

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **038303**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.08.06

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

(21) Номер заявки
201900050

(22) Дата подачи заявки
2019.01.03

(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ РАССЕЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

(43) **2020.07.31**

(56) WO-A1-2016155737
CN-U-205911955
US-B1-6473318
US-A-4365171
US-A1-2014204620
RU-U1-32331

(96) **KZ2019/001 (KZ) 2019.01.03**
(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и
патентовладелец:

**ДЖУНУСБЕКОВ ЕРЛАН
ЖАНДАРБЕКОВИЧ (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. Предложено устройство рекуперации энергии рассеяния трансформатора обратноходового преобразователя, включающее последовательно включенные источник питания, нагрузку и импульсный ключ; первую электрическую цепь, включающую вспомогательный конденсатор; первый диод, подключенный последовательно к первой цепи; вторую электрическую цепь, включающую дроссель, и вторая цепь подключена к электроду соединения первого диода к первой цепи, и причем последовательные первый диод и первая цепь подключены параллельно к нагрузке так, что первая цепь подключена к электроду соединения нагрузки к импульсному ключу, а вторая цепь и первый диод подключены параллельно к источнику питания так, что первый диод ориентирован в сторону положительного электрода источника питания, и отличающееся тем, что первая цепь дополнительно включает вспомогательный ключ, последовательно подключенный к вспомогательному конденсатору, с возможностью управления для предотвращения разряда упомянутой вспомогательной емкости ниже задаваемого значения. Предложен способ рекуперации энергии рассеяния трансформатора обратноходового преобразователя с использованием заявленного устройства, в котором вспомогательный ключ размыкает первую цепь в цикле открытого импульсного ключа для предотвращения разряда вспомогательного конденсатора ниже определенного значения напряжения. Технический результат - возможность работы заявленного устройства в режиме непрерывного тока, как следствие, повышение эффективности рекуперации энергии магнитного поля рассеяния высокочастотного трансформатора.

038303 B1

038303 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 последовательного 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.

Известно устройство "Обратногоходовой преобразователь со схемой ограничения напряжения" (H02M 1/34), заявленное в заявке WO 2016/155737 A1 на патент ВОИС от 06 октября 2016 года, в котором диод в известном RCD снаббере был заменен на пассивно управляемый вспомогательный транзисторный ключ. Цель вспомогательного транзисторного ключа - обеспечить проводимость в двух направлениях в течение достаточного, но короткого интервала времени для заряда и разряда емкости снаббера. В таком случае в течение данного интервала емкость снаббера имела бы возможность накопить энергию паразитной индуктивности, развернуть ток обмотки трансформатора и рекуперировать энергию обратно в первичную обмотку для трансформации на вторичную сторону. Недостатком известного устройства является то, что энергия паразитной индуктивности рекуперируется, но частично так, что существенная часть рассеивается при размыкании вспомогательного ключа. Пассивный метод управления вспомогательным ключом дешевле, чем активный, но в известном устройстве не приводит теоретически к высокой эффективности рекуперации.

Наиболее близким аналогом заявляемого изобретения является устройство "Не диссипативный LC ограничитель напряжения" (H02H 7/122), заявленное в патенте США №4489373 от 18 декабря 1984 года. 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, и 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), подключенной 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 спад 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 транс-

форматора, 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 во 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, 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 для предотвращения обратного тока и снижения реактивной составляющей, но диод является причиной дополнительных потерь.

Наиболее близким налогом заявляемого изобретения является устройство "Обратно-прямоходовой преобразователь с недиссипативным ограничителем напряжения" (H02M 3/335, H02M 3/156), заявленное в патенте США №9362831 В2 от 7 июня 2016 года. 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 налогом заявляемого изобретения являются устройства "Устройство ограничения напряжения и способ для преобразователя постоянного напряжения" (H02M), заявленное в заявке WO 02/41479 A2 на патент ВОИС от 23 мая 2002 года, и "Устройство рекуперации энергии индуктивности рассеяния и способ для обратноходового преобразователя" (H02M 3/335), заявленное в патенте США №6473318 В1 от 29 октября 2002 года. 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.

Задачами, на решение которых направлено предлагаемое изобретение, является обеспечение режима непрерывного тока работы для индуктивно-емкостной схемы ограничения напряжения в широком диапазоне скважности основного ключа. Задача достигается введением дополнительных мер для предотвращения чрезмерного разряда вспомогательной емкости схемы ограничения, для возможности дросселя схемы рекуперации работать в режиме непрерывных токов.

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

Техническое решение задачи предлагается за счет использования способа рекуперации энергии рассеяния трансформатора обратноходового преобразователя, включающего, по крайней мере, последовательно включенные источник однополярного электрического питания, нагрузку и импульсный ключ, использующего по крайней мере одну первую электрическую цепь, включающую электрически последовательно включенные по крайней мере один вспомогательный конденсатор и по крайней мере один вспомогательный ключ;

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

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

и причем последовательно включенные первый вспомогательный 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 вспомогательный диод электрически подключены параллельно к упомянутому источнику питания таким образом, что первый вспомогательный диод ориентирован в направлении выпрямления тока в сторону положительного электрода источника питания, в котором

на первом цикле, открытого импульсного ключа, упомянутый вспомогательный конденсатор разряжается на упомянутый вспомогательный дроссель через упомянутый импульсный ключ и упомянутый вспомогательный ключ;

на втором цикле, закрытого импульсного ключа, сначала ток нагрузки перенаправляется через первый вспомогательный диод в первую цепь, запасая энергией упомянутый вспомогательный конденсатор до тех пор, пока энергия индуктивности нагрузки не иссякнет, при этом ток вспомогательного дросселя рекуперирован в упомянутый источник питания, а по истечении энергии индуктивности нагрузки первый вспомогательный диод закрывается, после чего ток вспомогательного дросселя теперь течет по первой цепи в нагрузку, таким образом, энергия, запасенная во вспомогательном дросселе и вспомогательном конденсаторе, рекуперирована в нагрузку,

и отличающегося тем, что упомянутый вспомогательный ключ - с возможностью пассивного или активного управления упомянутым вспомогательным ключом так, что вспомогательный ключ может размыкать первую цепь в первом цикле, на все время или часть времени первого цикла, для предотвращения разряда вспомогательного конденсатора ниже установленного значения напряжения.

Техническое решение задачи предлагается также за счет использования устройства рекуперации энергии рассеяния трансформатора обратного преобразователя, включающего

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

по крайней мере одну первую электрическую цепь, включающую по крайней мере один вспомогательный конденсатор;

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

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

и причем последовательно включенные первый вспомогательный 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 вспомогательный диод электрически подключены параллельно к упомянутому источнику питания таким образом, что первый вспомогательный диод ориентирован в направлении выпрямления тока в сторону положительного электрода источника питания,

и отличающегося тем, что первая электрическая цепь дополнительно включает по крайней мере один вспомогательный ключ, последовательно электрически подключенный к упомянутому вспомогательному конденсатору, с возможностью пассивного или активного управления упомянутым вспомогательным ключом для предотвращения разряда упомянутой вспомогательной емкости ниже задаваемого значения, например, размыкая первую цепь на все время или долю времени открытого состояния упомянутого импульсного ключа.

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

Фиг. 3, 4, 5 приведены для пояснения работы заявленного устройства 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.

На фиг. 6 показана блок-схема заявленного устройства в применении к обратному преобразователю.

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

На фиг. 8 показана блок-схема заявленного устройства в применении к обратному преобразователю с вспомогательным дросселем, интегрированным с трансформатором.

На фиг. 1 и 2 наглядно поясняется что, заявленное устройство рекуперации энергии рассеяния трансформатора обратного преобразователя собственно состоит из последовательных вспомогательного конденсатора 101 и вспомогательного ключа 105, составляющих первую электрическую цепь; первого вспомогательного диода 104; вспомогательного дросселя 102, образующего вторую электрическую цепь. Причем порядок последовательного соединения конденсатора 101 и ключа 105 в первой цепи может быть любой. На фиг. 1 и 2 также показаны источник питания 108, нагруженный на последователь-

но включенные нагрузку 107 и импульсный ключ 106. Вспомогательный диод 104 и первая цепь соединены последовательно и вместе подключены параллельно нагрузке 107 таким образом, что первая цепь подключена к точке соединения нагрузки 107 и импульсного ключа 106, а последовательные первый вспомогательный диод 104 и вторая цепь, состоящая из дросселя 102, оказываются включенными параллельно источнику питания 108, причем так, что диод 104 ориентирован в направлении выпрямления тока в сторону положительного электрода источника 108. Нагрузкой 107 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 по схеме на фиг. 1. или по схеме на фиг. 2. Логика работы устройства одинакова, как на реализации по схеме фиг. 1, так и по схеме на фиг. 2, которые отличаются порядком последовательного включения нагрузки и импульсного ключа относительно положительного терминала источника питания. Если в качестве импульсного ключа 106 используется полевой транзистор, то схема на фиг. 1 будет схемой с истоком транзистора, основного ключа, привязанным к постоянному "нулевому" потенциалу, а схема на фиг. 2 соответственно - с истоком транзистора, основного ключа, привязанным к плавающему потенциалу. На фиг. 1 показан конденсатор 109, который можно применить и включить параллельно источнику питания для снижения импеданса источника на высоких частотах.

Заявленный способ и работу заявленного устройства поясним на примере реализации, показанной на фиг. 1. Общим требованием для работы всех преобразователей является требование соблюдения ампер-секундного баланса для всех емкостных компонентов и вольт-секундного баланса для всех индуктивных компонентов преобразователя в течение периода работы импульсных ключей. То есть напряжение на вспомогательной емкости 101 должно быть достаточным для перемагничивания индуктивности или паразитной индуктивности нагрузки 107. Предположим, что напряжение U_x на конденсаторе 101 достаточно большое, а вспомогательный ключ 105 всегда открыт. При открытии управляемого импульсного ключа 106, первый цикл на фиг. 3, нагрузка 107 подключается к источнику питания, при этом вспомогательный конденсатор 101 разряжается через открытый ключ 106 на вспомогательную индуктивность 102, а вспомогательный диод 104 на фиг. 1 заперт. Вольт-секундный интеграл первого цикла, действующий на вспомогательный дроссель 102, равен $U_x \cdot D \cdot T$, где D - скважность, а T - период импульсного ключа 106. При закрытии ключа 106, второй цикл на фиг. 4, из-за индуктивности нагрузки 107 ток не прерывается и перенаправляется через вспомогательный диод 104 в первую цепь, заряжая конденсатор 101 на время, пока энергия индуктивности нагрузки не иссякнет, одновременно через диод 104 дроссель 102 разряжается на источник 108, таким образом, без потерь рекуперировав обратно в источник энергию, принятую от конденсатора 101 в предыдущем, первом цикле. Если напряжение U_x достаточно большое, то ток нагрузки иссякает за время, меньшее времени второго цикла, диод 104 закроется, а ток индуктивности 102 оставшееся до начала первого цикла следующего периода потечет по первой цепи в нагрузку, см. фиг. 5. Таким образом, теперь энергия без потерь рекуперирована прямо в нагрузку. Но при больших значениях скважности D импульсного ключа, время второго цикла $(1-D) \cdot T$ для перемагничивания индуктивности нагрузки сокращается, а диод 104 будет открыт практически все время второго цикла, тогда вольт-секундный интеграл второго цикла для дросселя 102 почти равен $-U_{in}(1-D)T$, где U_{in} - напряжение источника питания 108. При больших значениях скважности вспомогательный конденсатор 101 будет больше разряжаться на дроссель 102, его напряжение будет уменьшаться. Найдем значение U_x при больших D . Поскольку ток вспомогательного дросселя должен быть непрерывным для увеличения эффективности заявленного устройства рекуперации, то для дросселя 102 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 вспомогательного конденсатора 101, $U_x = U_{in}(1-D)/D$. Видно, что при больших значениях скважности (D близко к 1) напряжение на вспомогательном конденсаторе 101 может разряжаться вспомогательным дросселем до малых значений и недостаточных для перемагничивания нагрузки, что будет приводить к нестабильной работе преобразователя, увеличению потерь и другим катастрофическим последствиям. Мало того, при увеличении скважности величина необходимого напряжения перемагничивания для нагрузки возрастает, поскольку время приложения обратного напряжения падает согласно $(1-D) \cdot T$. Для предотвращения чрезмерного разряда конденсатора на первом цикле импульсного ключа предусмотрен вспомогательный ключ 105, с возможностью пассивного или активного управления. Ключ 105 может закрываться на определенный интервал времени первого цикла, уменьшая время разряда вспомогательного конденсатора, и быть в открытом состоянии во время второго цикла для заряда вспомогательного конденсатора. Это позволяет увеличить диапазон рабочих значений скважности импульсного ключа по сравнению с известными устройствами с сохранением условия непрерывности тока для вспомогательного дросселя 102 и без нарушения работы преобразователя. В известных устройствах невозможно обеспечить наилучшие условия рекуперации энергии паразитной индуктивности при работе импульсного преобразователя со скважностью основного ключа, равной или выше 0.5.

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 скважностью D около 0.5, а заявленное устройство позволит работу преобразователя при скважности более 0.5 и при этом будет иметь наилучшую эффективность рекупера-

ции энергии индуктивности нагрузки так, как дроссель заявленного устройства рекуперации имеет возможность работать в режиме непрерывного тока. Кроме того, в этом режиме нет необходимости использовать вспомогательный диод, последовательно включенный к упомянутому дросселю, для предотвращения реверсии тока.

В качестве нагрузки в заявленном устройстве может быть трансформатор, включенный по схеме обратного преобразования, например, с несимметрично нагруженной первичной индуктивностью (SEPIC), или собственно обратного преобразователя (Flyback). На фиг. 6 показаны одна из реализаций заявленного устройства и его применение в схеме обратного преобразователя с гальванической развязкой. На фиг. 6 показано, что в качестве вспомогательного ключа 105 может использоваться транзистор, в данном случае полевой. В качестве нагрузки 107 применяется трансформатор с вторичной цепью, включенной по схеме обратного преобразователя. Вторичная цепь содержит выпрямляющий диод 112, конденсатор для сглаживания пульсаций 113 и может быть подключена нагрузка. На фиг. 6 показан случай, когда в качестве импульсного ключа 106 применяется транзистор, в данном случае полевой транзистор. Если принять, что напряжение на конденсаторе 101 достаточное для перемагничивания трансформатора 107 и вспомогательный ключ 105 всегда включен, то при условии, что ток первичной обмотки быстро падает при закрывании ключа 106, можно найти выражение для напряжения вспомогательного конденсатора: $U_x = U_{in}$. При этом известно, что необходимое напряжение первичной обмотки для перемагничивания обратного трансформатора 107 равно $U_{in} \cdot D / (1-D)$. Видно, что при значении скважности больше 0.5 напряжение на вспомогательном конденсаторе будет меньше необходимого для перемагничивания обратного трансформатора. Для предотвращения нежелательного явления задействуют ключ 105 заявленным выше методом. Кроме того, поскольку вспомогательный полевой транзистор 105 имеет встроенный диод, то возможен вариант работы, когда транзистор 105 может закрываться на некоторое число периодов импульсного ключа, пока вспомогательный конденсатор заряжается до определенного значения, и быть открытым какое-то число периодов, пока конденсатор 101 разряжается до минимального разрешенного значения напряжения. При этом при выключении ключа 106 заряд конденсатора 101 паразитной индуктивностью трансформатора 107 происходит через диод 104 и внутренний диод выключенного полевого транзистора 105, в случае транзистора 105, ориентированного проводить ток в том же направлении, что диод 104.

Вспомогательный ключ заявленного устройства рекуперации энергии рассеяния трансформатора обратного преобразователя может быть управляем активно, то есть синхронизированно с импульсным ключом, например, с помощью контроллера управляющего импульсным ключом.

В заявленном устройстве вспомогательный ключ может быть управляем пассивно, например с помощью дополнительной вспомогательной обмотки трансформатора, для питания управляющей пассивной схемы и генерирования сигналов управления вспомогательным ключом. На фиг. 6 реализован пассивный метод управления по уровню напряжения на вспомогательном конденсаторе, когда управление вспомогательным ключом осуществляется схемой компаратора 201, закрывающим ключ 105, если конденсатор 101 разрядился до минимально разрешенного напряжения, и открывающим ключ 105, если конденсатор 101 зарядился с запасом над минимально разрешенным напряжением. Для измерения напряжения на конденсаторе 101 использован делитель 203, например резистивный. Здесь, в частности, вспомогательный конденсатор 101 является источником питания пассивной схемы управления 200.

В качестве нагрузки в заявленном устройстве может быть трансформатор, включенный по схеме прямого преобразователя (Forward), как показано на фиг. 7. На фиг. 7 показана одна из реализаций заявленного устройства, когда в качестве нагрузки 107 используется трансформатор, включенный по схеме прямого преобразователя. На фиг. 7 дополнительно введены выпрямительный диод 115, выходной дроссель 114.

Заявленное устройство может включать дополнительно второй вспомогательный диод 103, показанный на фиг. 7, последовательно включенный с вспомогательным дросселем 102, причем последовательность включения может быть любой. Второй вспомогательный диод должен быть ориентирован в направлении выпрямления тока в сторону положительного электрода источника питания 108 и служит для предотвращения реверсии тока в дросселе 102 при существенных пульсациях тока в нем.

В заявленном устройстве вспомогательный дроссель 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. 8. В качестве вспомогательной индуктивности 102 используется дополнительная обмотка $N_{aux} - 102$, например, обратного преобразователя 107.

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. 8 показано, что питание некоторой схемы 117, например контроллера импульсного ключа, осуществляется вспомогательной обмоткой 102 с ответвлением через диод 116.

Во всех реализациях заявленное устройство может включать датчик тока, подключенный электрически последовательно с импульсным ключом для измерения тока импульсного ключа и осуществления различных схем контроля.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство рекуперации энергии рассеяния трансформатора обратного преобразователя, включающее

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

по крайней мере одну первую электрическую цепь, включающую по крайней мере один вспомогательный конденсатор;

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

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

и причем последовательно включенные первый вспомогательный 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 вспомогательный диод электрически подключены параллельно к упомянутому источнику питания таким образом, что первый вспомогательный диод ориентирован в направлении выпрямления тока в сторону положительного электрода источника питания,

и отличающееся тем, что первая электрическая цепь дополнительно включает по крайней мере один вспомогательный ключ, последовательно электрически подключенный к упомянутому вспомогательному конденсатору, с возможностью пассивного или активного управления упомянутым вспомогательным ключом для предотвращения разряда упомянутой вспомогательной емкости ниже задаваемого значения, например, размыкая первую цепь на все время или долю времени открытого состояния упомянутого импульсного ключа.

2. Устройство по п.1, включающее по крайней мере один дополнительный конденсатор, включенный параллельно упомянутому источнику питания.

3. Устройство по п.1, в котором упомянутый вспомогательный ключ содержит по крайней мере один полевой транзистор, который может быть ориентирован так, что его внутренний диод выпрямляет ток в направлении, в котором выпрямляет первый вспомогательный диод, последовательно подключенный к первой цепи.

4. Устройство 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.

5. Устройство 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.

6. Устройство по п.5, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии обратного преобразования.

7. Устройство по п.5, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии прямого преобразования.

8. Устройство по п.5, в котором вспомогательный дроссель интегрирован с упомянутым трансформатором, то есть представляет собой вспомогательную обмотку, имеющую сцепление магнитного потока с первичной обмоткой упомянутого трансформатора.

9. Устройство по п.1, в котором упомянутый вспомогательный дроссель имеет ответвление для питания внешних или внутренних электрических цепей заявленного устройства.

10. Устройство по п.8, в котором упомянутая вспомогательная обмотка трансформатора имеет ответвление для питания внешних или внутренних электрических цепей заявленного устройства.

11. Устройство по п.1, включающее по крайней мере один датчик тока, электрически последовательно включенный с импульсным ключом.

12. Устройство по п.1, в котором вторая электрическая цепь включает по крайней мере один второй вспомогательный диод, последовательно электрически подключенный к упомянутому вспомогательному дросселю, причем второй вспомогательный диод полярно ориентирован так, что выпрямляет ток в направлении положительного электрода упомянутого источника питания.

13. Способ рекуперации энергии рассеяния трансформатора обратного преобразователя, использующий устройство по п.1, в котором

на первом цикле открывают упомянутый импульсный ключ, при этом упомянутый вспомогательный конденсатор разряжается на упомянутый вспомогательный дроссель через импульсный ключ и упомянутый вспомогательный ключ;

на втором цикле закрывают импульсный ключ, тогда сначала ток нагрузки перенаправляется через первый вспомогательный диод в первую цепь, запасая энергией упомянутый вспомогательный конденса-

тор до тех пор, пока энергия индуктивности нагрузки не иссякнет, при этом ток вспомогательного дросселя рекуперируется в упомянутый источник питания, а по истечении энергии индуктивности нагрузки первый вспомогательный диод закрывается, после чего ток вспомогательного дросселя теперь течет по первой цепи в нагрузку, таким образом, энергия, запасенная во вспомогательном дросселе и вспомогательном конденсаторе, рекуперируется в нагрузку,

и отличающийся тем, что упомянутый вспомогательный ключ размыкают в первом цикле, на все время или часть времени первого цикла, для предотвращения разряда вспомогательного конденсатора ниже установленного значения напряжения.

14. Способ по п.13, в котором упомянутый вспомогательный ключ содержит по крайней мере один полевой транзистор.

15. Способ по п.13, в котором упомянутый импульсный ключ содержит по крайней мере один полевой транзистор с возможностью управления от широтно-импульсного или частотно-импульсного модулирующего контроллера.

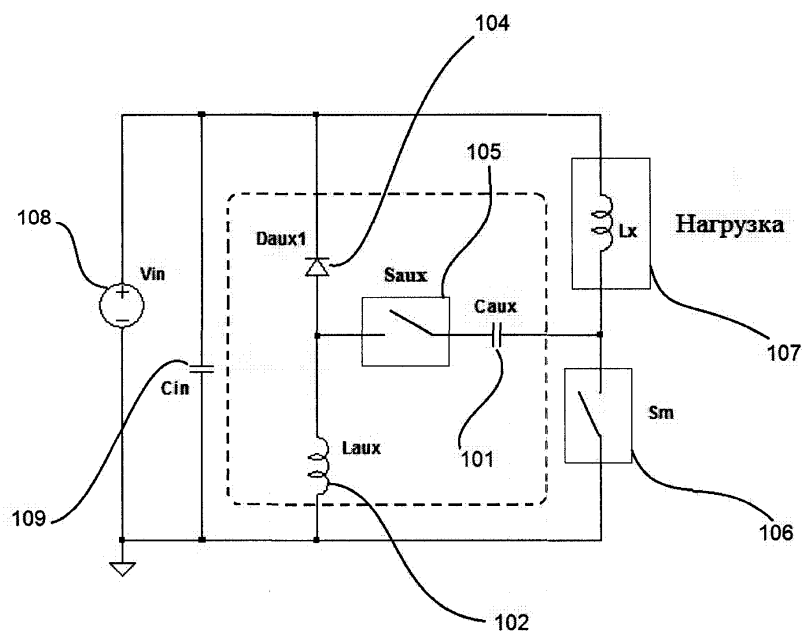
16. Способ по п.13, в котором вторая электрическая цепь включает по крайней мере один второй вспомогательный диод, последовательно электрически подключенный к упомянутому вспомогательному дросселю, причем второй вспомогательный диод полярно ориентирован так, что выпрямляет ток в направлении первой цепи.

17. Способ по п.13, в котором упомянутая нагрузка включает по крайней мере один трансформатор, причем первичная обмотка упомянутого трансформатора включена последовательно с упомянутыми источником питания и импульсным ключом.

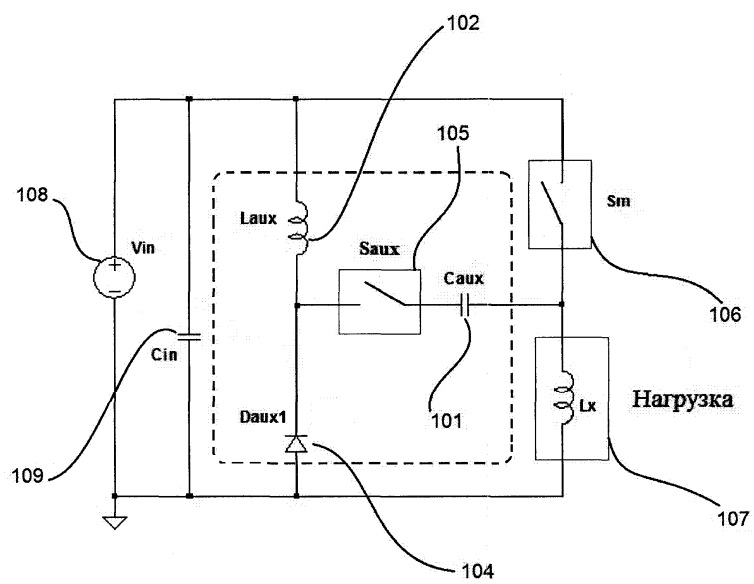
18. Способ по п.17, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии обратного преобразования.

19. Способ по п.17, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии прямоходового преобразования.

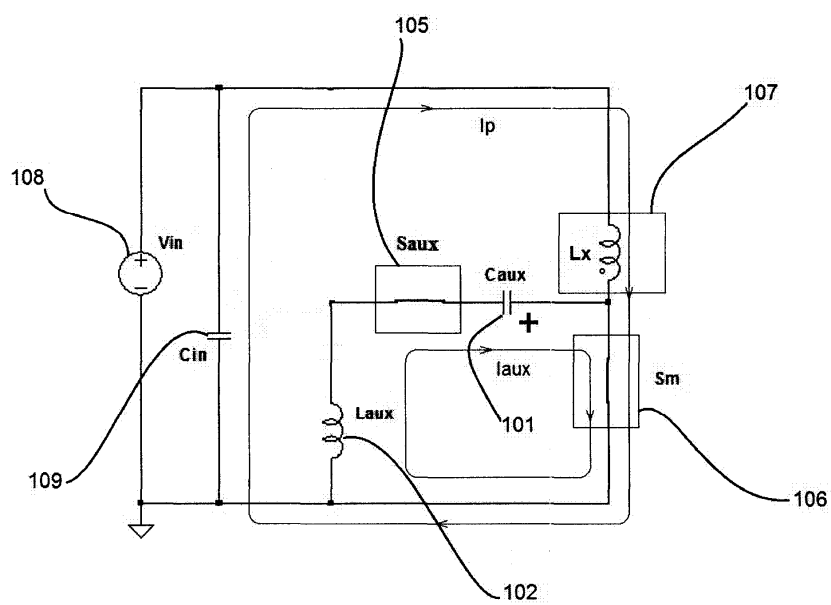
20. Способ по п.17, в котором вспомогательный дроссель интегрирован с упомянутым трансформатором, то есть представляет собой вспомогательную обмотку, имеющую сцепление магнитного потока с первичной обмоткой упомянутого трансформатора.



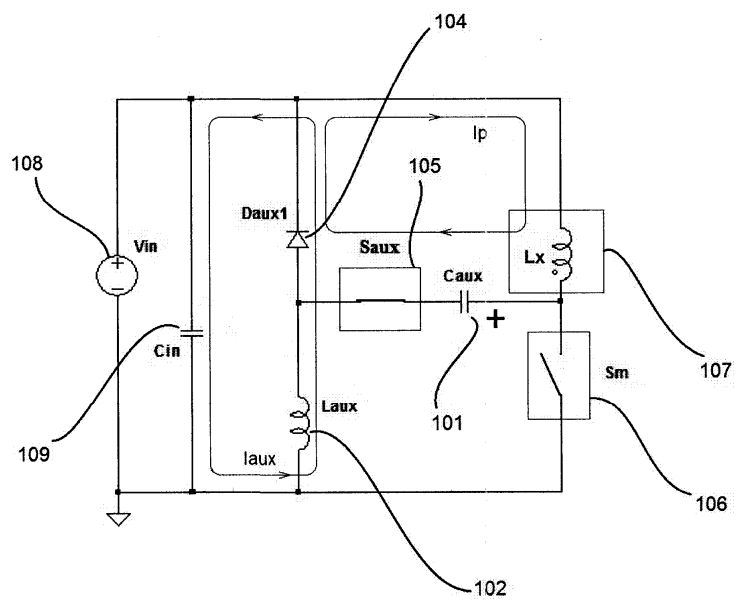
Фиг. 1



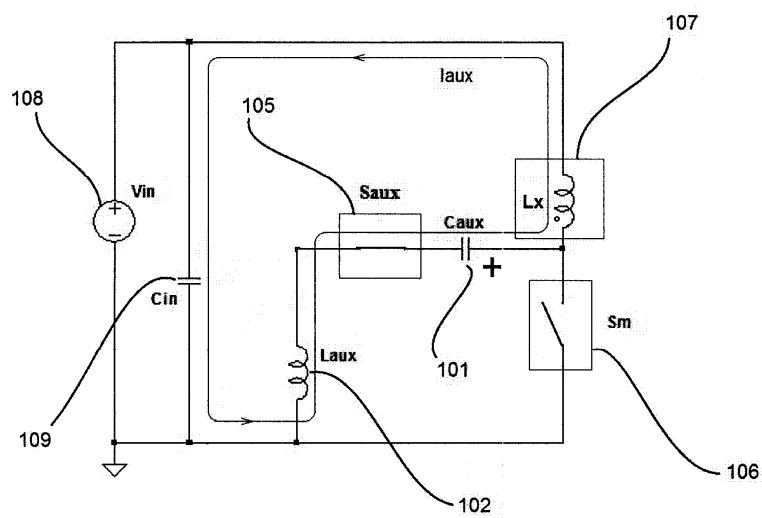
Фиг. 2



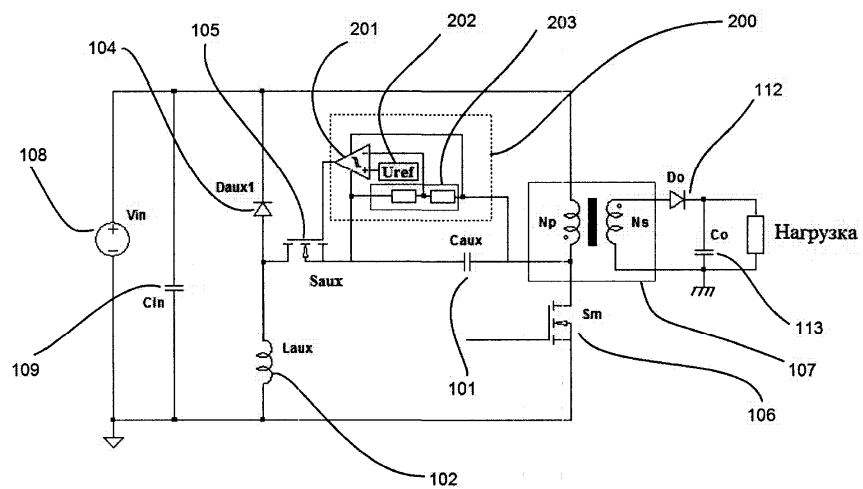
Фиг. 3



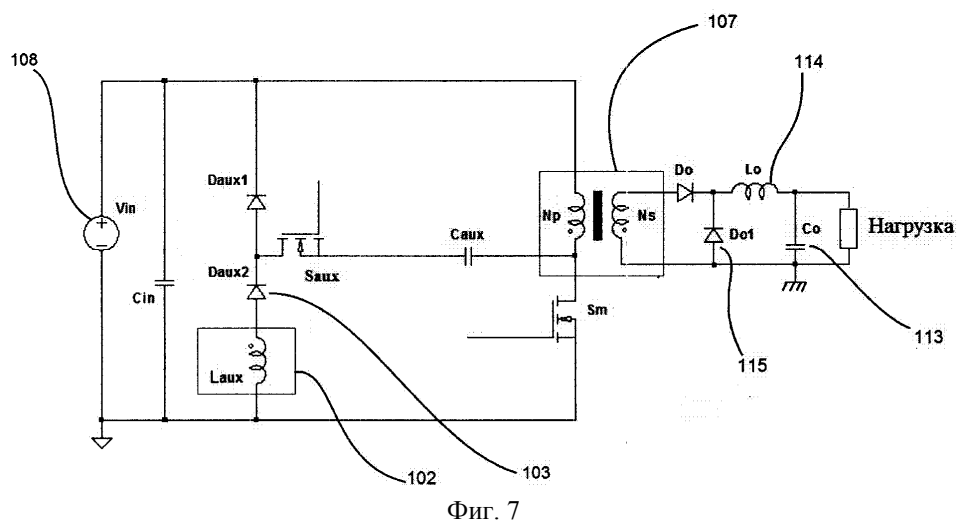
Фиг. 4



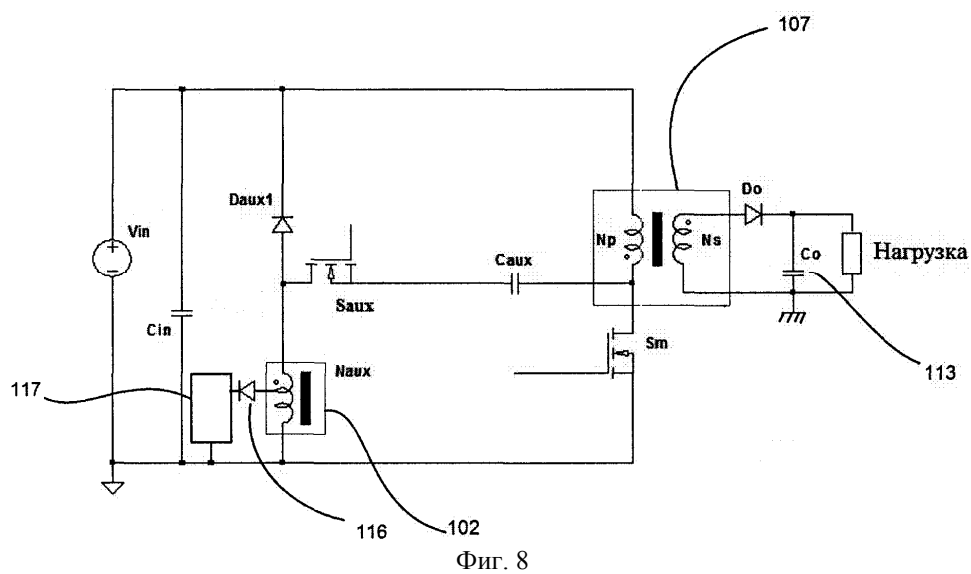
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

