

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035851**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.08.20

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

(21) Номер заявки
201800519

(22) Дата подачи заявки
2018.07.03

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

(31) **2018/0377.1**

(56) RU-U1-176855

(32) **2018.06.06**

RU-U1-47146

(33) **KZ**

RU-C1-2396685

(43) **2019.12.30**

RU-C1-2617716

(96) **KZ2018/040 (KZ) 2018.07.03**

US-A-5844787

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**РЕСПУБЛИКАНСКОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ "ГЫЛЫМ
ОРДАСЫ" КОМИТЕТА НАУКИ
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И
НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
(KZ)**

(72) Изобретатель:
**Джунусбеков Ерлан Жандарбекович,
Тультаяев Бауржан, Балбаев Гани
Кудайбергенович, Орынбай
Асфандияр Айтказыулы (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 трансформатор с паразитной индуктивностью. Предложено устройство импульсного преобразователя, включающее входной терминал; трансформатор с первичной обмоткой; импульсный ключ, причем входной терминал, первичная обмотка и импульсный ключ подключены последовательно; первую электрическую цепь, включающую последовательные вспомогательный конденсатор и первый вспомогательный диод, причем первая цепь подключена параллельно к первичной обмотке трансформатора; вспомогательный ключ и второй вспомогательный диод, и отличающееся тем, что трансформатор включает вспомогательную обмотку, причем вспомогательная обмотка, второй вспомогательный диод и вспомогательный ключ включены по схеме понижающего преобразователя с выходом на входной терминал, а вход понижающего преобразователя подключен к электроду соединения вспомогательного конденсатора и первого вспомогательного диода. Предложен способ рекуперации энергии рассеяния трансформатора обратноходового преобразователя с использованием заявленного устройства, отличающийся тем, что вспомогательный ключ подключает вспомогательный конденсатор к вспомогательной обмотке для рекуперации энергии рассеяния трансформатора в нагрузку вторичной стороны. Технический результат - увеличение эффективности рекуперации энергии рассеяния трансформатора, уменьшение числа используемых компонентов и габаритов импульсного преобразователя.

B1**035851****035851****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 трансформатор 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 соединения 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 рекуперирована, 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.

Задачами, на решение которых направлено предлагаемое изобретение, является увеличение эффективности рекуперации энергии рассеяния трансформатора, уменьшение числа используемых компонентов и габаритов импульсного преобразователя. Задача достигается интегрированием вспомогательной индуктивности понижающей схемы рекуперации с трансформатором, таким образом, энергия рассеяния будет рекуперироваться в нагрузку.

Техническое решение задачи предлагается за счет использования способа рекуперации энергии рассеяния трансформатора, использующего

- по крайней мере один источник однополярного электрического питания;
- по крайней мере один трансформатор нагрузки, имеющий по крайней мере одну первичную обмотку и одну первую вспомогательную обмотку;
- по крайней мере один контролируемый импульсный ключ, причем упомянутые источник питания, первичная обмотка трансформатора и импульсный ключ электрически подключены последовательно;
- по крайней мере одну первую электрическую цепь, включающую по крайней мере один вспомогательный конденсатор и по крайней мере один первый вспомогательный диод, катодом последовательно подключенный к упомянутому вспомогательному конденсатору, причем первая цепь подключена электрически параллельно либо к первичной обмотке упомянутого трансформатора, либо к упомянутому импульсному ключу таким образом, что анод упомянутого первого вспомогательного диода подключен к электроду последовательного соединения упомянутых трансформатора и импульсного ключа;
- по крайней мере один вспомогательный ключ и один второй вспомогательный диод такие, что упомянутые первая вспомогательная обмотка, второй вспомогательный диод и вспомогательный ключ включены по схеме понижающего преобразователя с выходом на упомянутый источник питания, и понижающий преобразователь такой, что его положительный входной электрод подключен к электроду последовательного соединения упомянутых вспомогательного конденсатора и первого вспомогательного диода,

в котором на первом цикле, когда импульсный ключ открыт, упомянутый вспомогательный ключ закрыт, а первая вспомогательная обмотка разряжается на источник питания через второй вспомогательный диод; на втором цикле, когда импульсный ключ закрыт, сначала ток упомянутой первичной обмотки трансформатора перенаправляется через первый вспомогательный диод в первую цепь, запасая энергией упомянутый вспомогательный конденсатор до тех пор, пока энергия индуктивности трансформатора не иссякнет,

и отличающегося тем, что в течение второго цикла упомянутый вспомогательный ключ открыт, по крайней мере, на некоторую долю времени второго цикла, разряжая упомянутый вспомогательный конденсатор на первую вспомогательную обмотку, а первая вспомогательная обмотка имеет возможность рекуперировать энергию на вторичную сторону, пока открыт упомянутый вспомогательный ключ.

Техническое решение задачи также заключается в устройстве импульсного преобразователя, включающего

по крайней мере один входной терминал для подключения к источнику однополярного электрического питания;

по крайней мере один трансформатор нагрузки, имеющий по крайней мере одну первичную обмотку;

по крайней мере один контролируемый импульсный ключ, причем упомянутые входной терминал, первичная обмотка трансформатора и импульсный ключ электрически подключены последовательно;

по крайней мере одну первую электрическую цепь, включающую по крайней мере один вспомогательный конденсатор и по крайней мере один первый вспомогательный диод, катодом последовательно подключенный к упомянутому вспомогательному конденсатору, причем первая цепь подключена электрически параллельно либо к первичной обмотке упомянутого трансформатора, либо к упомянутому импульсному ключу таким образом, что анод упомянутого первого вспомогательного диода подключен к электроду последовательного соединения упомянутых трансформатора и импульсного ключа;

по крайней мере один вспомогательный ключ,

по крайней мере один второй вспомогательный диод,

и отличающееся тем, что упомянутый трансформатор включает по крайней мере одну первую вспомогательную обмотку, причем упомянутые первая вспомогательная обмотка, второй вспомогательный диод и вспомогательный ключ включены по схеме понижающего преобразователя с выходом на упомянутый входной терминал, и понижающий преобразователь такой, что его положительный входной электрод подключен к электроду последовательного соединения упомянутых вспомогательного конденсатора и первого вспомогательного диода.

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

На фиг. 3 показана блок-схема заявленного устройства в применении к обратноточному преобразователю.

На фиг. 4 показана блок-схема заявленного устройства в применении к прямоходовому преобразователю.

На фиг. 1 и 2 наглядно поясняется, что заявленное устройство импульсного преобразователя собственно состоит из входного терминала 101; трансформатора нагрузки с первичной обмоткой 102, последовательно включенной с терминалом 101 и вспомогательной обмоткой 103; основного импульсного ключа 104, последовательно включенного с обмоткой 102; последовательных вспомогательного конденсатора 105 и первого вспомогательного диода 106, составляющих первую электрическую цепь; второго вспомогательного диода 107 и вспомогательного ключа 108. На фиг. 1 и 2 показан источник питания 109, подключенный к входному терминалу 101 и, таким образом, нагруженный на последовательно включенные первичную обмотку 102 трансформатора и импульсный ключ 104. Первая электрическая цепь из конденсатора 105 и диода 106 подключена либо параллельно первичной обмотке 102, как на фиг. 1, либо параллельно импульсному ключу 104, как на фиг. 2. Таким образом, в обоих случаях анод первого вспомогательного диода 106 подключен к точке соединения обмотки 102 трансформатора и импульсного ключа 104. Вспомогательная обмотка 103 трансформатора, второй вспомогательный диод 107 и вспомогательный ключ 108 включены по схеме понижающего преобразователя (buck), как показано на фиг. 1 и 2. Логика работы устройства одинакова, как на реализации по схеме фиг. 1, так и по схеме на фиг. 2, которые отличаются подключением вспомогательного конденсатора 105 либо к положительному электроду терминала 101, как на фиг. 1, либо к отрицательному электроду терминала 101, как на фиг. 2. На фиг. 1 и 2 показан конденсатор 110, который можно применить и включить параллельно входному терминалу 101 для снижения импеданса источника питания на высоких частотах.

Заявленный способ и работу заявленного устройства поясним на примере реализации, показанной на фиг. 1. Импульсный ключ 104 переключается с некоторой частотой. На первом цикле периода переключения импульсный ключ 104 находится в открытом состоянии, а первичная обмотка 102 трансформатора подключена к источнику питания 109 через терминал 101 и набирает энергию от источника, увеличивая первичный ток. На втором цикле периода переключения импульсный ключ закрыт, в обмотке 102 трансформатора продолжает течь первичный ток, из-за индуктивности рассеяния и/или подмагничивания, в первую цепь через открывшийся вспомогательный диод 106, заряжая конденсатор 105. Вспомогательный конденсатор 105 поглощает энергию рассеяния трансформатора и ограничивает перенапряже-

ние на импульсном ключе 104. При этом вспомогательный понижающий преобразователь, образованный из обмотки 103 трансформатора, ключа 108 и диода 107, работает следующим образом: на втором цикле вспомогательный ключ 108 может открываться на некоторую долю второго цикла, а вспомогательная обмотка 103 оказывается подключенной к конденсатору 105; конденсатор 105 разряжается в обмотку 103, таким образом, энергия, запасенная в конденсаторе 105, передается через обмотку 103 на нагрузку на вторичной стороне трансформатора, а при отсутствии вторичной стороны в магнитное поле трансформатора. На первом цикле, когда импульсный ключ открыт, вспомогательный ключ 108 закрыт, а вспомогательная обмотка 103 рекуперировывает малую часть энергии рассеяния на выход, пока не будет перемангличена.

Преимуществом предложенного решения является то, что энергия рассеяния трансформатора, накопленная в вспомогательном конденсаторе, ограничителе перенапряжения, рекуперирована в нагрузку без циркуляции между входным терминалом и трансформатором. Как следствие возрастает эффективность устройства. Другим преимуществом является то, что используется всего один магнитный компонент-трансформатор, вместо двух.

В качестве трансформатора 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. 3 показана одна из реализаций заявленного устройства и его применение в схеме обратного преобразователя с гальванической развязкой. В качестве трансформатора применяется трансформатор со вторичной обмоткой 111 и вторичной цепью, включенной по схеме обратного преобразователя. Вторичная цепь содержит выпрямляющий диод 112, конденсатор для сглаживания пульсаций 113, и может быть подключена к нагрузке.

На фиг. 3 показан случай, когда в качестве импульсного ключа 104 применяется транзистор, в данном случае полевой транзистор. На фиг. 3 показано, что в качестве вспомогательного ключа 108 может использоваться транзистор, в данном случае полевой.

В качестве трансформатора может использоваться трансформатор, включенный по схеме прямоходового преобразователя (Forward), как показано на фиг. 4. На фиг. 4 показана одна из реализаций заявленного устройства, когда вторичная обмотка 111 трансформатора используется по схеме прямоходового преобразователя. На фиг. 4 дополнительно введены выпрямительный диод 114, выходной дроссель 115.

Вспомогательный ключ заявленного устройства рекуперации энергии рассеяния трансформатора обратного преобразователя может быть управляем активно, то есть синхронизирован 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. Как показано на фиг. 4, вторая вспомогательная обмотка 116 трансформатора управляет вспомогательным ключом 108, индуцированным напряжением на обмотке. Дополнительная вспомогательная обмотка 116 может использоваться для питания устройства управления вспомогательным ключом.

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. Способ рекуперации энергии рассеяния трансформатора импульсного преобразователя, использующий

- по крайней мере один источник однополярного электрического питания;
- по крайней мере один трансформатор нагрузки, имеющий по крайней мере одну первичную обмотку и одну первую вспомогательную обмотку;
- по крайней мере один контролируемый импульсный ключ, причем упомянутые источник питания, первичная обмотка трансформатора и импульсный ключ электрически подключены последовательно;
- по крайней мере одну первую электрическую цепь, включающую по крайней мере один вспомогательный конденсатор и по крайней мере один первый вспомогательный диод, катодом последовательно подключенный к упомянутому вспомогательному конденсатору, причем первая цепь подключена электрически параллельно либо к первичной обмотке упомянутого трансформатора, либо к упомянутому импульсному ключу таким образом, что анод упомянутого первого вспомогательного диода подключен к электроду последовательного соединения упомянутых трансформатора и импульсного ключа;
- по крайней мере один вспомогательный ключ и один второй вспомогательный диод такие, что упомянутые первая вспомогательная обмотка, второй вспомогательный диод и вспомогательный ключ включены по схеме понижающего преобразователя с выходом на упомянутый источник питания, и понижающий преобразователь такой, что его положительный входной электрод подключен к электроду последовательного соединения упомянутых вспомогательного конденсатора и первого вспомогательного

диода,

в котором на первом цикле, когда импульсный ключ открыт, упомянутый вспомогательный ключ закрыт, а первая вспомогательная обмотка разряжается на источник питания через второй вспомогательный диод; на втором цикле, когда импульсный ключ закрыт, сначала ток упомянутой первичной обмотки трансформатора перенаправляется через первый вспомогательный диод в первую цепь, запасая энергией упомянутый вспомогательный конденсатор до тех пор, пока энергия индуктивности трансформатора не иссякнет,

и отличающийся тем, что в течение второго цикла упомянутый вспомогательный ключ открыт, по крайней мере, на некоторую долю времени второго цикла, разряжая упомянутый вспомогательный конденсатор на первую вспомогательную обмотку, а первая вспомогательная обмотка имеет возможность рекуперировать энергию на вторичную сторону, пока открыт упомянутый вспомогательный ключ.

2. Способ по п.1, в котором упомянутый вспомогательный ключ содержит по крайней мере один полевой транзистор.

3. 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.

4. Способ по п.1, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии обратного преобразования.

5. Способ по п.1, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии прямоходового преобразования.

6. Способ по п.1, в котором упомянутый трансформатор включает вторую вспомогательную обмотку для использования в управлении вспомогательным ключом.

7. Устройство импульсного преобразователя, включающее по крайней мере один входной терминал для подключения к источнику однополярного электрического питания;

по крайней мере один трансформатор нагрузки, имеющий по крайней мере одну первичную обмотку;

по крайней мере один контролируемый импульсный ключ, причем упомянутые входной терминал, первичная обмотка трансформатора и импульсный ключ электрически подключены последовательно;

по крайней мере одну первую электрическую цепь, включающую по крайней мере один вспомогательный конденсатор и по крайней мере один первый вспомогательный диод, катодом последовательно подключенный к упомянутому вспомогательному конденсатору, причем первая цепь подключена электрически параллельно либо к первичной обмотке упомянутого трансформатора, либо к упомянутому импульсному ключу таким образом, что анод упомянутого первого вспомогательного диода подключен к электроду последовательного соединения упомянутых трансформатора и импульсного ключа;

по крайней мере один вспомогательный ключ,

по крайней мере один второй вспомогательный диод,

и отличающееся тем, что упомянутый трансформатор включает по крайней мере одну первую вспомогательную обмотку, причем упомянутые первая вспомогательная обмотка, второй вспомогательный диод и вспомогательный ключ включены по схеме понижающего преобразователя с выходом на упомянутый входной терминал, и понижающий преобразователь такой, что его положительный входной электрод подключен к электроду последовательного соединения упомянутых вспомогательного конденсатора и первого вспомогательного диода.

8. Устройство по п.7, включающее по крайней мере один дополнительный конденсатор, включенный параллельно упомянутому входному терминалу.

9. Устройство по п.7, в котором упомянутый вспомогательный ключ содержит по крайней мере один полевой транзистор.

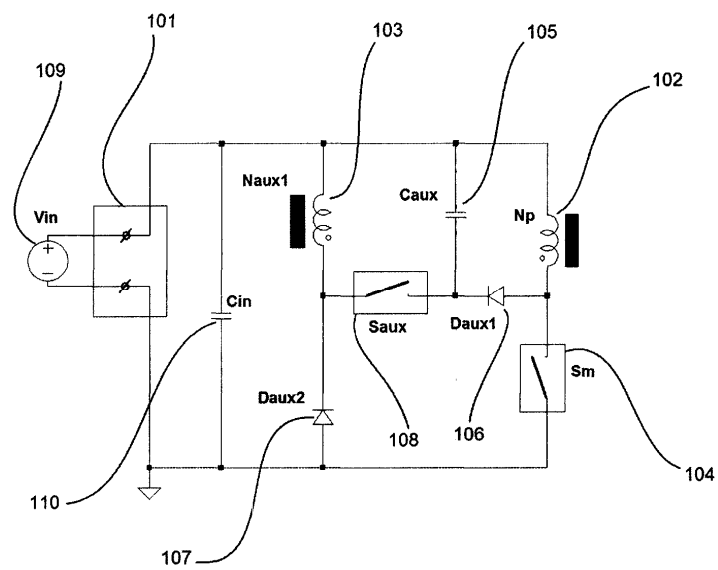
10. Устройство по п.7, в котором упомянутый импульсный ключ содержит по крайней мере один полевой транзистор с возможностью управления от широтно-импульсного или частотно-импульсного модулирующего контроллера.

11. Устройство по п.7, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии обратного ходового преобразования.

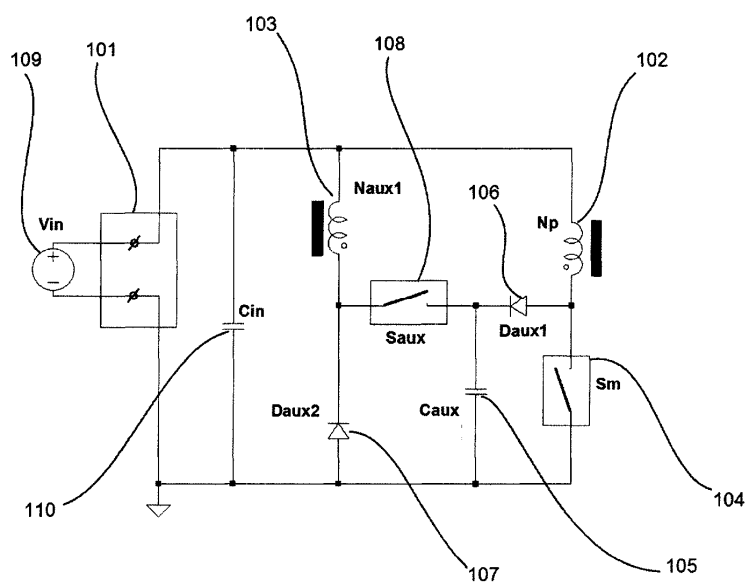
12. Устройство по п.7, в котором упомянутый трансформатор используется по топологии прямоходового преобразования.

13. Устройство по п.7, в котором упомянутый трансформатор включает вторую вспомогательную обмотку для использования в управлении вспомогательным ключом.

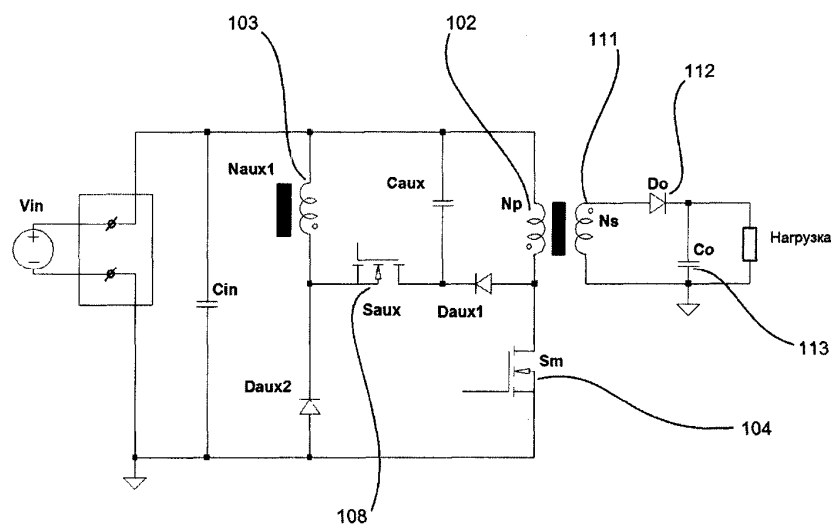
14. Устройство по п.7, включающее датчик тока, электрически последовательно подключенный к импульсному ключу.



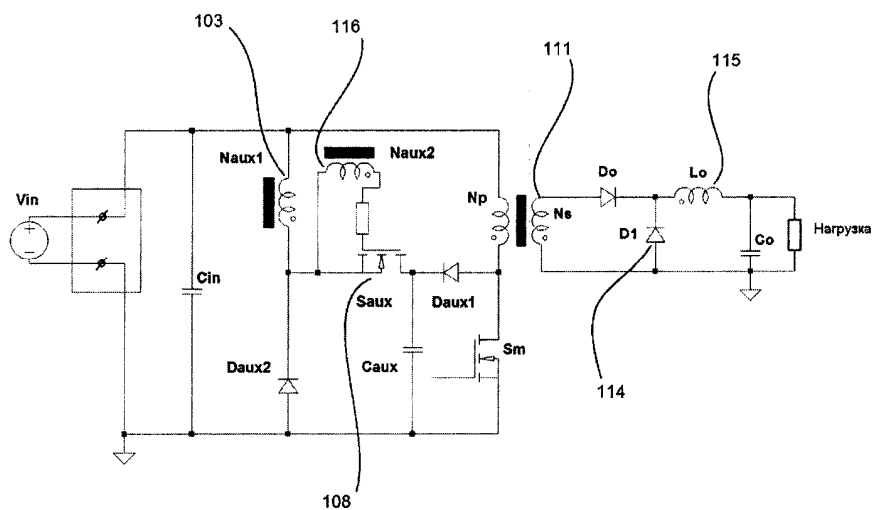
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

