

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035594**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.07.14

(51) Int. Cl. **H02M 3/335 (2006.01)**
H02M 1/34 (2007.01)

(21) Номер заявки
201800349

(22) Дата подачи заявки
2018.06.01

(54) **УСТРОЙСТВО ИМПУЛЬСНОГО ТРАНЗИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ И СПОСОБ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ РАССЕЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА**

(43) **2019.12.30**

(56) US-A-6115271
US-B2-8482941
RU-C1-2168838
RU-C1-2617716
US-A1-20110063876

(96) **KZ2018/033 (KZ) 2018.06.01**
(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АО "КАЗАХСТАНСКО-
БРИТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ" (KZ)**

(72) Изобретатель:
**Джунусбеков Ерлан Жандарбекович,
Оразбаев Саги Амзеевич (KZ)**

(57) Изобретение относится к электротехнике, в частности к силовой импульсной преобразовательной технике, и касается способа и устройства ограничения напряжения без потерь на транзисторном импульсном ключе, нагруженном на нагрузку с паразитной индуктивностью. Устройство импульсного транзисторного преобразователя, включающее последовательно включенные нагрузку, импульсный ключ и входной терминал; первую электрическую цепь, включающую первый и второй конденсаторы; первый диод, подключенный последовательно к первой цепи; дроссель, подключенный к точке соединения первого диода к первой цепи, причем последовательные первый диод и первая цепь подключены параллельно к нагрузке так, что первая цепь подключена к точке соединения нагрузки к импульсному ключу, а дроссель и первый диод подключены параллельно к входному терминалу так, что первый диод выпрямляет ток в сторону положительного электрода входного терминала, отличающееся тем, что первая цепь дополнительно включает последовательно включенные второй, третий и четвертый диоды, такие, что выпрямляют ток в направлении, противоположном первому диоду; первый конденсатор включен параллельно со вторым и третьим диодами, второй конденсатор включен параллельно с третьим и четвертым диодами. Способ рекуперации энергии рассеяния трансформатора обратноходового преобразователя с использованием заявленного устройства и источника питания, в котором конденсаторы первой цепи при разряде включаются параллельно, а при заряде включаются последовательно, удваивая обратное напряжение для перемагничивания трансформатора. Техническим результатом является расширение диапазона скважности импульсного ключа, при котором заявленное устройство имеет возможность работать в режиме непрерывного тока рекуперировующего дросселя, и, как следствие, повышение эффективности рекуперации энергии магнитного поля рассеяния высокочастотного трансформатора.

B1

035594

035594

B1

Изобретение относится к электротехнике, в частности к силовой импульсной преобразовательной технике, и касается способа и устройства ограничения напряжения без потерь на транзисторном импульсном ключе, нагруженном на индуктивную нагрузку либо нагрузку с паразитной индуктивностью. Изобретение может быть использовано для проектирования высокоэффективных по мощности импульсных источников питания, светодиодных драйверов, микроинверторов фотоэлектрических панелей, корректоров коэффициента мощности и т.д. на основе топологии обратногоходового преобразователя.

Топология обратногоходового преобразователя является привлекательной для широкого применения, поскольку обладает такими достоинствами, как простота, недорогая реализация и высокая надежность, что особенно важно для преобразователей, подключаемых к общей сети распределения электроэнергии. Топология имеет ряд присущих ей недостатков, среди которых неидеальное сцепление магнитных потоков обмоток трансформатора. Хотя материалы магнитных сердечников непрерывно улучшаются, технология изготовления трансформатора остается без изменений, потому основным недостатком, связанным с конструкцией - индуктивность рассеяния - пока существенно не устраняется. Индуктивность рассеяния сказывается на высоковольтных выбросах напряжения силовых транзисторов при выключении и на потерях, связанных с энергией рассеяния магнитного поля. Предпринимается множество попыток схемотехнически как можно дешевле и эффективнее решить вопрос подавления и ограничения скачков напряжения.

В научной литературе широко известен простой способ ограничения напряжения с помощью так называемого RCD снаббера (RCD snubber), состоящего из последовательно соединенных емкости и диода, включенных параллельно обмотке трансформатора, и резистора, включенного параллельно емкости. При выключении основного транзистора ток перенаправляется через диод схемы ограничителя напряжения (снаббера) на емкость снаббера, таким образом напряжение на транзисторе ограничивается напряжением на емкости, поглощающей избыточный ток. Накапливаемая при каждой коммутации энергия в емкости снаббера непрерывно и безвозвратно разряжается через резистор снаббера. Недостатком подобной практики являются существенные потери энергии рассеяния. Существуют решения, позволяющие ограничить напряжение на основном ключе и при этом рекуперировать часть или всю, в теории, энергию, связанную с рассеянием магнитного поля.

Наиболее близким аналогом заявляемого изобретения является устройство "Не диссипативный LC ограничитель напряжения" (H02H 7/122), заявленное в патенте США № 4489373 от 18 декабря 1984 г. Упомянутый патент описывает устройство снаббера (ограничителя напряжения) без потерь для использования в импульсных преобразователях, включающее источник постоянного напряжения; по крайней мере один управляемый ключ, напряжение на котором необходимо ограничить; основную индуктивность, соединенную с упомянутым ключом; нагрузку и обратный шунтирующий диод, отличающееся тем, что включает улучшения: емкость, первый диод и вспомогательную индуктивность, включенные последовательно в цепь, и так, что полученная цепь включена параллельно основному ключу, причем первый вывод емкости подключен к соединению упомянутого ключа с упомянутой основной индуктивностью; второй диод подключен между вторым выводом упомянутой емкости и положительным потенциалом упомянутого источника постоянного напряжения, причем упомянутые первый и второй диоды ориентированы полярностью так, что блокируют ток упомянутого постоянного источника, приложенного к цепи, образуемой упомянутыми диодами и индуктивностью. Как заявлено в патенте, нагрузкой может быть трансформатор, в частности трансформатор обратногоходового преобразователя (flyback), подключенный последовательно с упомянутым ключом, тогда упомянутой основной индуктивностью будет индуктивность рассеяния трансформатора. В установившемся режиме с трансформатором flyback известная схема работает следующим образом.

1. При выключении управляемого ключа индуктивность рассеяния трансформатора (основная индуктивность) будет поддерживать ток в первичной обмотке, заряжая емкость снаббера через второй диод. Одновременно под обратным напряжением на обмотке, то есть под напряжением заряжаемой емкости, ток в первичной обмотке будет разворачиваться, ток вторичной обмотки будет нарастать. Когда ток первичной обмотки трансформатора спал до нуля, второй диод закрылся и теперь емкость разряжается током вспомогательной индуктивности. Ток вспомогательной индуктивности разряжает саму вспомогательную индуктивность, без потерь разряжает емкость снаббера, протекает по первичной обмотке трансформатора, передавая без потерь энергию на вторичную сторону.

2. При замыкании (открытии) управляемого ключа, емкость снаббера оказывается параллельно подключенной к вспомогательной индуктивности и разряжается без потерь на вспомогательную индуктивность через первый диод.

В теории, известное устройство не имеет потерь мощности, в реальности имеются существенные потери, связанные с высокими действующими значениями токов в вспомогательной индуктивности, емкости снаббера, переключениях первого и второго диодов, перемагничивании вспомогательной индуктивности. Для увеличения КПД снаббера было бы желательно снизить действующие значения токов, что было бы достигнуто, если вспомогательная индуктивность работала в режиме непрерывных токов. Недостатком известного устройства является то, что устройство не всегда может работать в режиме непрерывных токов вспомогательного дросселя. Например, если время открытого состояния управляемого

ключа больше времени закрытого его состояния, тогда емкость снаббера будет больше разряжаться вспомогательным дросселем до значения напряжения, недостаточного для запирающего тока первичной обмотки, что может привести к выходу из строя всего электронного преобразователя. Таким образом, на практике известный снаббер не работает в режиме непрерывных токов. Индуктивность в известном устройстве подбирают достаточно маленького значения, чтобы гарантировать режим прерывных токов, что приводит к большим значениям действующих токов во всех компонентах снаббера, и как следствие, к ограниченной эффективности по рекуперации энергии. Кроме того, последовательно с индуктивностью включают диод, являющийся причиной дополнительных потерь, для предотвращения обратного тока, и снижения реактивной составляющей.

Наиболее близким аналогом заявляемого изобретения является устройство "Обратно-прямоходовой преобразователь с недиссипативным ограничителем напряжения" (H02M 3/335, H02M 3/156), заявленное в патенте США № 9362831B2 от 7 июня 2016 г. Известное устройство характеризуется наличием цепей ограничения напряжения без потерь аналогично описанному выше известному устройству, за исключением того, что применяются для двух трансформаторной схемы преобразователя, причем один трансформатор обратноходовой другой прямоходовой, fly-forward схема. Недостатком известного устройства, как и в вышеописанном известном устройстве, является то, что устройство не всегда может работать в режиме непрерывных токов вспомогательного дросселя.

Наиболее близким аналогом заявляемого изобретения являются устройства "Устройство ограничения напряжения и способ для преобразователя постоянного напряжения" (H02M), заявленное в заявке WO № 02/41479A2 на патент ВОИС от 23 мая 2002 г., и "Устройство рекуперации энергии индуктивности рассеяния и способ для обратноходового преобразователя" (H02M 3/335), заявленное в патенте США № 6473318B1 от 29 октября 2002 г. Оба устройства применяют эквивалентные схемы ограничения напряжения на основном ключе и рекуперации энергии индуктивной нагрузки, в частности энергии индуктивности рассеяния высокочастотных трансформаторов. Известные устройства отличаются от рассмотренных выше тем, что вместо вспомогательной индуктивности в снаббере используется дополнительная обмотка трансформатора нагрузки, или, другими словами, вспомогательная индуктивность интегрирована с трансформатором нагрузки. Это дает то преимущество, что при замыкании основного управляемого ключа емкость снаббера разряжается на вспомогательную обмотку трансформатора, тем самым энергия обратно передается в накопление магнитной энергии трансформатора для последующей передачи на вторичную сторону в следующем такте работы ключа, когда основной ключ закрыт. Однако применяемая схема рекуперации энергии имеет схожую топологию в сравнении с предыдущими, аналогичную логику работы, и страдает тем же недостатком, что не может быть использован в режиме непрерывных токов для снижения потерь при скважности основного ключа более 0.5.

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое изобретение, является обеспечение режима работы непрерывного тока для индуктивно-емкостной схемы ограничения напряжения в широком диапазоне скважности основного ключа. Задача достигается введением схемы рекуперации с удвоением обратного напряжения, значение которого было бы достаточно для размагничивания индуктивности нагрузки при скважности основного импульсного ключа более 0.5, а ток дросселя схемы рекуперации при этом мог бы быть непрерывным.

Техническим результатом станет повышение эффективности рекуперации энергии магнитного поля рассеяния высокочастотного трансформатора.

Техническое решение задачи предлагается за счет использования способа рекуперации энергии рассеяния трансформатора в импульсном преобразователе, включающем, по крайней мере, последовательно включенные однополярный источник электрического питания, нагрузку и импульсный ключ, использующего

по крайней мере одну первую электрическую цепь, включающую по крайней мере один первый конденсатор и один второй конденсатор, по крайней мере по одному второму, третьему и четвертому диоду, такие, что второй, третий и четвертый диоды электрически последовательно подключены, а первый конденсатор включен параллельно со вторым и третьим диодами, второй конденсатор включен параллельно с третьим и четвертым диодами;

по крайней мере один первый диод, электрически подключенный последовательно к первой цепи;

по крайней мере одну вторую электрическую цепь, включающую по крайней мере один дроссель, и вторая цепь электрически подключена к электроду последовательного соединения первого диода к первой цепи,

причем последовательно включенные первый диод и первая цепь электрически подключены параллельно к упомянутой нагрузке так, что первая цепь подключена к электроду последовательного соединения упомянутой нагрузки к упомянутому импульсному ключу, а вторая цепь и первый диод электрически подключены параллельно к упомянутому источнику питания таким образом, что первый диод ориентирован в направлении выпрямления тока в сторону положительного электрода источника питания, а второй, третий и четвертый диоды первой цепи имеют одну ориентацию для выпрямления тока в направлении, противоположном направлению первого диода, последовательно включенного с первой цепью,

в котором на первом цикле открытого импульсного ключа первый и второй конденсаторы первой цепи включаются параллельно и разряжаются на упомянутый дроссель второй цепи соответственно через второй и четвертый диоды первой цепи;

на втором цикле закрытого импульсного ключа сначала ток нагрузки перенаправляется через первый диод в первую цепь, запасая энергией упомянутые конденсаторы, пока энергия индуктивности нагрузки разряжается, при этом ток упомянутого дросселя частично либо полностью рекуперирован в упомянутый источник питания в течение времени, пока, хотя бы, энергия индуктивности нагрузки не иссякла,

отличающегося тем, что на втором цикле, пока энергия индуктивности нагрузки разряжается в первую цепь, первый и второй конденсаторы оказываются последовательно включены через третий диод первой цепи, тем самым увеличивается эффективное обратное напряжение, приложенное к нагрузке, что позволяет при значениях скважности импульсного ключа более 50% не нарушить работу преобразователя и в тоже время обеспечить режим непрерывного тока для упомянутого дросселя второй цепи.

Техническое решение задачи предлагается также за счет использования устройства импульсного транзисторного преобразователя, включающего

по крайней мере одну нагрузку, по крайней мере один контролируемый импульсный ключ и по крайней мере один входной терминал для подключения к источнику однополярного электрического питания, такие, что упомянутые нагрузка, импульсный ключ и входной терминал электрически подключены последовательно;

по крайней мере одну первую электрическую цепь, включающую по крайней мере один первый конденсатор и один второй конденсатор;

по крайней мере один первый диод, электрически подключенный последовательно к первой цепи;

по крайней мере одну вторую электрическую цепь, включающую по крайней мере один дроссель, и вторая цепь электрически подключена к электроду последовательного соединения первого диода к первой цепи,

причем последовательно включенные первый диод и первая цепь электрически подключены параллельно к упомянутой нагрузке так, что первая цепь подключена к электроду последовательного соединения упомянутой нагрузки к упомянутому импульсному ключу, а вторая цепь и первый диод электрически подключены параллельно к упомянутому входному терминалу так, что первый диод ориентирован в направлении выпрямления тока в сторону положительного электрода упомянутого входного терминала,

отличающегося тем, что первая электрическая цепь дополнительно включает по крайней мере по одному второму, третьему и четвертому диоду, такие, что второй, третий и четвертый диоды электрически последовательно подключены и имеют одну ориентацию для выпрямления тока в направлении, противоположном направлению первого диода, последовательно включенного с первой цепью; первый конденсатор первой цепи включен параллельно со вторым и третьим диодами, второй конденсатор первой цепи включен параллельно с третьим и четвертым диодами.

Принципиальные блок-схемы реализаций заявленного технического решения показаны на фиг. 1 и 2.

Фиг. 3-6 приведены для пояснения работы заявленного устройства с реализацией по фиг. 1 и показывают эквивалентные схемы на циклах работы устройства в течение периода переключения основного импульсного ключа. Фиг. 3 - эквивалентная схема первого цикла работы устройства. Фиг. 4 - эквивалентная схема второго цикла работы устройства, когда действует паразитная индуктивность. Фиг. 5 - эквивалентная схема второго цикла работы устройства, когда энергия паразитной индуктивности иссякла, а скважность импульсного ключа менее 0.5. Фиг. 6 - эквивалентная схема второго цикла работы устройства, когда энергия паразитной индуктивности иссякла, а скважность импульсного ключа более 0.5.

На фиг. 7 показана блок-схема заявленного устройства в применении к обратноточному преобразователю.

На фиг. 8 показана блок-схема заявленного устройства в применении к прямоходовому преобразователю.

На фиг. 9 показана блок-схема заявленного устройства в применении к обратноточному преобразователю с вспомогательным дросселем, интегрированным с трансформатором.

На фиг. 1 наглядно поясняется что, заявленное устройство рекуперации энергии рассеяния трансформатора импульсного преобразователя собственно состоит из первой электрической цепи, включающей последовательно соединенные второй диод 101, третий диод 102 и четвертый диод 103, первый конденсатор 104, включенный параллельно диодам 101 и 102, второй конденсатор 105, включенный параллельно диодам 102 и 103; из второй электрической цепи, включающей дроссель 106; из первого диода 107. Причем первый диод 107 и первая цепь соединены последовательно и вместе подключены параллельно нагрузке 110 таким образом, что первая цепь подключена к точке соединения нагрузки 110 и импульсного ключа 111. Вторая цепь, включающая дроссель 106, подключена к точке последовательного соединения первого диода 107 и первой цепи таким образом, что диод 107 и вторая цепь оказываются включенными параллельно входному терминалу 100 и источнику питания 108. На фиг. 1 показан случай, когда исток основного импульсного ключа 111 привязан к потенциалу, принятому за постоянный нуле-

вой, таким образом источник питания 108 нагружен на последовательно включенные нагрузку 110 и импульсный ключ 111, причем электроды с положительным потенциалом источника 108 и терминала 100 оказываются соединены с катодом диода 107. На фиг. 1 показан конденсатор 109, который можно применить и включить параллельно входному терминалу для снижения импеданса источника на высоких частотах. Другая реализация заявляемого устройства показана на фиг. 2, когда источник питания 108 нагружен на последовательно включенные импульсный ключ 111 и нагрузку 110 так, что исток импульсного ключа 111 привязан к плавающему потенциалу, а электроды с отрицательным потенциалом источника 108 и терминала 100 оказываются соединены с анодом диода 107. Причем в двух показанных реализациях на фиг. 1 и 2 второй 101, третий 102 и четвертый 103 диоды первой цепи имеют одно направление проводимости и противоположную направлению проводимости первого диода 107. В реализациях на фиг. 1 и 2 нагрузкой может быть резистивная нагрузка с паразитной индуктивностью, может быть индуктивная нагрузка, может быть трансформатор, у которого вторичная сторона нагружена на вторичные цепи, а первичная обмотка используется для подключения соответственно по схеме на фиг. 1 или по схеме на фиг. 2.

Заявленный способ и работу заявленного устройства поясним на примере реализации, показанной на фиг. 1. Общим требованием для работы всех преобразователей в установленном режиме является требование соблюдения вольт-секундного баланса для всех индуктивных компонентов преобразователя в течение периода работы импульсных ключей. То есть напряжение на емкостях 104 и 105 должно быть достаточным для перемагничивания индуктивности 106 и индуктивности нагрузки 110. Предположим, что напряжение на конденсаторах 104 и 105 одинаковое, равно U_x и достаточно большое. При открытии управляемого импульсного ключа 111, первый цикл на фиг. 3, нагрузка 110 подключается к источнику питания, при этом конденсаторы 104 и 105 разряжаются через открытый ключ 111 и соответственно через диоды 103 и 101 на дроссель 106, а диоды 102 и 107 на фиг. 1 заперты. Заметим, что вспомогательные конденсаторы 104 и 105 оказываются параллельно включенными, а вольт-секундный интеграл первого цикла, действующий на дроссель 106 равен $U_x \cdot D \cdot T$, где D - скважность, а T - период импульсного ключа 111. При закрытии ключа 111, второй цикл на фиг. 4, из-за индуктивности нагрузки 110 ток не прерывается и перенаправляется через диод 107 в первую цепь, заряжая конденсаторы 104 и 105 на время, пока энергия индуктивности нагрузки не иссякнет, одновременно через диод 107 дроссель 106 разряжается на источник 108, таким образом без потерь рекуперировав обратно в источник энергию, принятую от конденсаторов 104 и 105 в предыдущем, первом цикле. Заметим, что пока ток индуктивности нагрузки 110 течет через диод 107 конденсаторы 104 и 105 оказываются включенными последовательно, удваивая обратное напряжение для перемагничивания нагрузки или трансформатора-нагрузки. Если напряжение U_x достаточно большое, то ток нагрузки иссякает за время, меньшее времени второго цикла, диод 107 закроется, а ток индуктивности 106 в оставшееся до начала первого цикла время потечет по первой цепи в нагрузку, смотрите фиг. 5, а конденсаторы 104 и 105 окажутся подключенными параллельно друг другу. Таким образом, теперь энергия дросселя 106 и конденсаторов 104 и 105 без потерь рекуперирована прямо в нагрузку. Но эквивалентная схема на фиг. 5 будет действительна, если напряжение U_x больше обратного напряжения трансформатора-нагрузки, и тогда диоды 101 и 103 соответственно проводят. Такое возможно при скважности D импульсного ключа менее 0.5 в большинстве случаев, например, как для случая обратногоходового преобразователя. Однако при скважности более 0.5 напряжение U_x будет менее обратного напряжения нагрузки или трансформатора обратногоходового преобразователя, и тогда диоды 101 и 103 будут закрыты после того, как энергия индуктивности нагрузки иссякнет, как показано на фиг. 6, а дроссель 106 будет продолжать рекуперировать энергию на входной источник 108. При больших значениях скважности вспомогательные конденсаторы 104 и 105 будут больше разряжаться на дроссель 106, их напряжение будет уменьшаться. При больших значениях скважности D импульсного ключа время второго цикла $(1-D) \cdot T$ для перемагничивания индуктивности нагрузки сокращается, а диод 107 будет открыт практически все время второго цикла и эквивалентная схема на фиг. 6 будет доминирующей, тогда вольт-секундный интеграл второго цикла для дросселя 106 почти равен $-U_{in}(1-D)T$. Найдем значение U_x при больших D . Поскольку ток вспомогательного дросселя 106 должен быть непрерывным для увеличения эффективности заявленного устройства рекуперации, то для дросселя 106 можно записать вольт-секундный баланс за весь период $U_x \cdot D \cdot T = U_{in}(1-D)T$, отсюда находим равновесное значение напряжения для вспомогательных конденсаторов 104 и 105, $U_x = U_{in}(1-D)/D$. Видно, что при больших значениях скважности напряжение на конденсаторах может разряжаться вспомогательным дросселем 106 до малых значений и не достаточных для перемагничивания нагрузки, что будет приводить к нарушению работы преобразователя, увеличению потерь и нежелательным катастрофическим последствиям. Мало того, при увеличении скважности величина необходимого напряжения перемагничивания для нагрузки возрастает, поскольку время приложения обратного напряжения падает согласно $(1-D) \cdot T$. В заявленном устройстве на втором цикле, пока индуктивность нагрузки перемагничивается, вспомогательные конденсаторы 104 и 105 включены последовательно, и к нагрузке приложено обратное напряжение, равное $2 \cdot U_x$, что в два раза выше значения обратного напряжения для случаев, описанных выше известных устройств рекуперации. Это позволяет увеличить диапазон рабочих значений скважности импульсного

ключа по сравнению с известными устройствами с сохранением условия непрерывности тока для вспомогательного дросселя 106 и без нарушения работы преобразователя. В известных устройствах невозможно обеспечить работу импульсного преобразователя со скажностью основного ключа, равной или выше 0.5, и одновременно наилучшие условия рекуперации энергии паразитной индуктивности.

Преимуществом предложенного решения является то, что оптимальные преобразователи, с точки зрения уменьшения действующих значений токов и увеличения эффективности по мощности, рассчитываются на работу с номинальной скажностью около 0.5, а заявленное устройство позволит работу преобразователя около значений скажности, равной 0.5, и при этом будет иметь наилучшую эффективность рекуперации энергии индуктивности нагрузки так, как дроссель заявленного устройства рекуперации имеет возможность работать в режиме непрерывного тока. Кроме того, нет необходимости использовать вспомогательный диод, последовательно включенный к упомянутому дросселю.

В качестве нагрузки в заявленном устройстве может быть трансформатор, включенный по схеме, подобной обратноходовому преобразованию, например, с несимметрично нагруженной первичной индуктивностью (SEPIC), или собственно обратноходовой преобразователь (Flyback). На фиг. 7 показана одна из реализаций заявленного устройства и его применение в схеме обратноходового преобразователя с гальванической развязкой. На фиг. 7 показано, что в качестве импульсного ключа 111 может использоваться транзистор, в данном случае полевой. В качестве нагрузки 110 применяется трансформатор со вторичной цепью, включенной по схеме обратноходового преобразователя. Вторичная цепь содержит выпрямляющий диод 112, конденсатор 113 для сглаживания пульсаций и может быть подключена нагрузка.

В качестве нагрузки в заявленном устройстве может быть трансформатор, включенный по схеме прямоходового преобразователя (Forward), как показано на фиг. 8. На фиг. 8 показано одна из реализаций заявленного устройства, когда в качестве нагрузки 110 используется трансформатор, включенный по схеме прямоходового преобразователя. На фиг. 8 дополнительно введены выпрямительный диод 114, выходной дроссель 115.

В заявленном устройстве упомянутая вторая цепь может включать дополнительно вспомогательный диод, соединенный последовательно с вспомогательным дросселем 106 устройства рекуперации, причем последовательность включения может быть любой и вспомогательный диод включен так, что выпрямляет ток в направлении положительного электрода входного терминала и/или положительного электрода однополярного источника питания.

В заявленном устройстве вспомогательный дроссель 106 может быть интегрирован с трансформатором, то есть представляет собой дополнительную вспомогательную обмотку трансформатора, имеющую сцепление магнитного потока с первичной обмоткой трансформатора, как показано на фиг. 9. В качестве вспомогательной индуктивности 106 используется дополнительная обмотка Naux трансформатора 110.

Вспомогательный дроссель или вспомогательная обмотка, используемая в качестве вспомогательного дросселя, может иметь ответвление для питания других внешних или внутренних цепей устройства, например схемы управления и т.п. На фиг. 9 показано, что питание некоторой схемы 116, например контроллера импульсного ключа, осуществляется вспомогательной обмоткой 106 с ответвлением через диод 117.

Заявленное устройство может включать датчик тока, последовательно соединенный с импульсным ключом, для измерения тока, проходящего через импульсный ключ, или последовательно соединенным с нагрузкой для измерения тока нагрузки.

В заявленном устройстве в качестве источника однополярного напряжения может быть сетевой выпрямитель, например диодный мост или корректор мощности, активный или пассивный.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ рекуперации энергии рассеяния трансформатора в импульсном преобразователе, включающем, по крайней мере, последовательно включенные однополярный источник электрического питания, нагрузку и импульсный ключ, использующий

по крайней мере одну первую электрическую цепь, включающую по крайней мере один первый конденсатор и один второй конденсатор, по крайней мере по одному второму, третьему и четвертому диоду, такие, что второй, третий и четвертый диоды электрически последовательно подключены, а первый конденсатор включен параллельно со вторым и третьим диодами, второй конденсатор включен параллельно с третьим и четвертым диодами;

по крайней мере один первый диод, электрически подключенный последовательно к первой цепи;

по крайней мере одну вторую электрическую цепь, включающую по крайней мере один дроссель, и вторая цепь электрически подключена к электроду последовательного соединения первого диода к первой цепи,

причем последовательно включенные первый диод и первая цепь электрически подключены параллельно к упомянутой нагрузке так, что первая цепь подключена к электроду последовательного соедине-

ния упомянутой нагрузки к упомянутому импульсному ключу, а вторая цепь и первый диод электрически подключены параллельно к упомянутому источнику питания таким образом, что первый диод ориентирован в направлении выпрямления тока в сторону положительного электрода источника питания, а второй, третий и четвертый диоды первой цепи имеют одну ориентацию для выпрямления тока в направлении, противоположном направлению первого диода, последовательно включенного с первой цепью,

в котором на первом цикле открытого импульсного ключа первый и второй конденсаторы первой цепи включаются параллельно и разряжаются на упомянутый дроссель второй цепи через соответственно второй и четвертый диоды первой цепи;

на втором цикле закрытого импульсного ключа ток нагрузки перенаправляется через первый диод в первую цепь, запасая энергией упомянутые конденсаторы, пока энергия индуктивности нагрузки разряжается, при этом ток упомянутого дросселя частично либо полностью рекуперирован в упомянутый источник питания в течение времени, хотя бы, пока энергия индуктивности нагрузки не иссякла,

отличающийся тем, что на втором цикле, пока энергия индуктивности нагрузки разряжается в первую цепь, первый и второй конденсаторы оказываются последовательно включены через третий диод первой цепи, обеспечивая увеличение эффективного обратного напряжения, приложенного к нагрузке.

2. Способ по п.1, в котором упомянутый импульсный ключ содержит по крайней мере один полевой транзистор с возможностью управления от широтно-импульсного или частотно-импульсного модулирующего контроллера.

3. Способ по п.1, в котором вторая электрическая цепь включает по крайней мере один пятый вспомогательный диод, последовательно электрически подключенный к упомянутому вспомогательному дросселю, причем пятый вспомогательный диод полярно ориентирован так, что выпрямляет ток с положительного электрода упомянутого однополярного источника электрического питания.

4. Способ по п.1, в котором упомянутая нагрузка включает по крайней мере один трансформатор, причем первичная обмотка упомянутого трансформатора включена последовательно с упомянутыми источником питания и импульсным ключом.

5. Способ по п.4, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии обратноходового преобразования.

6. Способ по п.4, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии прямоходового преобразования.

7. Способ по п.4, в котором вспомогательный дроссель интегрирован с упомянутым трансформатором, то есть представляет собой вспомогательную обмотку, имеющую сцепление магнитного потока с первичной обмоткой упомянутого трансформатора.

8. Устройство импульсного транзисторного преобразователя, включающее

по крайней мере одну нагрузку, по крайней мере один контролируемый импульсный ключ и по крайней мере один источник однополярного электрического питания, такие, что упомянутые нагрузка, импульсный ключ и источник питания электрически подключены последовательно;

по крайней мере одну первую электрическую цепь, включающую по крайней мере один первый конденсатор и один второй конденсатор;

по крайней мере один первый диод, электрически подключенный последовательно к первой цепи;

по крайней мере одну вторую электрическую цепь, включающую по крайней мере один дроссель, и вторая цепь электрически подключена к электроду последовательного соединения первого диода к первой цепи,

причем последовательно включенные первый диод и первая цепь электрически подключены параллельно к упомянутой нагрузке так, что первая цепь подключена к электроду последовательного соединения упомянутой нагрузки к упомянутому импульсному ключу, а вторая цепь и первый диод электрически подключены параллельно к упомянутому источнику питания так, что первый диод ориентирован в направлении выпрямления тока в сторону положительного электрода упомянутого источника питания,

отличающееся тем, что первая электрическая цепь дополнительно включает по крайней мере по одному второму, третьему и четвертому диоду, такие, что второй, третий и четвертый диоды электрически последовательно подключены и имеют одну ориентацию для выпрямления тока в направлении, противоположном направлению первого диода, последовательно включенного с первой цепью; первый конденсатор первой цепи включен параллельно со вторым и третьим диодами, второй конденсатор первой цепи включен параллельно с третьим и четвертым диодами.

9. Устройство по п.8, включающее по крайней мере один дополнительный конденсатор, включенный параллельно упомянутому источнику питания.

10. Устройство по п.8, в котором упомянутый импульсный ключ содержит по крайней мере один полевой транзистор с возможностью управления от широтно-импульсного или частотно-импульсного модулирующего контроллера.

11. Устройство по п.8, в котором вторая электрическая цепь включает по крайней мере один вспомогательный диод, последовательно электрически подключенный к упомянутому дросселю, причем упомянутый вспомогательный диод полярно ориентирован так, что выпрямляет ток в направлении по-

ложительного электрода упомянутого источника питания.

12. Устройство по п.8, в котором упомянутая нагрузка включает по крайней мере один трансформатор, причем первичная обмотка упомянутого трансформатора включена последовательно с упомянутыми источником питания и импульсным ключом.

13. Устройство по п.12, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии обратногоходового преобразования.

14. Устройство по п.12, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии с несимметрично нагруженной первичной индуктивностью.

15. Устройство по п.12, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии прямоходового преобразования.

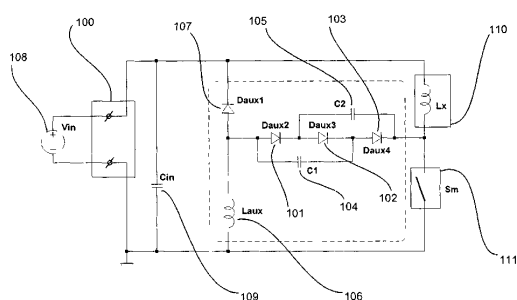
16. Устройство по п.12, в котором вспомогательный дроссель интегрирован с упомянутым трансформатором, то есть представляет собой вспомогательную обмотку, имеющую сцепление магнитного потока с первичной обмоткой упомянутого трансформатора.

17. Устройство по п.8, в котором упомянутый вспомогательный дроссель имеет ответвление для питания внешних или внутренних электрических цепей заявленного устройства.

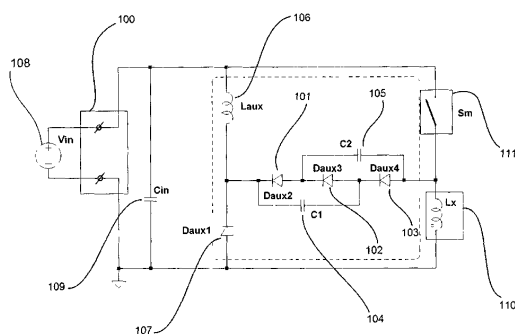
18. Устройство по п.12, в котором упомянутая вспомогательная обмотка трансформатора имеет ответвление для питания внешних или внутренних электрических цепей заявленного устройства.

19. Устройство по п.8, включающее по крайней мере один датчик тока, последовательно включенный с импульсным ключом.

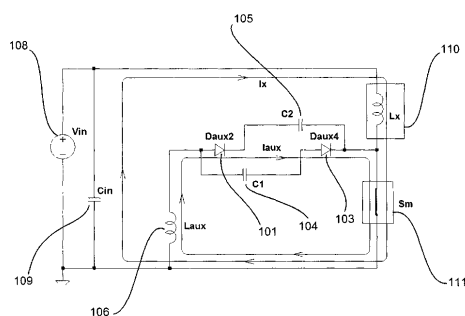
20. Устройство по п.8, в котором упомянутый источник однополярного напряжения включает сетевой выпрямитель, например диодный мост или корректор мощности, активный или пассивный.



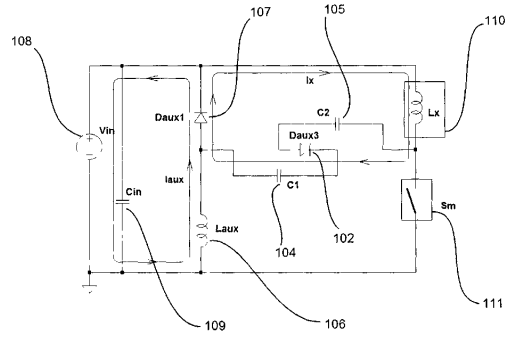
Фиг. 1



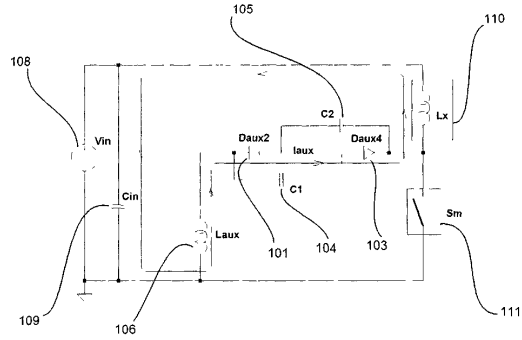
Фиг. 2



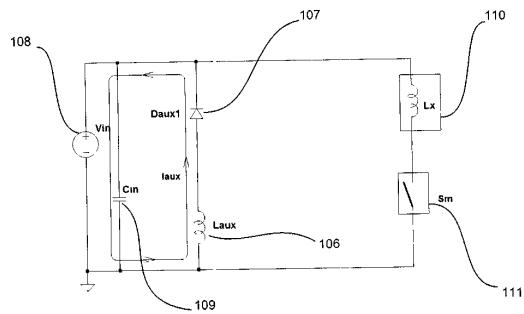
Фиг. 3



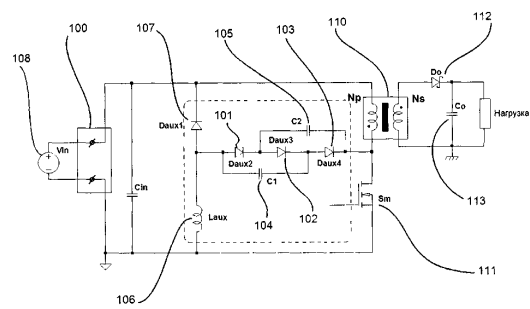
Фиг. 4



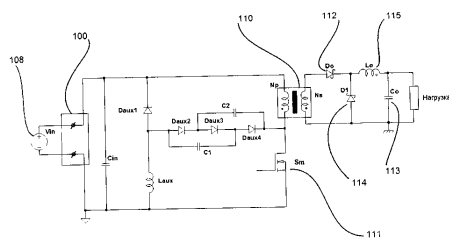
Фиг. 5



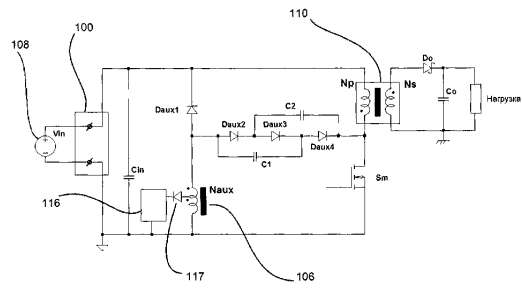
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9