



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H02J 7/36 (2018.08); H02J 7/34 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018109788, 19.03.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.03.2018

Дата регистрации:
27.03.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 19.03.2018

(45) Опубликовано: 27.03.2019 Бюл. № 9

Адрес для переписки:
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ТУСУР,
патентно-информационный отдел

(72) Автор(ы):
Шиняков Юрий Александрович (RU),
Осипов Александр Владимирович (RU),
Школьный Вадим Николаевич (RU),
Лопатин Александр Александрович (RU),
Черная Мария Михайловна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Томский государственный
университет систем управления и
радиоэлектроники" (ТУСУР) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 103427 U1, 10.04.2011. RU
2526324 C2, 20.08.2014. US 5304914 A,
19.04.1994.

(54) ВОЛЬТОДОБАВОЧНОЕ ЗАРЯДНО-РАЗРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

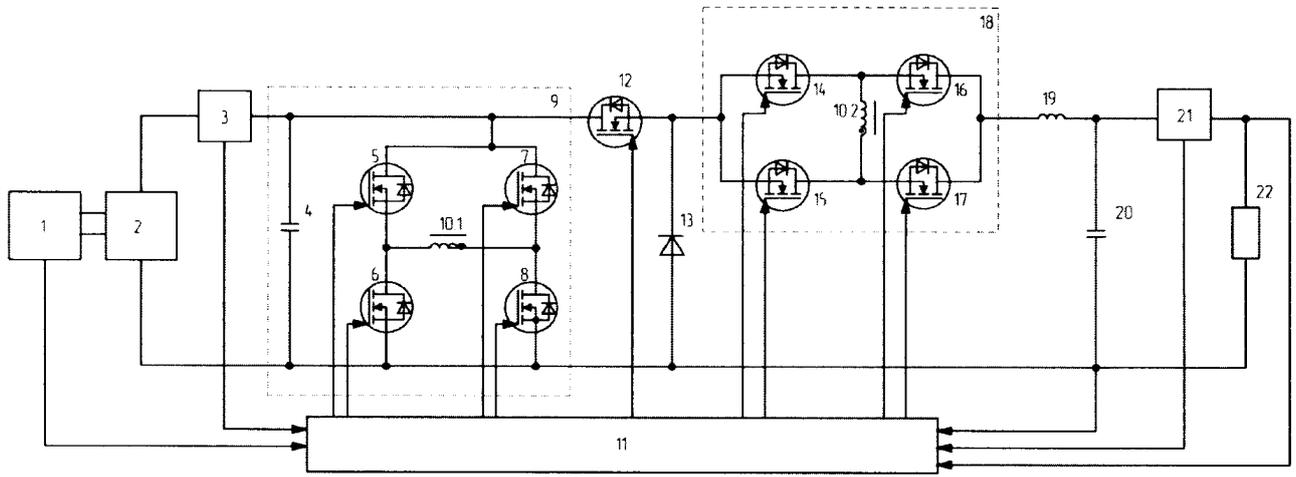
(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано при проектировании и создании энергопреобразующей аппаратуры для систем электропитания от аккумуляторной батареи, в том числе систем электропитания космических аппаратов. Техническим результатом изобретения является уменьшение статических потерь в транзисторах и мощности реактивных элементов преобразователя. Согласно изобретению вольтодобавочное зарядно-разрядное устройство аккумуляторной батареи содержит

аккумуляторную батарею, устройство контроля степени заряженности аккумуляторной батареи, датчик тока аккумуляторной батареи и датчик тока нагрузки, инвертор напряжения, выполненный по мостовой схеме с входным С-фильтром, трансформатор с первичной и вторичной обмотками, систему управления, дополнительный транзистор, дополнительный диод, активный выпрямитель, выполненный по мостовой схеме, выходной Г-образный LC-фильтр и нагрузку. 3 ил.

RU
2 6 8 3 2 7 2
С 1

С 1
2 6 8 3 2 7 2
RU



Вольтодобавочное зарядно-разрядное устройство АБ
Фиг. 2

RU 2683272 C1

RU 2683272 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H02J 7/36 (2006.01)
H02J 7/34 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H02J 7/36 (2018.08); H02J 7/34 (2018.08)

(21)(22) Application: **2018109788, 19.03.2018**

(24) Effective date for property rights:
19.03.2018

Registration date:
27.03.2019

Priority:

(22) Date of filing: **19.03.2018**

(45) Date of publication: **27.03.2019** Bull. № 9

Mail address:

**634050, g. Tomsk, pr. Lenina, 40, TUSUR,
patentno-informatsionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Shinyakov Yuriy Aleksandrovich (RU),
Osipov Aleksandr Vladimirovich (RU),
Shkolnyj Vadim Nikolaevich (RU),
Lopatin Aleksandr Aleksandrovich (RU),
Chernaya Mariya Mikhajlovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Tomskij gosudarstvennyj
universitet sistem upravleniya i radioelektroniki"
(TUSUR) (RU)**

(54) **STORAGE BATTERY VOLTAGE BOOSTING CHARGING AND DISCHARGE DEVICE**

(57) Abstract:

FIELD: electrical equipment.

SUBSTANCE: invention relates to the field of electrical equipment and can be used in the energy conversion equipment design and development for the rechargeable battery power supply systems, including the spacecrafts power supply systems. According to the invention, the storage battery booster charge-discharge device contains storage battery, storage battery charge level monitoring device, storage battery current sensor

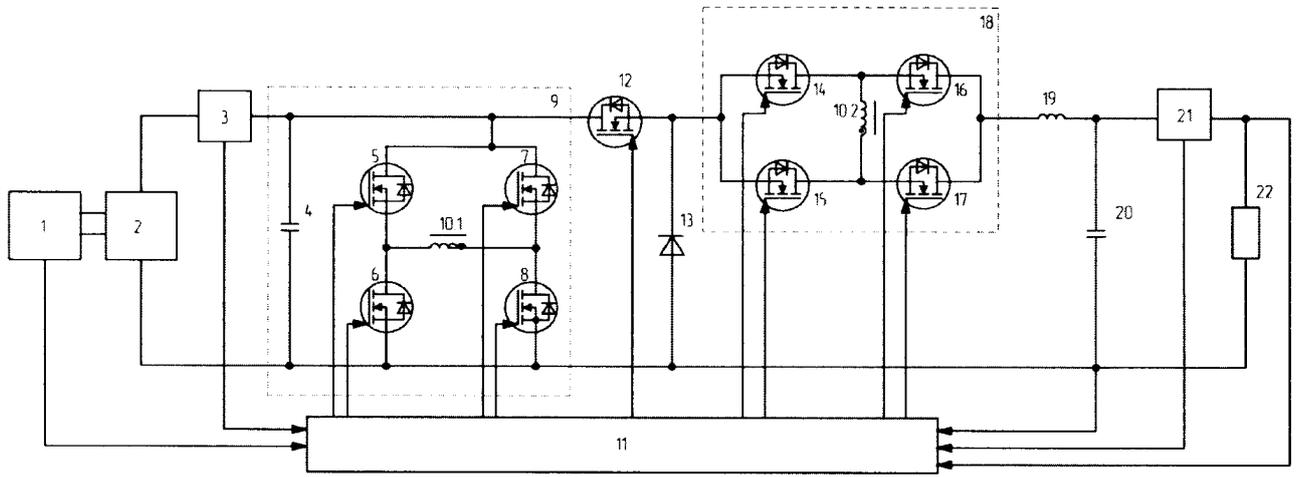
and the load current sensor, made in a bridge circuit with the input C-filter voltage inverter, transformer with primary and secondary windings, control system, additional transistor, additional diode, made according to bridge circuit active rectifier, output L-shaped LC-filter and load.

EFFECT: reduction of static losses in transistors and the converter reactive elements power.

1 cl, 3 dwg

RU 2 683 272 C1

RU 2 683 272 C1



Вольтодобавочное зарядно-разрядное устройство АБ

Фиг. 2

RU 2683272 C1

RU 2683272 C1

Изобретение относится к области электротехники, электроники и преобразовательной техники и может быть использовано при проектировании и создании энергопреобразующей аппаратуры для систем электропитания с аккумуляторной батареи, в том числе для систем электропитания космических аппаратов.

5 Техническим результатом изобретения является уменьшение статических потерь в транзисторах и мощности реактивных элементов преобразователя.

Перспективным направлением разработки и проектирования энергопреобразующей аппаратуры для систем электропитания (СЭП) с аккумуляторной батареей (АБ), в частности, СЭП автоматических космических аппаратов (КА), является их реализация
10 на основе инверторно-трансформаторных преобразователей энергии, что связано с улучшенной удельной мощностью таких устройств и систем по сравнению с СЭП на основе непосредственных преобразователей энергии, а так же с возможностью реализации единого зарядно-разрядного устройства АБ, обеспечивающего, как режим разряда АБ, так и режим заряда АБ за счет рекуперации энергии. Примеры реализации
15 таких устройств и систем описаны в [1-5].

Наиболее близкой по технической сущности к заявленному изобретению является схема последовательного зарядно-разрядного резонансного преобразователя энергии, описанная в [5] (фиг. 1), которая содержит аккумуляторную батарею (АБ), инвертор, выполненный по мостовой схеме на транзисторах VT1-VT4, с входным С-фильтром
20 (С1), последовательный резонансный LC-контур, состоящий из последовательно соединенных дросселя Lg и конденсатора Cg, трансформатор TV, активный выпрямитель, выполненный по мостовой схеме на транзисторах VT5-VT8, выходной С-фильтр (С2) и нагрузку (Н).

Аккумуляторная батарея через инвертор напряжения со входным С-фильтром (С1),
25 в выходной цепи которого установлен последовательный резонансный LC-контур, подключена к первичной обмотке трансформатора, вторичная обмотка которого соединена со входом активного выпрямителя, выход которого соединен с выходной шиной питания нагрузки, параллельно которой установлен выходной С-фильтр (С2).

Недостатком схемы преобразователя является то, что в резонансном режиме разряда
30 АБ обтекание обоих мостов общим током, пропорциональным нагрузке завывает статические потери транзисторов. При этом применение кремниевых радиационно-стойких транзисторов, имеющих большие значения паразитных емкостей, ограничивает рабочую частоту преобразователя, со снижением которой, эффективность от применения резонансной схемы уменьшается, а недостаток, связанный с увеличенными статическими
35 потерями становится более принципиальным.

Целью настоящего изобретения является минимизация статических потерь в режиме разряда АБ и уменьшение мощности реактивных элементов преобразователя, что достигается за счет применения вольтодобавочной схемы, преобразующей неполный поток энергии.

40 На фиг. 2 представлена функциональная схема заявляемого вольтодобавочного зарядно-разрядного преобразователя энергии АБ, которая содержит устройство контроля степени заряженности аккумуляторной батареи (УКЗБ) 1, аккумуляторную батарею 2, датчик тока АБ 3, инвертор напряжения (ИН) 9, выполненный по мостовой схеме на транзисторах 5-8 с входным С-фильтром 4, трансформатор с первичной 10.1
45 и вторичной 10.2 обмотками, систему управления (СУ) 11, транзистор 12, диод 13, активный выпрямитель (АВ) 18, выполненный по мостовой схеме на транзисторах 14-17, выходной Г-образный LC-фильтр, на основе дросселя 19 и выходного конденсатора 20, датчик тока нагрузки 21 и нагрузку 22.

Измерительные входы УКЗБ 1 соединены с измерительными выходами АБ 2. Информационный выход УКЗБ 1, выходы датчиков тока 3 и 21 и силовые шины нагрузки 22 соединены с измерительными входами СУ 11. Управление транзисторами ИН 9 и АВ 18 реализуется СУ 11 согласно режиму работы преобразователя по принятому закону управления. Плюсовая шина АБ 2 через датчик тока АБ 3 соединена с первым выводом входного С-фильтра 4, стоками транзисторов 5 и 7 ИН 9 и стоком транзистора 12. Минусовая шина АБ 2 соединена со вторым выводом входного С-фильтра 4, истоками транзисторов 6 и 8 ИН 9, анодом диода 13, вторым выводом выходного конденсатора 20 и вторым выводом нагрузки 22. Выход мостового ИН 9 подключен к первичной обмотке трансформатора 10.1, вторичная обмотка 10.2 которого соединена со входом мостового АВ 18. Исток транзистора 12 соединен с катодом диода 13 и истоками транзисторов 14 и 15 АВ 18. Стоки транзисторов 16 и 17 АВ 18 соединены с первым выводом выходного дросселя 19, второй вывод которого соединен с первым выводом конденсатора 20 и подключен к первому выводу нагрузки 22 через датчик тока нагрузки 21.

Преобразователь работает в следующих режимах.

1. Режим разряда АБ.

Регулирование напряжения вольтодобавочного зарядно-разрядного преобразователя энергии АБ основано на фазовом сдвиге управляющих импульсов транзисторов 7, 8 регулируемой стойки ИН 9 относительно транзисторов 5, 6 нерегулируемой стойки ИН 9. Управляющие импульсы транзисторов АВ 18 формируются сложением управляющих импульсов транзисторов диагоналей ИН 9. Например, управляющие импульсы транзисторов 14, 17 АВ 19 формируются путем сложения управляющих импульсов транзисторов 5, 8 ИН 9, что приводит к появлению интервала вольтодобавки и интервала непосредственного соединения АБ с выходным LC-фильтром.

Интервал вольтодобавки, образованный отпиранием транзисторов одной из диагоналей ИН 9 и соответствующей диагонали АВ 18 характеризуется подачей на вход Г-образного LC-фильтра напряжения. Интервал непосредственного соединения АБ с выходным LC-фильтром, формируется отпиранием смежных транзисторов ИН 9 (Например, транзисторов 6, 8 ИН 9) и всех транзисторов АВ 18, закорачивающих обмотки трансформатора. При этом напряжение АВ 18 равно нулю и на вход Г-образного LC-фильтра подается напряжение $U_{АБ}$. При этом на интервале непосредственного соединения АБ с выходным LC-фильтром статические потери пропорциональны сопротивлению открытого канала одного транзистора, что является минимально возможным. Поэтому общие статические потери зависят от напряжения АБ, увеличиваясь по мере глубины регулирования. При этом реализация выпрямителя на активных ключах позволяет сохранить непрерывность тока дросселя.

На интервале вольтодобавки, открыты транзисторы 5, 8 ИН 9 и транзисторы 15, 16 АВ 18, что обеспечивает вольтодобавку ко входному напряжению и увеличение тока выходного дросселя 19. В некоторый момент времени выключается транзистор 5, что приводит к окончанию интервала вольтодобавки. На интервале паузы, за счет наличия паразитной индуктивности рассеяния, ток трансформатора продолжает протекать в прежнем направлении и перезаряжает паразитные емкости транзисторов 5, 6 таким образом, что емкость транзистора 6 разряжается, а емкость транзистора 5 заряжается до напряжения АБ ($U_{АБ}$). Затем отпирает обратный диод транзистора 6 и закорачивает первичную обмотку трансформатора 10.1. Одновременно с разрядом паразитной емкости транзистора 6 происходит процесс разряда паразитных емкостей транзисторов 14, 17 АВ 18. После процесса разряда следует открытие обратных диодов транзисторов.

По истечении межкоммутационной паузы, происходит включение транзистора 6 ИН 9 и транзисторов 14, 17 АВ 18. Включение этих транзисторов будет мягким за счет предварительно разряженной паразитной емкости сток-исток. Преобразователь переходит в режим закоротки, в котором к выходному дросселю 19 прикладывается обратное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}-U_{\text{АБ}}$, что обеспечивает уменьшение его тока.

Выключается транзистор 8 ИН 9, а также транзисторы 15, 16 АВ 18. Ток, протекающий по транзисторам 15, 16, шунтируется их обратными диодами. На интервале паузы к дросселю 19 по-прежнему приложено обратное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}-U_{\text{АБ}}$. Ток дросселя 19 продолжает уменьшаться до начала следующего интервала вольтодобавки. Первичная обмотка трансформатора 10.1 также закорочена. Таким образом, на интервалах паузы так же, как и на интервале закоротки происходит непосредственное соединение АБ 2 с выходным Г-образным LC-фильтром.

По истечении межкоммутационной паузы, происходит включение транзистора 7 регулируемой стойки ИН 9, которое произойдет жестко. Включение приводит к появлению нарастающего тока в трансформаторе, уменьшению тока в обратных диодах АВ 18 и переходу к интервалу вольтодобавки. Начиная с интервала вольтодобавки, процессы в вольтодобавочном зарядно-разрядном преобразователе энергии АБ повторяются и будут идентичны вышеописанным, как в транзисторах ИН 9, так и АВ 18.

Таким образом, в преобразователе в режиме разряда АБ 2, включение транзисторов 7 и 8 регулируемой стойки происходит «жестко», а включение остальных транзисторов преобразователя сопровождается предварительным разрядом паразитных емкостей и происходит «мягко». В ИН 9 это достигается за счет инерционности тока индуктивности рассеяния трансформатора, а в АВ 18 за счет непрерывности тока выходного дросселя 19.

2. Режим заряда АБ.

В режиме заряда АБ выходная шина питания нагрузки является источником энергии, АБ является нагрузкой, и ток выходного дросселя 19 меняет направление. АВ 18 работает аналогично инвертору тока, а ИН 9 работает, как выпрямитель. АВ 18 осуществляет преобразование тока дросселя 19 в ток формы близкой к прямоугольной с широтно-импульсным (ШИМ) регулированием.

При этом интервал непосредственного соединения АБ 2 с выходным LC-фильтром образуется фазовым сдвигом управляющих импульсов транзисторов регулируемой стойки 7, 8 относительно нерегулируемой 5, 6 ИН 9, а управляющие импульсы транзисторов АВ 18 формируются сложением управляющих импульсов диагоналей ИН 9. Это приводит к появлению двух интервалов - интервала токовой добавки, при котором ток АБ 2 является суммой тока дросселя 19 и тока ИН 9, и интервала закорачивания инвертора тока, в этом случае ток АБ 2 равен току дросселя 19.

На интервале закорачивания инвертора тока открыты смежные нижние транзисторы 6, 8 ИН 9 и все транзисторы АВ 18. К дросселю 19 прикладывается обратное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}-U_{\text{АБ}}$, что обеспечивает рост зарядного тока. Первичная обмотка трансформатора 10.1 при этом закорочена открытыми транзисторами ИН 9 и не участвует в обмене энергией между АБ 2 и выходной шиной. На данном интервале ток дросселя 19 является зарядным током АБ 2.

В некоторый момент времени, выключаются транзистор 8 ИН 9 и транзисторы 15, 17 АВ 18. Это приводит к коммутационным перегрузкам из-за последовательного включения дросселя 19 и индуктивности рассеяния трансформатора, имеющих разные

значения токов. Следовательно, в момент коммутации на закрывшихся транзисторах 15, 17 возникает перенапряжение, поэтому в такой схеме рекомендовано уменьшение индуктивности рассеяния трансформатора или применение демпфирующих цепей.

На интервале паузы, ток дросселя 19 начинает протекать через трансформатор, разряжая емкость сток-исток и отпирая обратный диод транзистора 7, что обеспечивает его последующее мягкое включение.

С данного момента времени трансформатор начинает передавать ток в АБ 2, который складывается с током дросселя 19, к дросселю 19 прикладывается разность напряжений $2 \cdot U_{АБ} - U_{ВЫХ}$, которая обеспечивает уменьшение его тока. Мягко включается транзистор 7 шунтирующий уже открытый диод. Далее транзистор 6 мягко выключается, так как его ток шунтируется обратным диодом и продолжает протекать в прежнем направлении на интервале паузы.

Происходит жесткое включение транзисторов 15, 16 АВ 18 и 5 ИН 9, через который закорачивается первичная обмотка трансформатора 10.1. К дросселю 19 вновь прикладывается обратное напряжение $U_{ВЫХ} - U_{АБ}$, обеспечивая рост зарядного тока. Далее процессы повторятся в другой полярности. Таким образом, коммутация транзисторов АВ 18 жесткая, а в ИН 9, жестко коммутируются только транзисторы нерегулируемой стойки. 3. Режим токоограничения АБ.

Переход в режим токоограничения в вольтодобавочном зарядно-разрядном преобразователе энергии АБ происходит при превышении порогового значения тока нагрузки, согласно диаграммам (фиг. 3). По достижению определенного порога, транзистор 12 закрывается на фиксированный промежуток времени $t_{ОГР}$, позволяющий току уменьшиться до безопасных значений, после чего вновь открывается. Таким образом в режиме токоограничения, транзистор 12 имеет ограничение по верхнему пределу частоты работы, заданной временем $t_{ОГР}$, однако фиксированная частота работы в режиме отсутствует, т.к. последняя зависит от быстроты достижения тока дросселя 19 порогового значения. Такой принцип работы транзистора 12 гарантированно обеспечивает ограничение тока нагрузки, и, как следствие, тока разряда АБ 2 при любой скорости роста тока дросселя 19 в отличие от фиксированного ШИМ-регулирования.

В режиме токоограничения, частота работы вольтодобавочного зарядно-разрядного преобразователя энергии АБ определяется нагрузкой 22 и индуктивностью выходного дросселя 19. Например, при коротком замыкании выхода преобразователя, происходит разряд выходного конденсатора 20 и к дросселю 19 прикладывается напряжение АБ 2, обеспечивающее скорость роста тока, пропорционально индуктивности. Таким образом, уменьшение индуктивности выходного дросселя 19 приведет к необходимости уменьшения интервала времени $t_{ОГР}$. Уменьшение $t_{ОГР}$ в свою очередь приведет к увеличению динамических потерь транзистора 12 и соответственно к перегреву.

Таким образом, в заявляемом изобретении вольтодобавочное зарядно-разрядное устройство АБ характеризуется уменьшенными статическими потерями, что позволяет существенно повысить КПД преобразования и открывает широкие возможности практического применения исследуемой схемы. Малые статические потери делают схему наиболее эффективной в области низких частот, традиционных, например, для космической аппаратуры, реализуемой на кремниевых транзисторах с большими затворными емкостями. К тому же применение вольтодобавочной схемы уменьшает мощность реактивных элементов, так как преобразуется часть потока энергии. Однако это достигается путем увеличения количества транзисторов и усложнения СУ, поэтому

такая топология преобразователя эффективна на больших мощностях, при массе реактивных элементов превышающей массу транзисторов и драйверов.

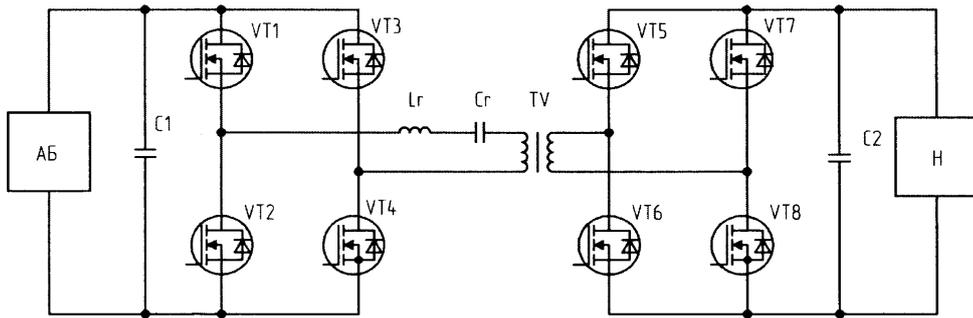
Источники информации

1. Розанов Ю.К. Полупроводниковые преобразователи со звеном повышенной частоты. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 184 с.
2. Yaqoob M. Extension of soft-switching region of dual-active-bridge converter by a tunable resonant tank / M. Yaqoob, K.H. Loo, Y.M. Lai // IEEE Transactions on Power Electronics. - 2017. - Т. 32 (12). - С. 2299-2306.
3. Пат. CN 106685232, H02M 3/335. Modulation method with high efficiency in dual-active full-bridge converter full power range / Li Guojie, Tong Anping, Jiang Xiuchen. Заявка №CN 201710027904 от 16.01.2017. Опубл. 17.05.2017.
4. Inoue S. A bidirectional DC-DC converter for an energy storage system with galvanic isolation / S. Inoue, H. Akagi // IEEE Transactions on Power Electronics. - 2007. - Т. 22 (6). - №7820224. - С. 9093-9104.
5. Осипов А.В. Последовательный резонансный преобразователь для систем электропитания от аккумуляторов / А.В. Осипов, В.Н. Школьный, Ю.А. Шиняков, Е.В. Ярославцев, И.С. Шемолин // Доклады ТУСУРа. - 2017. - Т. 20. - №2. - с. 103-110.

(57) Формула изобретения

Вольтодобавочный зарядно-разрядный преобразователь энергии АБ, состоящий из аккумуляторной батареи, плюсовая и минусовая шины которой соединены с входом мостового инвертора напряжения с параллельно подключенным входным С-фильтром, выход инвертора напряжения соединен с первичной обмоткой трансформатора, вторичная обмотка которого соединена со входом активного выпрямителя, и нагрузки с параллельно подключенным выходным С-фильтром, отличающийся тем, что измерительные входы устройства контроля степени заряженности аккумуляторной батареи соединены с измерительными выходами АБ, информационный выход устройства контроля степени заряженности аккумуляторной, выходы датчиков тока аккумуляторной батареи и нагрузки и силовые шины нагрузки соединены с измерительными входами системы управления, выходы которой соединены с управляющими входами транзисторов инвертора напряжения, активного выпрямителя и дополнительного транзистора, плюсовая шина аккумуляторной батареи через датчик тока аккумуляторной батареи во входной цепи соединена со стоком дополнительного транзистора, минусовая шина аккумуляторной батареи соединена с анодом дополнительного диода, вторым выводом выходного С-фильтра и вторым выводом нагрузки, исток дополнительного транзистора соединен с катодом дополнительного диода и истоками первой пары смежных транзисторов активного выпрямителя, стоки второй пары смежных транзисторов активного выпрямителя соединены с первым выводом выходного дросселя, второй вывод которого соединен с первым выводом выходного С-фильтра и подключен к первому выводу нагрузки через датчик тока нагрузки.

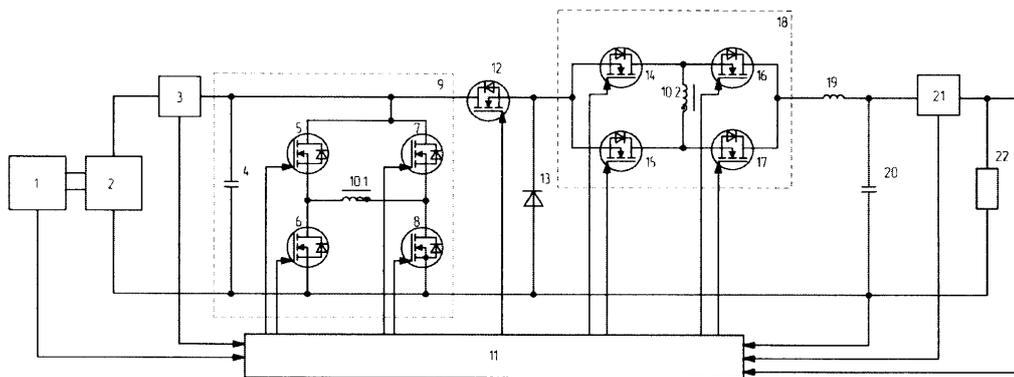
Вольтодобавочное зарядно-разрядное устройство аккумуляторной батареи



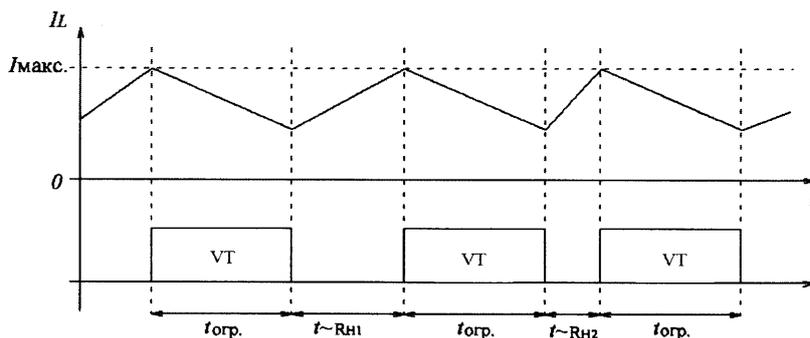
Фиг. 1 Последовательный зарядно-разрядный резонансный преобразователь энергии

Авторы:
 Шиняков Ю.А.,
 Осипов А.В.,
 Школьный В.Н.,
 Лопатин А.А.,
 Черная М.М.

Вольтодобавочное зарядно-разрядное устройство аккумуляторной батареи



Фиг. 2. Вольтодобавочное зарядно-разрядное устройство АБ



Фиг. 3. Токоограничение фиксированным временем включения дополнительного транзистора 12 при различных сопротивлениях нагрузки $R_{H1} < R_{H2}$.

Авторы:

Шиняков Ю.А.,

Осипов А.В.,

Школьный В.Н.,

Лопатин А.А.,

Черная М.М.