



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H02M 7/493 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2020112861, 07.11.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.11.2018

Дата регистрации:
06.12.2021

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
09.11.2017 EP 17200739.5

(43) Дата публикации заявки: 28.10.2020 Бюл. № 31

(45) Опубликовано: 06.12.2021 Бюл. № 34

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 02.04.2020

(86) Заявка РСТ:
EP 2018/080412 (07.11.2018)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2019/092000 (16.05.2019)

Адрес для переписки:
191002, Санкт-Петербург, а/я 5, ООО "Ляпунов
и партнеры"

(72) Автор(ы):

**ФРЕБЕЛЬ Фабрис (ВЕ),
ЖОАНН Тьерри (ВЕ),
КОБО Оливье (ВЕ),
БЛЁ Поль (ВЕ)**

(73) Патентообладатель(и):

СиИ+Ти ПАУЭР ЛЮКСЕМБУРГ СА (LU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: EP 1852964A1, 07.11.2007. US 2013/
223106A1, 29.08.2013. US 2017/025962A1,
26.07.2012. RU 2483424C1, 27.05.2013.

(54) ИНВЕРТОР С ПРЯМЫМ МОСТОМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И УЛУЧШЕННОЙ ТОПОЛОГИЕЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ПЕРЕМЕННЫЙ

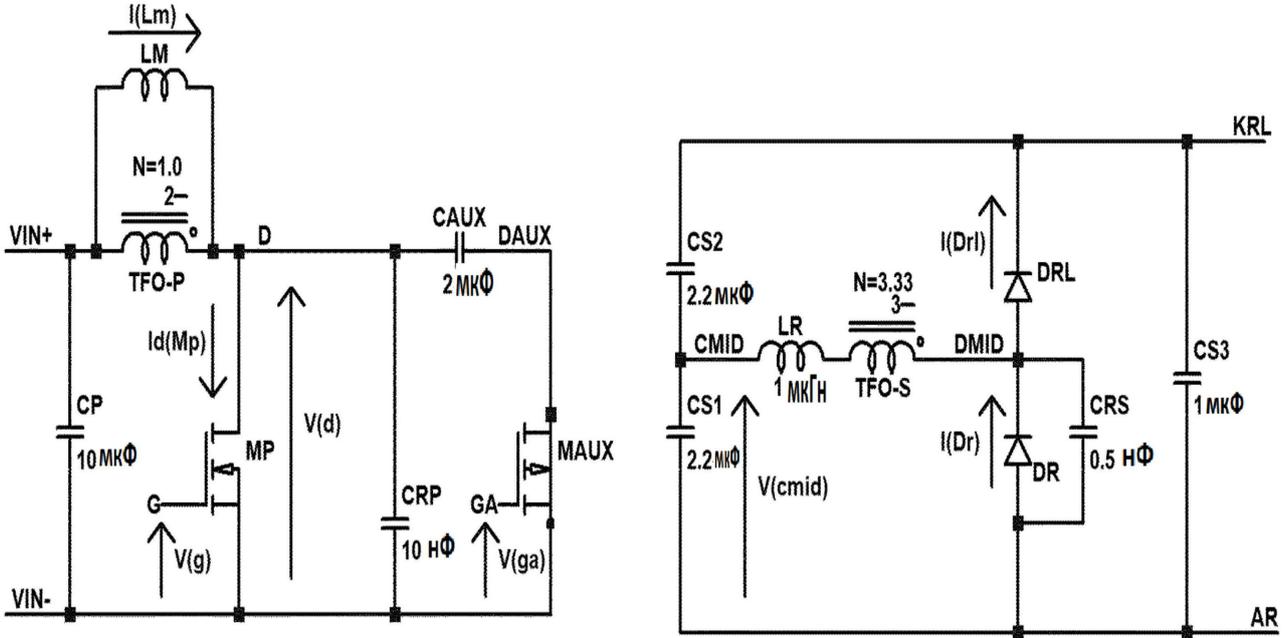
(57) Реферат:

Настоящее изобретение относится к силовому преобразователю постоянного тока в переменный, имеющему основной вход (1) постоянного тока и основной однофазный выход (4) переменного тока, содержащий одиночный преобразователь (5) постоянного тока, и, во-первых, в соответствии с прямой линией, двунаправленный преобразователь (6) постоянного тока в переменный по напряжению в каскаде с преобразователем (5) постоянного тока, причем указанный двунаправленный преобразователь (6) постоянного в переменный

по напряжению имеет вход-выход (11) постоянного тока, подключенный к выходу (10) постоянного тока, и выход-вход (12) переменного тока, подключенный к указанному основному выходу (4) переменного тока, и, во-вторых, в соответствии с байпасной линией, и параллельно указанному двунаправленному преобразователю (6) постоянного тока в переменный по напряжению и указанным низкочастотным диодам (2), низкочастотный полный переключающий H-мост (7) по напряжению, называемый далее прямым мостом переменного

тока, имеющий вход постоянного тока и выход переменного тока, причем указанный вход постоянного тока подключен к указанному выходу (10) постоянного тока указанного одиночного преобразователя (5) постоянного тока, а указанный выход переменного тока подключен параллельно указанному основному выходу (4) переменного тока, причем указанный прямой мост переменного тока имеет рабочую частоту менее 1 кГц, так что, когда мгновенное

напряжение между клеммами указанного основного выхода (4) переменного тока достигает заданного уровня, низкочастотный прямой мост (7) переменного тока переключается на включение, а низкочастотные диоды (2) имеют обратное смещение и не проводят ток, и указанный преобразователь (5) постоянного тока подает постоянную мощность напрямую к нагрузке. 11 з.п. ф-лы, 7 ил.



Фиг.5

R U 2 7 6 1 1 7 9 C 2

R U 2 7 6 1 1 7 9 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H02M 7/493 (2021.08)

(21)(22) Application: **2020112861, 07.11.2018**

(24) Effective date for property rights:
07.11.2018

Registration date:
06.12.2021

Priority:

(30) Convention priority:
09.11.2017 EP 17200739.5

(43) Application published: **28.10.2020 Bull. № 31**

(45) Date of publication: **06.12.2021 Bull. № 34**

(85) Commencement of national phase: **02.04.2020**

(86) PCT application:
EP 2018/080412 (07.11.2018)

(87) PCT publication:
WO 2019/092000 (16.05.2019)

Mail address:
191002, Sankt-Peterburg, a/ya 5, OOO "Lyapunov i partnery"

(72) Inventor(s):

**FREBEL Fabrice (BE),
JOANNES Thierry (BE),
CAUBO Olivier (BE),
BLEUS Paul (BE)**

(73) Proprietor(s):

CE+T POWER LUXEMBOURG SA (LU)

(54) **INVERTER WITH A DIRECT ALTERNATING CURRENT BRIDGE AND AN IMPROVED TOPOLOGY FOR CONVERTING DIRECT CURRENT INTO ALTERNATING CURRENT**

(57) Abstract:

FIELD: conversion of electric power.

SUBSTANCE: present invention relates to a power converter of direct current into alternating current, provided with a main direct current input (1) and a main single-phase alternating current output (4) containing a single direct current converter (5), and, first, in accordance with a straight line, a bidirectional converter (6) of direct current into alternating current by voltage in a cascade with the direct current converter (5), wherein said bidirectional converter (6) of direct current into alternating current by voltage has a direct current input-output (11) connected to the direct current output (10), and an alternating current output-input (12)

connected to the main alternating current output (4), and, second, in accordance with a by-pass line and parallel to said bidirectional converter (6) of direct current into alternating current by voltage and the specified low frequency diodes (2), a low frequency full switching H-bridge (7) by voltage, hereinafter referred to as the direct alternating current bridge with a direct current input and an alternating current output, wherein said direct current input is connected to said direct current output (10) of said single direct current converter (5) and the alternating current output is connected in parallel to said main alternating current output (4), wherein said direct alternating current bridge

RU 2 761 179 C 2

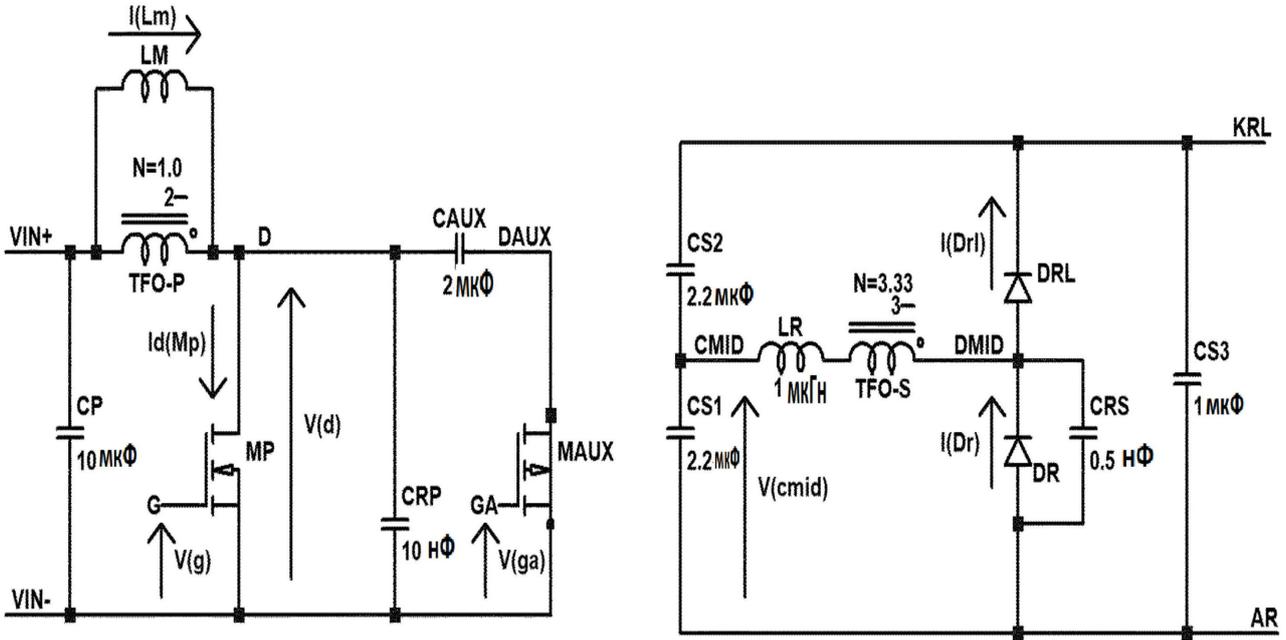
RU 2 761 179 C 2

has a frequency less than 1 kHz, so that when the instantaneous voltage between the terminals of said main alternating current output (4) reaches the preset level, the low-frequency direct alternating current bridge (7) switches to activation, and the low-frequency diodes (2) have a back bias and do not conduct current, and

said direct current converter (5) supplies constant power directly to the load.

EFFECT: improved conversion of alternating current into direct current by means of an inverter.

12 cl, 7 dwg



Фиг.5

R U 2 7 6 1 1 7 9 C 2

R U 2 7 6 1 1 7 9 C 2

Область техники, к которой относится изобретение

[0001] Настоящее изобретение относится к силовому преобразователю постоянного тока в переменный с улучшенной эффективностью, содержащему основную линию, выполненную из преобразователя напряжения постоянного тока, за которым следует
5 двунаправленный преобразователь постоянного тока в переменный по напряжению, и байпасную линию, выполненную из преобразователя постоянного тока в переменный по силе тока, в котором пиковая мощность подается посредством байпасного преобразователя для минимизации потерь.

[0002] В частности, настоящее изобретение представляет собой усовершенствование
10 силового преобразователя постоянного тока в переменный, описанного в документе WO 2016/083143 A1.

Уровень техники

[0003] Классическая топология инвертора показана на фиг.1. Входной каскад преобразования постоянного тока, (гальванически) изолированный или нет, преобразует
15 входное напряжение постоянного тока в другое напряжение постоянного тока, хорошо подходящее для питания выходного неизолированного мостового преобразователя постоянного тока в переменный, обычно работающего в диапазоне частот от нескольких кГц до нескольких МГц и генерирующего выходной синусоидальный сигнал частотой 50 или 60 Гц, обычно с использованием высокочастотной ШИМ-модуляции.

[0004] Для повышения эффективности, в документе US 7,710,752 B2 раскрыта
20 параллельная конфигурация с одной линией, выполненной вокруг повышающего и мостового преобразователя, и другой прямой линией, выполненной вокруг простого мостового преобразователя.

[0005] Проблема этой топологии заключается в том, что наиболее эффективная
25 прямая линия может быть активирована только тогда, когда мгновенное напряжение на выходе достаточно мало. Ее нельзя активировать, когда мгновенная потребность в мощности максимальна. Повышение эффективности не является оптимальным с точки зрения количества добавляемых компонентов.

[0006] В документе EP 2 270 624 A1 представлено другое решение для оптимизации
30 эффективности за счет попеременного подключения трех генераторов тока (с различными характеристиками) к трем фазам выходного напряжения на основании того, какое соединение является оптимальным для максимизации эффективности. Эта топология может применяться только к трехфазным выходным системам, при этом вопрос изоляции не рассматривается.

[0007] В документе WO 2016/083143 A1 раскрыт изолированный преобразователь
35 постоянного тока в переменный, который обеспечивает повышение эффективности за счет добавления прямой линии от входа постоянного тока к выходу переменного тока. Такой подход повышает эффективность, но его недостатком является то, что он требует дополнительного переключаемого преобразователя или дополнительных обмоток в
40 изолированном преобразователе постоянного тока.

[0008] Документ US 7,778,046 B1 раскрывает интересное решение для повышения
эффективности преобразователя постоянного тока, которое можно использовать в преобразователе для обеспечения требуемой изоляции. Это особенно наглядно показано на фиг.35a. Несмотря на крайне интересный режим работы, указанное изобретение
45 имеет несколько недостатков:

- преобразователь не полностью работает в режиме плавного переключения, что предотвращает использование высоких рабочих частот;
- переключатель S не защищен от перенапряжения (отсутствует эффект

фиксирования);

- диод CR2 не защищен от перенапряжения. Когда переключатель S замкнут (или переключен на включение), конденсатор C2 продолжает заряжаться током, протекающим в индуктивности рассеяния трансформатора, диод CR2 блокируется, поскольку на клеммах диода CR2 появляется перенапряжение (после фазы обратного восстановления), которое может в несколько раз превышать напряжение блокировки диода и которое может повредить диод CR2. Кроме того, возможный эффект фиксирования диода CR1 сводится на нет последовательной индуктивностью L_r , на которой возникает перенапряжение во время замыкания переключателя S. Эта проблема усложняет желаемое увеличение мощности.

[0009] Документ EP 1 852 964 A1 раскрывает максимальный однофазный инвертор 3В-INV, который использует в качестве своего источника постоянного тока напряжение V3В постоянного тока, повышаемое от напряжения солнечного света посредством схемы повышающего модулятора, расположенной в центре, и однофазных инверторов 2В-INV и 1В-INV, которые используют источники питания постоянного тока V1В и V2В, питаемые от этого источника V3В максимальной мощности постоянного тока в качестве их входов, и которые расположены по обе стороны от максимального однофазного инвертора 3В-INV. Стороны переменного тока соответствующих однофазных инверторов подключены последовательно. Таким образом, сконфигурирован стабилизатор мощности, обеспечивающий выходное напряжение с использованием суммы сгенерированных напряжений соответствующих однофазных инверторов. Цепи модулятора подключены между источником V3В максимальной мощности постоянного тока и источниками V1В и V2В мощности постоянного тока, и питание подается к источникам V1В и V2В мощности постоянного тока от источника V3В максимальной мощности постоянного тока через переключающие устройства в однофазных инверторах.

[0010] Документ US 2017/025962 A1 раскрывает две версии топологии изолированного одноступенчатого преобразователя переменного тока в постоянный с поправкой на коэффициент мощности (PFC). Одна - с полным мостовым выпрямителем на входе, а другая - безмостовая версия. Эти две версии топологии характеризуют новые конфигурации и схемы, в том числе схему упрощенного фиксатора и схему переключения фиксирующего конденсатора и способы управления, обеспечивающие возможность реализации улучшенных одноступенчатых изолированных преобразователи коэффициента мощности, подходящие для работы в условиях высокой мощности, с функцией переключения при нулевом напряжении для максимизации эффективности преобразования и минимизации генерации электромагнитных помех, не требуют дополнительной цепи для фиксирования пускового тока, достижения достаточно низкого полного коэффициента гармоник (THD) входного тока, и простоты управления. Во второй версии предусмотрен безмостовой одноступенчатый изолированный преобразователь коэффициента мощности с еще более высокой эффективностью и меньшим полным коэффициентом гармоник (THD) входного тока.

[0011] Документ US 2013/223106 A1 раскрывает схему переключения для использования в преобразователе мощности, включающем в себя первый активный переключатель, подключенный между первой клеммой входа силового преобразователя и первой клеммой первичной обмотки трансформатора. Второй активный переключатель подключен между второй клеммой входа и второй клеммой первичной обмотки. Выходная емкость первого активного переключателя больше, чем выходная емкость второго активного переключателя. Первый пассивный переключатель

подключен между второй клеммой первичной обмотки и первой клеммой входа. Второй пассивный переключатель подключен между второй клеммой входа и первой клеммой первичной обмотки. Время обратного восстановления первого пассивного переключателя больше времени обратного восстановления второго пассивного переключателя.

Задачи изобретения

[0012] Задача настоящего изобретения заключается в создании инвертора, выполненного с возможностью преобразования широкого диапазона входных напряжений постоянного тока в выходное напряжение переменного тока с максимальной эффективностью при сохранении строгих требований в отношении формы входного постоянного тока.

[0013] В частности, одним из требований является поддержание постоянным входного постоянного тока и, следовательно, постоянной входной мощности, даже если выходная мощность переменного тока колеблется в течение периода переменного тока с 50 Гц / 60 Гц.

[0014] Еще одна задача настоящего изобретения заключается в выполнении инвертора компактным настолько, насколько это возможно.

Раскрытие сущности изобретения

[0015] Первый аспект настоящего изобретения относится к силовому преобразователю постоянного тока в переменный, имеющему основной вход постоянного тока и основной однофазный выход переменного тока, выполненный с возможностью преобразования и адаптации напряжения постоянного тока на указанном основном входе постоянного тока в напряжение переменного синусоидального тока с частотой f_0 основной гармоники на указанном основном выходе переменного тока и с возможностью подачи номинальной мощности на указанном основном выходе переменного тока к нагрузке, содержащему:

- одиночный преобразователь постоянного тока, имеющий в качестве входа указанный основной вход постоянного тока и имеющий выход постоянного тока и конденсатор контура, подключенный к указанному выходу постоянного тока, два низкочастотных диода, смещенных для обеспечения возможности передавать ток от выхода постоянного тока к конденсатору контура и, соответственно от конденсатора контура к выходу постоянного тока;

- в соответствии с прямой линией, двунаправленный преобразователь постоянного тока в переменный по напряжению в каскаде с преобразователем постоянного тока, причем указанный двунаправленный преобразователь постоянного тока в переменный по напряжению имеет вход-выход постоянного тока, подключенный к выходу постоянного тока, и выход-вход переменного тока, подключенный к указанному основному выходу переменного тока;

- в соответствии с байпасной линией, и параллельно указанному двунаправленному преобразователю постоянного тока в переменный по напряжению и указанным низкочастотным диодам, низкочастотный полный переключающий H-мост по напряжению, называемый далее прямым мостом переменного тока, имеющий вход постоянного тока и выход переменного тока, причем указанный вход постоянного тока подключен к указанному выходу постоянного тока указанного одного преобразователя постоянного тока, а указанный выход переменного тока подключен параллельно к указанному основному выходу переменного тока, причем указанный прямой мост переменного тока имеет рабочую частоту менее 1 кГц, и предпочтительно 400 Гц или 50/60 Гц;

- управляющие средства для управления указанным двунаправленным преобразователем постоянного тока в переменный по напряжению для подачи на указанный первый выход-вход переменного тока напряжения переменного синусоидального тока и для управления указанным прямым мостом переменного тока для подачи квазиквадратного прямого переменного тока в фазе с указанным напряжением переменного синусоидального тока, причем указанные управляющие средства выполнены с возможностью управления указанным двунаправленным преобразователем постоянного тока в переменный по напряжению и указанным прямым мостом переменного тока, так что последние способны работать одновременно;

при этом, когда мгновенное напряжение между клеммами указанного основного выхода переменного тока достигает заданного уровня, низкочастотный прямой мост переменного тока переключается на включение, низкочастотные диоды имеют обратное смещение и не проводят ток, а указанный преобразователь постоянного тока подает постоянную мощность напрямую к нагрузке.

[0016] Согласно предпочтительным вариантам осуществления силовой преобразователь постоянного тока в переменный согласно изобретению выполнен так, что:

- два замкнутых переключателя (TPH, TNL; TPL, TNH) низкочастотного прямого моста переменного тока выбраны в зависимости от полярности выходного напряжения переменного тока;

- преобразователь постоянного тока предназначен для поддержки изменяемого выходного напряжения при передаче по существу постоянной мощности;

- преобразователь постоянного тока изолирован и содержит, на первичной стороне трансформатора, активный фиксатор, выполненный из основного полевого МОП-транзистора (MP), соединяющего первичную обмотку (TFO-P) трансформатора с первичным источником (VIN +, VIN-) обеспечивая основной вход постоянного тока, резонансную емкость (CRP), подключенную параллельно первичному полемому МОП-транзистору (MP), для обеспечения возможности работы первичного полевого МОП-транзистора (MP) в режиме перехода при нулевом напряжении (ZVT), а также емкость (CAUX) и второй полевой МОП-транзистор (MAUX), размещенные для обеспечения фиксирования напряжения на основном полевым МОП-транзисторе (MP) и, следовательно, защиты последнего от перенапряжения;

- преобразователь постоянного тока изолирован и содержит, на первичной стороне трансформатора, первичную ступень двухтранзисторного прямого преобразователя, состоящую из двух полевых МОП-транзисторов (MP1, MP2), каждый из которых напрямую соединяет на одном своем соответствующем конце конец первичной обмотки (TFO-P) трансформатора и соответствующую клемму первичного источника (VIN-, VIN +), обеспечивая основной вход постоянного тока, резонансную емкость (CRP1, CRP2), подключенную параллельно каждому полемому МОП-транзистору (MP1, MP2) соответственно для обеспечения возможности работы указанных полевых МОП-транзисторов (MP1, MP2) в режиме перехода при нулевом напряжении (ZVT), и диоды (DAUX1, DAUX2), выполненные с возможностью подключения каждого из полевых МОП-транзисторов (MP1, MP2) соответственно к первичной клемме источника (VIN +, VIN-), которая не является первичной клеммой источника (VIN-, VIN +), напрямую подключенной к соответствующему полемому МОП-транзистору (MP1, MP2) соответственно;

- преобразователь постоянного тока дополнительно содержит, на вторичной стороне трансформатора, по меньшей мере первый конденсатор (CS1, CS2), создающий

соединение переменного тока с вторичной обмоткой (TFO-S) трансформатора, резонансную индуктивность (LR), которая выполнена с возможностью уменьшения до индуктивности рассеяния трансформатора, выпрямляющий диод (DR) и возвратный диод (DLR) для выпрямления напряжения, создаваемого на вторичной обмотке трансформатора, и вторичный резонансный конденсатор (CRS), подключенный параллельно с выпрямительным диодом (DR) и развязывающим конденсатором (CS3), параллельно с клеммами выходного напряжения постоянного тока;

- первый конденсатор (CS1), резонансная индуктивность (LR), выпрямляющий диод (DR) и возвратный диод (DLR) расположены так, что во время фазы намагничивания трансформатора входное напряжение преобразователя V_{IN} , отражающееся на вторичной обмотке трансформатора как NV_{IN} , где N - это коэффициент преобразования трансформатора, заряжает первый конденсатор (CS1) и создает резонанс между последним и резонансной индуктивностью (LR) через выпрямительный диод (DR), при этом диод свободного хода (DRL) не проводит ток и не имеет перенапряжения на соединении между выпрямляющим диодом (DR) и возвратным диодом (DRL);

- первый конденсатор (CS1), резонансная индуктивность (LR), выпрямляющий диод (DR) и возвратный диод (DLR) расположены так, что во время фазы размагничивания трансформатора ток течет от заряженного первого конденсатора (CS1) к нагрузке через резонансную индуктивность (LR) и возвратный диод (DRL), причем указанный ток передает не только энергию намагничивания трансформатора, но одновременно и энергию, накопленную в фазе намагничивания в первом конденсаторе (CS1);

- выходная мощность (P_O) преобразователя постоянного тока связана с выходной мощностью (P_{FB}) эквивалентного обратногоходового преобразователя следующим уравнением:

$$P_O = P_{FB} M, \quad \text{где } M = \frac{V_O}{V_O - NV_{IN}},$$

где V_{IN} и V_O - соответственно входное и выходное напряжения преобразователя постоянного тока, где M - коэффициент умножения больше 1, предпочтительно больше 2;

- преобразователь постоянного тока в переменный является двунаправленным;
- низкочастотные диоды заменены управляемыми переключателями;
- управляемые переключатели - это полевые МОП-транзисторы, БТИЗ или реле;
- преобразователь постоянного тока не изолирован.

[0017] Второй аспект настоящего изобретения относится к изолированному преобразователю постоянного тока, подходящему для использования в преобразователе постоянного тока в переменный, имеющем основной вход постоянного тока и основной однофазный выход переменного тока, как описано выше, содержащему на первичной стороне трансформатора активный фиксатор, выполненный из основного полевого МОП-транзистора (MP), соединяющего первичную обмотку (TFO-P) трансформатора с первичным источником (V_{IN+} , V_{IN-}), обеспечивающим основной вход постоянного тока, резонансную емкость (CRP), подключенную параллельно с первичным полевым МОП-транзистором (MP) для обеспечения возможности работы первичного полевого МОП-транзистора (MP) в режиме перехода при нулевом напряжении (ZVT), а также емкость (CAUX) и второй полевой МОП-транзистор (MAUX), обеспечивающие возможность фиксирования напряжения на основном полевым МОП-транзисторе (MP) и, следовательно, защиты последнего от перенапряжения.

Краткое описание чертежей

[0018] На фиг.1 схематически показана топология инвертора согласно предшествующему уровню техники.

[0019] На фиг.2 схематически показан принцип устройства преобразователя постоянного тока в переменный с повышенной эффективностью согласно настоящему изобретению.

[0020] На фиг.3 показаны типичные формы сигналов в случае силового преобразователя с фиг.2.

[0021] На фиг.4 показана топология схемы для частного варианта осуществления в соответствии с настоящим изобретением.

[0022] На фиг.5 показана топология схемы с фиг.4 с переменными, обеспечивающими возможность анализа операции.

[0023] На фиг.6 показаны характерные формы сигналов напряжения и тока при трехфазной работе схемы, изображенной на фиг.5.

[0024] На фиг.7 показана топология в соответствии с другим вариантом осуществления изобретения, где этап входа в топологию по фиг.5 был заменен входной ступенью двухтранзисторного прямого преобразователя.

Описание предпочтительного варианта осуществления изобретения

[0025] Решение, предложенное согласно настоящему изобретению, представлено на фиг.2.

[0026] Изолированный преобразователь 5 постоянного тока выполнен с возможностью передачи мощности в режиме постоянной мощности от входа постоянного тока (обычно 48 В постоянного тока) к напряжению контура (обычно 400 В постоянного тока). Низкочастотные диоды 2 обеспечивают возможность течения тока к конденсатору 3 контура. Преобразователь 6 постоянного тока в переменный ток, который, как правило, является полномостовым преобразователем, выполнен с возможностью преобразования напряжения постоянного тока в синусоиду переменного тока, которая обычно представляет собой синусоиду 50 Гц или 60 Гц.

[0027] В течение развития во времени выходного синусоидального напряжения, когда мгновенное выходное напряжение между узлом LOUТ и узлом NOUТ достаточно высоко, т.е., обычно 200 В, низкочастотный «прямой мост переменного тока» 7 выполнен с возможностью переключения на включение, диоды 2 D1 и D2, автоматически получая обратную смещенную (непроводящее) и постоянную мощность, подаваемую преобразователем 5 постоянного тока, которая затем напрямую подается к нагрузке.

[0028] Преобразователь постоянного тока в переменный должен обеспечить только оставшуюся/дополнительную часть мощности и поэтому работает на более низком уровне мощности и с меньшими потерями.

[0029] Следует отметить, что два переключателя (TRH / TNL или TNH / TPL) низкочастотного «прямого моста переменного тока» 7, которые переключены на включение, выбираются в зависимости от полярности выходного напряжения.

[0030] Преимущество такой топологии заключается в том, что эффективность прямого моста переменного тока с преобразователем постоянного тока намного выше, чем эффективность контура преобразователя постоянного тока в переменный с преобразователем постоянного тока, поскольку прямой мост 7 переменного тока работает на низкой частоте и не требует выходных индукторов. Поскольку частота переключения является низкой (обычно 100 Гц), потери на коммутацию являются низкими, а эффективность моста ограничена только потерями на проводимость в переключателях и может быть увеличена посредством параллельного подключения переключателей. Поскольку эффективное сопротивление представляет собой

сопротивлением одного переключателя, разделенное на число параллельных переключателей, увеличение количества параллельных переключателей фактически позволяет уменьшить потери проводимости.

Принцип работы прямого моста переменного тока

5 [0031] На фиг. 3 показаны типичные формы кривых напряжения и тока преобразователя, представленного на фиг.2.

[0032] Выходное напряжение V_{out} задается преобразователем 6 постоянного тока в переменный способами, хорошо известными специалистам в области силовой электроники и инверторов.

10 [0033] От t_0 до t_1 прямой мост переменного тока отключается, и преобразователи 5 и 6 работают как в предшествующем уровне техники. Диоды D1 и D2 (диоды 2) являются проводящими.

[0034] В момент t_1 выходное напряжение v_{out} , равное $V(L_{OUT}) - V(N_{OUT})$, достаточно высоко, чтобы прямой мост 7 переменного тока мог передавать мощность 15 напрямую на выход; таким образом, прямой мост 7 переменного тока переключен на включение. Поскольку значение v_{out} положительное, транзисторы TPN и TNL переключены на включение в течение интервала от t_1 до t_2 .

[0035] В интервале от t_1 до t_2 имеются некоторые взаимоотношения:

20 - v_{out} ниже, чем V_{tank} , и TPN и TNL переключены на включение, поэтому диоды D1 и D2 переключены на выключение, а i_{dc} равен 0;

- $i_{forward}$ напрямую генерируется изолированным преобразователем постоянного тока, который должен поддерживать постоянную мощность на своем входе (требование). Следовательно, $i_{forward} * v_{out}$ представляет собой постоянную мощность. Эта зависимость определяет форму $i_{forward}$;

25 - выходной ток должен подаваться к нагрузке, поэтому $i_{ac} = i_{out} - i_{forward}$. Эта зависимость определяет форму IAC.

[0036] Как видно на фиг.3, i_{ac} намного ниже, чем i_{out} в этом временном интервале, что объясняет, почему общие потери уменьшены.

30 [0037] В момент t_2 транзисторы TPN и TNL переключены на выключение, и преобразователь возвращается к «нормальной работе», то есть, работе, аналогичной работе в течение промежутка от t_0 до t_1 . Диоды D1 и D2 (диоды 2) снова являются проводящими в течение этого интервала.

35 [0038] После $T_0 / 2$ начинается следующий полупериод, и значение v_{out} является отрицательным, причем последовательность операций аналогична описанной выше, за исключением транзисторов TPL и TNH, которые вместо транзисторов TPN и TNL переключены на включение.

Преобразователь постоянного тока

Описание

40 [0039] Как объяснено выше, эффективность прямого моста 7 переменного тока ограничена только его потерями проводимости и, таким образом, очень высокая. Следовательно, на общую эффективность инвертора в основном влияет эффективность преобразователя постоянного тока. Для поддержки предложенной на фиг.2 структуры, должен быть реализован эффективный преобразователь постоянного тока, выполненный с возможностью поддержки изменяемого выходного напряжения при передаче по 45 существу постоянной мощности. В настоящем изобретении предлагается эффективный преобразователь, который удовлетворяет вышеуказанному требованию. Пример такого преобразователя описан в US 7,778,046 B1, но имеет некоторые недостатки, как объяснено выше. Одной из целей изобретения является устранение этих недостатков

простым способом.

[0040] Одним из вариантов осуществления изобретения является топология схемы, показанная на фиг.4.

5 [0041] TFO-P и TFO-S обозначают соответственно первичную и вторичную обмотку трансформатора.

[0042] MP обозначает основной первичный полевой МОП-транзистор, который соединяет трансформатор с первичным источником. CRP обозначает резонансную емкость, размещенную параллельно с MP и обеспечивающую возможность работы первичного полевого МОП-транзистора в режиме перехода при нулевом напряжении (ZVT). CAUX и MAUX соответственно обеспечивают возможность фиксирования 10 напряжения и защиту MP от перенапряжения. Эта часть схемы известна в данной области техники под названием «активный фиксатор». Наконец, CP обозначает развязывающий конденсатор первичной стороны.

[0043] В настоящей заявке вместо термина ZVS (переключение при нулевом 15 напряжении) используется термин ZVT (переход при нулевом напряжении) используется, поскольку указанный переход осуществляется в течение всего периода (для инвертирования тока намагничивания), а не в течение короткого промежутка времени.

[0044] На вторичной стороне конденсаторы CS1 и CS2 создают соединение переменного тока с трансформатором. Вторичная обмотка трансформатора обозначена 20 как TFO-S. LR обозначает резонансную индуктивность, которая обычно представляет собой индуктивность рассеяния трансформатора. Напряжение, создаваемое на вторичной обмотке трансформатора, выпрямляется посредством выпрямляющего диода (DR) и возвратного диода (DRL). CRS обозначает вторичный резонансный конденсатор, подключенный напрямую через диод DR. CS3 обозначает выходной 25 развязывающий конденсатор.

[0045] Следует отметить, что расположение CS1, CS2 и CS3 может быть изменено без изменения принципа предлагаемой схемы.

[0046] Преобразователь постоянного тока в переменный согласно настоящему изобретению имеет только один преобразователь постоянного тока в отличие от 30 предшествующего уровня техники, где трансформатор преобразователя постоянного тока имеет, например, несколько вторичных цепей. Таким образом, настоящее изобретение имеет преимущество, заключающееся в сокращении числа электронных компонентов.

Принцип работы

35 [0047] На фиг.5 показана схему, работа которой дополнительно проанализирована далее. LM обозначает индуктивность, которая моделирует индуктивность намагничивания трансформатора, как видно с первичной стороны. Соответствующие формы сигналов показаны на фиг.6.

[0048] Следует отметить, что значения CP (обычно 10 мкФ), CAUX (обычно 2 мкФ) 40 и CS3 (обычно 1 мкФ) очень высоки, и соответствующие напряжения на этих конденсаторах, а именно VIN, VOUT / N и VOUT, по существу постоянны. Следует также учитывать, что каждый полевой МОП-транзистор (MP, MAUX) имеет внутренний диод с обратным смещением (не показан). Когда MP открывается, потенциал в точке D увеличивается, но ограничивается значением VOUT / N, являющимся напряжением 45 на CAUX. Выше этого значения внутренний диод MAUX будет включен.

[0049] Работа схемы в сущности разделена на 3 фазы (как показано на фиг.6).

ФАЗА 1:

На фазе 1 напряжение V(d) первичного полевого МОП-транзистора равно нулю. В

начале этой фазы $V(d)$ естественным образом и относительно медленно достигает нуля, и, таким образом, первичный полевой МОП-транзистор M_P может быть переключен на включение при нулевом напряжении. Следует отметить, что напряжения затвора полевого МОП-транзистора V_g и V_{ga} на фиг.6 для ясности произвольно смещены по вертикали. В течение этой фазы ток намагничивания $I(L_m)$ возрастает линейно. Следует отметить, что напряжение питания V_{IN} отражается на вторичной обмотке трансформатора. Это напряжение подается на $CS1$ и создает резонанс с LR , который гарантирует фиксированное напряжение на $CS1$, которое равно $V_{IN} * N$ на $CMID$, где N - коэффициент преобразования трансформатора. Что касается обратноходового преобразователя, энергия трансформатора также сохраняется во время этой фазы, но заряжающийся конденсатор $CS1$ обеспечивает некоторой дополнительной передачи энергии с увеличением доступной плотности мощности. На фиг.6 показано, что напряжение на конденсаторе $CS1$, $V(cm1d)$, является по существу постоянным с небольшой пульсацией положительного уклона во время фазы 1. Сила тока заряда $CS1$ равна $I(Dr)$. Сила тока в диоде DR является частью резонансной синусоиды и возвращается к 0 до конца ФАЗЫ 1, то есть, до открытия основного первичного полевого МОП-транзистора M_P . Поэтому диод DR переключается на выключение при нулевом токе. Диод DRL не проводит ток в ФАЗЕ 1.

ФАЗА 2

Основной первичный полевой МОП-транзистор M_P открывается, в соответствии с желаемым уровнем мощности, напряжение $V(d)$ быстро возрастает, внутренний диод вспомогательного полевого МОП-транзистора $MAUX$ фиксирует напряжение $V(d)$, которое немного уменьшается во время ФАЗЫ 2. В течение этой фазы сила тока намагничивания $I(L_m)$ возрастает линейно. Следует отметить, что конденсатор CRP через M_P ограничивает скорость dV/dt нарастания напряжения $V(d)$ и способствует плавному открытию M_P . Ток в диоде DRL не следует току намагничивания в начале ФАЗЫ 2, поскольку конденсатор $CAUX$ фиксирует $V(d)$. Требуется время, чтобы сила тока в резонансной индуктивности LR увеличилась. Это соответствует времени, необходимому для полного прохождения тока к вторичной стороне. Наконец, $I(DRL)$ уменьшается как ток намагничивания. Во время ФАЗЫ2 вспомогательный полевой МОП-транзистор $MAUX$ может быть переключен на включение для обеспечения баланса заряда конденсатора $CAUX$. Следует помнить, что напряжение $V(ga)$ затвора должно быть отрицательным, чтобы переключить $MAUX$ на включение, потому что это полевой МОП-транзистор P -типа (согласно фиг.5). Таким образом, оба драйвера полевого МОП-транзистора могут управляться относительно одного и того же потенциала (земли). В конце этой фазы сила тока намагничивания $I(L_m)$ достигает 0. В то же время сила тока в DRL также достигает 0, что приводит к переключению DRL при нулевом токе.

ФАЗА 3

Ток намагничивания меняется на обратный, и возникает резонанс между намагничивающей индуктивностью LM и эквивалентным резонансным конденсатором. Эквивалентный конденсатор представляет собой комбинацию CRP и CRS , которые подключены параллельно через трансформатор. Во время этого резонанса напряжение $V(d)$ плавно уменьшается и достигает 0. Это позволяет начать следующую ФАЗУ 1, переключая основной полевой МОП-транзистор M_P при нулевом напряжении.

[0050] В соответствии с альтернативным вариантом осуществления изобретения, показанным на фиг.7, этап входа в топологию с фиг.5 заменен входной ступенью двухтранзисторного прямого (или двухтранзисторного обратноходового)

преобразователя. Эта топология известна из уровня техники. Основной первичный полевой МОП-транзистор MP заменен двумя первичными полевыми МОП-транзисторами MP1, MP2 и компонентами активного фиксатора, выполненными из фиксирующего конденсатора CAUX, а вспомогательный полевой МОП-транзистор MAUX заменен двумя соответствующими диодами DAUX1, DAUX2. Резонансная емкость CRP, размещенная параллельно с MP, заменена резонансными емкостями CRP1, CRP2, размещенными параллельно с первичными полевыми транзисторами MP1 и MP2 соответственно. Работа вышеуказанной топологии очень похожа на работу одной из вышеуказанных топологий (фиг.5).

[0051] Двухтранзисторные прямые преобразователи обычно используют для работы с более высокими входными напряжениями.

Преимущества изобретения

Мягкое переключение и компактность

[0052] Специалистам в данной области техники хорошо известно, что использование высокой частоты при работе преобразователей постоянного тока является ключевым фактором для достижения компактности. Однако использование более высокой частоты также означает увеличение потерь на переключение. Из приведенного выше описания фаз видно, что схема является оптимальной в отношении потерь на переключение, поскольку оба полевых МОП-транзистора переключаются при нулевом напряжении, а оба диода переключаются на выключение (или получают обратную поляризацию) при нулевом токе. Поэтому предложенная схема хорошо приспособлена для создания очень компактного преобразователя.

Эффективное управление и передача мощности

[0053] Как схематично показано на фиг.2, преобразователь 5 постоянного тока должен поддерживать постоянным ток, что является начальным требованием, но его выход переключается между различными напряжениями. Обратноходовые преобразователи, хорошо известные специалистам в данной области техники, могут работать в режиме прерывистой проводимости и, таким образом, являются идеальными схемами для этого применения, поскольку выходной ток регулируется естественным образом. Однако проблема, возникающая в обратноходовых преобразователях, заключается в том, что они ограничены работой при нескольких сотнях ватт, поскольку трансформатор должен накапливать общую передаваемую мощность в течение первой части цикла переключения, чтобы восстановить ее на выходе во второй части цикла переключения.

[0054] В настоящем изобретении во время ФАЗЫ 2 сохраненная энергия намагничивания трансформатора передается на выход благодаря току намагничивания, отраженному на вторичной стороне трансформатора, причем этот ток проходит через диод DRL. Этот режим работы очень похож на режим работы обратноходового преобразователя. Однако предлагаемый преобразователь отличается от обратноходового преобразователя тем, что выходная обмотка трансформатора подключена не параллельно выходу через DRL, а подключена последовательно с CS1. Это означает, что энергия, запасенная в индуктивности намагничивания трансформатора, и энергия, накопленная в CS1, передаются на выход одновременно. Можно показать, что выходная мощность (P_O) преобразователя постоянного тока согласно настоящему изобретению связана с выходной мощностью (P_{FB}) эквивалентного обратноходового преобразователя следующим уравнением:

$$P_O = P_{FB}M, \quad \text{где } M = \frac{V_O}{V_O - NV_{IN}}$$

где V_{IN} и V_O - соответственно входные и выходные напряжения преобразователя постоянного тока. Коэффициент умножения M больше 1. Типичные значения M даже больше, чем 2. Таким образом, преобразователь согласно настоящему изобретению имеет то же преимущество, что и обратноходовый преобразователь для этого применения, но при этом способен передавать по меньшей мере в два раза больше мощности при тех же условиях.

Ограничения постоянности напряжения для полупроводников

[0055] Предложенная схема обладает особыми и интересными свойствами в отношении максимальных напряжений на полупроводниках:

- DRL и DR имеют рабочее пиковое напряжение V_O .

- MP и MAUX имеют рабочее пиковое напряжение $V_{O/N}$.

[0056] Таким образом, рабочее пиковое напряжение всех полупроводников не зависит от V_{IN} . Это идеальная ситуация для больших диапазонов входного напряжения,

поскольку переключатели оптимально используются независимо от входного напряжения.

Это очень редкое свойство для преобразователя постоянного тока.

Работа в двунаправленном режиме

[0057] Следует отметить, что DR и DRL могут быть заменены управляемыми переключателями, такими как, например, полевыми МОП-транзисторами, БТИЗ, реле и т.д., которые управляются одновременно с MP и MAUX соответственно. В этом случае преобразователь может работать в двунаправленном режиме и может передавать мощность справа налево.

(57) Формула изобретения

1. Силовой преобразователь постоянного тока в переменный, имеющий основной вход (1) постоянного тока и основной однофазный выход (4) переменного тока, выполненный с возможностью преобразования и адаптации напряжения постоянного тока на указанном основном входе (1) постоянного тока в напряжение переменного синусоидального тока с частотой f_0 основной гармоники на указанном основном выходе (4) переменного тока и с возможностью подачи номинальной мощности на указанном основном выходе (4) переменного тока к нагрузке, содержащий:

- одиночный преобразователь (5) постоянного тока, имеющий в качестве входа указанный основной вход (1) постоянного тока, а также имеющий выход (10) постоянного тока и конденсатор (3) контура, подключенный к указанному выходу (10) постоянного тока, два низкочастотных диода или управляемых переключателя (2), смещенных для обеспечения возможности передавать ток от выхода (10) постоянного тока к конденсатору (3) контура и, соответственно, от конденсатора (3) контура к выходу (10) постоянного тока;

- в соответствии с прямой линией, двунаправленный преобразователь (6) постоянного тока в переменный по напряжению в каскаде с преобразователем (5) постоянного тока, причем указанный двунаправленный преобразователь (6) постоянного тока в переменный по напряжению имеет вход-выход (11) постоянного тока, подключенный к выходу (10) постоянного тока, и выход-вход (12) переменного тока, подключенный к указанному основному выходу (4) переменного тока;

- в соответствии с байпасной линией, и параллельно указанному двунаправленному преобразователю (6) постоянного тока в переменный по напряжению и указанным низкочастотным диодам (2), низкочастотный полный переключающий H-мост (7) по

напряжению, называемый далее прямым мостом переменного тока, имеющий вход постоянного тока и выход переменного тока, причем указанный вход постоянного тока подключен к указанному выходу (10) постоянного тока указанного одиночного преобразователя (5) постоянного тока, а указанный выход переменного тока подключен параллельно указанному основному выходу (4) переменного тока, причем указанный прямой мост переменного тока имеет рабочую частоту менее 1 кГц, предпочтительно 400 Гц или 50 или 60 Гц;

- управляющие средства для управления указанным двунаправленным преобразователем (6) постоянного тока в переменный по напряжению для подачи на указанный первый выход-вход (12) переменного тока напряжения переменного синусоидального тока и для управления указанным прямым мостом переменного тока для подачи квазиквадратного прямого переменного тока в фазе с указанным напряжением переменного синусоидального тока, причем указанные управляющие средства выполнены с возможностью управления указанным двунаправленным преобразователем (6) постоянного тока в переменный по напряжению и указанным прямым мостом переменного тока так, что последние способны работать одновременно;

- при этом, когда мгновенное напряжение между клеммами указанного основного выхода (4) переменного тока достигает заданного уровня, низкочастотный прямой мост (7) переменного тока переключается на включение, низкочастотные диоды (2) имеют обратное смещение и не проводят ток, а на указанный преобразователь (5) постоянного тока подается постоянная мощность напрямую к нагрузке.

2. Преобразователь мощности постоянного тока в переменный по п. 1, в котором два замкнутых переключателя (TPH, TNL; TPL, TNH) низкочастотного прямого моста (7) переменного тока выбраны в зависимости от полярности выходного напряжения переменного тока.

3. Преобразователь мощности постоянного тока в переменный по п. 1, в котором преобразователь (5) постоянного тока выполнен с возможностью поддержания изменяемого выходного напряжения при передаче по существу постоянной мощности.

4. Преобразователь мощности постоянного тока в переменный по п. 1, в котором преобразователь (5) постоянного тока изолирован и содержит, на первичной стороне трансформатора, активный фиксатор, выполненный из основного полевого МОП-транзистора (MP), соединяющего первичную обмотку (TFO-P) трансформатора с первичным источником (VTN+, VTN-), обеспечивая основной вход (1) постоянного тока, резонансную емкость (CRP), подключенную параллельно первичному полемому МОП-транзистору (MP) для обеспечения возможности работы первичного полевого МОП-транзистора (MP) в режиме перехода при нулевом напряжении (ZVT), а также емкость (CAUX) и второй полевой МОП-транзистор (MAUX), размещенные с обеспечением возможности фиксирования напряжения на основном полевым МОП-транзисторе (MP) и, следовательно, защиты последнего от перенапряжения.

5. Преобразователь мощности постоянного тока в переменный по п. 1, в котором преобразователь (5) постоянного тока изолирован и содержит, на первичной стороне трансформатора, первичную ступень двухтранзисторного прямого преобразователя, состоящую из двух полевых МОП-транзисторов (MP1, MP2), каждый из которых напрямую соединяет на одном своем соответствующем конце конец первичной обмотки (TFO-P) трансформатора и соответствующую клемму первичного источника (VIN-, VIN+), обеспечивая основной вход (1) постоянного тока, резонансную емкость (CRP1, CRP2), подключенную параллельно каждому полемому МОП-транзистору (MP1, MP2) соответственно для обеспечения возможности работы указанных полевых МОП-

транзисторов (MP1, MP2) в режиме перехода при нулевом напряжении (ZVT), и диоды (DAUX1, DAUX2), выполненные с возможностью подключения каждого из основных полевых МОП-транзисторов (MP1, MP2) соответственно к первичной клемме источника (VIN+, VIN-), которая не является первичной клеммой источника (VTN-, VTN+),
 5 напрямую подключенной к соответствующему полевому МОП-транзистору (MP1, MP2) соответственно.

6. Преобразователь мощности постоянного тока в переменный по п. 4 или 5, в котором преобразователь (5) постоянного тока дополнительно содержит, на вторичной стороне трансформатора, по меньшей мере первый конденсатор (CS1, CS2), создающий
 10 соединение переменного тока с вторичной обмоткой (TFO-S) трансформатора, резонансную индуктивность (LR), которая выполнена с возможностью уменьшения до индуктивности рассеяния трансформатора, выпрямляющий диод (DR) и возвратный диод (DLR) для выпрямления напряжения, создаваемого на вторичной обмотке трансформатора, и вторичный резонансный конденсатор (CRS), подключенный
 15 параллельно с выпрямительным диодом (DR) и развязывающим конденсатором (CS3), параллельно с клеммами напряжения выхода (10) постоянного тока.

7. Преобразователь мощности постоянного тока в переменный по п. 6, в котором первый конденсатор (CS1), резонансная индуктивность (LR), выпрямляющий диод (DR) и возвратный диод (DLR) расположены так, что во время фазы намагничивания
 20 трансформатора входное напряжение преобразователя VTN, отражающееся на вторичной обмотке трансформатора как NVTN, где N - это коэффициент преобразования трансформатора, заряжает первый конденсатор (CS1) и создает резонанс между последним и резонансной индуктивностью (LR) через выпрямительный диод (DR), при этом диод свободного хода (DRL) не проводит ток и не имеет перенапряжения на
 25 соединении между выпрямляющим диодом (DR) и возвратным диодом (DRL).

8. Преобразователь мощности постоянного тока в переменный по п. 6, в котором первый конденсатор (CS1), резонансная индуктивность (LR), выпрямляющий диод (DR) и возвратный диод (DLR) расположены так, что во время фазы размагничивания трансформатора ток течет от заряженного первого конденсатора (CS1) к нагрузке
 30 через резонансную индуктивность (LR) и возвратный диод (DRL), причем указанный ток передает не только энергию намагничивания трансформатора, но одновременно и энергию, накопленную в течение фазы намагничивания в первом конденсаторе (CS1).

9. Преобразователь мощности постоянного тока в переменный по п. 8, в котором выходная мощность (P_O) преобразователя постоянного тока связана с выходной
 35 мощностью (P_{FB}) эквивалентного обратного преобразователя следующим уравнением:

$$P_O = P_{FB} M, \quad \text{где } M = \frac{V_O}{V_O - NV_{IN}},$$

40 где V_{IN} и V_O - соответственно входное и выходное напряжение преобразователя постоянного тока, где M - коэффициент умножения больше 1, предпочтительно больше 2.

10. Преобразователь мощности постоянного тока в переменный по п. 1, являющийся двунаправленным.

45 11. Преобразователь мощности постоянного тока в переменный по п. 1, в котором управляемые переключатели представляют собой полевые МОП-транзисторы, БТИЗ или реле.

12. Преобразователь мощности постоянного тока в переменный по п. 1, в котором

преобразователь постоянного тока не изолирован.

5

10

15

20

25

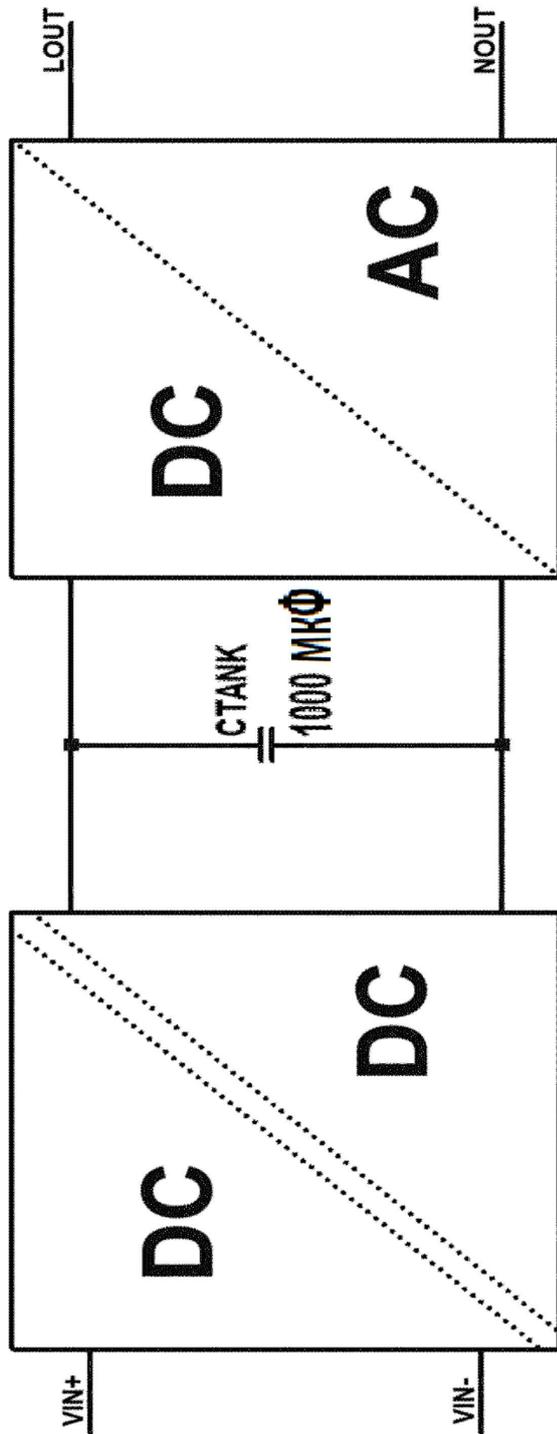
30

35

40

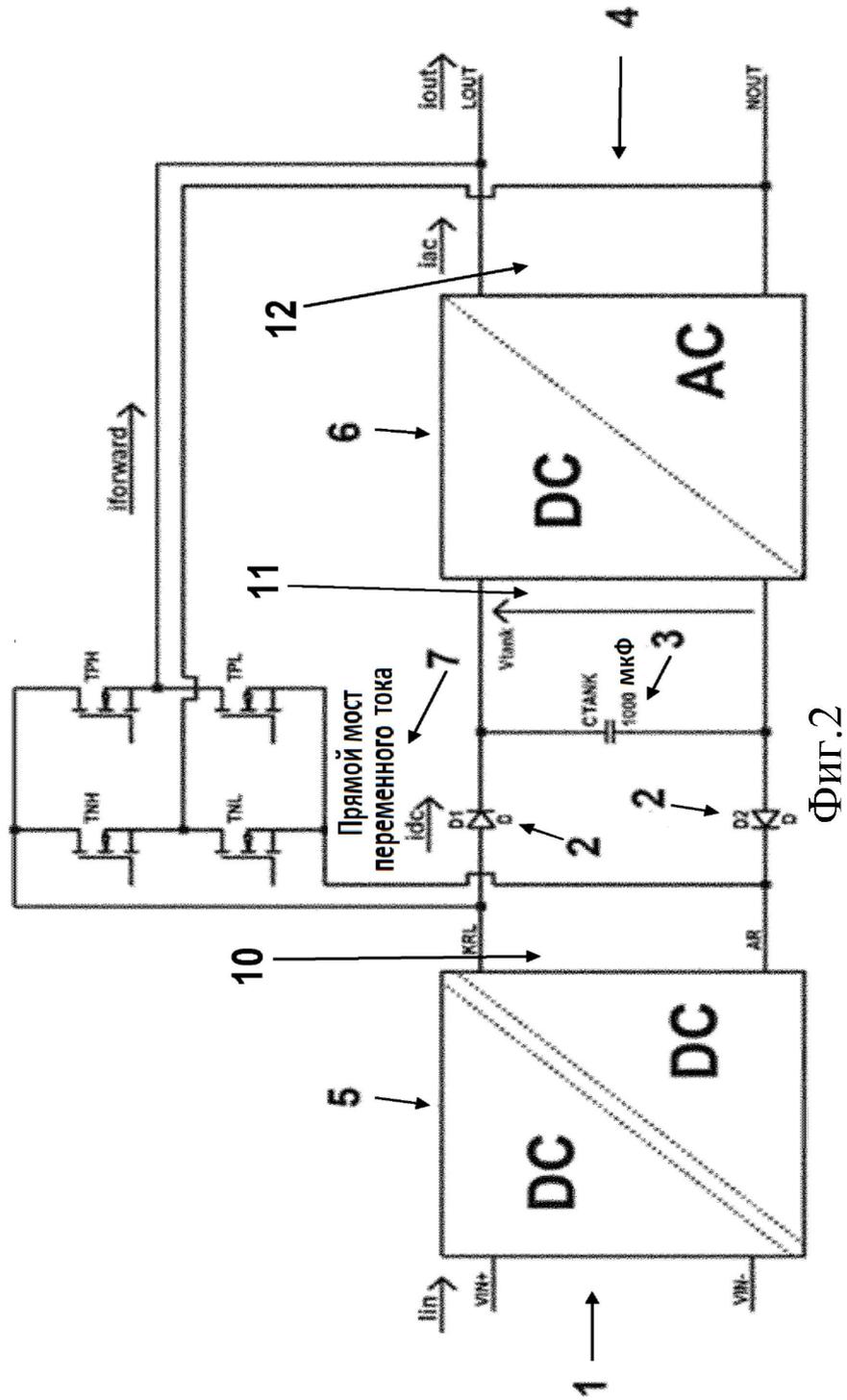
45

1

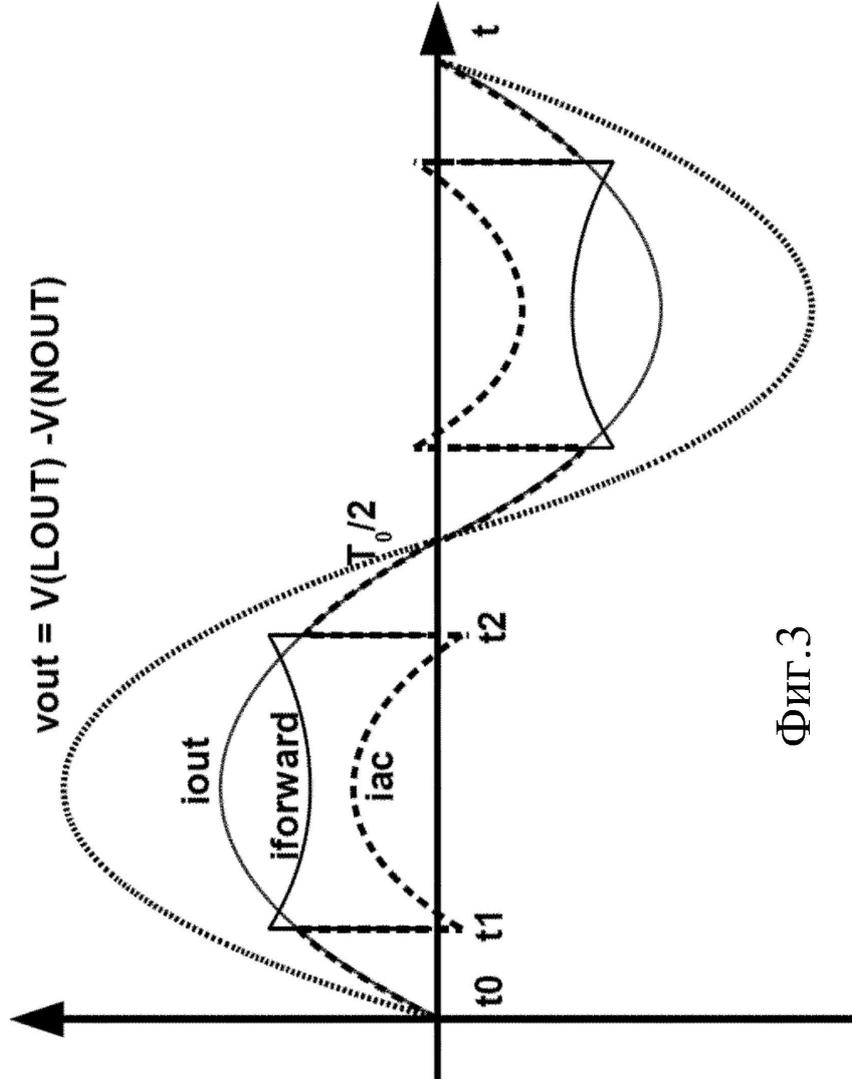


Фиг.1

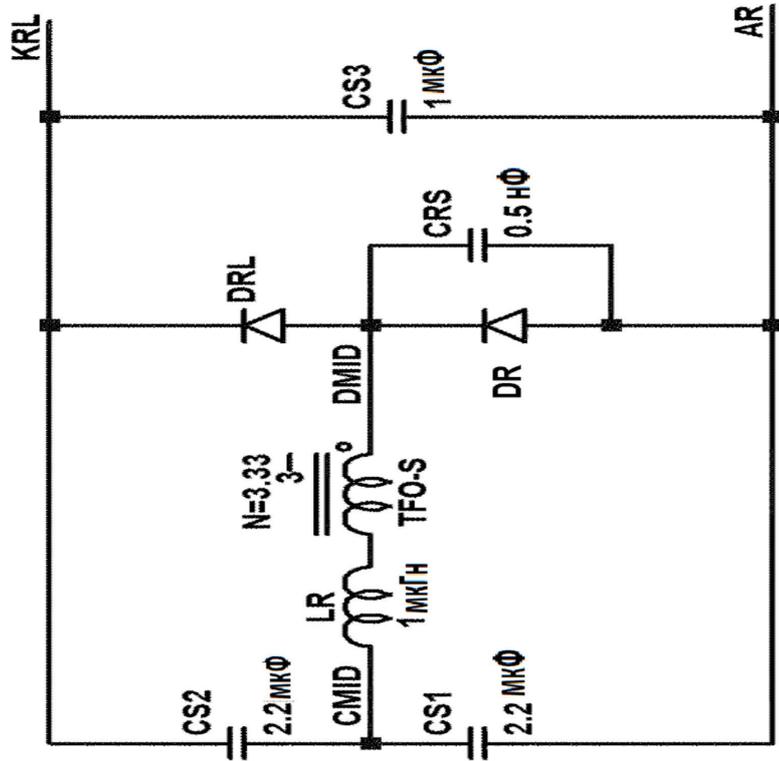
2



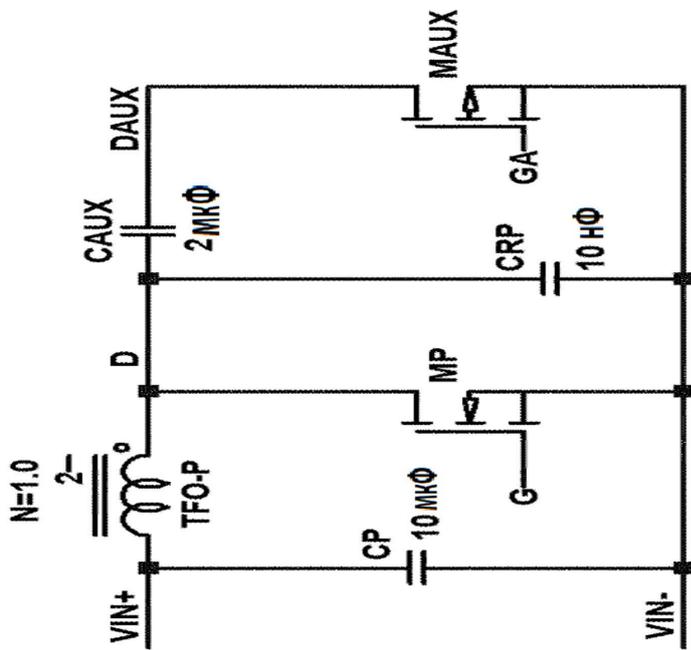
Фиг.2

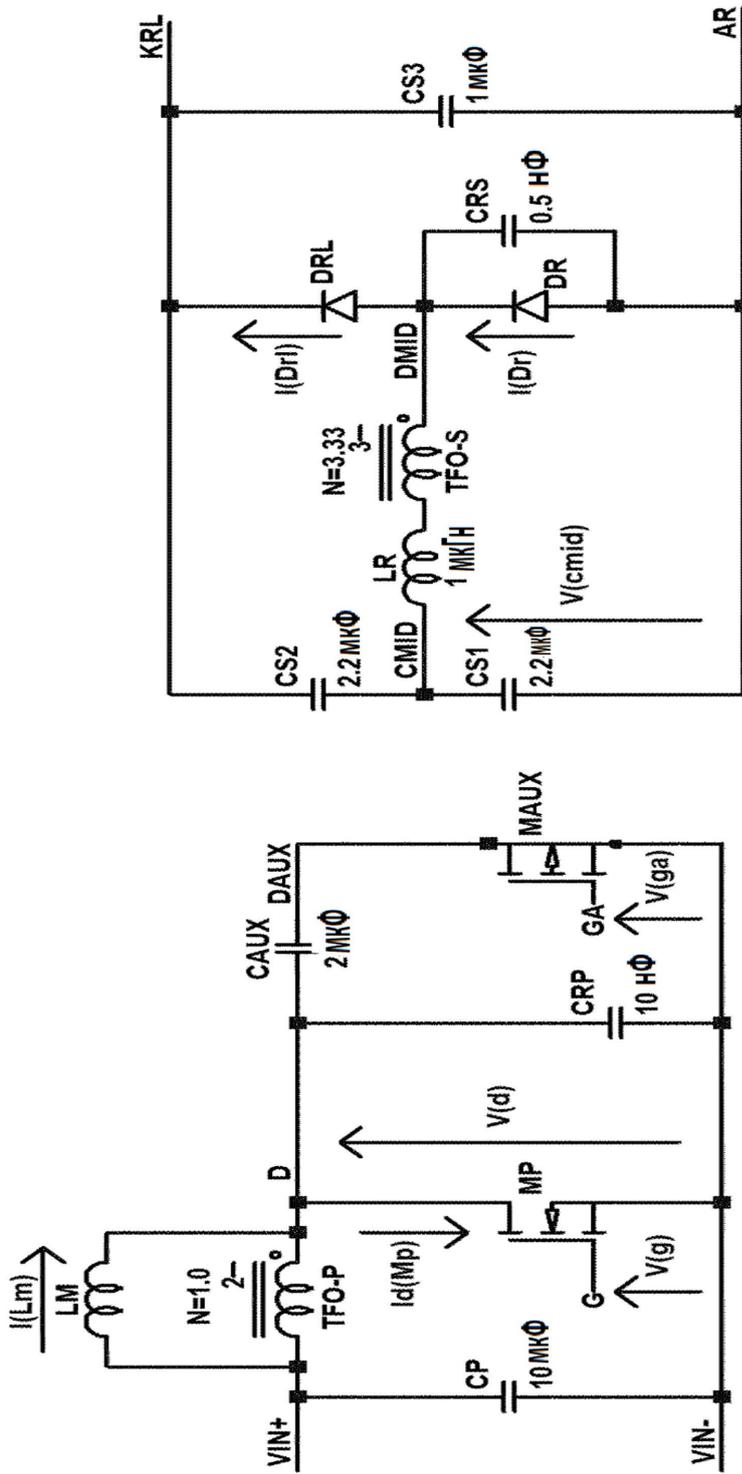


Фиг.3

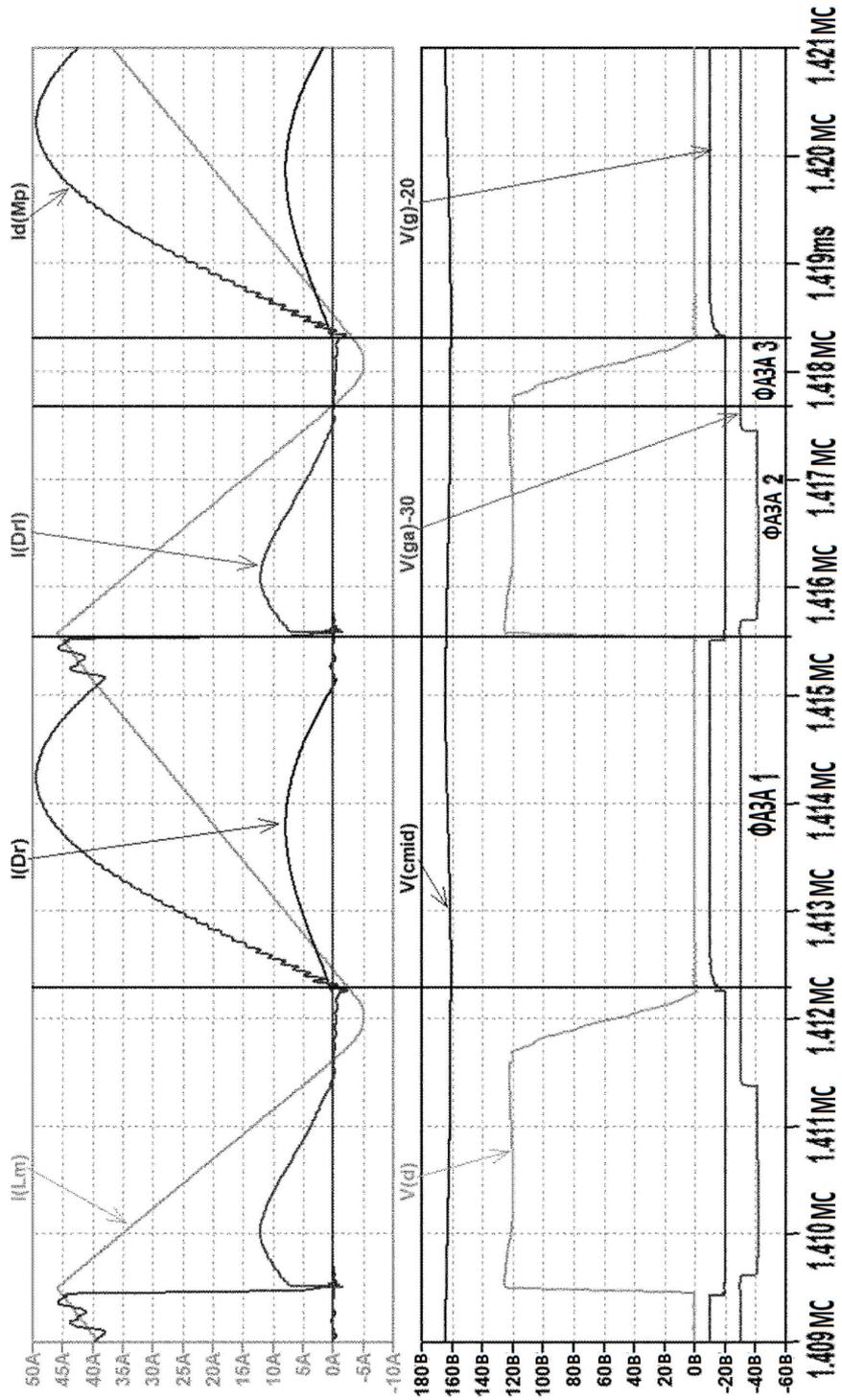


Фиг.4

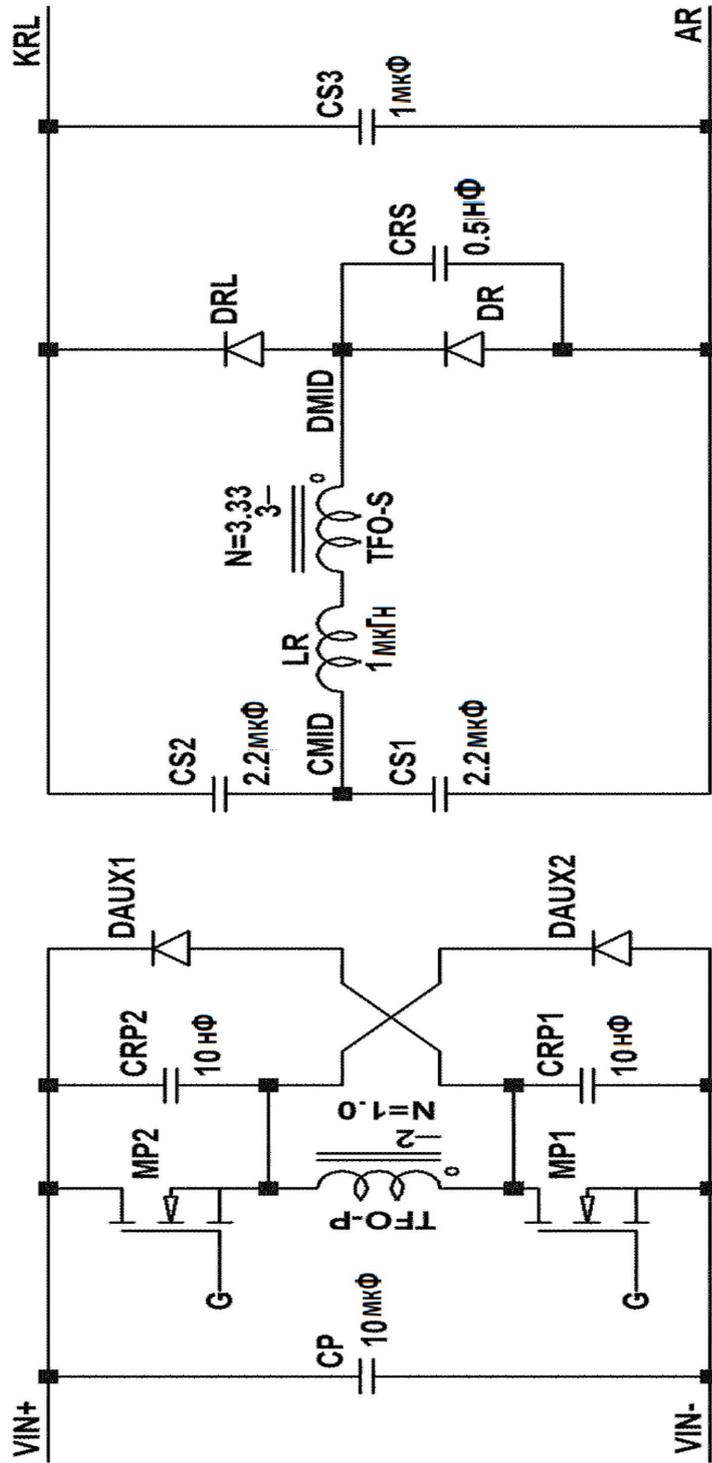




Фиг. 5



Фиг.6



Фиг. 7