

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202490137 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2024.05.17

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

(22) Дата подачи заявки
2022.07.07

(54) УСИЛИТЕЛЬ ТОКА

(31) 2150913-8

(72) Изобретатель:

(32) 2021.07.08

Штанисич Зоран (SE)

(33) SE

(74) Представитель:

(86) PCT/SE2022/050700

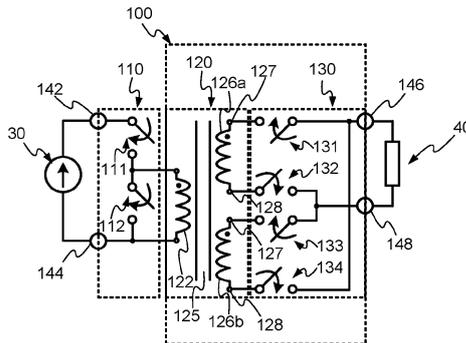
Нагорных И.М. (RU)

(87) WO 2023/282841 2023.01.12

(71) Заявитель:

ЗС ЭЛЕКТРИК АБ (SE)

(57) Изобретение представляет цепь усилителя тока (100) для обеспечения усиленного тока от источника питания (30) на нагрузку (40). Цепь усилителя тока (100) содержит трансформатор (120), по меньшей мере два входных вывода (142, 144) для функционального соединения источника питания (30) по меньшей мере с одной первичной обмоткой (122) трансформатора (120) и по меньшей мере два выходных вывода (146, 148) для функционального соединения нагрузки (40) параллельно по меньшей мере с двумя вторичными обмотками (126a, 126b) трансформатора (120). В дополнение к этому усилитель тока (100) содержит электрическую цепь вторичной стороны (130), содержащую множество вторичных переключателей (131, 132, 133, 134), выполненных с возможностью управлять направлением усиленного тока и выполненных с возможностью соединять вторичные обмотки (126a, 126b) по меньшей мере с двумя выходными выводами (146, 148) взаимно обратными соответствующими полярностями вторичных обмоток (126a, 126b). В дополнение к этому представлены узел печатной платы, узел усилителя тока, система усилителя тока и оборудование.



202490137 A1

202490137 A1

УСИЛИТЕЛЬ ТОКА

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к усилителям тока, а более точно, к усилителям тока для управления направлением усиленного тока. Более подробно, в настоящем раскрытии представлена цепь усилителя тока. Также представлены соответствующие узлы печатных плат, узлы усилителей тока, системы усилителей тока и испытательное оборудование.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Одно из наиболее важных испытаний стабильности распределенного питания представляет собой измерение уровней срабатывания всех типов защитных реле и приспособлений механического переключения. Уровни срабатывания могут быть крайне высокими, в некоторых случаях выше нескольких тысяч ампер. Создание таких высоких токов в диапазоне тысяч ампер, как правило, требует тяжелого и дорогого испытательного оборудования. Это испытательное оборудование в общем является трудным в обращении и, в дополнение, транспортировке, и может вызывать неудобство и потенциальные опасности при работе для персонала, обращающегося с оборудованием. Эти же недостатки могут присутствовать во время испытаний сопротивления некоторого оборудования. Например, обычным является то, что должен быть создан очень высокий уровень постоянного тока, создающий измеримый уровень падения напряжения на устройстве, проходящем испытание, который, разделенный на значение созданного тока, обеспечит желаемое сопротивление. Высокий подаваемый ток может иметь способность преодолевать проблемы соединения и окисления на выводах, когда более низкий ток может приводить к ложным показаниям в этих условиях. Высокие постоянные токи обычно также создаются в контактах высоковольтного автоматического выключателя при выполнении измерения статического и динамического сопротивления.

По вышеприведенной причине во многих случаях испытательное оборудование сконструировано для подачи токов на вторичную сторону устройства, проходящего испытание, поскольку на этой стороне, как правило, требуются более низкие уровни тока.

В отличие от первичной подачи, способы испытания, основанные на подаче на вторичной стороне, не включают в себя, например, датчики тока, электропроводку или другие токонесущие компоненты автоматического выключателя при испытании. Это означает, что эти компоненты, как правило,

тщательно не испытаны и могут потенциально не соответствовать нормативным требованиям и/или требованиям качества. В дополнение к этому, автоматические выключатели, которые имеют термомагнитные или электромеханические отключающие элементы, могут быть проверены только на корректность функционирования с помощью способов испытания, использующих подачу тока на первичную сторону. Также, испытание подачи первичного тока посредством трансформаторов тока (ТТ) должно быть проведено на всех трех фазах одновременно, что может дополнительно значительно увеличивать вес и сложность испытательного оборудования.

Следовательно, существующие устройства являются сложными, громоздкими и тяжелыми, обычно используемыми с земли, прикрепляя длинные толстые и тяжелые кабели к объектам испытания, что вызывая высокие потери, высокое потребление энергии и высокие затраты на транспортировку.

В US 8,497,692 представлено устройство, включающее в себя источник тока, выполненный с возможностью соединения с объектом испытания. Источник тока представляет собой конденсатор, обеспечивающий источник тока, который может быть размещен близко к объекту испытания, тем самым уменьшая необходимость в толстых и длинных кабелях питания. Однако это устройство обеспечивает только постоянный ток и не подходит для создания переменного тока.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

С учетом вышеизложенного и других соображений были разработаны варианты выполнения настоящего изобретения. Настоящее раскрытие признает тот факт, что существует необходимость в высокопортативном и легком устройстве, используемом для первичного и/или вторичного испытания с возможностью непрерывного создания высокого постоянного тока, DC, и/или переменного тока, AC, в диапазоне тысяч ампер.

Следовательно, задача настоящего изобретения заключается в том, чтобы обеспечить новый тип усилителя тока, который улучшен по сравнению с уровнем техники и который устраняет или по меньшей мере ослабляет недостатки, обсуждаемые выше. Более конкретно, задача изобретения заключается в обеспечении усилителя тока, который является легким, портативным и способен обеспечивать усиленный ток на нагрузку в двух направлениях. Эти задачи достигаются технологией, изложенной в приложенных независимых пунктах формулы изобретения, с предпочтительными вариантами выполнения,

определяемыми в зависимых пунктах формулы изобретения, связанными с ними.

В первом аспекте представлена цепь усилителя тока для обеспечения усиленного тока от источника питания на нагрузку. Цепь усилителя тока содержит трансформатор, по меньшей мере два входных вывода для функционального соединения источника питания с по меньшей мере одной первичной обмоткой трансформатора и по меньшей мере два выходных вывода для функционального соединения нагрузки параллельно с по меньшей мере двумя вторичными обмотками трансформатора. В дополнение к этому, усилитель тока содержит электрическую цепь вторичной стороны, которая в свою очередь содержит множество вторичных переключателей, выполненных с возможностью управлять направлением усиленного тока и выполненных с возможностью соединять вторичные обмотки с по меньшей мере двумя выходными выводами взаимно обратными соответствующими полярностями вторичных обмоток. При этом указанное множество вторичных переключателей содержит по меньшей мере первый вторичный переключатель, выполненный с возможностью соединять положительный вывод первой вторичной обмотки указанных по меньшей мере двух вторичных обмоток с первым выходным выводом, выполненным с возможностью соединяться с нагрузкой, второй вторичный переключатель, выполненный с возможностью соединять отрицательный вывод первой вторичной обмотки указанных по меньшей мере двух вторичных обмоток со вторым выходным выводом, выполненным с возможностью соединяться с нагрузкой, третий вторичный переключатель, выполненный с возможностью соединять положительный вывод второй вторичной обмотки указанных по меньшей мере двух вторичных обмоток со вторым выходным выводом, выполненным с возможностью соединяться с нагрузкой, и четвертый вторичный переключатель, выполненный с возможностью соединять отрицательный вывод второй вторичной обмотки указанных по меньшей мере двух вторичных обмоток с первым выходным выводом, выполненным с возможностью соединяться с нагрузкой.

В одном варианте выполнения электрическая цепь вторичной стороны выполнена с возможностью быть управляемой по существу синхронизировано с питанием, обеспечиваемым на первичную обмотку. Это благоприятно, поскольку синхронизированная работа позволяет эффективную передачу энергии в трансформатор с минимальным расхождением между переключением первичной стороны и переключением вторичной стороны.

В одном варианте выполнения множество вторичных переключателей управляется с частотой переключения 30 кГц или выше, предпочтительно 50 кГц или выше и наиболее предпочтительно 100 кГц или выше. Увеличенная частота переключения позволяет уменьшить размер трансформатора, уменьшая размер и массу усилителя тока и увеличивая портативность усилителя тока.

В одном варианте выполнения электрическая цепь вторичной стороны гальванически изолирована от указанных по меньшей мере двух входных выводов. Это благоприятно, поскольку это обеспечивает усилитель тока, который является безопасным в использовании и который может быть надежно и безопасно подключен к объекту испытания.

В одном варианте выполнения количество витков каждой первичной обмотки по меньшей мере в пять раз больше количества витков каждой вторичной обмотки, предпочтительно количество витков каждой первичной обмотки по меньшей мере в десять раз больше количества витков каждой вторичной обмотки. Это благоприятно, поскольку это отношение между обмотками способствует усилению тока.

В одном варианте выполнения цепь усилителя тока дополнительно содержит по меньшей мере одну электрическую цепь первичной стороны для функционального соединения указанных по меньшей мере двух входных выводов с указанной по меньшей мере одной первичной обмоткой трансформатора, при этом электрическая цепь первичной стороны содержит множество первичных переключателей, выполненных с возможностью управлять соединением источника питания с первичной обмоткой трансформатора. Электрическая цепь первичной стороны благоприятна, поскольку она позволяет использовать более широкий диапазон источников питания с усилителем тока, поскольку электрическая цепь первичной стороны может быть адаптирована или управляться в зависимости от источника питания.

В одном варианте выполнения множество первичных переключателей расположено в полумостовой компоновке. Это благоприятно, поскольку полумост является эффективным с точки зрения количества используемых переключателей.

В одном варианте выполнения множество первичных переключателей расположено в виде полномостовой компоновки. Это благоприятно, поскольку полный мост позволяет точно управлять переключением первичных обмоток.

В одном варианте выполнения указанное множество вторичных переключателей и/или указанное множество первичных переключателей обеспечены в виде транзисторов, предпочтительно полевых (FET) транзисторов. Это благоприятно, поскольку транзисторы являются легко управляются с быстрым
5 временем переключения, а FET транзисторы представляют сравнительно низкий уровень сопротивления.

В одном варианте выполнения трансформатор содержит сердечник, предпочтительно ферритовый сердечник. Это благоприятно, поскольку сердечник значительно уменьшает потери связи между первичной стороной и вторичной
10 стороной трансформатора.

Во втором аспекте представлен узел печатной платы, содержащий многослойную печатную плату (ПП). ПП содержит цепь усилителя тока в соответствии с первым аспектом и сквозное отверстие, пронизывающее все слои ПП. В дополнение к этому, указанная по меньшей мере одна первичная обмотка и
15 указанные по меньшей мере две вторичные обмотки трансформатора разведены вокруг сквозного отверстия.

В одном варианте выполнения по меньшей мере одна из вторичных обмоток трансформатора цепи усилителя тока расположена во внутреннем слое ПП. Это благоприятно, поскольку это увеличивает связь между обмотками и
20 уменьшает паразитные эффекты.

В одном варианте выполнения трансформатор цепи усилителя тока содержит одну или две первичные обмотки, при этом по меньшей мере одна из указанных одной или двух первичных обмоток расположена во внешнем слое ПП. Это обеспечивает эффективную разводку и топологическую структуру ПП.
25

В третьем аспекте представлен узел усилителя тока, содержащий множество узлов печатной платы в соответствии со вторым аспектом. В узле усилителя тока указанные по меньшей мере два входных вывода первичных обмоток узлов печатной платы соединены последовательно, а указанные по
30 меньшей мере два выходных вывода узлов печатной платы соединены параллельно.

В одном варианте выполнения сквозные отверстия указанного множества узлов печатной платы выровнены, а сердечник трансформатора расположен через сквозные отверстия указанного множества узлов печатной платы. Это благоприятно, поскольку это обеспечивает компактную конструкцию с
35 несколькими первичными обмотками, соединенными последовательно, и

вторичными обмотками, соединенными параллельно, совместно использующими один и тот же сердечник трансформатора, что приводит к легкому весу и компактной конструкции.

5 В четвертом аспекте представлена система усилителя тока. Система усилителя тока содержит один или более узлов усилителя тока в соответствии с третьим аспектом и носитель, снабженный множеством гнезд. Каждый узел печатной платы указанного одного или более узлов усилителя тока расположен в соответствующем гнезде носителя, а параллельное соединение указанных по меньшей мере двух выходных выводов узлов печатной платы обеспечено
10 носителем.

В одном варианте выполнения носитель дополнительно содержит электрическую цепь первичной стороны, функционально соединенную параллельно через последовательное соединение входных выводов узлов печатной платы указанного одного или более узлов усилителя тока. Это
15 благоприятно, поскольку электрическая цепь первичной стороны может быть эффективно совместно использована множеством узлов усилителя тока.

В одном варианте выполнения система усилителя тока дополнительно содержит модуль управления для управления по меньшей мере электрической цепью вторичной стороны узлов печатной платы указанного одного или более
20 узлов усилителя тока.

В пятом аспекте испытательное оборудование для электрического испытания или измерения содержит одну или более цепей усилителя тока в соответствии с первым аспектом.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

25 Далее будут описаны варианты выполнения изобретения; ссылки сделаны на приложенные схематические чертежи, которые иллюстрируют неограничивающие примеры того, как изобретательский замысел может быть осуществлен практически.

Фиг. 1 представляет собой принципиальную схему усилителя тока в
30 соответствии с уровнем техники;

Фиг. 2a-b представляют собой принципиальные схемы усилителей тока в соответствии с некоторыми вариантами выполнения;

Фиг. 3a-b представляют собой принципиальные схемы усилителей тока в соответствии с некоторыми вариантами выполнения;

35 Фиг. 4 представляет собой принципиальную схему усилителя тока в

соответствии с некоторыми вариантами выполнения;

Фиг. 5 представляет собой график временных последовательностей различных сигналов в усилителе тока в соответствии с некоторыми вариантами выполнения;

5 Фиг. 6 представляет собой схематичный вид управляющей логики для усилителя тока в соответствии с некоторыми вариантами выполнения;

Фиг. 7а-с представляют собой принципиальные схемы электрической цепи первичной стороны в соответствии с некоторыми вариантами выполнения;

10 Фиг. 8 представляет собой принципиальную схему усилителя тока в соответствии с некоторыми вариантами выполнения;

Фиг. 9 представляет собой блок-схему усилителя тока в соответствии с некоторыми вариантами выполнения;

Фиг. 10 представляет собой схематичный вид усилителя тока в соответствии с некоторыми вариантами выполнения;

15 Фиг. 11а-в представляют собой виды узла печатной платы в соответствии с некоторыми вариантами выполнения;

Фиг. 12 представляет собой вид в перспективе узла усилителя тока в соответствии с некоторыми вариантами выполнения;

20 Фиг. 13 представляет собой вид сбоку системы усилителя тока в соответствии с некоторыми вариантами выполнения; и

Фиг. 14 представляет собой блок-схему испытательного оборудования в соответствии с некоторыми вариантами выполнения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ

25 Некоторые варианты выполнения со ссылкой на сопровождающие чертежи будут описаны более полно далее. Однако изобретение может быть воплощено во множестве различных форм и не должно быть истолковано как ограниченное вариантами выполнения, изложенными в настоящем документе; скорее эти варианты выполнения обеспечены путем примера, чтобы это раскрытие было подробным и завершенным, и будет полностью передавать объем изобретения,
30 как определено в прилагаемой формуле изобретения, специалистам в области техники.

35 Термин «связанный» определен, как соединенный, хотя не обязательно непосредственно и не обязательно механически. Два или более объектов, которые «связаны», могут составлять единое целое друг с другом. Термины в единственном числе определены как один или более, если это раскрытие явно не

требует иного. Термины «по существу», «приблизительно» и «около» определены как в значительной степени, но не обязательно полностью, то, что указано, как понятно обычному специалисту в области техники. Термины «содержать» (и любая его форма, такая как «содержит» и «содержащий»), «иметь» (и любая его форма, такая как «имеет» и «имеющий»), «включать в себя» (и любая его форма, такая как «включает в себя» и «включающий в себя») и «вмещать» (и любая его форма, такая как «вмещает» и «вмещающий») являются открытыми связующими глаголами. В результате способ, который «содержит», «имеет», «включает в себя» или «вмещает» один или более этапов, обладает этими одним или более этапами, но не ограничен обладанием только одним или более этапами.

Начиная с Фиг. 1, усилитель тока уровня техники 1000 представлен для того, чтобы дать контекст различным вариантам выполнения настоящего изобретения. Усилитель тока уровня техники 1000 в общем питается от сети переменного тока 50 или 60 Гц в зависимости от региональной адаптации, но специалист в области техники понимает, что он также может питаться от постоянного тока, если первая ступень 1010 усилителя тока уровня техники 1000 обходится. Как бы то ни было, первая ступень 1010 используется, когда в качестве входного питания обеспечен переменный ток. Этот переменный ток подается на первую ступень 1010 усилителя тока уровня техники 1000, на которой он выпрямляется до того, как он обеспечивается на вторую ступень 1020 усилителя тока уровня техники 1000. Вторая ступень 1020 усилителя тока уровня техники 1000 содержит первое множество переключателей 1025, как правило, расположенных в виде полного моста, для управления выпрямленным током, как это обеспечено на третьей ступени 1030 усилителя тока уровня техники 1000. Третья ступень 1030 содержит трансформатор 1035, преобразующий ток, обеспеченный второй ступенью 1020, в более высокий ток, который обеспечен на четвертую ступень 1040 усилителя тока уровня техники 1000. Первое множество переключателей 1025 обеспечено для того, чтобы позволить использование трансформатора уменьшенного размера 1035, поскольку частота переключения первого множества переключателей 1025 может быть намного больше 50 или 60 Гц сети переменного тока. Трансформатор с частотой 50 или 60 Гц, выполненный с возможностью работать при указанных токах, был бы невообразимо большим и тяжелым. Четвертая ступень 1040 содержит второе множество переключателей 1045, выполненных с возможностью обеспечивать вторичный постоянный ток, который может быть обеспечен на нагрузку пятой ступенью 1050 усилителя тока

уровня техники 1000. Пятая ступень 1050 содержит третье множество переключателей 1055, расположенных в виде полного моста для управления током на нагрузку. Сложность усилителя тока уровня техники 1000 обусловлена требованием обеспечивать управляемый переменный или постоянный ток на

5 нагрузку, причем постоянный ток может быть обеспечен в двух направлениях через нагрузку. Следует отметить, что переключателям 1045, 1055 четвертой и пятой ступени 1040, 1050 требуется обращаться с полным током через нагрузку, что накладывает огромные ограничения на эти компоненты. Даже реализация переключателей 1045, 1055 на вторичной стороне FET транзисторами будет

10 рассеивать огромное количество тепла в переключателях 1045, 1055. Предположим, что транзистор способный обращаться с током 10 кА с сопротивлением постоянного тока $R_{ds(on)}$ 100 мкОм, был бы финансово осуществимым. Рассеиваемая энергия P на каждом проводящем переключателе на вторичной стороне была бы $P = I^2 \cdot R_{ds(on)} = (10 \cdot 10^3)^2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{Вт} = 10 \text{кВт}$.

15 Поскольку устройству требуется работать в установившемся режиме, указанные 10 кА являются среднеквадратичным значением и для работ на трехфазном переменном токе три усилителя тока должны быть добавлены для создания токов во всех квадрантах, что приводит к более высоким потерям при переключении и проводимости. Следовательно, количество полупроводников значительно

20 увеличивается, уменьшая надежность и эффективность, приводя в результате к высокой стоимости и сложности.

Со ссылкой на Фиг. 2а и 2b концептуальная идея этого раскрытия будет объяснена более подробно. На Фиг. 2а-б проиллюстрирован преобразователь положительного выходного сигнала. Преобразователь принимает питание от

25 источника питания 30 в виде источника тока 30. Источник тока 30 обеспечивает, с целью иллюстрации, ток первичной стороны i_p в виде полноволнового выпрямленного синусоидального тока. Ток первичной стороны i_p обеспечивается на первичную обмотку 122 трансформатора 120 через два транзистора первичной

30 стороны 111, 112, соединенных в виде полумоста. Транзисторы первичной стороны 111, 112 управляются соответствующим первым и вторым сигналом управления $G1$, $G2$. Первый и второй сигналы управления $G1$, $G2$ предпочтительно сдвинуты по фазе на 180° по отношению друг к другу так, что, если один из них активен, то другой неактивен. Вторичная сторона трансформатора 120 снабжена первой вторичной обмоткой 126а и второй

35 вторичной обмоткой 126b. Как видно на Фиг. 2а-б, на каждой из обмоток 122, 126а,

126b видна маркировка. Эта маркировка, как известно специалисту в области техники, представляет собой маркировку полярности и будет использоваться по этому раскрытию для указания положительного вывода обмотки трансформатора. Вторичные обмотки 126a, 126b соединены последовательно так, что отрицательный вывод первой вторичной обмотки 126a соединен с положительным выводом второй вторичной обмотки 126b.

Когда первый сигнал управления G1 такой, что первый транзистор первичной стороны 111 закорочен, предпочтительно, второй сигнал управления G2 такой, что второй транзистор первичной стороны 112 является не проводящим. Когда первый транзистор первичной стороны 111 проводящий, ток будет течь в положительный вывод первичной обмотки 122, а, следовательно, из положительных выводов вторичных обмоток 126a, 126b. Так как G1 и G2 по существу обратны друг другу, когда первый транзистор первичной стороны 111 является непроводящим, второй транзистор первичной стороны 112 закорочен, позволяя току течь в выход из положительного вывода первичной обмотки 122. Поскольку ток управляется так, чтобы он вытекал из положительного вывода на первичной обмотке 122, ток будет течь в положительные выводы вторичных обмоток 126a, 126b. Для простоты предполагают, что сигналы управления первичной стороны G1, G2 достаточно быстрые, чтобы переключать транзисторы первичной стороны 111, 112 достаточно быстро, чтобы обеспечивать по существу не пульсирующий ток вторичной стороны i_s на нагрузку 40.

В иллюстративном примере с Фиг. 2a первый диод D1 расположен последовательно с положительным выводом первой первичной обмотки 126a и положительным выводом нагрузки 40, причем его анод обращен к положительному выводу первой первичной обмотки 126a. Второй диод D2 расположен последовательно с отрицательным выводом второй вторичной обмотки 126b и положительным выводом нагрузки 40, причем его анод обращен к отрицательному выводу второй вторичной обмотки 126b. Отрицательная сторона нагрузки 40 соединена с отрицательным выводом первой вторичной обмотки 126a и положительным выводом второй вторичной обмотки 126b. Это эффективно соединяет нагрузку 40 параллельно со вторичными обмотками 126a, 126b, которые сдвинуты по фазе или обращены относительно нагрузки 40. Поскольку ток первичной стороны i_p является полноволновым выпрямленным током, ток будет течь от положительного вывода первичной обмотки 122, когда первый первичный транзистор 111 закорочен, и в положительный вывод второй

вторичной обмотки 126b, когда второй первичный транзистор является проводящим, т.е. закорочен. На вторичной стороне, если бы не было диодов D1, D2, то ток не был бы обеспечен на нагрузку 40, поскольку вторичные обмотки 126a, 126b соединены последовательно и положительный вывод первой вторичной обмотки 126a была бы закорочен на отрицательный вывод второй вторичной обмотки 126b. Однако, поскольку второй диод D2 расположен своим анодом в направлении отрицательного вывода второй вторичной обмотки 126b, это останавливает течение любого тока через вторую вторичную обмотку 126b в направлении от положительного вывода второй вторичной обмотки 126b. Однако, поскольку первый диод D1 расположен своим анодом в направлении положительного вывода первой вторичной обмотки 126a, ток может течь через первую вторичную обмотку 126a в направлении от положительного вывода первой вторичной обмотки 126a. Другими словами, в сценарии с Фиг. 2a на вторичной стороне трансформатора 120 току будет позволено либо вытекать из положительного вывода первой вторичной обмотки 126a, либо в положительный вывод второй вторичной обмотки 126b. Как объяснялось ранее, будет ли вторичный ток i_s обеспечен из первой вторичной обмотки 126a или второй вторичной обмотки 126b, будет решаться в зависимости от направления тока в первичной обмотке 122, т.е. от того, какой из первого или второго первичного транзистора 111, 112 является проводящим в данный момент. Следовательно, вторичный ток i_s будет, в зависимости от полярности нагрузки 40, положительным и обеспеченным из первой вторичной обмотки 126a. Так как ток первичной стороны i_p является полноволновым выпрямленным током, а частота переключения была достаточно высокой, то вторичный ток i_s будет плавным полноволновым выпрямленным током.

Теперь перейдем к Фиг. 2b. Пример, проиллюстрированный на Фиг. 2b идентичен примеру с Фиг. 2a, за исключением размещения диодов D1, D2 на вторичной стороне трансформатора 120. На Фиг. 2b размещение диодов D1, D2 было смещено так, что первый диод D1 расположен последовательно с отрицательным выводом первой первичной обмотки 126a и отрицательным выводом нагрузки 40, причем его анод обращен к отрицательному выводу первой первичной обмотки 126a. Вторым диод D2 расположен последовательно с положительным выводом второй вторичной обмотки 126b и отрицательным выводом нагрузки 40, причем его анод обращен к положительному выводу второй первичной обмотки 126b. Так как больше ничего не изменилось и так как

первичный ток i_p все еще является положительным полноволновым выпрямленным током, то первый диод D1 останавливает течение тока от положительного вывода первой вторичной обмотки 126a, но позволяет току течь в положительный вывод первой вторичной обмотки 126a. Однако, поскольку току
5 теперь позволено течь от положительного вывода второй вторичной обмотки 126b через второй диод D2 и в отрицательный вывод нагрузки 40, направление вторичного тока i_s относительно нагрузки 40 изменилось по сравнению с примером с Фиг. 2a.

Диоды D1, D2 с Фиг. 2a-b имеют неотъемлемое падение напряжения в
10 режиме прямого тока, которое будет вызывать потери на вторичной стороне трансформатора 120. Для уменьшения этих потерь могут быть введены переключатели, имеющие меньшие вносимые потери.

На Фиг. 3a показана соответствующая принципиальная схема, как на Фиг. 2a, но с первым диодом D1 с Фиг. 2a, замененным на первый вторичный
15 переключатель 131 на Фиг. 3a, а второй диод D2 с Фиг. 2a заменен на четвертый вторичный переключатель 134 на Фиг. 3a. Первый и четвертый вторичные переключатели 131, 134 на Фиг. 3a проиллюстрированы в виде FET транзисторов, но может быть использован любой подходящий переключатель, такой как биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT транзистор),
20 биполярный транзистор (BJT) и т.д. Специалист в области техники поймет, что увеличенное сопротивление во включенном состоянии соответствующего переключателя будет уменьшать эффективность усилителя и предпочтительно выбрана технология переключения с как только возможно низкими вносимыми потерями. Первый вторичный переключатель 131 на Фиг. 3a управляется третьим
25 сигналом управления G3, а четвертый вторичный переключатель 134 управляется четвертым сигналом управления G4. Из описания, данного со ссылкой на Фиг. 2a, понятно, что первый вторичный переключатель 131 и четвертый вторичный переключатель 134 предпочтительно управляются взаимно инвертированными сигналами управления G3, G4, аналогичными сигналам первого и второго
30 сигналов управления G1, G2, как определено ранее. То есть, третий и четвертый сигналы управления G3, G4 предпочтительно сдвинуты по фазе на 180° по отношению друг к другу, так что, если один из них активен, другой не активен. Предпочтительно, третий сигнал управления G3 управляется по существу синхронизировано с первым сигналом управления G1, так что первый первичный
35 переключатель 111 и первый вторичный переключатель 131 закорочены

одновременно, т.е. позволяя току течь в положительный вывод первичной обмотки 122 и течь от положительного вывода первой вторичной обмотки 126а. Соответственно, четвертый сигнал управления G4 управляется по существу синхронизировано со вторым сигналом управления G2, так что второй первичный переключатель 112 и четвертый вторичный переключатель 134 закорочены одновременно, т.е. позволяя току течь от положительного вывода первичной обмотки 122 и в положительный вывод второй вторичной обмотки 126а. Синхронизированное управление благоприятно, поскольку каждый переключатель имеет неотъемлемое время переключения, при котором он имеет высокие вносимые потери, и, следовательно, рассеивает энергию во время переключения. Так как сравнительно небольшая энергия передается во время переключения первичной стороны, благоприятно синхронно переключаться на вторичной стороне, чтобы минимизировать потери при переключении и максимизировать эффективность усилителя.

Соответственно, Фиг. 3b соответствует Фиг. 2b, но на Фиг. 3b. Но, в соответствии с различиями между Фиг. 2a и 3a, первый диод D1 с Фиг. 2b заменен на второй вторичный переключатель 132 на Фиг. 3b, а второй диод D2 с Фиг. 2b заменен на третий вторичный переключатель 133 на Фиг. 3b. Вторым и третьим вторичными переключателями 132, 133 на Фиг. 3b проиллюстрированы в виде FET транзисторов, но может быть использован любой подходящий переключатель, такой как IGBT транзисторы, реле и т.д. Вторым вторичным переключателем 132 на Фиг. 3b управляется пятым сигналом управления G5, а третий вторичный переключатель 133 управляется шестым сигналом управления G6. Из описания, данного со ссылкой на Фиг. 2b, понятно, что вторым вторичным переключателем 132 и третьим вторичным переключателем 133 предпочтительно управляются взаимно инвертированными сигналами управления G5, G6. То есть, пятый и шестой сигналы управления G5, G6 предпочтительно сдвинуты по фазе на 180° по отношению друг к другу, так что, если один из них активен, другой не активен. Предпочтительно, пятый сигнал управления G5 управляется по существу синхронизированно со вторым сигналом управления G2, так что вторым первичным переключателем 112 и вторым вторичным переключателем 132 закорочены одновременно, т.е. позволяя току течь от положительного вывода первичной обмотки 122 и в положительный вывод первой вторичной обмотки 126а. Соответственно, шестым сигналом управления G6 управляется по существу синхронизированно с первым сигналом управления G1, так что первый первичный

переключатель 111 и третий вторичный переключатель 133 закорочены одновременно, т.е. позволяя току течь в положительный вывод первичной обмотки 122 и от положительного вывода второй вторичной обмотки 126b.

Из описания, данного со ссылкой на Фиг. 2a-b и 3a-b, специалист в области техники поймет, что варианты выполнения с Фиг. 3a-3b могут быть скомбинированы в один контур; такой вариант выполнения усилителя тока 100 проиллюстрирован на Фиг. 4. На Фиг. 4 вторичная сторона трансформатора 120 содержит с первого по четвертый вторичные переключатели 131, 132, 133, 134, а первичная сторона трансформатора 120 идентична таковой с Фиг. 2a-b и 3a-b.

Первый вторичный переключатель 131 соединен для управления соединением между положительным выводом первой вторичной обмотки 126a и положительным выводом нагрузки 40. Первый вторичный переключатель 131 управляется третьим сигналом управления G3, предпочтительно синхронным с первым сигналом управления G1. Второй вторичный переключатель 132 соединен для управления соединением между отрицательным выводом первой вторичной обмотки 126a и отрицательным выводом нагрузки 40. Второй вторичный переключатель 132 управляется пятым сигналом управления G5, предпочтительно синхронным со вторым сигналом управления G2. Третий вторичный переключатель 133 соединен для управления соединением между положительным выводом второй вторичной обмотки 126b и отрицательным выводом нагрузки 40. Третий вторичный переключатель 133 управляется шестым сигналом управления G6, предпочтительно синхронным с первым сигналом управления G1. Четвертый вторичный переключатель 134 соединен для управления соединением между отрицательным выводом второй вторичной обмотки 126b и положительным выводом нагрузки 40. Четвертый вторичный переключатель 134 управляется четвертым сигналом управления G4, предпочтительно синхронным с первым сигналом управления G2. С цепью, осуществленной на Фиг. 4, можно обеспечивать вторичный ток i_s либо в положительный, либо в отрицательный вывод нагрузки 40. То есть, направление вторичного тока i_s через нагрузку 40 является управляемым, несмотря на полярность первичного тока i_p , обеспечиваемого источником питания 30.

При продолжении ссылки на Фиг. 4, если предполагается, что ток первичной стороны i_p имеет вид полноволнового выпрямленного синусоидального тока, как проиллюстрировано на Фиг. 4, то невыпрямленный синусоидальный ток с нулевым смещением может быть обеспечен на нагрузку 40.

Положительный полупериод вторичного тока i_s может быть обеспечен для первого полупериода тока первичной стороны i_p позволением цепи с Фиг. 4 работать в качестве цепи, представленной на Фиг. 3a. Это может быть достигнуто за счет того, что первый вторичный переключатель 131 и второй вторичный переключатель 132 закорочены одновременно, так как первый первичный переключатель 111 закорочен, а третий вторичный переключатель 133 и четвертый вторичный переключатель 134 закорочены одновременно, так как второй первичный переключатель 112 закорочен. Следовательно, по меньшей мере один из третьего вторичного переключателя 133 и четвертого вторичного переключателя 134 является непроводящим, когда первый первичный переключатель является проводящим, и по меньшей мере один из первого вторичного переключателя 131 и второго вторичного переключателя является непроводящим, когда второй первичный переключатель 112 активен, т.е. проводящий. Эта схема управления позволит контуру с Фиг. 4 работать аналогично контуру на Фиг. 3a, обеспечивая положительный вторичный ток i_s на нагрузку 40, т.е. вторичный ток i_s , текущий в положительный вывод нагрузки 40. Этот сценарий будет называться сценарием положительного тока.

Отрицательный полупериод вторичного тока i_s может быть обеспечен для второго полупериода тока первичной стороны i_p , позволением цепи с Фиг. 4 работать в качестве цепи, представленной на Фиг. 3b. Это может быть достигнуто за счет того, что первый вторичный переключатель 131 и второй вторичный переключатель 132 закорочены одновременно, так как второй первичный переключатель 112 закорочен, а третий вторичный переключатель 133 и четвертый вторичный переключатель 134 закорочены одновременно, так как первый первичный переключатель 111 закорочен. Следовательно, по меньшей мере один из третьего вторичного переключателя 133 и четвертого вторичного переключателя 134 является непроводящим, когда второй первичный переключатель 112 является проводящим, и по меньшей мере один из первого вторичного переключателя 131 и второго вторичного переключателя 132 является непроводящим, когда первый первичный переключатель 111 активен, т.е. проводящий. Эта схема управления позволит контуру с Фиг. 4 работать аналогично контуру с Фиг. 3b, обеспечивая отрицательный вторичный ток i_s на нагрузку 40, т.е. вторичный ток i_s , текущий из положительного вывода нагрузки 40. Этот сценарий будет называться сценарием отрицательного тока.

Чтобы уменьшить, например, потери при переключении и сложность управляющей логики, может быть использована схема управления, проиллюстрированная на Фиг. 5. На Фиг. 5 все сигналы проиллюстрированы вдоль общей оси времени x . Фиг. 5 показывает график временной зависимости сигналов управления G1-G6, выровненных с соответствующими первичным током i_p , вторичным током i_s , током первого вторичного переключателя i_{131} , текущим через первый первичный переключатель 131, током второго вторичного переключателя i_{132} , текущим через второй вторичный переключатель 132, током третьего вторичного переключателя i_{133} , текущим через третий вторичный переключатель 133, и током четвертого вторичного переключателя i_{134} , текущим через четвертый вторичный переключатель 132. Сценарии положительного тока происходят во время первого и третьего полупериодов первичного тока i_p , а сценарии отрицательного тока происходят во время второго и четвертого полупериодов первичного тока i_p .

На схеме с Фиг. 5 во время сценариев положительного тока первый вторичный переключатель 131, управляемый третьим сигналом управления G3, находится в синхронизации с первым первичным переключателем 111, управляемым первым сигналом управления G1, а второй вторичный переключатель 132, управляемый пятым сигналом управления G5, постоянно активен, т.е. является закороченным или проводящим. В дополнение к этому, во время сценария положительного тока четвертый вторичный переключатель 134, управляемый четвертым сигналом управления G4, находится в синхронизации со вторым первичным переключателем 112, управляемым вторым сигналом управления G2, а третий вторичный переключатель 132, управляемый шестым сигналом управления G6, постоянно активен, т.е. является закороченным или проводящим.

Оставаясь на Фиг. 5, но фокусируясь на сценариях отрицательного тока, первый вторичный переключатель 131, управляемый третьим сигналом управления G3, находится в синхронизации с первым первичным переключателем 111, управляемым первым сигналом управления G1, а второй вторичный переключатель 132, управляемый пятым сигналом управления G5, постоянно активен, т.е. является закороченным или проводящим. В дополнение к этому, во время сценария положительного тока, четвертый вторичный переключатель 134, управляемый четвертым сигналом управления G4, находится в синхронизации со вторым первичным переключателем 112, управляемым вторым сигналом

управления G2, а третий вторичный переключатель 132, управляемый шестым сигналом управления G6, постоянно активен, т.е. является закороченным или проводящим.

Управление усилителем тока 100 с Фиг. 4 может быть обеспечено различными путями посредством программного и/или аппаратного обеспечения. Со ссылкой на Фиг. 6 будет представлена управляющая логика 600 для обеспечения схемы управления с Фиг. 5. На Фиг. 6 логическая схема проиллюстрирована вместе с управляющей логикой 600. На логической схеме сценарии вторичного тока i_s обозначены символом «+» для сценария положительного тока и символом «-» для сценария отрицательного тока. Управляющая логика 600 содержит генератор импульсов 610, выполненный с возможностью создавать импульсный сигнал 615 при сравнительно высокой частоте переключения f_{sw} . Частота переключения f_{sw} составляет в общем более 30 кГц, но предпочтительно более 50 кГц и наиболее предпочтительно более 100 кГц. Высокая частота переключения f_{sw} благоприятна, поскольку она позволяет трансформатору 120 быть сравнительно небольшим и легким по сравнению с тем, если используется более низкая частота переключения f_{sw} . Первый сигнал управления G1 является синхронизированным и находится в фазе с импульсным сигналом 615, а второй сигнал управления G2 является обратным, т.е. сдвинут по фазе на 180° относительно импульсного сигнала 615. Управляющая логика 600 дополнительно содержит детектор пересечения фазы 640, выполненный с возможностью обеспечивать фазовый сигнал 645, указывающий положительную или отрицательную фазу первичного тока i_p . В этом сценарии, если фаза первичного тока i_p положительна, то фазовый сигнал 645 высокий, а если фаза первичного тока i_p отрицательна, то фазовый сигнал низкий. Управляющая логика 600 дополнительно содержит первый инвертор 621, выполненный с возможностью обеспечивать инвертированный импульсный сигнал 615', и второй инвертор 622, выполненный с возможностью обеспечивать инвертированный фазовый сигнал 645'. Шестой сигнал управления G6 обеспечен первым логическим элементом И-НЕ 631, выполненным с возможностью обеспечивать логику И-НЕ импульсного сигнала 615 и инвертированного фазового сигнала 645'. Третий сигнал управления G3 обеспечен вторым логическим элементом И-НЕ 632, выполненным с возможностью обеспечивать логику И-НЕ инвертированного импульсного сигнала 615' и фазового сигнала 645. Четвертый сигнал управления G4 обеспечен третьим логическим элементом И-НЕ 633, выполненным с возможностью

обеспечивать логику И-НЕ импульсного сигнала 615 и фазового сигнала 645. Пятый сигнал управления G5 обеспечен четвертым логическим элементом И-НЕ 634, выполненным с возможностью обеспечивать логику И-НЕ инвертированного импульсного сигнала 615' и инвертированного фазового сигнала 645'.

5 Как понятно из этого раскрытия, одна важная часть изобретательского замысла заключается в том, чтобы иметь вторичные обмотки 126a, 126b трансформатора 120, соединенные параллельно через вторичные переключатели 131, 132, 133, 134 и сдвинутые по фазе на нагрузке 40. Это позволяет обеспечивать ток через нагрузку в обоих направлениях: положительном и
10 отрицательном, вместе с тем, позволяя увеличенную частоту переключения в несколько кГц, уменьшая размер трансформатора. Однако для полноты изложения материала, некоторые различные цепи для соединения источника питания 30 с первичной обмоткой 122 будут представлены со ссылкой на Фиг. 7a-c. Цепь, функционально соединяющая источник питания 30 с первичной обмоткой
15 122 трансформатора 120, будет называться электрической цепью первичной стороны 110.

В варианте выполнения на Фиг. 7a электрическая цепь первичной стороны 110 содержит первый первичный переключатель 111 и второй первичный переключатель 112, расположенные в виде полумоста. Чтобы не вводить
20 трансформатор в насыщение, конденсатор С может быть расположен последовательно с первичной обмоткой 122.

Обращаясь к Фиг. 7b, представлена электрическая цепь первичной стороны 110, содержащая первый первичный транзистор 111 и второй первичный транзистор 112, расположенные в двухтактной (push-pull) компоновке. В этом
25 варианте выполнения первичная обмотка 122 содержит первую первичную обмотку 122a и вторую первичную обмотку 122b. Двухтактная компоновка обеспечена для управления током либо через первую первичную обмотку 122a, либо через вторую первичную обмотку 122b.

На Фиг. 7c цепь первичной стороны обеспечена в виде полномостовой
30 компоновки с первым первичным переключателем 111 и вторым первичным переключателем 112, выполненными с возможностью образовывать первое плечо полного моста, и третьим первичным переключателем 113 и четвертым первичным переключателем 114, выполненными с возможностью образовывать второе плечо полного моста. Третий первичный переключатель 113 управляется
35 седьмым сигналом управления G7, который может быть вторым сигналом

управления G2, а четвертый вторичный переключатель 114 управляется восьмым сигналом управления G8, который может быть первым сигналом управления G1.

В некоторых вариантах выполнения источник питания 30 может содержать электрическую цепь первичной стороны 110.

5 Со ссылкой на Фиг. 8 будет представлен один вариант выполнения узла усилителя тока 300. Узел усилителя тока 300 с Фиг. 8 содержит множество усилителей тока 100a, 100b, ..., 100n, соединенных параллельно через нагрузку 40. Это позволяет вторичному току i_s быть разделенным среди усилителей тока 100a, 100b, ..., 100n, делая возможным добавлять любое количество усилителей
10 тока 100a, 100b, ..., 100n параллельно, чтобы создавать вторичные токи i_s , значительно выше 1 кА. В варианте выполнения с Фиг. 8 трансформатор 120 содержит множество первичных обмоток 122a, 122b, ..., 122n, а каждый из усилителей тока 100a, 100b, ..., 100n соединен с отдельными первыми и вторыми
15 вторичными обмотками 126a, 126b. Это всего лишь один пример, варианты выполнения только с одной первичной обмоткой 122 или любым другим количеством вторичных обмоток 126a, 126b, как оценит специалист в области техники после усваивания сведений настоящего документа, находятся в пределах объема настоящего раскрытия. Первичные обмотки 122a, 122b, ..., 122n трансформатора 120 узла усилителя тока 300 расположены последовательно и
20 соединены с источником питания 30 посредством электрической цепи первичной стороны 110 в виде полумоста. Возможны любые другие подходящие топологии первичного контура, а одна или более первичных обмоток 122a, 122b, ..., 122n могут в некоторых вариантах выполнения быть присоединены параллельно к источнику питания 30. Узел усилителя тока 300 может иметь каждый из
25 усилителей тока 100a, 100b, ..., 100n активированным и, например, управляемым, как описывалось ранее, или только некоторые усилители тока 100a, 100b, ..., 100n могут быть активными. Управляя количеством активных усилителей тока 100a, 100b, ..., 100n, можно управлять амплитудой вторичного тока i_s .

Узел усилителя тока 300 с Фиг. 8 проиллюстрирован с усилителями тока
30 100a, 100b, ..., 100n, аналогичными усилителю тока 100, представленному на Фиг. 4. Однако, для полноты, специалист в области техники поймет, что усилитель тока 100 может быть очень хорошо образован присоединением цепи с Фиг. 2a и 2b параллельно к нагрузке 40 и активированием только одной из цепей в зависимости, например, от желаемой полярности, т.е. фазы, вторичного тока i_s .
35 Такое управление может быть обеспечено, например, реле, переключателями или

транзисторами. Такие же рассуждения применимы к комбинации вариантов выполнения на Фиг. 3а и 3б, но в этом варианте выполнения не требуются дополнительные переключатели. В итоге, также цепь, соединяющая вторичные обмотки 126а, 126б с нагрузкой, может быть образована разными путями и все они должны рассматриваться охватываемыми настоящим раскрытием.

На Фиг. 8, трансформатор 120 содержит сердечник 125, который значительно увеличивает связь от первичных обмоток 122а, 122б, ..., 122п до вторичных обмоток 126а, 126б. Хотя большинство вариантов выполнения трансформатора 120 настоящего раскрытия проиллюстрированы с сердечником 125, следует упомянуть, что сердечник трансформатора 125 не является существенным для изобретения.

В предпочтительном варианте выполнения усилителя тока 100, не обязательно усилителя тока 100 с Фиг. 8, сердечник 125 трансформатора 120 представляет собой ферритовый сердечник. Это увеличивает связь, но уменьшает потери сердечника, которые возникают при высоких частотах переключения, если, например, используется железный сердечник.

Следует упомянуть, что узел усилителя тока 300 может также быть образован усилителем тока 100, как проиллюстрировано на Фиг. 4. В таком варианте выполнения каждый усилитель тока 100 может содержать электрическую цепь первичной стороны 110, а множество этих усилителей тока 100 могут быть соединены параллельно через нагрузку 40 для обеспечения усиленного вторичного тока i_s в десятки кА.

Было представлено большое количество различных вариантов выполнения усилителей тока 100 и они могут быть суммированы в усилителе тока 100, схематично проиллюстрированном на Фиг. 9. В этом варианте выполнения усилитель тока содержит трансформатор 120, имеющий по меньшей мере одну первичную обмотку 122. Как представлено ранее, может быть любое количество первичных обмоток 122. Трансформатор 120 дополнительно содержит по меньшей мере две вторичные обмотки 126а, 126б и может необязательно содержать сердечник 125. Первичная обмотка 122 выполнена с возможностью соединяться с источником питания 30, предпочтительно с источником тока 30. В зависимости от того, какую цепь включает в себя источник тока 30, он может быть непосредственно соединен с первичной обмоткой 122 трансформатора 120. Предпочтительно, источник питания 30 соединен с первичной обмоткой 122 посредством электрической цепи первичной стороны 110. Электрическая цепь

первичной стороны 110 может содержаться в усилителе тока 100 или вне усилителя тока 100, в зависимости от, например, требований системы, и образована любым подходящим образом, не ограниченными примерами, представленными в настоящем документе. Первая и вторая вторичные обмотки 126а, 126b трансформатора выполнены с возможностью соединения с нагрузкой 40 посредством электрической цепи вторичной стороны 130. Электрическая цепь вторичной стороны 130 может быть воплощена любым подходящим путем с любым количеством диодов, переключателей или транзисторов, как описано в настоящем документе. Важным является то, что электрическая цепь вторичной стороны 130 выполнена с возможностью соединять вторичные обмотки 126а, 126b с нагрузкой взаимно обратными соответствующими полярностями вторичных обмоток 126а, 126b. То есть, вторичная электрическая цепь 130 выполнена с возможностью соединять положительный вывод первой вторичной обмотки 126а и отрицательный вывод второй вторичной обмотки 126b с одним и тем же выводом нагрузки 40, будь то положительный или отрицательный вывод нагрузки 40, либо соединительный вывод для нагрузки 30, содержащийся в усилителе тока 100, или вне его. Вторичная электрическая цепь 130 дополнительно выполнена с возможностью соединять отрицательный вывод первой вторичной обмотки 126а и положительный вывод второй вторичной обмотки 126b с одним и тем же выводом нагрузки 40, являющимся выводом нагрузки 40, отличным от упомянутого выше.

Обращаясь к Фиг. 10, проиллюстрирован предпочтительный вариант выполнения усилителя тока 100. Этот вариант выполнения усилителя тока 100 является автономным и может быть соединен непосредственно между источником питания 30 и нагрузкой 40. Усилитель тока содержит по меньшей мере два входных вывода 142, 144 для соединения с источником питания 30, по меньшей мере первый выходной вывод 146 и второй выходной вывод 148 для соединения с нагрузкой 40, по меньшей мере один трансформатор 120, снабженный по меньшей мере одной первичной обмоткой 110 и по меньшей мере первыми вторичными обмотками 126а и второй вторичной обмоткой 126b, по меньшей мере одну электрическую цепь первичной стороны 110, функционально соединяющую указанные по меньшей мере два входных вывода 142, 144 с указанной по меньшей мере одной первичной обмоткой 122, и по меньшей мере одну электрическую цепь вторичной стороны 130, функционально соединяющую указанные по меньшей мере два выходных вывода 146, 148 с указанными по меньшей мере двумя вторичными обмотками 126а, 126b. При этом электрическая

цепь вторичной стороны 130 расположена так, что положительный вывод 127 первой вторичной обмотки 126a соединен посредством первого вторичного переключателя 131 с первым выходным выводом 146, отрицательный вывод 128 первой вторичной обмотки 126a соединен посредством второго вторичного переключателя 132 со вторым выходным выводом 148, положительный вывод 127 второй вторичной обмотки 126b соединен посредством третьего вторичного переключателя 133 с первым выходным выводом 146 и отрицательный вывод 128 второй вторичной обмотки 126b соединен посредством четвертого вторичного переключателя 134 со вторым выходным выводом 148.

Как представлено ранее, множество раскрытых усилителей тока 100 может быть соединено параллельно, чтобы дополнительно увеличивать вторичный ток i_s . Для того, чтобы сделать это эффективно, изобретатель этого раскрытия понял, что конструкция усилителя тока 100 может быть эффективно обеспечена на узле печатной платы 200, см. Фиг. 11a и 11b. Узел печатной платы 200 содержит печатную плату, ПП, 210 для установки компонентов и обеспечения разводки для выбранного варианта выполнения электрической цепи вторичной стороны 130. Первичная обмотка 122 и вторичные обмотки 126a, 126b трансформатора образованы петлями на ПП 110. Первичная обмотка 122 предпочтительно расположена в одном или более слоях ПП, которые отличаются от одного или более слоев ПП, в которых разведены вторичные обмотки 126a, 126b. Дополнительно изобретатель понял, что обеспечением ПП 210 со сквозным отверстием 215 и разводением первичной обмотки 122 и вторичных обмоток 126a, 126b вокруг отверстия, как будет подробно описано в другом месте, складывание узла печатной плат 200 может быть выполнено намного более эффективно. Если ПП 210 представляет собой двухслойную ПП, то первичные обмотки 122 расположены на первой стороне 212 ПП 210, Фиг. 11a, а вторичные обмотки 126a, 126b расположены на второй стороне ПП 214, Фиг. 11b. В зависимости от варианта выполнения электрической цепи вторичной стороны 130 вторичные переключатели 131, 132, 133, 134 могут быть расположены либо на одной, либо на обеих сторонах 212, 214 ПП 210. ПП 210 может дополнительно содержать входные выводы 142, 144, функционально соединенные с первичной обмоткой 122. Входные выводы 142, 144 предпочтительно расположены на общем краю ПП 210, чтобы упрощать соединение первичных обмоток 122 двух или более узлов печатной платы 200 последовательно или параллельно, например, как проиллюстрировано на Фиг. 8. ПП 210 может дополнительно содержать выходные

выводы 146, 148, функционально соединенные со вторичными обмотками 126a, 126b посредством электрической цепи вторичной стороны 130. Выходные выводы 146, 148 предпочтительно расположены на общем краю ПП 210, чтобы упростить соединение вторичных обмоток 126 двух или более узлов печатной платы 200 параллельно, например, как проиллюстрировано на Фиг. 8.

В одном варианте выполнения узла печатной платы 200 ПП 210 образована с более чем двумя слоями, и в этом варианте выполнения вторичные обмотки 126a, 126b предпочтительно расположены во внутренних слоях ПП 210. Если усилитель тока 100 снабжен двумя первичными обмотками 122a, 122b, то они предпочтительно расположены по одной в каждом из двух внешних слоев ПП 210. Это обеспечивает эффективную разводку и хорошую гальваническую изоляцию между первичной стороной и вторичной стороной. В дополнение к этому, паразитные эффекты уменьшаются, а эффективность усилителя тока 100 увеличивается.

Со ссылкой на Фиг. 12 будет объяснен узел усилителя тока 300 в соответствии с одним вариантом выполнения. Узел усилителя тока 300 с Фиг. 12 может быть узлом усилителя тока 300, как проиллюстрировано на Фиг. 8. Узел усилителя тока 300 с Фиг. 12 образован по меньшей мере из двух узлов печатной платы 200, как было представлено ранее. Соединением входных выводов 142, 144 каждого из узлов печатной платы 200 последовательно, а выходных выводов 146, 148 узлов печатной платы параллельно, обеспечивают узел усилителя тока 300, способный подавать очень высокие токи.

В предпочтительном варианте выполнения узла усилителя тока 300 сквозные отверстия 215 узлов печатной платы 200 выровнены, а общий сердечник трансформатора 125 расположен через отверстия 215 узла печатной платы 200.

На Фиг. 13 представлена система усилителя тока 400. Система усилителя тока 400 содержит один или более узлов усилителя тока 200, как описано со ссылкой на Фиг. 12. Система усилителя тока 400 дополнительно содержит носитель 410, снабженный множеством гнезд 412. Гнезда 412 предпочтительно расположены разнесенными друг от друга и выровнены так, что каждое гнездо 412 может принимать часть узла усилителя тока 200. Предпочтительно, каждый узел усилителя тока 200 системы усилителя тока 400 принимается двумя гнездами 412 носителя 410, одно из которых функционально соединяет первый выходной вывод 146 узла усилителя тока 200 с носителем 410, а другое функционально соединяет второй выходной вывод 148 узла усилителя тока 200 с

носителем 410. Носитель 410 может быть обеспечен, например, разводкой, обеспеченной для функционального соединения выходных выводов 146, 148 узлов усилителя тока 200 параллельно. Носитель 410 может быть дополнительно снабжен выводами нагрузки (не показаны) для функционального соединения параллельных выходных выводов 146, 148 узлов усилителя тока 200 с нагрузкой 40.

В одном варианте выполнения узла усилителя тока 300 входные выводы 142, 144 узлов усилителя тока 200 соединены последовательно, а носитель 410 дополнительно снабжен электрической цепью первичной стороны 110, функционально соединенной параллельно через последовательное соединение входных выводов 142, 144 узлов усилителя тока 200.

В дополнительном варианте выполнения система усилителя тока 400 содержит модуль управления 600 для управления по меньшей мере электрической цепью вторичной стороны 130 узлов печатной платы 200. В одном варианте выполнения модуль управления 600 обеспечен, чтобы также управлять электрической цепью первичной стороны 110. В еще одном дополнительном варианте выполнения модуль управления 600 представляет собой управляющую логику 600, как объяснялось со ссылкой на Фиг. 6.

Фиг. 14 представляет собой схематичный вид оборудования 500, содержащего по меньшей мере один усилитель тока 100 в соответствии с любым из примеров, приведенных в этом раскрытии. Оборудование 500 может быть любым типом оборудования, где требуется или желательно преобразование тока. Предпочтительно, оборудование 500 представляет собой оборудование 500 для испытания или измерения. Оборудование 500 может быть использовано для испытания или измерения, например, уровня срабатываний в защитных реле и/или реле механического переключения. В дополнение к этому, сведения настоящего раскрытия также являются полезными при, например, измерении коэффициента трансформации токового трансформатора, измерении контактного сопротивления высоковольтных автоматических выключателей. Дополнительно, сведения применимы для использования в качестве микрометра или для быстрой зарядки ультраконденсатора и т.д.

Хотя это явно не детализировано, нагрузка 40 предпочтительно гальванически изолирована от источника питания 30. Трансформатор 120 обеспечивает гальваническую изоляцию, но, как понимает специалист в области техники, изолирование первичной стороны гальванически от вторичной после

этого может привести к введению гальванической изоляции также на некоторых или на всех сигналах управления G1-G8. Это может быть обеспечено, например, оптическими соединителями, емкостными соединителями, преобразователями сигналов и т.д., все из которых известны специалисту в области техники. Это благоприятно поскольку это обеспечивает усилитель тока, который является безопасным в использовании и который может быть надежно и безопасно подключен к объекту испытания.

В дополнение к этому, специалист в области техники после прочтения этого раскрытия поймет, что количество витков N_{P1} каждой первичной обмотки 122 предпочтительно больше количества витков N_{S1} , N_{S2} каждой вторичной обмотки 126a, 126b. В одном варианте выполнения количество витков N_{P1} каждой первичной обмотки 122 по меньшей мере в пять раз больше количества витков N_{S1} , N_{S2} каждой вторичной обмотки 126a, 126b. В дополнительном варианте выполнения количество витков N_{P1} каждой первичной обмотки 122 по меньшей мере в десять раз больше количества витков N_{S1} , N_{S2} каждой вторичной обмотки 126a, 126b. Это благоприятно, поскольку соотношение между обмотками способствует усилению тока: чем больше разница, тем больше усиленный ток.

Следует отметить, что источник питания 30 проиллюстрирован как обеспечивающий полноволновой выпрямленный синусоидальный ток в большинстве вариантов выполнения этого раскрытия. Как понимает специалист в области техники, это только для целей иллюстративного объяснения. Как указано, источник питания 30 может быть любым подходящим источником питания, как в виде источника тока, так и в виде источника напряжения. Питание может быть обеспечено в любой форме переменного тока или постоянного тока в положительном либо в отрицательном направлении.

В дополнение к этому следует упомянуть, что вторичный ток i_p , хотя и проиллюстрирован в виде синусоидальной волны, связанной с переменным током, может быть управляемым переменным током любой желаемой формы или в виде постоянного тока, как в положительном, так и в отрицательном направлении.

Усилитель тока 100 настоящего изобретения был представлен в нескольких рабочих вариантах выполнения. Многие из этих вариантов выполнения могут быть скомбинированы для образования альтернативных явно нераскрытых вариантов выполнения усилителя тока 100. Также такие комбинации должны считаться полностью раскрытыми и охватываемыми настоящим раскрытием. Тоже самое

- применяется, например, к представленным узлам печатной платы 200, узлам усилителя тока 300, системам усилителя тока 400 и оборудованию 500, в которых разные варианты выполнения усилителей тока 100 могут быть скомбинированы любым подходящим образом для достижения желаемого эффекта. В качестве
- 5 примера, хотя усилитель тока 100 представлен и объяснен, специалист в области техники поймет после прочтения настоящего раскрытия, что также может быть обеспечен усилитель напряжения из той же самой цепи, что и усилитель тока 100. Цепь усилителя тока 100 является перестановочной и изменением положений источника питания 30 и нагрузки 40 может быть обеспечен усилитель напряжения.
- 10 Вариант выполнения усиления напряжения применим также для узла печатной платы 200, узла усилителя тока 300, системы усилителя тока 400 и испытательного оборудования 500.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Цепь усилителя тока (100) для обеспечения усиленного тока от источника питания (30) на нагрузку (40), цепь усилителя тока (100) содержит:

трансформатор (120);

по меньшей мере два входных вывода (142, 144) для функционального соединения источника питания (30) с по меньшей мере одной первичной обмоткой (122) трансформатора (120);

по меньшей мере два выходных вывода (146, 148) для функционального соединения нагрузки (40) параллельно с по меньшей мере двумя вторичными обмотками (126a, 126b) трансформатора (120); и

электрическую цепь вторичной стороны (130), содержащую множество вторичных переключателей (131, 132, 133, 134), выполненных с возможностью управлять направлением усиленного тока и выполненных с возможностью соединять вторичные обмотки (126a, 126b) с по меньшей мере двумя выходными выводами (146, 148) взаимно обратными соответствующими полярностями вторичных обмоток (126a, 126b), **отличающаяся тем, что** указанное множество вторичных переключателей (131, 132, 133, 134) содержит по меньшей мере:

первый вторичный переключатель (131), выполненный с возможностью соединять положительный вывод (127) первой вторичной обмотки (126a) указанных по меньшей мере двух вторичных обмоток (126a, 126b) с первым выходным выводом (146), выполненным с возможностью соединяться с нагрузкой (40),

второй вторичный переключатель (132), выполненный с возможностью соединять отрицательный вывод (128) первой вторичной обмотки (126a) указанных по меньшей мере двух вторичных обмоток (126a, 126b) со вторым выходным выводом (148), выполненным с возможностью соединяться с нагрузкой (40),

третий вторичный переключатель (133), выполненный с возможностью соединять положительный вывод (127) второй вторичной обмотки (126b) указанных по меньшей мере двух вторичных обмоток (126a, 126b) со вторым выходным выводом (148), выполненным с возможностью соединяться с нагрузкой (40), и

четвертый вторичный переключатель (134), выполненный с возможностью соединять отрицательный вывод (128) второй вторичной обмотки (126b) указанных по меньшей мере двух вторичных обмоток (126a,

126b) с первым выходным выводом (146), выполненным с возможностью соединяться с нагрузкой (40).

2. Цепь усилителя тока (100) по п. 1, в которой электрическая цепь вторичной стороны (130) выполнена с возможностью быть управляемой по существу синхронизировано с питанием, обеспечиваемым на первичную обмотку (122).

3. Цепь усилителя тока (100) по п. 1 или 2, в которой указанное множество вторичных переключателей (131, 132, 133, 134) управляется с частотой переключения 30 кГц или выше, предпочтительно 50 кГц или выше и наиболее предпочтительно 100 кГц или выше.

4. Цепь усилителя тока (100) по любому из предыдущих пп., в которой электрическая цепь вторичной стороны (130) гальванически изолирована от указанных по меньшей мере двух входных выводов (142, 144).

5. Цепь усилителя тока (100) по любому из предыдущих пп., в которой количество витков (N_{P1}) каждой первичной обмотки (122) по меньшей мере в пять раз больше количества витков (N_{S1} , N_{S2}) каждой вторичной обмотки (126a, 126b), предпочтительно количество витков (N_{P1}) каждой первичной обмотки (122) по меньшей мере в десять раз больше количества витков (N_{S1} , N_{S2}) каждой вторичной обмотки (126a, 126b).

6. Цепь усилителя тока (100) по любому из предыдущих пп., дополнительно содержащая по меньшей мере одну электрическую цепь первичной стороны (110) для функционального соединения указанных по меньшей мере двух входных выводов (142, 144) с указанной по меньшей мере одной первичной обмоткой (122) трансформатора (120), при этом электрическая цепь первичной стороны (110) содержит множество первичных переключателей (111, 112), выполненных с возможностью управлять соединением источника питания (30) с первичной обмоткой (122) трансформатора (120).

7. Цепь усилителя тока (100) по п. 6, в которой множество первичных переключателей (111, 112) расположено в полумостовой компоновке.

8. Цепь усилителя тока (100) по п. 6, в которой множество первичных переключателей (111, 112, ...) расположено в полномостовой компоновке.

9. Цепь усилителя тока (100) по любому из предыдущих пп., в которой указанное множество вторичных переключателей (131, 132, 133, 134) и/или указанное множество первичных переключателей (111, 112) обеспечено в виде транзисторов, предпочтительно FET транзисторов.

10. Цепь усилителя тока (100) по любому из предыдущих пп., в которой трансформатор (120) содержит сердечник (125), предпочтительно ферритовый сердечник (125).

11. Узел печатной платы (200), содержащий многослойную печатную плату, ПП, (210), ПП (210) содержит цепь усилителя тока (100) по любому из пп. 1-5 и сквозное отверстие (215), пронизывающее все слои ПП (210); при этом

указанная по меньшей мере одна первичная обмотка (122) и указанные по меньшей мере две вторичные обмотки (126a, 126b) трансформатора (120) разведены вокруг сквозного отверстия (215).

12. Узел печатной платы (200) по п. 11, в котором по меньшей мере одна из вторичных обмоток (126a, 126b) трансформатора (120) цепи усилителя тока (100) расположена во внутреннем слое ПП (210).

13. Узел печатной платы (200) по п. 11 или 12, в котором трансформатор (120) цепи усилителя тока (100) содержит одну или две первичные обмотки (122), при этом по меньшей мере одна из указанных одной или двух первичных обмоток (122) расположена во внешнем слое (212, 214) ПП (210).

14. Узел усилителя тока (300), содержащий множество узлов печатной платы (200) по любому из пп. 11-13, в котором

указанные по меньшей мере два входных вывода (142, 144) первичных обмоток (122) узлов печатной платы (200) соединены последовательно, а указанные по меньшей мере два выходных вывода (146, 148) узлов печатной платы (200) соединены параллельно.

15. Узел усилителя тока (300) по п. 14, в котором сквозные отверстия (215) указанного множества узлов печатной платы (200) выровнены и сердечник трансформатора (125) расположен через сквозные отверстия (215) указанного множества узлов печатной платы (200).

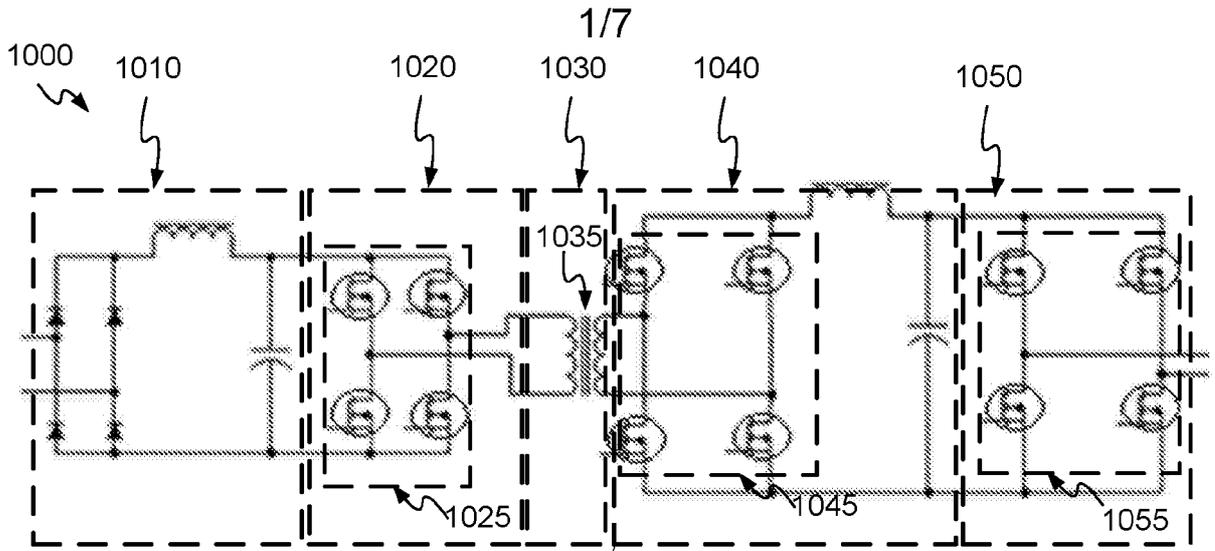
16. Система усилителя тока (400), содержащая один или более узлов усилителя тока (300) по любому из пп. 14 или 15, носитель (410), снабженный множеством гнезд (412), при этом каждый узел печатной платы (200) указанного одного или более узлов усилителя тока (300) расположен в соответствующем гнезде (412) носителя (410), а параллельное соединение указанных по меньшей мере двух выходных выводов (146, 148) узлов печатной платы (200) обеспечено носителем (410).

17. Система усилителя тока (400) по п. 16, в которой носитель (410) дополнительно содержит электрическую цепь первичной стороны (110),

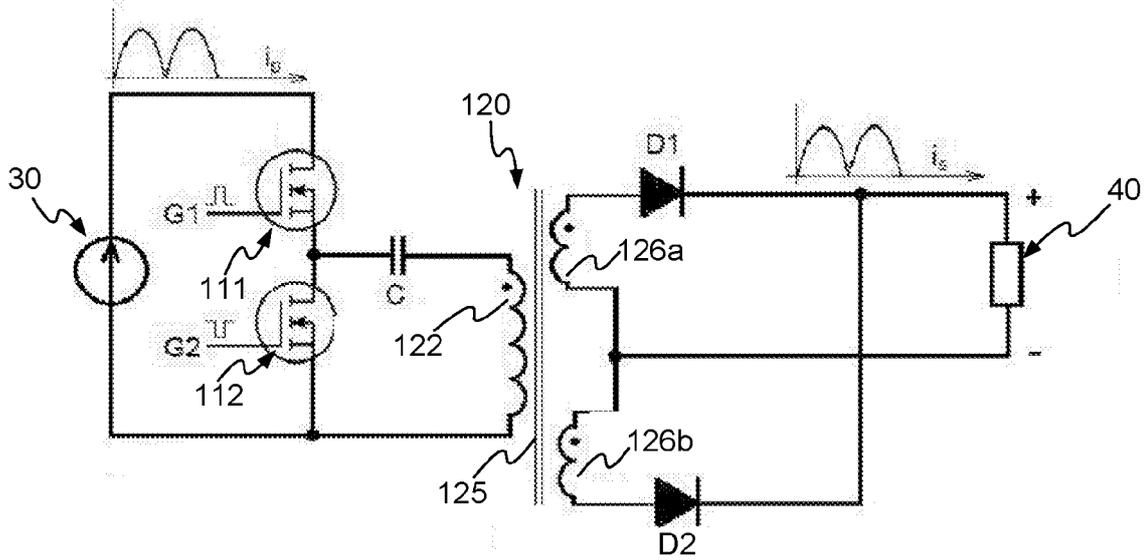
функционально соединенную параллельно через последовательное соединение входных выводов (142, 144) узлов печатной платы (200) указанного одного или более узлов усилителя тока (300).

18. Система усилителя тока (400) по п. 16 или 17, дополнительно содержащая модуль управления (600) для управления по меньшей мере электрической цепью вторичной стороны (130) узлов печатной платы (200) указанного одного или более узлов усилителя тока (300).

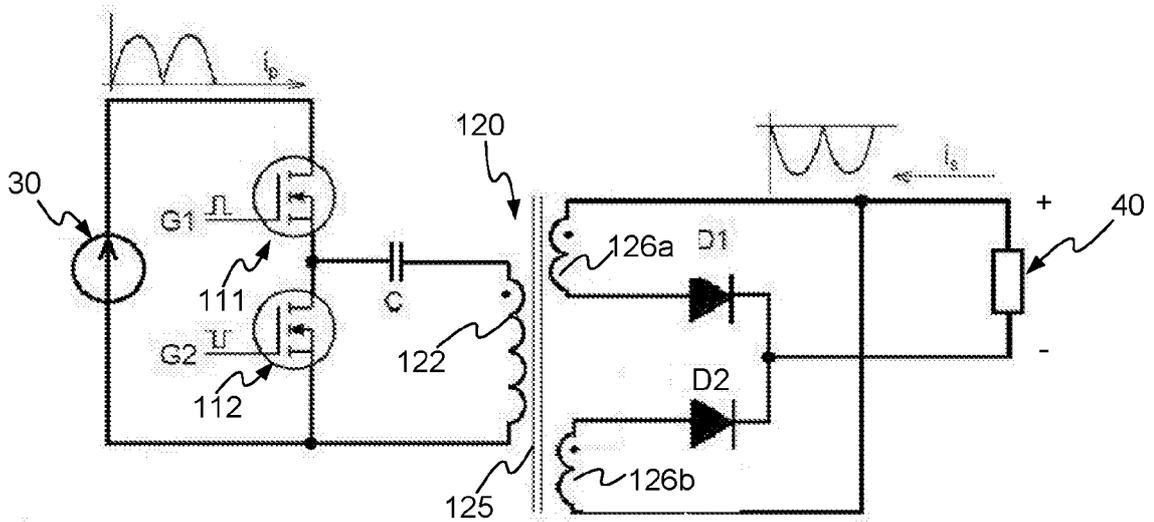
19. Испытательное оборудование (500) для электрического испытания или измерения, содержащее одну или более цепей усилителя тока (100) по любому из пп. 1-10.



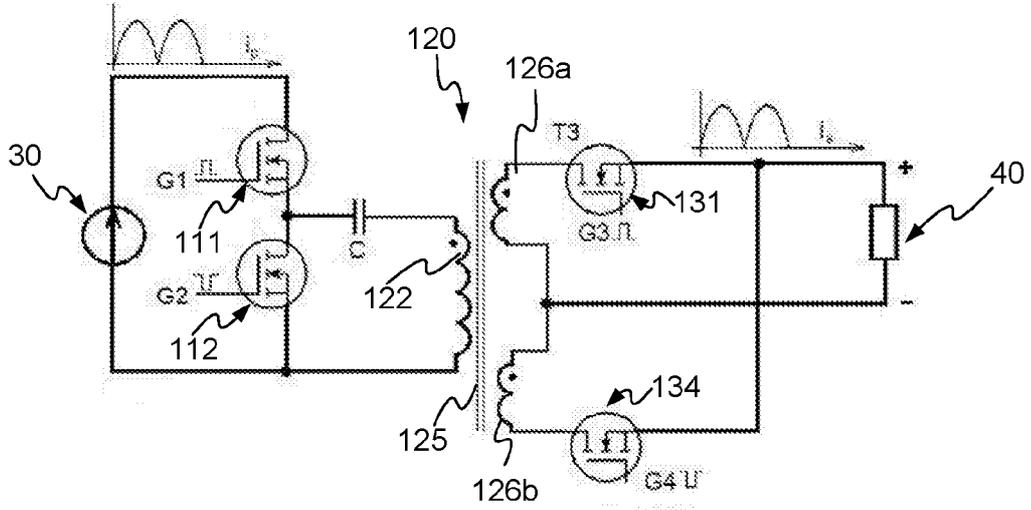
Фиг. 1, уровень техники



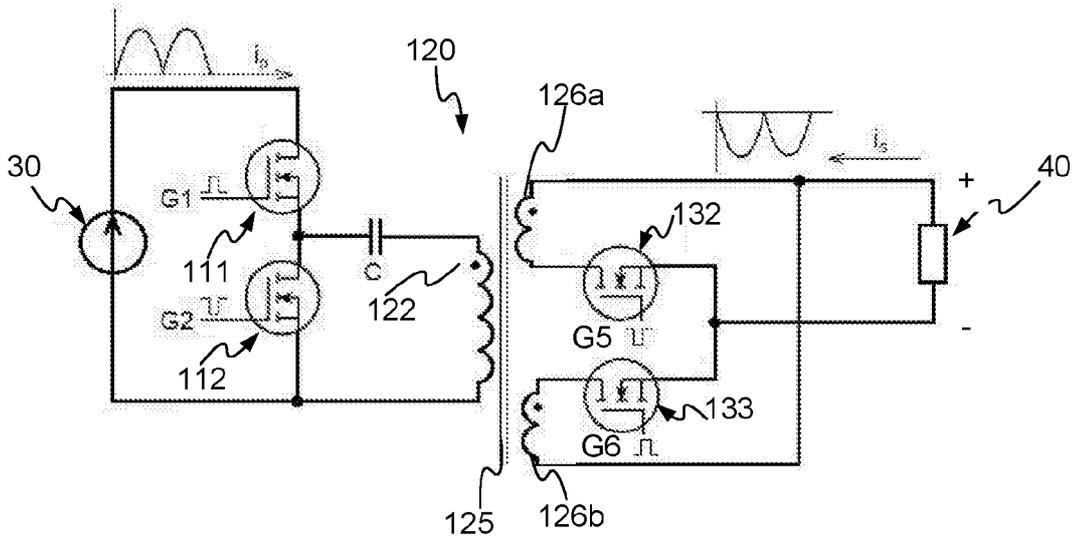
Фиг. 2а



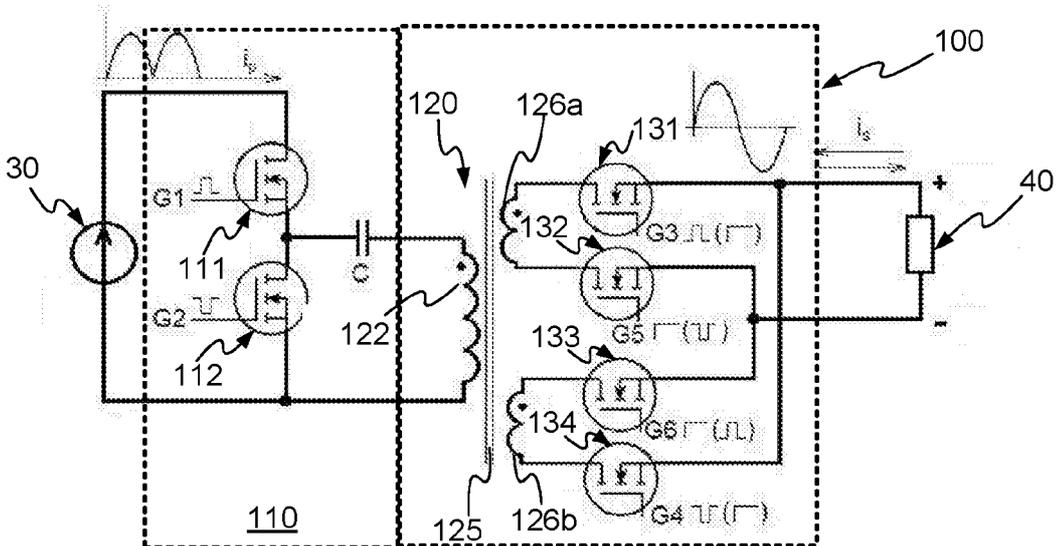
Фиг. 2b



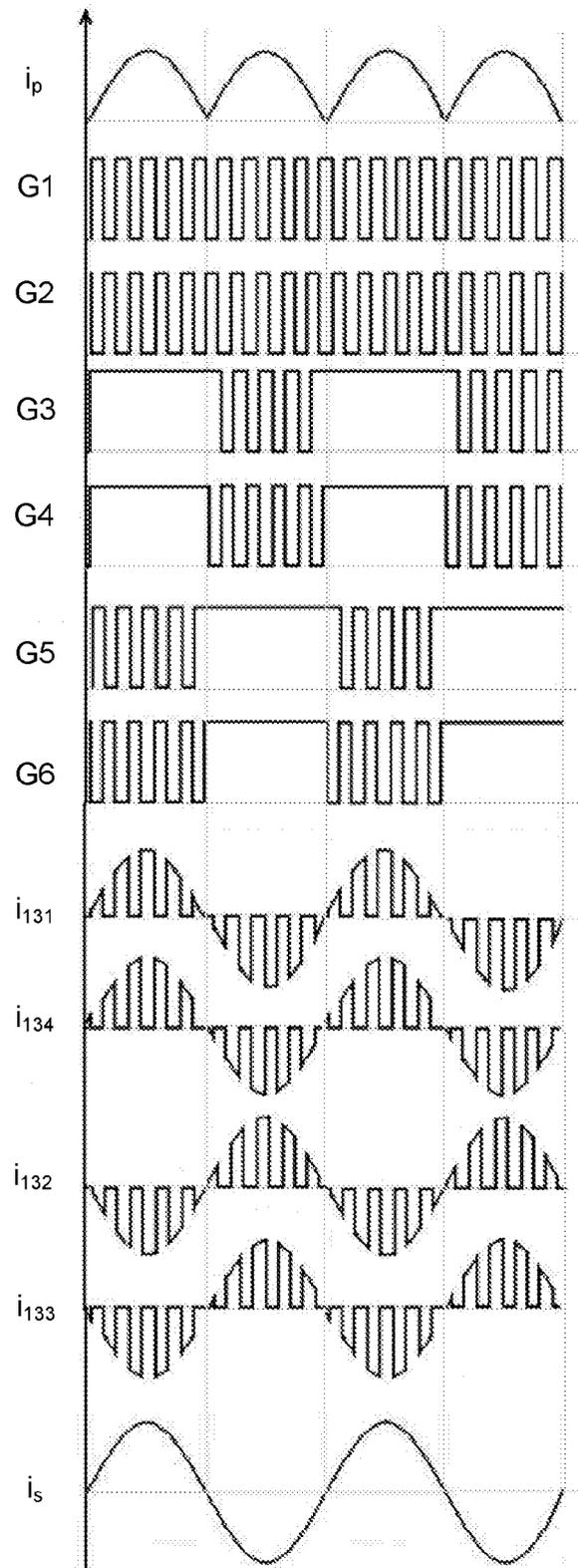
Фиг. 3а



Фиг. 3b

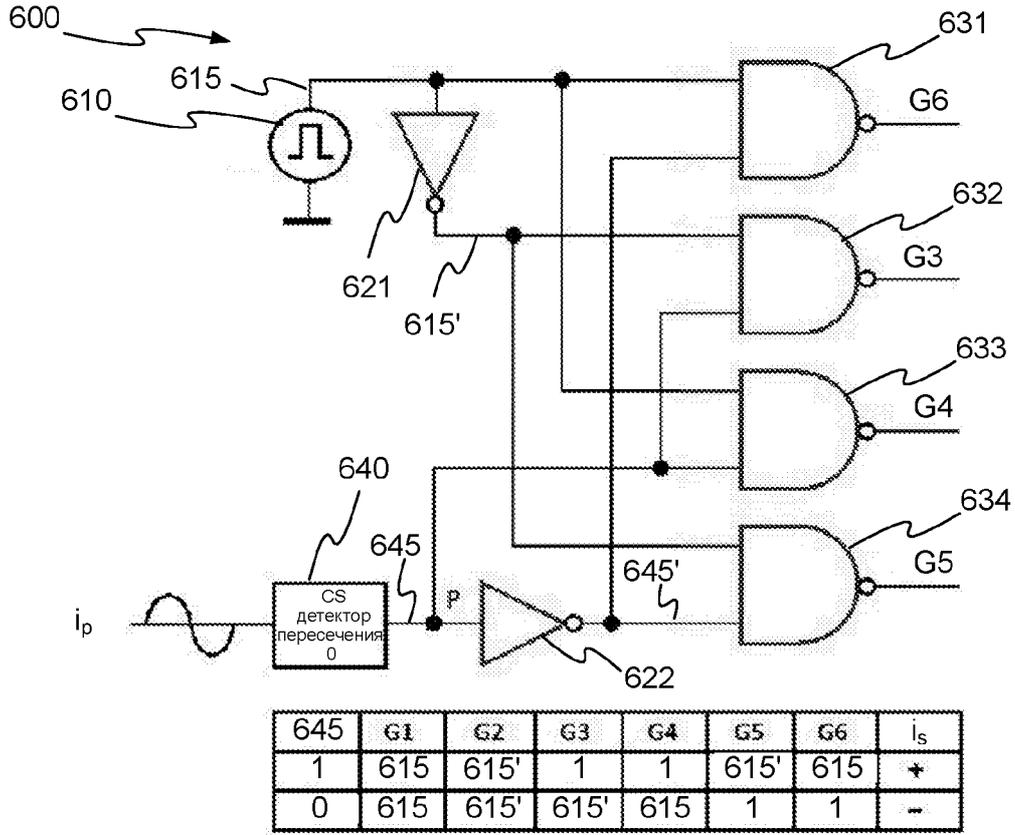


Фиг. 4

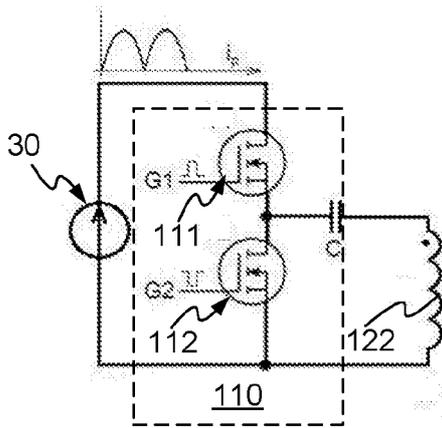


Фиг. 5

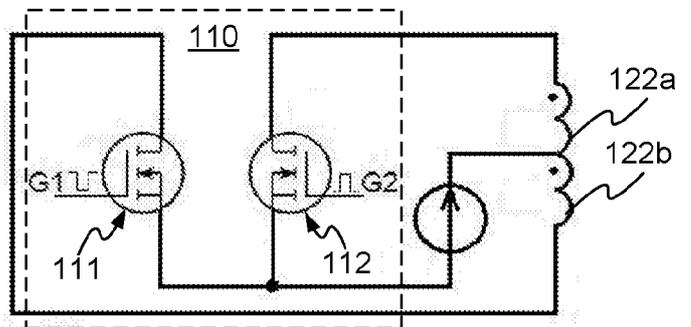
4/7



Фиг. 6

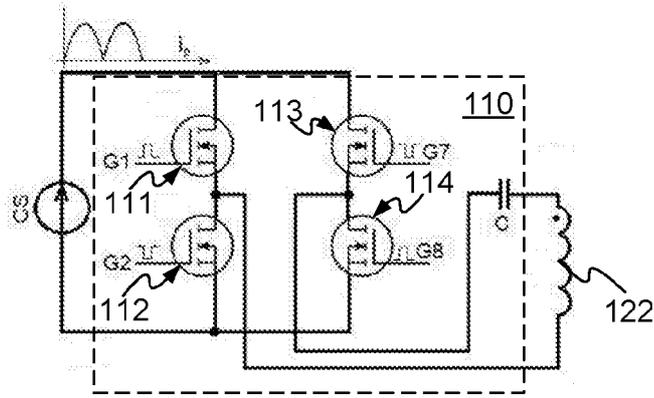


Фиг. 7a

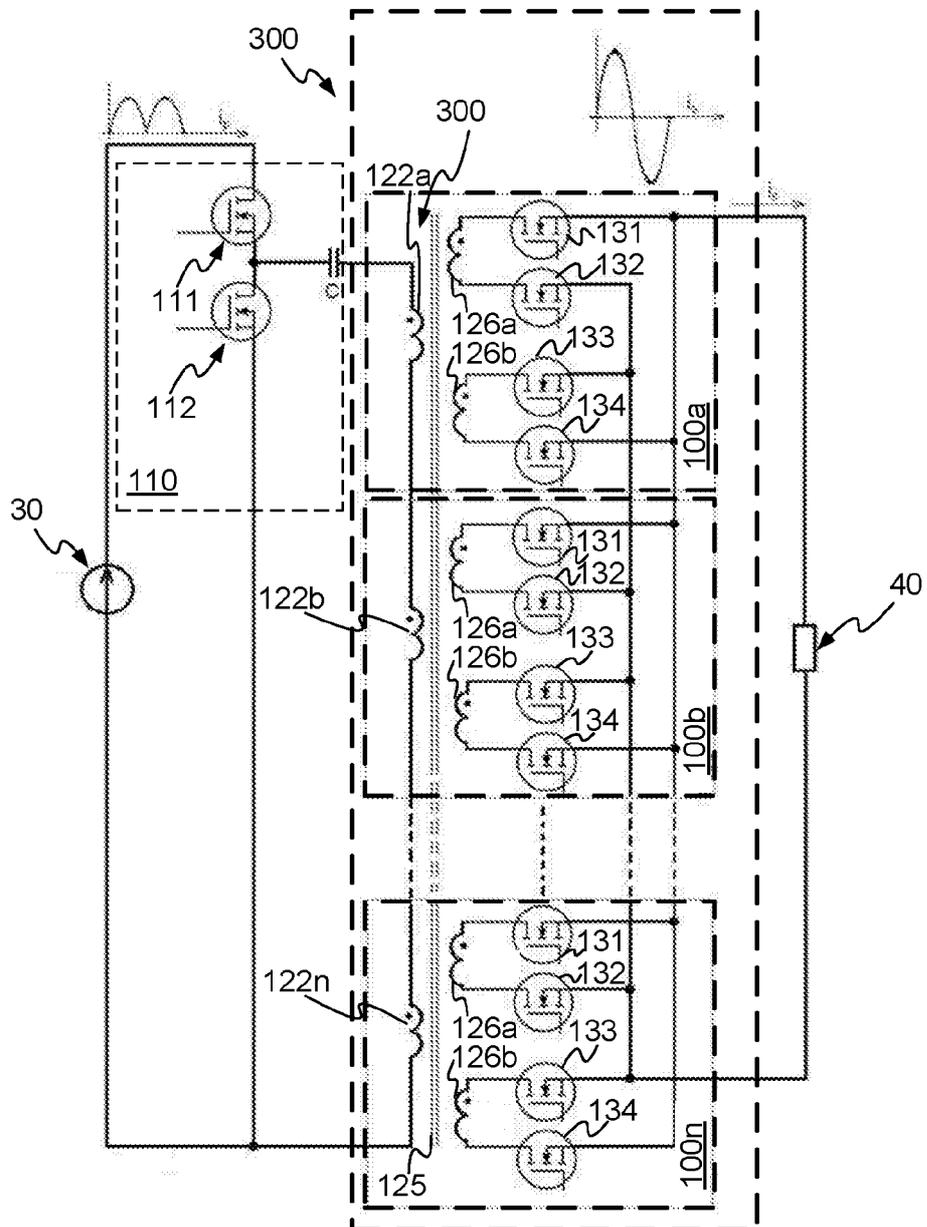


Фиг. 7b

5/7

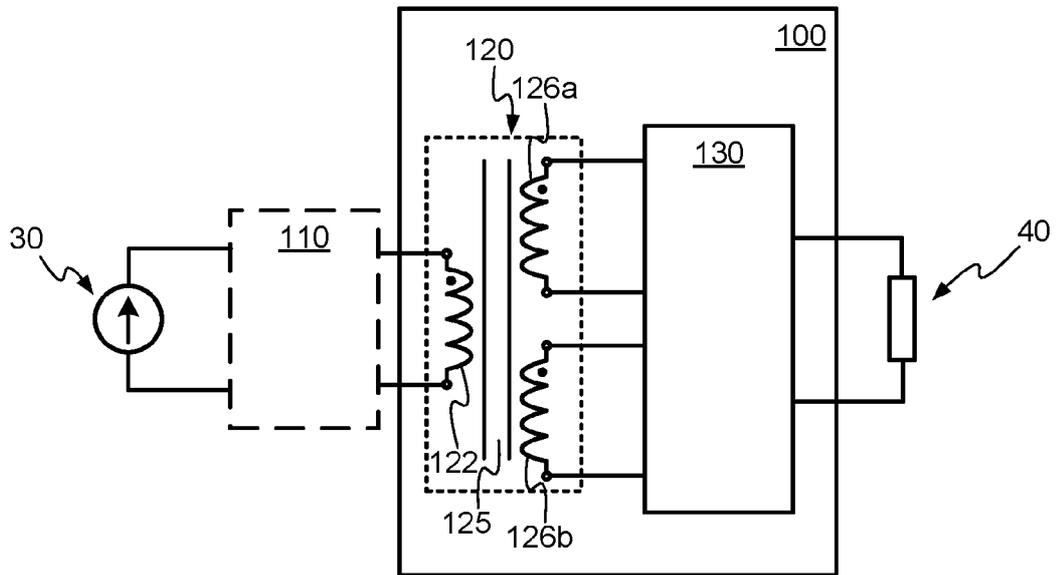


Фиг. 7с

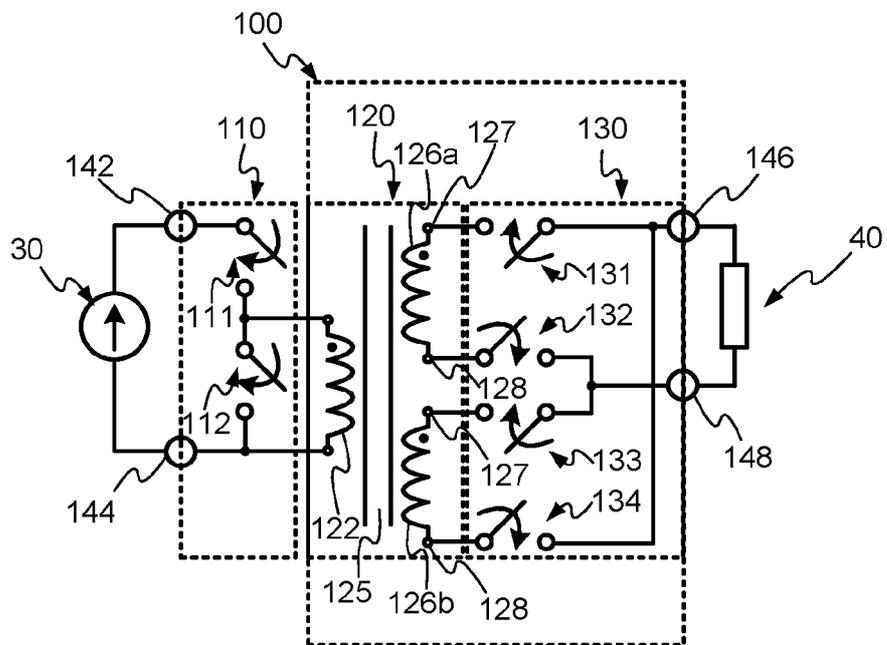


Фиг. 8

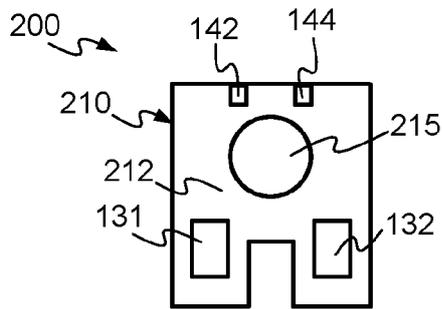
6/7



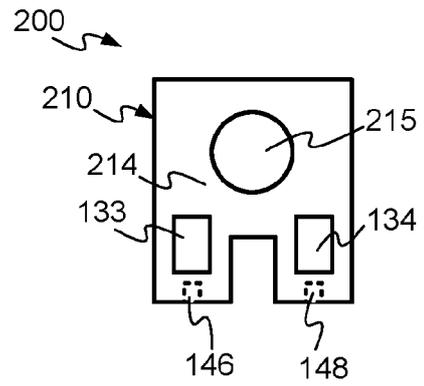
Фиг. 9



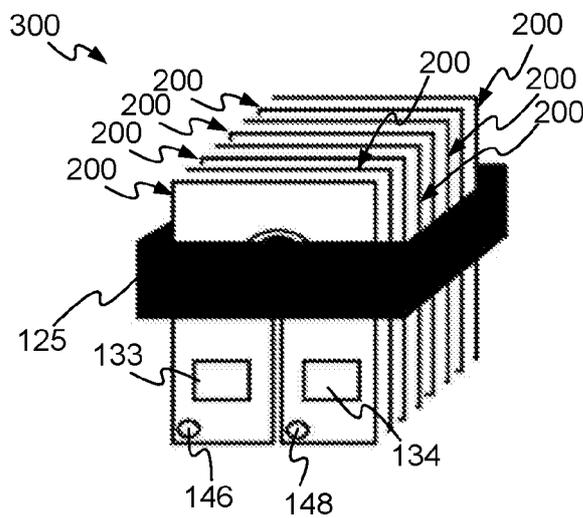
Фиг. 10



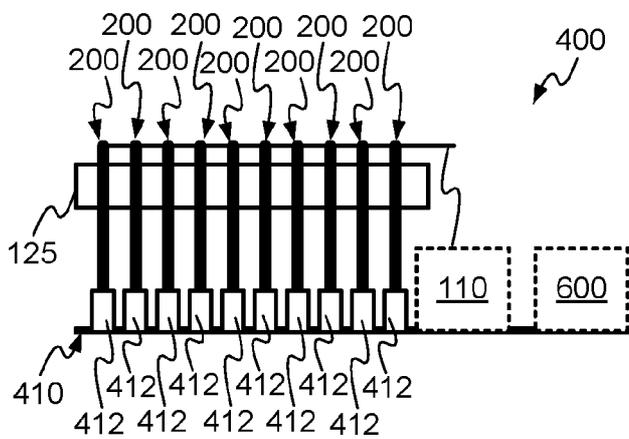
Фиг. 11a



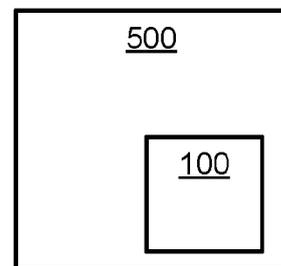
Фиг. 11b



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14