, Москва, Зеленоград, пр-д 4806, 5,
МИЭТ, патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Антропов Александр Михайлович (RU),
Горбунов Борис Борисович (RU),
Гусев Алексей Николаевич (RU),
Мамкин Кирилл Андреевич (RU),
Нестеренко Игорь Валерьевич (RU),
Селищев Сергей Васильевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

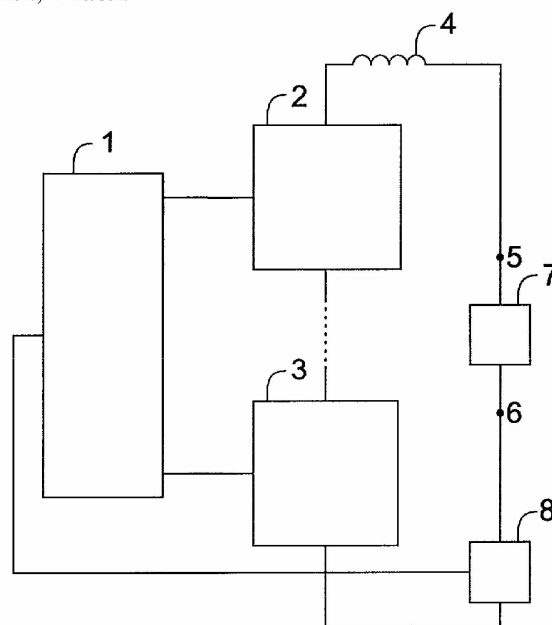
Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования Московский государственный
институт электронной техники (технический
университет) (RU)

(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ БИПОЛЯРНОГО И МНОГОФАЗНОГО ИМПУЛЬСОВ

(57) Реферат:

Использование: для формирования мощных биполярных и многофазных электрических импульсов. Технический результат заключается в упрощении способа формирования импульсов и уменьшении количества элементов схемы. Способ заключается в управлении последовательно соединенными однотипными силовыми ячейками, содержащими накопители электрической энергии и обеспечивающими коммутацию положительной и отрицательной полярности подключения накопителя энергии к выводам ячейки и коммутацию накопителя электрической энергии к выводам ячейки, и содержащими обратные диоды, обеспечивающие протекание тока через выводы ячеек, когда накопители электрической энергии отключены от выводов ячейки. Сигнал с датчика тока подается на аналоговый вход цифрового сигнального процессора (ЦСП), с цифровых выходов которого осуществляется управление силовыми ячейками. ЦСП циклически до завершения формирования импульса выполняет преобразование сигнала с датчика тока, нормализует его, вычисляет отклонение от

текущего значения хранящейся в ЦСП образцовой формы импульса и сравнивает отклонение с четырьмя граничными значениями. По результатам сравнения на цифровых выходах ЦСП выставляются сигналы управления силовыми ячейками. 4 ил., 1 табл.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

A61N 1/39 (2006.01)*H03K 17/00* (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2008149267/09, 16.12.2008

(24) Effective date for property rights:
16.12.2008

(45) Date of publication: 27.01.2010 Bull. 3

Mail address:

124498, Moskva, Zelenograd, pr-d 4806, 5,
MIEhT, patentno-litsenzionnyj otdel

(72) Inventor(s):

Antropov Aleksandr Mikhajlovich (RU),
Gorbunov Boris Borisovich (RU),
Gusev Aleksej Nikolaevich (RU),
Mamekin Kirill Andreevich (RU),
Nesterenko Igor' Valer'evich (RU),
Selishchev Sergej Vasil'evich (RU)

(73) Proprietor(s):

Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
Moskovskij gosudarstvennyj institut ehlektronnoj
tehniki (tehnicheskij universitet) (RU)**(54) METHOD OF GENERATING BIPOLAR AND MULTIPHASE PULSES**

(57) Abstract:

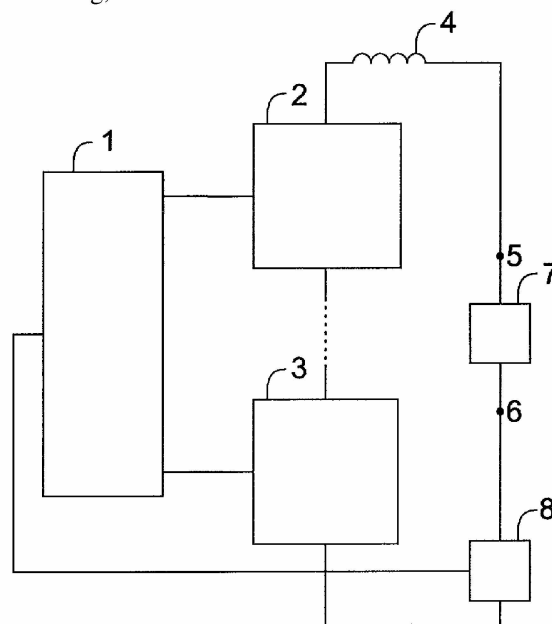
FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention can be used for generating powerful bipolar and multiphase electric pulses. The method involves controlling series-connected single-type power cells containing electrical energy accumulators, and providing switching of positive and negative polarity of the connection of the energy accumulator to leads of the cell, and switching the electrical energy accumulator to leads of the cell, and having bypass diodes which provide flow of current through leads of the cell when electrical energy accumulators are disconnected from the leads of the cell. A signal from a current sensor is transmitted to the analogue input of a digital signal processor (DSP), from the digital outputs of which the power cells are controlled. Before completion of generation of a pulse, the digital signal processor periodically converts the signal from the current sensor, standardises it, calculates deviation from the current value stores in the digital signal processor of the pulse form and compares the deviation with four limiting values. Signals for controlling power cells are output from the outputs of the digital signal processor depending

on the comparison results.

EFFECT: simplification of the method of generating pulses and reducing the number of circuit components.

7 dwg, 1 tbl



Фиг. 1

Изобретение может применяться в дефибрилляторах с биполярной и многофазной формой импульсов, формирователях мощных биполярных и многофазных электрических импульсов, преобразователях мощности переменного тока, в мощных усилителях постоянного тока.

Известен способ формирования мощного сигнала переменного тока высокой мощности с использованием последовательно соединенных силовых ячеек, обеспечивающих формирование сигналов как положительной, так и отрицательной полярности. Такой способ фигурирует в патенте США 7,170,767. При этом способе каждая из ячеек содержит свой локальный контроллер модуляции, обеспечивающий необходимое среднее значение выходного напряжения ячейки в пределах от нуля до напряжения на накопителе электрической энергии. Однако, если требуемое выходное напряжение превышает суммарное напряжение некоторого числа из последовательно включенных силовых ячеек, то всегда в таком количестве силовых ячеек накопители электрической энергии могут быть постоянно подключены на выводы силовой ячейки, а модуляцию необходимо осуществлять в данный момент только в одной силовой ячейке. При таком способе формирования мощного сигнала нет необходимости в контроллере модуляции для каждой из силовых ячеек, а управление силовыми ячейками следует осуществлять единым устройством, которое будет определять количество силовых ячеек, в которых накопители электрической энергии будут постоянно подключены к выводам ячейки, и осуществлять модуляцию только одной из силовых ячеек. Такой подход позволяет уменьшить общее количество коммутаций в силовых ячейках, что облегчает их тепловой режим. Дополнительно модуляцию можно осуществлять попеременно на каждой из ячеек, при этом среднее количество коммутаций, необходимых для формирования мощного сигнала, равномерно распределяется между всеми силовыми ячейками.

За прототип принимается способ, представленный в патенте США 6,546,287. При этом способе напряжение на выходе каждой ячейки формируется с помощью широтно-импульсной модуляции с постоянной частотой, причем для задания ширины импульсов модуляции в ячейке используется значение текущего напряжения на накопительном конденсаторе ячейки и передаваемое через аналоговый оптрон образцовое значение напряжения.

Недостатками этого способа являются необходимость передачи образцового значения напряжения на каждую из ячеек через аналоговый оптрон, необходимость измерения значения напряжения на накопительном конденсаторе, постоянная частота широтно-импульсной модуляции, одновременная модуляция всех ячеек, управление отдельной схемой переключения полярности. Необходимость передачи образцового значения напряжения на каждую из ячеек через аналоговый оптрон и необходимость измерения значения напряжения на накопительном конденсаторе приводят к увеличению стоимости и размеров изделия. Постоянная частота широтно-импульсной модуляции и одновременная модуляция всех ячеек увеличивает потери на преобразование за счет избыточного количества переключений силовых ключей в ячейках, вследствие чего ухудшается тепловой режим их работы. Управление отдельной схемой переключения полярности приводит к необходимости введения паузы между разнополярными фазами импульса.

Задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является упрощение способа управления, обеспечение минимального количества переключений силовых ключей в ячейках в процессе формирования импульса, обеспечение равномерного разряда накопителей электрической энергии в ячейках в процессе

формирования импульса, обеспечение формирования импульса без паузы между разнополярными фазами, уменьшение количества аналоговых цепей и сокращение количества элементов схемы.

5 Суть изобретения заключается в том, что для формирования импульса осуществляется управление последовательно соединенными однотипными силовыми ячейками, содержащими накопители электрической энергии и обеспечивающими коммутацию положительной и отрицательной полярности подключения накопителя энергии к выводам ячейки и коммутацию накопителя электрической энергии к
10 выводам ячейки. Эти ячейки также содержат обратные диоды, обеспечивающие протекание тока через выводы ячеек, когда накопители электрической энергии отключены от выводов ячейки. Сигнал обратной связи снимается с датчика тока, подключенного последовательно силовым ячейкам, и подается на аналоговый вход цифрового сигнального процессора (ЦСП). ЦСП преобразовывает аналоговый
15 сигнал датчика тока в цифровое значение, выполняет операцию нормализации значения и вычисляет его отклонение от текущего цифрового значения образцовой формы импульса, хранящейся в ЦСП, и по определенной последовательности действий управления устанавливает значения цифровых сигналов управления
20 силовыми ячейками.

Если накопители электрической энергии силовых ячеек не подзаряжаются постоянно, то напряжение на них уменьшается, так как они разряжаются током, текущим в нагрузку. Задача управления заключается в обеспечении включения
25 количества силовых ячеек, необходимого для поддержания заданного текущего значения тока в нагрузке, и в обеспечении по возможности равномерного разряда накопителей электрической энергии в силовых ячейках в случае, если эти накопители не подзаряжаются постоянно, и обеспечении равномерного распределения количества переключений между силовыми ячейками.

30 Для управления используются четыре граничных значения, которые находятся в следующем соотношении: второе положительное граничное значение больше первого положительного граничного значения, которое больше нуля, второе отрицательное граничное значение меньше первого отрицательного граничного значения, которое меньше нуля.

35 Управление осуществляется путем циклического выполнения последовательности действий управления в ЦСП до завершения формирования импульса.

Для обеспечения равномерного разряда накопителей электрической энергии в силовых ячейках устройства и равномерного распределения количества переключений
40 в них предусмотрено циклическое назначение функций, выполняемых каждой из ячеек. При общем количестве N ячеек у каждой из них могут быть следующие функции: модулирующая ячейка, постоянно включенная ячейка 1, ... постоянно включенная ячейка N . Для полной смены функций ячейки, соответственно, необходимо циклическое переключение между N состояниями управления функциями ячеек.

45 Исходно количество постоянно включенных силовых ячеек задается равным нулю, модулирующая ячейка отключена, положительная и отрицательная полярность в силовых ячейках отключена.

Включение положительной полярности в силовых ячейках выполняется, когда
50 текущее значение образцовой огибающей тока превысит первое положительное граничное значение. Когда текущее значение образцовой огибающей тока становится ниже первого положительного граничного значения, положительная полярность в силовых ячейках отключается. При положительной полярности:

- границей уменьшения количества постоянно включенных ячеек является второе положительное граничное значение,

- границей отключения модуляции является первое положительное граничное значение,

- границей включения модуляции является первое отрицательное граничное значение,

- границей увеличения количества постоянно включенных ячеек является второе отрицательное граничное значение.

При управлении формированием импульса положительной полярности выполняется следующая последовательность действий:

- Выполняется преобразование текущего значения напряжения на датчике тока в цифровое значение.

- Выполняется нормализация преобразованного значения напряжения на датчике тока.

- Вычисляется отклонение нормализованного значения напряжения на датчике тока от текущего значения образцовой формы тока импульса.

- Отклонение сравнивается с четырьмя фиксированными значениями: границей уменьшения количества постоянно включенных ячеек, границей отключения модуляции, границей включения модуляции, границей увеличения количества постоянно включенных ячеек.

- Если отклонение находится между границами отключения и включения модуляции, то количество постоянно включенных ячеек остается неизменным, а состояние модулирующей ячейки не изменяется.

- Если отклонение ниже границы включения модуляции, то модулирующая ячейка включается, а количество постоянно включенных ячеек остается неизменным.

- Если отклонение ниже границы увеличения количества постоянно включенных силовых ячеек, то количество постоянно включенных ячеек увеличивается на 1, или остается равным общему количеству силовых ячеек минус 1, а состояние модулирующей ячейки не изменяется.

- Если отклонение выше границы выключения модуляции, а в предыдущем цикле ЦСП оно было ниже границы выключения модуляции, то модулирующая ячейка отключается, количество постоянно включенных ячеек остается неизменным, и изменяются функции, выполняемые ячейками.

- Если отклонение выше границы уменьшения количества постоянно включенных силовых ячеек, количество постоянно включенных ячеек уменьшается на 1 или остается равным 0, а состояние модулирующей ячейки не изменяется.

Включение отрицательной полярности в силовых ячейках выполняется, когда текущее значение образцовой огибающей тока импульса станет ниже первого отрицательного граничного значения. Когда текущее значение образцовой огибающей тока импульса превысит первое отрицательное граничное значение, отрицательная полярность в силовых ячейках отключается. При отрицательной полярности:

- границей увеличения количества постоянно включенных ячеек является второе положительное граничное значение,

- границей включения модуляции является первое положительное граничное значение,

- границей отключения модуляции является первое отрицательное граничное значение,

- границей уменьшения количества постоянно включенных ячеек является второе отрицательное граничное значение.

При управлении формированием импульса отрицательной полярности выполняется следующая последовательность действий:

5 - Выполняется преобразование текущего значения напряжения на датчике тока в цифровое значение.

- Выполняется нормализация преобразованного значения напряжения на датчике тока.

10 - Вычисляется отклонение нормализованного значения напряжения на датчике тока от текущего значения образцовой формы тока импульса.

- Отклонение сравнивается с четырьмя фиксированными значениями: границей увеличения количества постоянно включенных ячеек, границей включения модуляции, границей отключения модуляции, границей уменьшения количества постоянно
15 включенных ячеек.

- Если отклонение находится между границами включения и отключения модуляции, то количество включенных ячеек остается неизменным, а состояние модулирующей ячейки не изменяется.

20 - Если отклонение выше границы включения модуляции, то модулирующая ячейка включается, а количество постоянно включенных ячеек остается неизменным.

- Если отклонение выше границы увеличения количества постоянно включенных силовых ячеек, то количество постоянно включенных ячеек увеличивается на 1, или
25 остается равным общему количеству силовых ячеек минус 1, а состояние модулирующей ячейки не изменяется.

- Если отклонение ниже границы выключения модуляции, а в предыдущем цикле ЦСП оно было выше границы выключения модуляции, то модулирующая ячейка
30 отключается, количество постоянно включенных ячеек остается неизменным, и изменяются функции, выполняемые ячейками.

- Если отклонение ниже границы уменьшения количества постоянно включенных силовых ячеек, количество постоянно включенных силовых ячеек уменьшается на 1
или остается равным 0, а состояние модулирующей ячейки не изменяется.

35 В заявляемом способе формирования биполярного и многофазного импульсов силовые ячейки содержат только управляемые электронные ключи, а сигналы включения и отключения этих ключей формируются в ЦСП. Это обеспечивает уменьшение количества элементов схемы и увеличение ее помехоустойчивости. Заявляемый способ обеспечивает минимизацию количества переключений силовых
40 ключей в ячейках в процессе формирования импульса, формирование импульса без паузы между разнополярными фазами.

На фиг.1 представлено устройство, в котором применяется способ формирования биполярного и многофазного импульсов, где:

1 - цифровой сигнальный процессор (ЦСП);

45 2 и 3 - силовые ячейки;

4 - катушка индуктивности;

5, 6 - выводы устройства формирования биполярного и многофазного импульсов;

7 - нагрузка;

50 8 - датчик тока.

На фиг.2 представлены временные диаграммы тока импульса, его образцовой формы, и сигналов управления, подаваемых на силовые ячейки, где:

9 - идеальная форма тока импульса,

10 - фактическая форма тока импульса,

11 - сигнал подключения накопителя электрической энергии к выводам силовой ячейки №1,

12 - сигнал подключения накопителя электрической энергии к выводам силовой ячейки №2,

13 - сигнал подключения накопителя электрической энергии к выводам силовой ячейки №3,

14 - сигнал подключения накопителя электрической энергии к выводам силовой ячейки №4,

15 - сигнал включения положительной полярности,

16 - сигнал включения отрицательной полярности.

На фиг.3 представлены временные диаграммы отклонения нормализованного значения сигнала с датчика тока от образцовой формы тока импульса, значений функций ячеек и состояний управления функциями ячеек, где:

17 - отклонение нормализованного значения сигнала с датчика тока от образцовой формы тока импульса,

18 - второе положительное граничное значение,

19 - первое положительное граничное значение,

20 - первое отрицательное граничное значение,

21 - второе отрицательное граничное значение,

22 - значение функции модулирующей ячейки,

23 - значение функции первой постоянно включенной ячейки,

24 - значение функции второй постоянно включенной ячейки,

25 - значение функции третьей постоянно включенной ячейки,

26 - состояние управления функциями ячеек.

На фиг.4 представлены временные диаграммы тока импульса и напряжений на накопителях электрической энергии силовых ячеек, где:

27 - напряжение на накопителе электрической энергии силовой ячейки №1,

28 - напряжение на накопителе электрической энергии силовой ячейки №2,

29 - напряжение на накопителе электрической энергии силовой ячейки №3,

30 - напряжение на накопителе электрической энергии силовой ячейки №4.

При заявляемом способе формирования биполярного и многофазного импульсов осуществляется управление последовательно соединенными двумя или несколькими однотипными силовыми ячейками формирования импульса положительной и отрицательной полярности 2, 3, последовательно соединенными с датчиком тока 8 и катушкой индуктивности 4. Нагрузка 7 подключается к выводам 5, 6. Сигнал с датчика тока 8 подается на аналоговый вход ЦСП 1, цифровыми выходами которого осуществляется управление ячейками 2 и 3 (коммутация положительной отрицательной полярности, коммутация накопителя электрической энергии к выводам ячейки).

Реализация способа формирования биполярного и многофазного импульсов проиллюстрирована на примере с четырьмя силовыми ячейками формирования импульса положительной и отрицательной полярности, с нумерацией от 1 до 4. Накопители энергии в ячейках исходно заряжены до напряжения 900 В и имеют емкость 220 мкФ, что обеспечивает использование силовых электронных управляемых ключей массового применения. Катушка индуктивности имеет индуктивность 10 мГн, сопротивление нагрузки равно 50 Ом, амплитуда тока первой фазы импульса задана равной 43 А. Цифровое значение амплитуды первой фазы образцовой формы тока

импульса, хранящейся в ЦСП, имеет значение 1. Длительность цикла выполнения последовательности действий управления в ЦСП задана равной 5 мкс, время от начала преобразования сигнала с датчика тока до изменения сигналов управления силовыми ячейками составляет 2 мкс. Четыре граничных значения, используемые для управления, заданы следующим образом:

- второе положительное граничное значение равно 0,035;
- первое положительное граничное значение равно 0,015;
- первое отрицательное граничное значение равно -0,015;
- второе отрицательное граничное значение равно -0,035.

Функция каждой из ячеек определяется состоянием управления функциями в соответствии с приведенной ниже таблицей.

Функция ячейки	Номер ячейки, осуществляющей функцию, в зависимости от номера состояния управления функциями ячеек			
	1	2	3	4
Модулирующая ячейка	1	4	3	2
Первая постоянно включенная ячейка	2	1	4	3
Вторая постоянно включенная ячейка	3	2	1	4
Третья постоянно включенная ячейка	4	3	2	1

На фиг.2 представлены временные диаграммы тока формируемого импульса, его идеальной формы и сигналов управления, подаваемых на силовые ячейки. Как положительная 19, так и отрицательная 20 полярности подключения накопителя электрической энергии к выводам силовых ячеек включаются только после достижения текущим значением содержащейся в ЦСП образцовой формы тока импульса порога включения модулирующей ячейки. Это позволяет обеспечивать простое переключение форм импульса нагрузкой другой образцовой формы импульса в ЦСП. Как видно по сигналам подключения накопителя электрической энергии к выводам силовых ячеек 15...18, описываемый способ обеспечивает достаточно равномерное распределение количества переключений между всеми силовыми ячейками. При формировании первой фазы импульса, имеющей положительную полярность, в данном примере силовая ячейка №1 выполняет 6, силовая ячейка №2 - 7, силовая ячейка №3 - 6 и силовая ячейка №4 - 8 включений/выключений. При формировании второй фазы импульса, имеющей отрицательную полярность (показана не полностью), силовая ячейка №1 выполняет 7, силовая ячейка №2 - 6, силовая ячейка №3 - 6 и силовая ячейка №4 - 7 включений/выключений. Следует также отметить, что, как правило, при формировании фаз импульса разной полярности работают разные коммутационные элементы.

На фиг.3 представлены временные диаграммы цифрового значения отклонения нормализованного значения сигнала с датчика тока от образцовой формы тока импульса, значений функций ячеек и состояний управления функциями ячеек. Продолжение нарастания отклонения после пересечения граничного значения обусловлено синхронизацией начала преобразования сигнала с датчика тока на входе ЦСП и задержкой изменения сигналов управления ячейками на время выполнения ЦСП последовательности действий управления. На временных диаграммах 24...26 видно, как увеличивается количество постоянно включенных ячеек при увеличении тока импульса, и уменьшается при уменьшении тока.

На фиг.4 представлены временные диаграммы тока импульса и напряжений на накопителях электрической энергии силовых ячеек. Начальное напряжение на накопителях электрической энергии одинаковое и составляет 900 В. После

формирования импульса напряжение на накопителе электрической энергии силовой ячейки №1 составляет 390 В, на накопителе электрической энергии силовой ячейки №2 - 400 В, на накопителе электрической энергии силовой ячейки №3 - 430 В, на накопителе электрической энергии силовой ячейки №4 - 440 В. Таким образом, в
 5 данном примере среднее конечное напряжение на накопителях электрической энергии силовых ячеек составляет 415 В, а разброс значений конечных напряжений составляет $\pm 6\%$.

Способ формирования биполярного и многофазного импульсов применен в
 10 дефибрилляторах, разрабатываемых в рамках опытно-конструкторской работы по теме «Разработка технологий генерации импульсов электрического тока, эффективно останавливающих фибрилляцию, и выпуск опытных образцов интеллектуальных наружных дефибрилляторов нового поколения для реаниматологии и систем жизнеобеспечения человека», выполняемой по заказу открытого акционерного
 15 общества «Зеленоградский инновационно-технологический центр». Способ формирования биполярного и многофазного импульсов испытан на нескольких макетах.

Источники информации.

- 20 1. Патент США 7,170,767, МПК: H02M 7/00, опубликован 30.01.2007.
2. Патент США 6,546,287, МПК: A61N 1/36, опубликован 08.04.2003 - прототип.

Формула изобретения

Способ формирования биполярного и многофазного импульсов, включающий
 25 управление несколькими последовательно соединенными однотипными силовыми ячейками, содержащими накопители электрической энергии, отличающийся тем, что в каждой из силовых ячеек управляется коммутация положительной и отрицательной полярности подключения накопителя энергии к выводам ячейки и коммутация
 30 накопителя электрической энергии к выводам ячейки, а сигнал обратной связи снимается с датчика тока, подключенного последовательно силовым ячейкам, и подается на аналоговый вход цифрового сигнального процессора, для управления используются четыре граничных значения, которые находятся в следующем соотношении: второе положительное граничное значение больше первого
 35 положительного граничного значения, которое больше нуля, второе отрицательное граничное значение меньше первого отрицательного граничного значения, которое меньше нуля, управление осуществляется путем циклического выполнения последовательности действий управления в цифровом сигнальном процессоре до
 40 завершения формирования импульса, причем исходное количество постоянно включенных силовых ячеек задается равным нулю, модулирующая ячейка отключена, положительная и отрицательная полярность в силовых ячейках отключена, а включение положительной полярности в силовых ячейках выполняется, когда текущее значение образцовой огибающей тока превысит первое положительное граничное
 45 значение, когда текущее значение образцовой огибающей тока становится ниже первого положительного граничного значения, положительная полярность в силовых ячейках отключается, при положительной полярности границей уменьшения количества постоянно включенных ячеек является второе положительное граничное значение, границей отключения модуляции является первое положительное граничное значение, границей включения модуляции является первое отрицательное граничное значение, границей увеличения количества постоянно включенных ячеек является второе отрицательное граничное значение, управление формированием импульса при

положительной полярности осуществляется преобразованием текущего значения напряжения на датчике тока в цифровое значение, нормализацией преобразованного значения напряжения на датчике тока, вычислением отклонения нормализованного значения напряжения на датчике тока от текущего значения образцовой формы тока импульса, отклонение сравнивается с четырьмя фиксированными значениями: границей уменьшения количества постоянно включенных ячеек, границей отключения модуляции, границей включения модуляции, границей увеличения количества постоянно включенных ячеек, при этом если отклонение находится между границами отключения и включения модуляции, то количество постоянно включенных ячеек остается неизменным, а состояние модулирующей ячейки не изменяется, если отклонение ниже границы включения модуляции, то модулирующая ячейка включается, а количество постоянно включенных ячеек остается неизменным, если отклонение ниже границы увеличения количества постоянно включенных силовых ячеек, то количество постоянно включенных ячеек увеличивается на одну или остается равным общему количеству силовых ячеек минус одну, а состояние модулирующей ячейки не изменяется, если отклонение выше границы выключения модуляции, а в предыдущем цикле цифрового сигнального процессора оно было ниже границы выключения модуляции, то модулирующая ячейка отключается, количество постоянно включенных ячеек остается неизменным, и изменяются функции, выполняемые ячейками, если отклонение выше границы уменьшения количества постоянно включенных силовых ячеек, количество постоянно включенных ячеек уменьшается на одну или остается равным нулю, а состояние модулирующей ячейки не изменяется, а также включение отрицательной полярности в силовых ячейках выполняется, когда текущее значение образцовой огибающей тока импульса станет ниже первого отрицательного граничного значения, когда текущее значение образцовой огибающей тока импульса превысит первое отрицательное граничное значение, отрицательная полярность в силовых ячейках отключается, при этом границей увеличения количества постоянно включенных ячеек является второе положительное граничное значение, границей включения модуляции - первое положительное граничное значение, границей отключения модуляции является первое отрицательное граничное значение, границей уменьшения количества постоянно включенных ячеек является второе отрицательное граничное значение, управление формированием импульса при отрицательной полярности осуществляется выполнением преобразования текущего значения напряжения на датчике тока в цифровое значение, нормализации преобразованного значения напряжения на датчике тока, вычислением отклонения нормализованного значения напряжения на датчике тока от текущего значения образцовой формы тока импульса, сравнением отклонения с четырьмя фиксированными значениями: границей увеличения количества постоянно включенных ячеек, границей включения модуляции, границей отключения модуляции, границей уменьшения количества постоянно включенных ячеек, причем если отклонение находится между границами включения и отключения модуляции, то количество включенных ячеек остается неизменным, а состояние модулирующей ячейки не изменяется, если отклонение выше границы включения модуляции, то модулирующая ячейка включается, а количество постоянно включенных ячеек остается неизменным, если отклонение выше границы увеличения количества постоянно включенных силовых ячеек, то количество постоянно включенных ячеек увеличивается на одну или остается равным общему количеству силовых ячеек минус одна, а состояние модулирующей ячейки не изменяется, если отклонение ниже

границы выключения модуляции, а в предыдущем цикле цифрового сигнального процессора оно было выше границы выключения модуляции, то модулирующая ячейка отключается, количество постоянно включенных ячеек остается неизменным, и изменяются функции, выполняемые ячейками, если отклонение ниже границы

5 уменьшения количества постоянно включенных силовых ячеек, количество постоянно включенных силовых ячеек уменьшается на одну или остается равным нулю, а состояние модулирующей ячейки не изменяется.

10

15

20

25

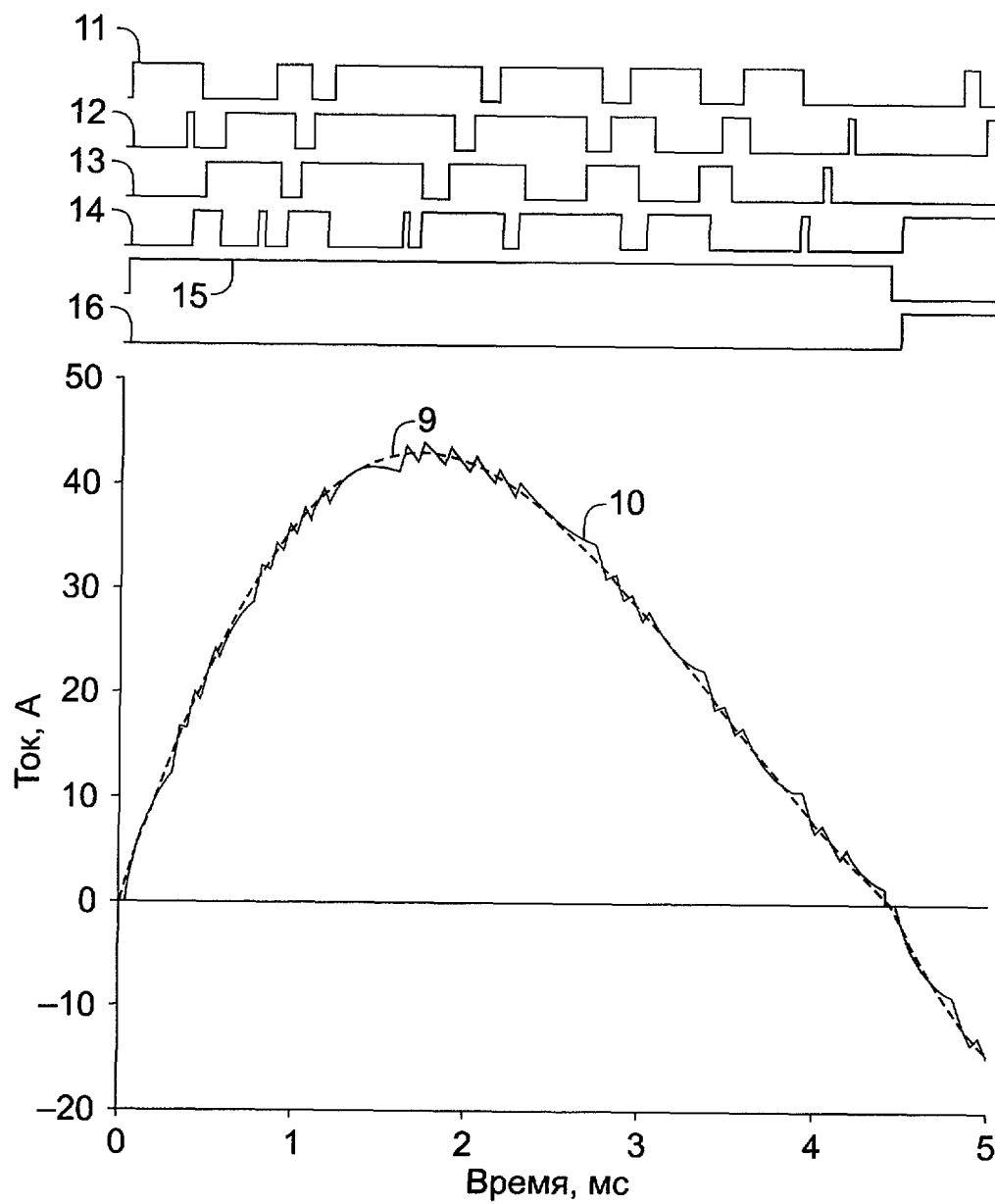
30

35

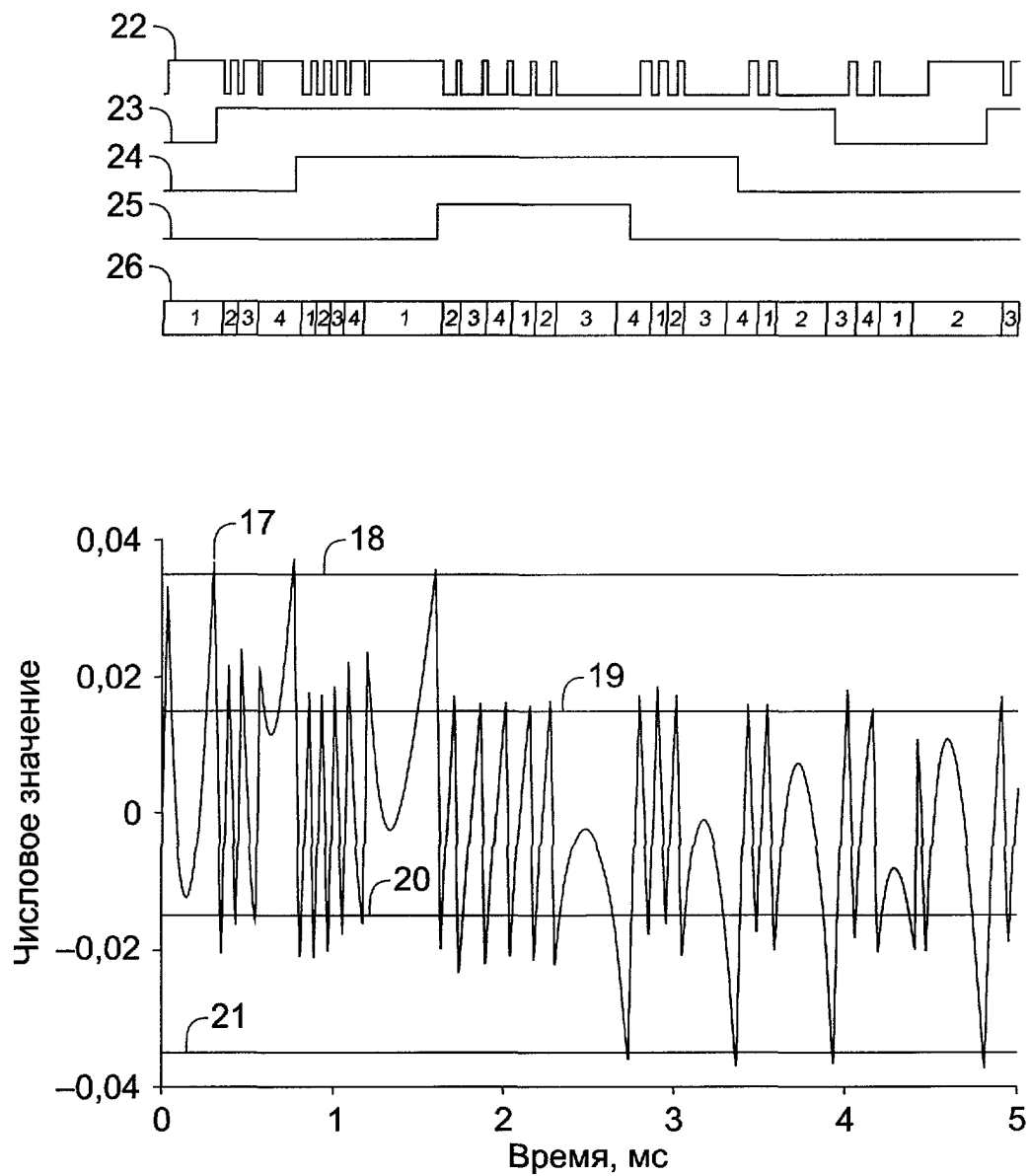
40

45

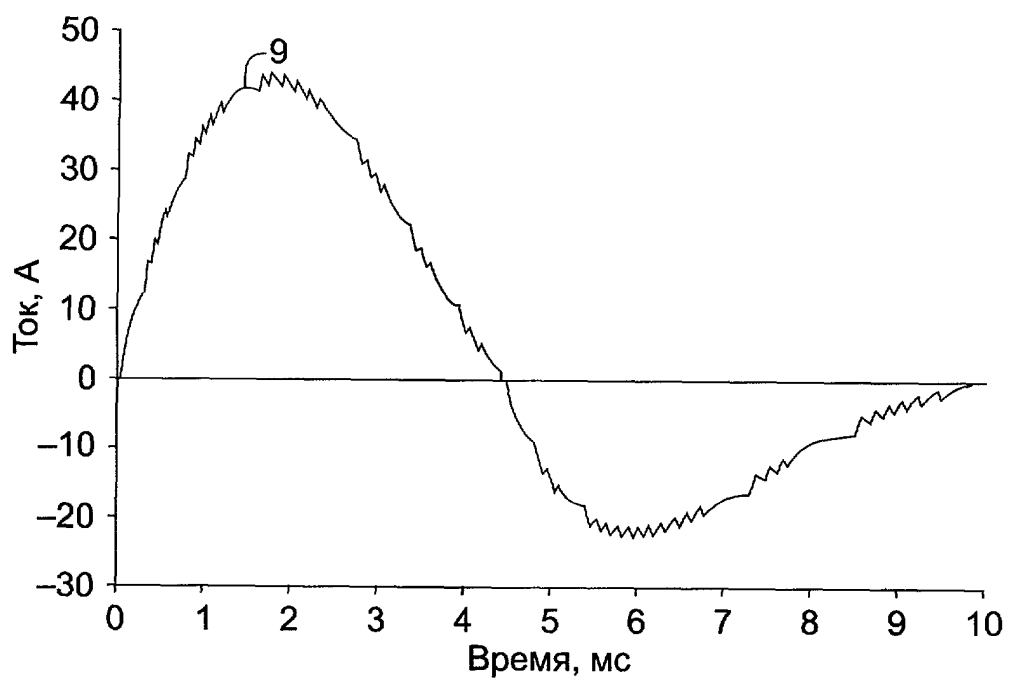
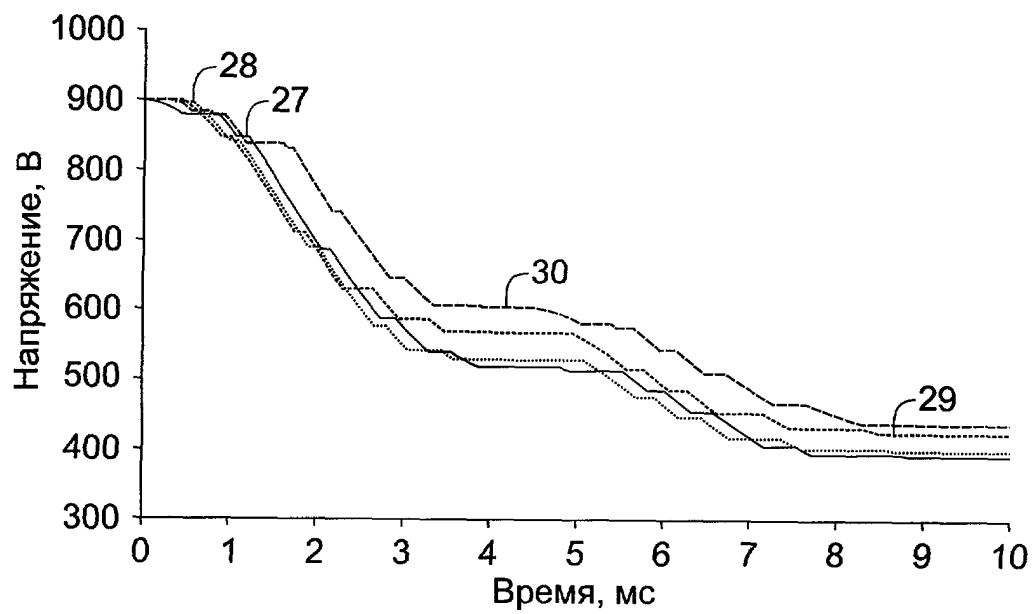
50



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4