



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2010138707/07, 21.09.2010**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.09.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **21.09.2010**(45) Опубликовано: **10.01.2012** Бюл. № 1(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **SU 266041 A, 17.03.1970. RU 2269196 C1,**
27.01.2006. US 7330363 A1, 31.05.2007.

Адрес для переписки:

**119270, Москва, Фрунзенская наб., 40, кв. 4,
Г.М.Мустафе**

(72) Автор(ы):

**Мустафа Георгий Маркович (RU),
Луганская Ирина Борисовна (RU),
Сеннов Юрий Михайлович (RU),
Ильинский Александр Дмитриевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

Мустафа Георгий Маркович (RU)**(54) ИНВЕРТОР, ВЫПОЛНЕННЫЙ ПО РАСЩЕПЛЕННОЙ СХЕМЕ С УРАВНИТЕЛЬНЫМ
РЕАКТОРОМ, И СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ЭТИМ ИНВЕРТОРОМ ПО АЛГОРИТМУ
ЧЕРЕДУЮЩИХСЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ**

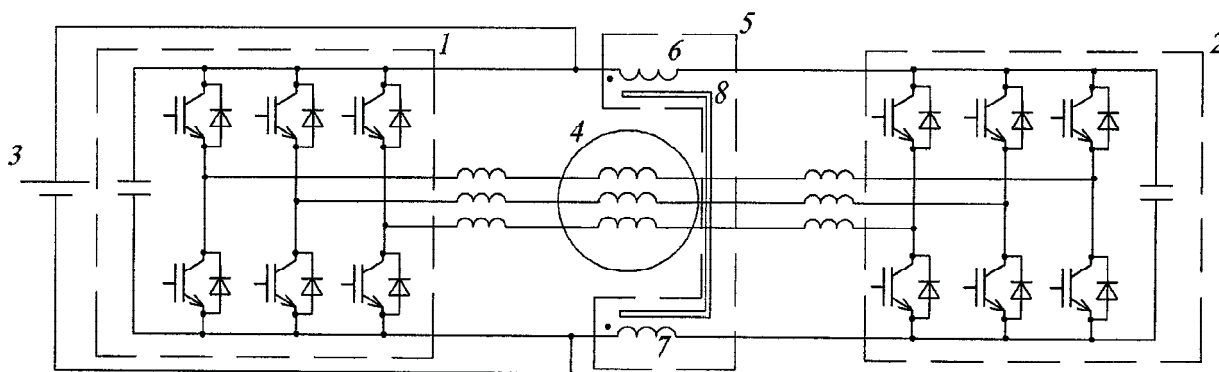
(57) Реферат:

Заявляемое техническое решение относится к преобразовательной технике, а именно к мощным преобразователям, инверторам, применяемым, например, для электропривода с машинами переменного тока; для источника питания большой мощности с трансформаторным выходом. Задача, на решение которой направлено заявляемое техническое решение, заключается в уменьшении потерь в основных узлах инвертора с одновременным уменьшением уровня пульсаций выходного напряжения, при питании всей схемы от одного общего источника. Технический результат заключается в повышении эффективности преобразования энергии, снижении затрат и расширении области применения инвертора, при условии питания схемы от одного общего источника. Указанная задача решается тем, что в известный инвертор введен уравнительный реактор с первой и второй магнитосвязанными обмотками; вывод от начала первой обмотки уравнительного реактора подключен к положительному выводу звена постоянного

тока первого трехфазного транзисторного моста, а вывод от конца первой обмотки подключен к положительному выводу звена постоянного тока второго трехфазного транзисторного моста; вывод от начала второй обмотки уравнительного реактора подключен к отрицательному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста, а вывод от конца второй обмотки подключен к отрицательному выводу звена постоянного тока второго трехфазного транзисторного моста; инвертор снабжен двумя выводами для подключения к одному источнику питания, общему для первого и второго трехфазных транзисторных мостов, причем первый вывод инвертора подключен к положительному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста, а второй вывод инвертора подключен к отрицательному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста. Возможен также вариант подключения первого вывода инвертора к отводу от первой обмотки уравнительного реактора, а второго вывода инвертора - к отводу от второй

обмотки уравнивающего реактора, причем так, что отводы каждой из обмоток выполнены от любого, но одинакового числа витков, считая от начала каждой обмотки. Указанная задача решается также тем, что первым и вторым трехфазным транзисторным мостом управляют по методу широтно-импульсной модуляции, причем частота опорного (например, пилообразного) сигнала первого и второго трехфазного транзисторного моста одинакова, согласно заявляемому техническому решению на каждом нечетном (или четном) такте

опорного сигнала первый трехфазный транзисторный мост не переключают и он формирует постоянное напряжение U_d , на этом же такте второй трехфазный транзисторный мост переключают таким образом, чтобы он отслеживал задание $(U_f - U_d)$, где: U_d - напряжение источника питания, U_f - выходное напряжение инвертора, а на следующем такте опорного сигнала задания на первый и второй трехфазные транзисторные мосты чередуются. 3 н.п. ф-лы, 11 ил., 1 табл.



Фиг.3

RU 2 4 3 9 7 7 3 C 1

RU 2 4 3 9 7 7 3 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2010138707/07, 21.09.2010**

(24) Effective date for property rights:
21.09.2010

Priority:

(22) Date of filing: **21.09.2010**

(45) Date of publication: **10.01.2012 Bull. 1**

Mail address:

**119270, Moskva, Frunzenskaja nab., 40, kv. 4,
G.M.Mustafe**

(72) Inventor(s):

**Mustafa Georgij Markovich (RU),
Luganskaja Irina Borisovna (RU),
Sennov Jurij Mikhajlovich (RU),
Il'inskij Aleksandr Dmitrievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

Mustafa Georgij Markovich (RU)

(54) **INVERTER WITH SPLIT CIRCUIT AND CURRENT-BALANCING REACTOR AND METHOD FOR THIS INVERTER CONTROL ACCORDING TO ALTERNATE SWITCHING ALGORITHM**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: current-balancing reactor with the first and second magnet-connected windings are introduced into the above inverter; terminal of the first winding commencement of current-balancing reactor is connected to positive terminal of the first DC three-phase-link of transistor bridge and terminal of the first winding end is connected to the second DC three-phase-link of transistor bridge; terminal of the second winding commencement of current-balancing reactor is connected to negative terminal of the first DC three-phase-link of transistor bridge and terminal of the second winding end is connected to the second DC three-phase-link of transistor bridge; inverter is equipped with two terminals to be connected to one power supply source, common for the first and second three-phase transistor bridges, at that the first inverter terminal is connected to positive terminal of the first DC three-phase-link of transistor bridge and the second inverter terminal is connected to negative terminal of the first DC three-phase-link of transistor bridge. There's also an version to connect the first inverter terminal to tap of the second winding of current-balancing reactor and the second inverter terminal to tap of the first winding of

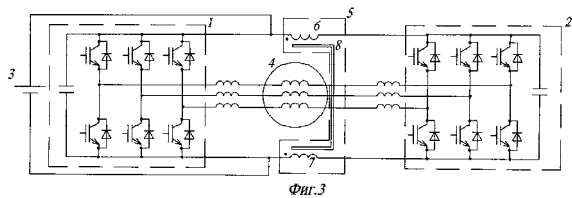
current-balancing reactor, in this connection taps of each winding are made of any equal number of coils starting from commencement of each winding. The above task is also solved in the following way: the first and second three-phase transistor bridges are controlled by method of pulse-duration modulation at that frequency of reference (e.g. sawtooth wave) signal of the first and second three-phase transistor bridges is the same, according to declared engineering solution at each odd (or even) step the first three-phase transistor bridge is not switched and it generates direct-current voltage U_d , at the same step the second three-phase transistor bridge is switched so that it controls task $(U_f - U_d)$ where: U_d - voltage of power supply source, U_f - output voltage of inverter and at the next step of reference signal tasks for the first and second three-phase transistor bridges are alternated.

EFFECT: reduction of losses in main inverter assemblies with simultaneous reduction of input voltage ripple at power supply of circuit is made from one common power supply source, improvement of energy transformation efficiency, reduction of costs and extension of application field for inverter provided that power supply of circuit is made from one common power supply source.

3 cl, 11 dwg

RU 2 4 3 9 7 7 3 C 1

RU 2 4 3 9 7 7 3 C 1



RU 2439773 C1

RU 2439773 C1

Заявляемое техническое решение относится к преобразовательной технике, а именно к мощным преобразователям, инверторам, применяемым, например, для электропривода с машинами переменного тока; для источника питания большой мощности с трансформаторным выходом.

Известно применение широко распространенной мостовой схемы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) выходного напряжения [1], но она имеет ряд недостатков:

- при отсутствии выходного LC-фильтра возникают повышенные потери в двигателе, дополнительный нагрев и ускоренный износ подшипников, повышается нагрузка на изоляцию и ухудшается электромагнитная совместимость с питающей сетью и окружающим оборудованием;

- качественный LC-фильтр с синусоидальным напряжением в обычной ШИМ-схеме по размерам, потерям энергии и стоимости сопоставим с самим преобразователем;

- построение многоуровневых схем для смягчения упомянутых выше недостатков приводит к усложнению и удорожанию изделия.

Фазное напряжение на нагрузке в трехфазной мостовой схеме:

$$U_{d1} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}},$$

где U_d - напряжение источника

Известен также инвертор, выполненный по расщепленной схеме [2], состоящей из двух трехфазных транзисторных мостов с двумя источниками питания. При этом каждый фазный выход первого трехфазного транзисторного моста подсоединен к первым выводам трехфазной нагрузки, а каждый фазный выход второго трехфазного транзисторного моста подсоединен ко вторым трем выводам трехфазной нагрузки. Фазное напряжение на нагрузке инвертора, выполненного по расщепленной схеме:

$$U_d \cdot \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$$

где U_d - напряжения источников.

Это хорошее техническое решение, уменьшающее пульсации при управлении трехфазными транзисторными мостами инвертора, выполненного по расщепленной схеме с помощью «зеркальной» ШИМ, когда опорные пилообразные сигналы для управления трехфазными транзисторными мостами, как это предложено в [2], сдвинуты на 180° .

Этот вариант наиболее близок к предлагаемому техническому решению.

Однако неудобство инвертора, выполненного по расщепленной схеме [2], заключается в наличии двух отдельных источников. Например, в электротранспорте (трамвай, троллейбус, метро, электропоезда) есть только один доступный источник питания преобразователя. Кроме того, при использовании «зеркальной» ШИМ пульсации выходного напряжения довольно велики.

Преодолению вышеперечисленных недостатков технических решений [1] и [2] служит предлагаемое техническое решение - инвертор, выполненный по расщепленной схеме, состоящей из двух трехфазных транзисторных мостов, с уравнивающим реактором и предлагаемый способ управления первым и вторым трехфазными транзисторными мостами по алгоритму чередующихся переключений.

Задача, на решение которой направлено заявляемое техническое решение, заключается в уменьшении потерь в основных узлах инвертора с одновременным уменьшением уровня пульсаций выходного напряжения, при питании всей схемы от одного общего источника.

При решении поставленной задачи достигаемый технический результат заключается в повышении эффективности преобразования энергии, снижении затрат и расширении области применения инвертора, при условии питания схемы от одного общего источника.

5 В соответствии с предложенным техническим решением указанная задача решается тем, что в известный инвертор, состоящий из первого и второго трехфазных транзисторных мостов, каждый из которых имеет звено постоянного напряжения с конденсатором и двумя выводами - положительной и отрицательной полярности - для
10 подключения к выводам источника питания; фазные выводы первого трехфазного транзисторного моста подключены к соответствующим первым выводам трехфазной нагрузки, а фазные выводы второго трехфазного транзисторного моста подключены к соответствующим вторым выводам трехфазной нагрузки, согласно заявляемому
15 техническому решению в него введен уравнивающий реактор с первой и второй магнитосвязанными обмотками; вывод от начала первой обмотки уравнивающего реактора подключен к положительному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста, а вывод от конца первой обмотки подключен к
20 положительному выводу звена постоянного тока второго трехфазного транзисторного моста; вывод от начала второй обмотки уравнивающего реактора подключен к отрицательному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста, а вывод от конца второй обмотки подключен к
25 отрицательному выводу звена постоянного тока второго трехфазного транзисторного моста; инвертор снабжен двумя выводами для подключения к одному источнику питания, общему для первого и второго трехфазных транзисторных мостов, причем
30 первый вывод инвертора подключен к положительному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста, а второй вывод инвертора подключен к отрицательному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста.

В соответствии с предложенным техническим решением указанная задача решается также тем, что в инверторе, согласно заявляемому техническому решению, первый вывод инвертора для подключения к одному источнику питания, общему для первого и второго трехфазных транзисторных мостов, подключен к отводу от первой обмотки
35 уравнивающего реактора, а второй вывод инвертора подключен к отводу от второй обмотки уравнивающего реактора, причем отводы каждой из обмоток выполнены от любого, но одинакового числа витков, считая от начала каждой обмотки.

В соответствии с предложенным техническим решением указанная задача решается также тем, что в известном способе управления инвертором, состоящим из первого и
40 второго трехфазных транзисторных мостов, каждый из которых имеет звено постоянного напряжения с конденсатором, а фазные выводы первого трехфазного транзисторного моста подключены к соответствующим первым выводам трехфазной нагрузки, фазные выводы второго трехфазного транзисторного моста подключены к
45 соответствующим вторым выводам трехфазной нагрузки, заключающемся в том, что первым и вторым трехфазным транзисторным мостом управляют по методу широтно-импульсной модуляции, причем частота опорного (например, пилообразного) сигнала первого и второго трехфазного транзисторного моста одинакова, согласно
50 заявляемому техническому решению на каждом нечетном (или четном) такте опорного сигнала первый трехфазный транзисторный мост не переключают и он формирует постоянное напряжение U_d , на этом же такте второй трехфазный транзисторный мост переключают таким образом, чтобы он отслеживал задание (U_f -

Ud), где:

Ud - напряжение источника питания,

Uf - выходное напряжение инвертора,

а на следующем такте опорного сигнала задания на первый и второй трехфазные транзисторные мосты чередуются, т.е на каждом четном (или нечетном) такте опорного сигнала второй трехфазный транзисторный мост не переключают и он формирует постоянное напряжение Ud, на этом же такте первый трехфазный транзисторный мост переключают таким образом, чтобы он отслеживал задание (Uf-Ud), при этом суммарное отслеживаемое первым и вторым трехфазными транзисторными мостами напряжение равно $U_d + (U_f - U_d) = U_f$.

Сущность предлагаемого технического решения поясняется следующими иллюстрациями:

Фиг.1:

а) трехфазная мостовая схема с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) выходного напряжения (техническое решение [1])

б) - схема трехуровневого инвертора;

Фиг.2 - структурная схема инвертора, построенного по расщепленной схеме с двумя источниками (техническое решение [2]);

Фиг.3 - структурная схема инвертора, построенного по предлагаемой расщепленной схеме с одним источником и уравнивающим реактором;

Фиг.4 - структурная схема инвертора, построенного по предлагаемой расщепленной схеме с одним источником и другим возможным вариантом исполнения уравнивающего реактора;

Фиг.5 - осциллограммы, поясняющие принцип работы предлагаемого инвертора при реализации заявляемого способа управления первым и вторым трехфазными транзисторными мостами по алгоритму чередующихся переключений;

Фиг.6 - увеличенная часть осциллограммы на фиг.5, поясняющая траектории сигналов задания первого и второго трехфазных транзисторных мостов предлагаемого инвертора при реализации заявляемого способа управления по алгоритму чередующихся переключений;

Фиг.7 - расчетные осциллограммы тока и напряжения на выходе инвертора, построенного по расщепленной схеме с зеркальной ШИМ (техническое решение [2]);

Фиг.8 - расчетные осциллограммы тока и напряжения на выходе инвертора, построенного по предлагаемой расщепленной схеме с реализацией заявляемого способа управления первым и вторым трехфазными транзисторными мостами по алгоритму чередующихся переключений;

Фиг.9 - осциллограмма выходного напряжения статического преобразователя СПЧН - ТТП-250, полученная на реальном объекте при работе на номинальную нагрузку;

Фиг.10 - осциллограмма выходного тока статического преобразователя СПЧН - ТТП-250, полученная на реальном объекте при работе на номинальную нагрузку.

Устройство заявляемого технического решения в его статическом состоянии описано по схеме на фиг.3 и фиг.4.

Инвертор включает в себя первый трехфазный транзисторный мост 1 и второй трехфазный транзисторный мост 2, каждый из которых имеет звено постоянного напряжения с конденсатором и двумя выводами - положительной и отрицательной полярности - для подключения к выводам источника питания 3. Фазные выводы первого трехфазного транзисторного моста 1 подключены к соответствующим

первым выводам трехфазной нагрузки 4 (на фиг.3 в качестве нагрузки представлен электродвигатель), а фазные выводы второго трехфазного транзисторного моста 2 подключены к соответствующим вторым выводам трехфазной нагрузки 4. Для реализации предлагаемого способа управления инвертором при его питании от одного общего источника питания 3 в схему введен уравнивающий реактор 5 с двумя магнитосвязанными обмотками 6 и 7, размещенными на общем магнитопроводе 8. Обмотки 6 и 7 включены в цепь так, чтобы их магнитодвижущие силы от протекания постоянного тока компенсировали друг друга. Положительный и отрицательный выводы предлагаемого инвертора для подключения к одному источнику питания, общему для трехфазных транзисторных мостов 1 и 2, могут быть подключены как к входным зажимам уравнивающего реактора 5 (как показано на фиг.3), так и к отводу от первой обмотки 6 уравнивающего реактора 5 и к отводу от второй обмотки 6 уравнивающего реактора 5 (как на фиг.4), причем отводы каждой из обмоток 6 и 7 выполнены от любого, но одинакового числа витков, считая от начала каждой обмотки.

Ниже описана работа заявляемого инвертора, схема которого представлена на фиг.3 и 4, при реализации заявляемого способа управления трехфазными транзисторными мостами 1 и 2 по алгоритму чередующихся переключений.

Для уменьшения амплитуды пульсаций на выходе инвертора, состоящего из трехфазных транзисторных мостов 1 и 2, применяется способ управления по алгоритму чередующихся переключений, заключающийся в том, что трехфазными транзисторными мостами 1 и 2 управляют по методу широтно-импульсной модуляции, причем для управления обоими трехфазными транзисторными мостами 1 и 2 используется общий опорный пилообразный сигнал (пила).

Пояснению предлагаемого способа управления трехфазными транзисторными мостами 1 и 2 по алгоритму чередующихся переключений служат фиг.5 и фиг.6.

Способ управления по алгоритму чередующихся переключений реализуется следующим образом. Опорный пилообразный сигнал формируется на частоте, удвоенной по сравнению с выбранной частотой каждого трехфазного транзисторного моста (1 и 2). Регулятор инвертора вырабатывает фазное задание по напряжению нагрузки U_f - это напряжение формируется суммарным напряжением трехфазных транзисторных мостов 1 и 2. Каждый трехфазный транзисторный мост может сформировать максимальное напряжение, равное напряжению на входе инвертора U_d .

На каждом нечетном (или четном) такте опорного пилообразного сигнала трехфазный транзисторный мост 1 не переключают и он формирует постоянное напряжение U_d , на этом же такте трехфазный транзисторный мост 2 переключают таким образом, чтобы он отслеживал задание ($U_f - U_d$), а на следующем такте опорного сигнала задания на трехфазные транзисторные мосты 1 и 2 чередуются, т.е. на каждом четном (или нечетном) такте опорного пилообразного сигнала трехфазный транзисторный мост 2 не переключают и он формирует постоянное напряжение U_d , на этом же такте трехфазный транзисторный мост 1 переключают таким образом, чтобы он отслеживал задание ($U_f - U_d$), при этом суммарное отслеживаемое трехфазными транзисторными мостами 1 и 2 напряжение равно $U_d + (U_f - U_d) = U_f$.

Таким образом, согласно предлагаемому алгоритму, на каждом такте широтной модуляции производится только одно переключение и переключения чередуются, так что в каждом из трехфазных транзисторных мостов (1 и 2) переключение осуществляется один раз за два такта. Соответственно этому предлагаемый алгоритм именуется: «алгоритм чередующихся переключений».

В связи с тем, что при черно-белом представлении осциллограммы, приведенной на фиг.5 (оригинал осциллограммы - цветной) трудно отличить сигналы задания на трехфазный транзисторный мост 1 и на трехфазный транзисторный мост 2, тем более что их передние и задние фронты местами накладываются друг на друга, на фиг.6
5
приведена увеличенная часть упомянутой осциллограммы и справа от нее траектории сигналов задания трехфазных транзисторных мостов 1 и 2, каждая из которых помечена различающимися значками (кружок и крестик).

В результате переключение в каждом трехфазном транзисторном мосте (1 и 2)
10
происходит через один такт опорного пилообразного сигнала и частота переключений трехфазных транзисторных мостов 1 и 2 в два раза меньше частоты опорного пилообразного сигнала. Разностное напряжение, которое возникает за счет несинхронного управления трехфазными транзисторными мостами 1 и 2, ложится на уравнивательный реактор 5. Величина разностного напряжения во всех режимах
15
незначительна, поэтому масса, габариты и стоимость уравнивательного реактора малы. При этом пульсации тока нагрузки снижаются по сравнению с зеркальной ШИМ, используемой в прототипе [2].

На фиг.7 и 8 приведены для возможности сопоставления расчетные осциллограммы
20
тока и напряжения на выходе инвертора, построенного по расщепленной схеме с зеркальной ШИМ (техническое решение [2]), и инвертора, построенного по предлагаемой расщепленной схеме с реализацией заявляемого способа управления трехфазными транзисторными мостами по алгоритму чередующихся переключений.

Осциллограммы получены при помощи математического моделирования в системе
25
моделирования ELTRAN, достоверность результатов моделирования в которой многократно подтверждена в течение многих лет сопоставлением с осциллограммами, получаемыми на реальных преобразовательных агрегатах, эксплуатирующихся на промышленных предприятиях.

30
Значения пульсаций тока по отношению к номинальному значению тока, выраженные в %, приведены в таблице 1.

Таблица 1	
Значения пульсаций тока по отношению к номинальному значению тока, выраженные в %,	
Сравниваемые варианты технических решений	Величина пульсаций тока по отношению к номинальному значению, %
Мостовая схема с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения, техническое решение [1]	≤ 60
Инвертор, выполненный по расщепленной схеме, состоящей из двух трехфазных транзисторных мостов с двумя источниками питания, техническое решение [2]	≤ 23
Предлагаемое техническое решение - инвертор, выполненный по расщепленной схеме, состоящей из двух трехфазных транзисторных мостов, с уравнивательным реактором с реализацией заявляемого способа управления первым и вторым трехфазными транзисторными мостами по алгоритму чередующихся переключений	≤ 10

45
При зеркальной ШИМ (техническое решение [2]) максимальная амплитуда пульсаций наблюдается при отслеживании напряжения в середине диапазона регулирования (в примере 23%). В предлагаемом техническом решении - максимальная амплитуда пульсаций тока во всем диапазоне регулирования мало изменяется и не превышает 10%.

50
В сравнении с трехфазной мостовой схемой предлагаемый инвертор имеет следующие преимущества. При мощностях больше чем 200 кВт предлагаемый инвертор содержит столько же транзисторных элементов (транзисторные элементы, устанавливаются в корпус транзистора и соединяются параллельно, образуя транзистор), как и трехфазная мостовая схема. Это объясняется тем, что хотя

количество транзисторов в предлагаемом инверторе вдвое больше, чем в трехфазной мостовой схеме, через них протекает вдвое меньший ток. Уровни напряжения в обеих схемах совпадают. Кондуктивные потери энергии (потери проводимости) в обеих схемах одинаковы. Однако потери на переключение в предлагаемом инверторе радикально снижаются. Следует подчеркнуть, что дополнительные потери, возникающие при переключении транзисторов (коммутационные потери), в частотно-регулируемых приводах с транзисторным ШИМ-инвертором составляют от 40 до 100% от кондуктивных потерь, поэтому их уменьшение - сверхактуальная задача.

При каждом переключении в предлагаемом инверторе коммутируется только половинный ток и ступень напряжения переключения составляет только половину от полного напряжения. Эти два обстоятельства дают мультипликативный фактор эффекта, равный четырем. Это означает, что в предлагаемом инверторе можно без увеличения коммутационных потерь в 4 раза снизить величину пульсаций тока. Или же при тех же пульсациях тока в 4 раза снизить коммутационные потери. Возможны также промежуточные варианты, например, в 2 раза уменьшить пульсации и, одновременно, в 2 раза снизить коммутационные потери.

В целом эффект от применения предлагаемого инвертора равен эффекту от применения схемы трехуровневого инвертора, но без удвоения количества проводящих ток транзисторов, т.е. без увеличения кондуктивных потерь. Схема трехуровневого инвертора эффективна при повышенном уровне постоянного напряжения. Однако для применения, например, в тяговом электроприводе метро, питающемся от контактной сети 750 В, а также трамвая и троллейбуса (550 В), применение трехуровневой схемы неэффективно из-за повышенных кондуктивных потерь (вследствие повышенного числа последовательно включенных полупроводниковых ключей). Предлагаемый инвертор решает ту же задачу, не изменяя кондуктивных потерь.

Предлагаемый инвертор не претендует на универсальность (например, при напряжениях 3 кВ, как в контактной сети железных дорог постоянного тока, он не может конкурировать с трехуровневой схемой), однако в диапазоне напряжений 500...1200 В при мощностях свыше 200 кВт предлагаемый инвертор имеет явные, вышеприведенные преимущества, как перед трехфазной мостовой схемой, так и перед схемой трехуровневого инвертора.

В сравнении с трехфазной мостовой схемой предлагаемый инвертор за счет использования вдвое большего количества транзисторов, но рассчитанных на вдвое меньший ток, в ряде случаев может обеспечивать конструктивные преимущества в отношении системы охлаждения силовых полупроводников.

Примером практической реализации предлагаемого технического решения как в части устройства, так и в части способа управления им, является статический преобразователь СПЧН - ТТП-250 (360/2200 В, 50...100 Гц, 250 кВА). Назначение преобразователя - питание испытательной станции при испытаниях силовых трансформаторов.

На фиг.9 и 10 приведены осциллограммы выходного напряжения и выходного тока статического преобразователя СПЧН - ТТП-250, полученные на реальном объекте при работе на номинальную нагрузку, подтверждающие эффективность предлагаемого технического решения, как в части устройства, так и в части способа управления им по алгоритму чередующихся переключений.

Источники информации

1. Силовая электроника: учебник для вузов / Ю.К.Розанов, М.В.Рябчицкий,

А.А.Кваснюк. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007., гл. 8. Широтно-импульсная модуляция в преобразователях переменного/постоянного тока, с.406-410.

2. Patent No: US 7330363 (Feb. 12.2008), Converter circuit with two partial converters; Int. Cl. H02M 7/00, Inventors: Srinivas Ponnaluri, Juergen Steinke, Peter Steimer. Assignee: ABB Schweiz AG.

Формула изобретения

1. Инвертор, состоящий из первого и второго трехфазных транзисторных мостов, каждый из которых имеет звено постоянного напряжения с конденсатором и двумя выводами - положительной и отрицательной полярности - для подключения к выводам источника питания; фазные выводы первого трехфазного транзисторного моста подключены к соответствующим первым выводам трехфазной нагрузки, а фазные выводы второго трехфазного транзисторного моста подключены к соответствующим вторым выводам трехфазной нагрузки, отличающийся тем, что в него введен уравнивающий реактор с первой и второй магнитосвязанными обмотками; вывод от начала первой обмотки уравнивающего реактора подключен к положительному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста, а вывод от конца первой обмотки подключен к положительному выводу звена постоянного тока второго трехфазного транзисторного моста; вывод от начала второй обмотки уравнивающего реактора подключен к отрицательному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста, а вывод от конца второй обмотки подключен к отрицательному выводу звена постоянного тока второго трехфазного транзисторного моста; инвертор снабжен двумя выводами для подключения к одному источнику питания, общему для первого и второго трехфазных транзисторных мостов, причем первый вывод инвертора подключен к положительному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста, а второй вывод инвертора подключен к отрицательному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста.

2. Инвертор, состоящий из первого и второго трехфазных транзисторных мостов, каждый из которых имеет звено постоянного напряжения с конденсатором и двумя выводами - положительной и отрицательной полярности - для подключения к выводам источника питания; фазные выводы первого трехфазного транзисторного моста подключены к соответствующим первым выводам трехфазной нагрузки, а фазные выводы второго трехфазного транзисторного моста подключены к соответствующим вторым выводам трехфазной нагрузки, отличающийся тем, что в него введен уравнивающий реактор с первой и второй магнитосвязанными обмотками; вывод от начала первой обмотки уравнивающего реактора подключен к положительному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста, а вывод от конца первой обмотки подключен к положительному выводу звена постоянного тока второго трехфазного транзисторного моста; вывод от начала второй обмотки уравнивающего реактора подключен к отрицательному выводу звена постоянного тока первого трехфазного транзисторного моста, а вывод от конца второй обмотки подключен к отрицательному выводу звена постоянного тока второго трехфазного транзисторного моста; инвертор снабжен двумя выводами для подключения к одному источнику питания, общему для первого и второго трехфазных транзисторных мостов, причем первый вывод инвертора для подключения к одному источнику питания, общему для

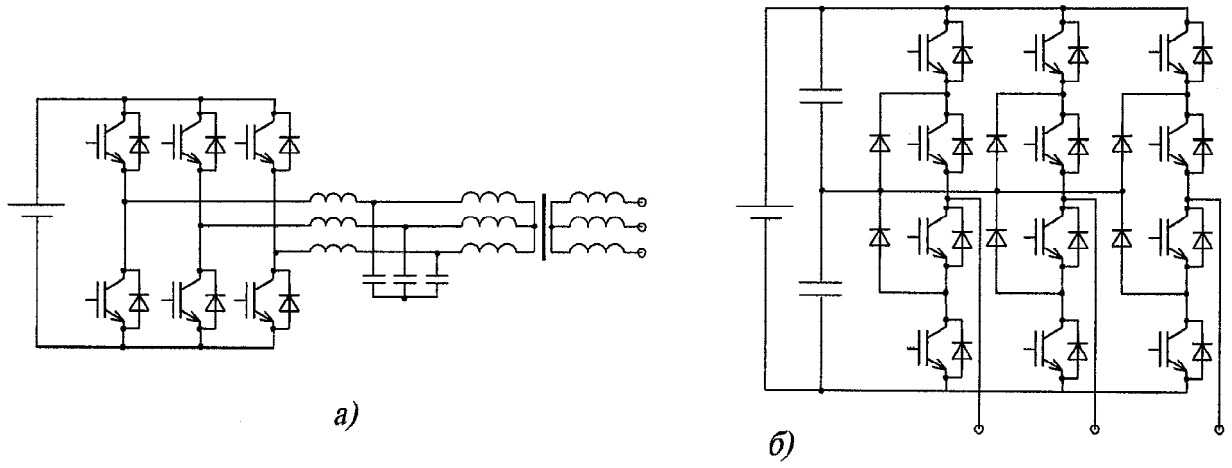
первого и второго трехфазных транзисторных мостов, подключен к отводу от первой обмотки уравнивающего реактора, а второй вывод инвертора подключен к отводу от второй обмотки уравнивающего реактора, причем отводы каждой из обмоток выполнены от любого, но одинакового числа витков, считая от начала каждой обмотки.

3. Способ управления инвертором, состоящим из первого и второго трехфазных транзисторных мостов, каждый из которых имеет звено постоянного напряжения с конденсатором, а фазные выводы первого трехфазного транзисторного моста подключены к соответствующим первым выводам трехфазной нагрузки, фазные выводы второго трехфазного транзисторного моста подключены к соответствующим вторым выводам трехфазной нагрузки, заключающийся в том, что первым и вторым трехфазным транзисторным мостом управляют по методу широтно-импульсной модуляции, причем частота опорного (например, пилообразного) сигнала первого и второго трехфазного транзисторного моста одинакова, отличающийся тем, что на каждом нечетном (или четном) такте опорного сигнала первый трехфазный транзисторный мост не переключают, и он формирует постоянное напряжение U_d , на этом же такте второй трехфазный транзисторный мост переключают таким образом, чтобы он отслеживал задание $(U_f - U_d)$, где

U_d - напряжение источника питания,

U_f - выходное напряжение инвертора,

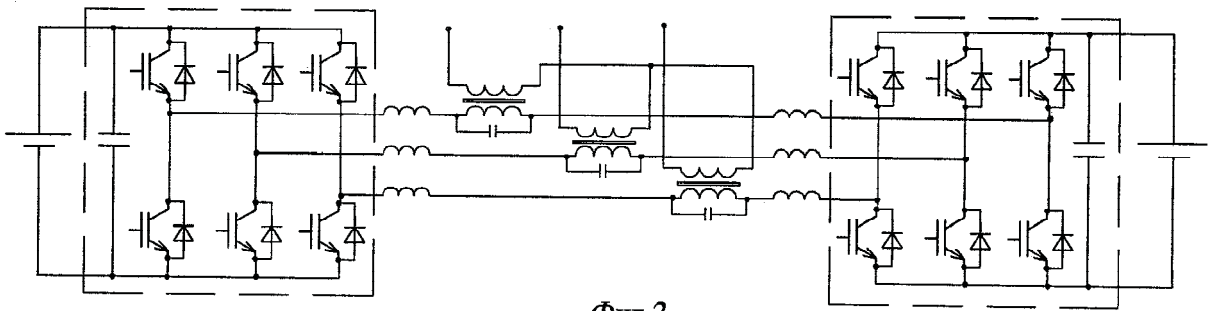
а на следующем такте опорного сигнала задания на первый и второй трехфазные транзисторные мосты чередуются, т.е. на каждом четном (или нечетном) такте опорного сигнала второй трехфазный транзисторный мост не переключают, и он формирует постоянное напряжение U_d , на этом же такте первый трехфазный транзисторный мост переключают таким образом, чтобы он отслеживал задание $(U_f - U_d)$, при этом суммарное отслеживаемое первым и вторым трехфазными транзисторными мостами напряжение равно $U_d + (U_f - U_d) = U_f$.



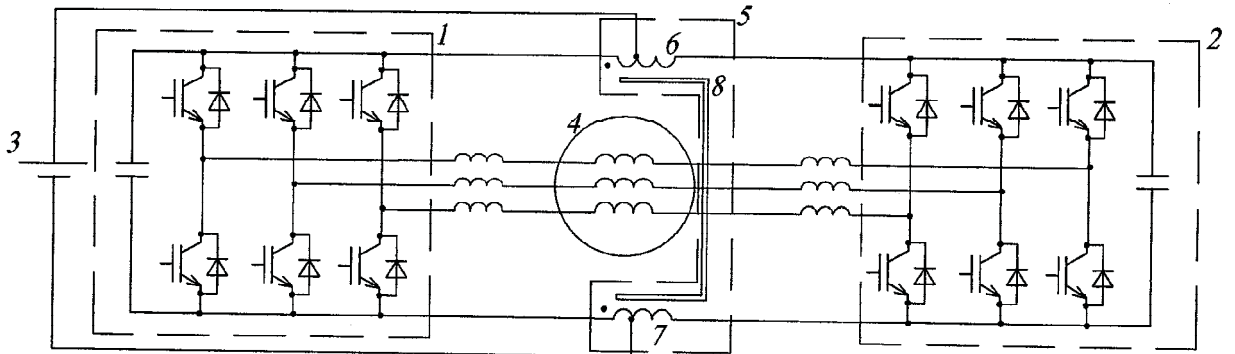
a)

б)

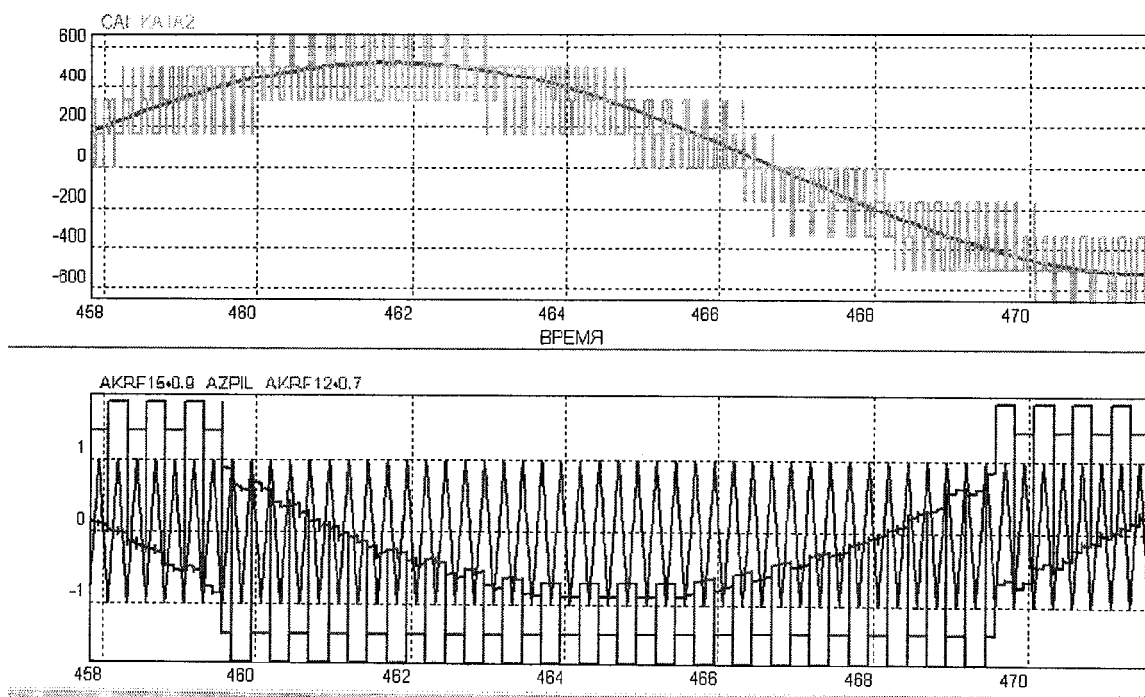
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 4



осциллограммы, поясняющие принцип работы предлагаемого инвертора при реализации заявляемого способа управления первым и вторым трехфазными транзисторными мостами по алгоритму чередующихся переключений.

На фиг. 5 приняты следующие обозначения:

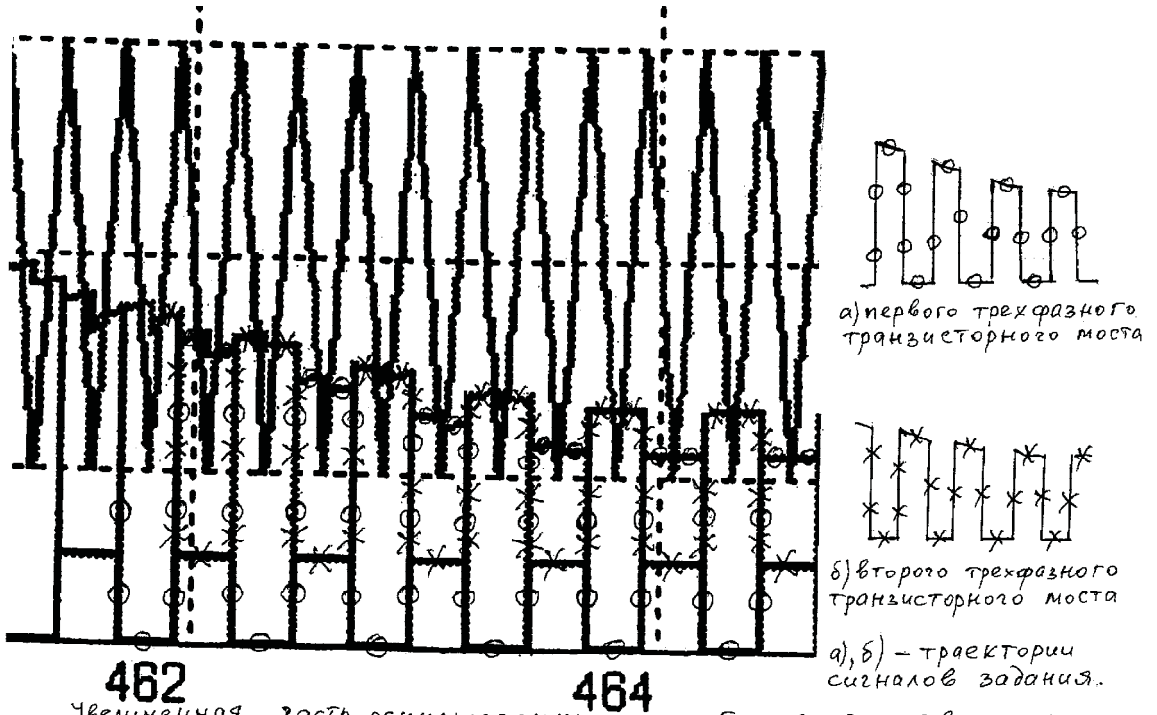
KA1A2 - результирующее суммарное фазное напряжение инвертора

CAI - напряжение фазного конденсатора

AKRF15, AKRF12 - сигналы задания фазы C для первого и второго трехфазных транзисторных мостов

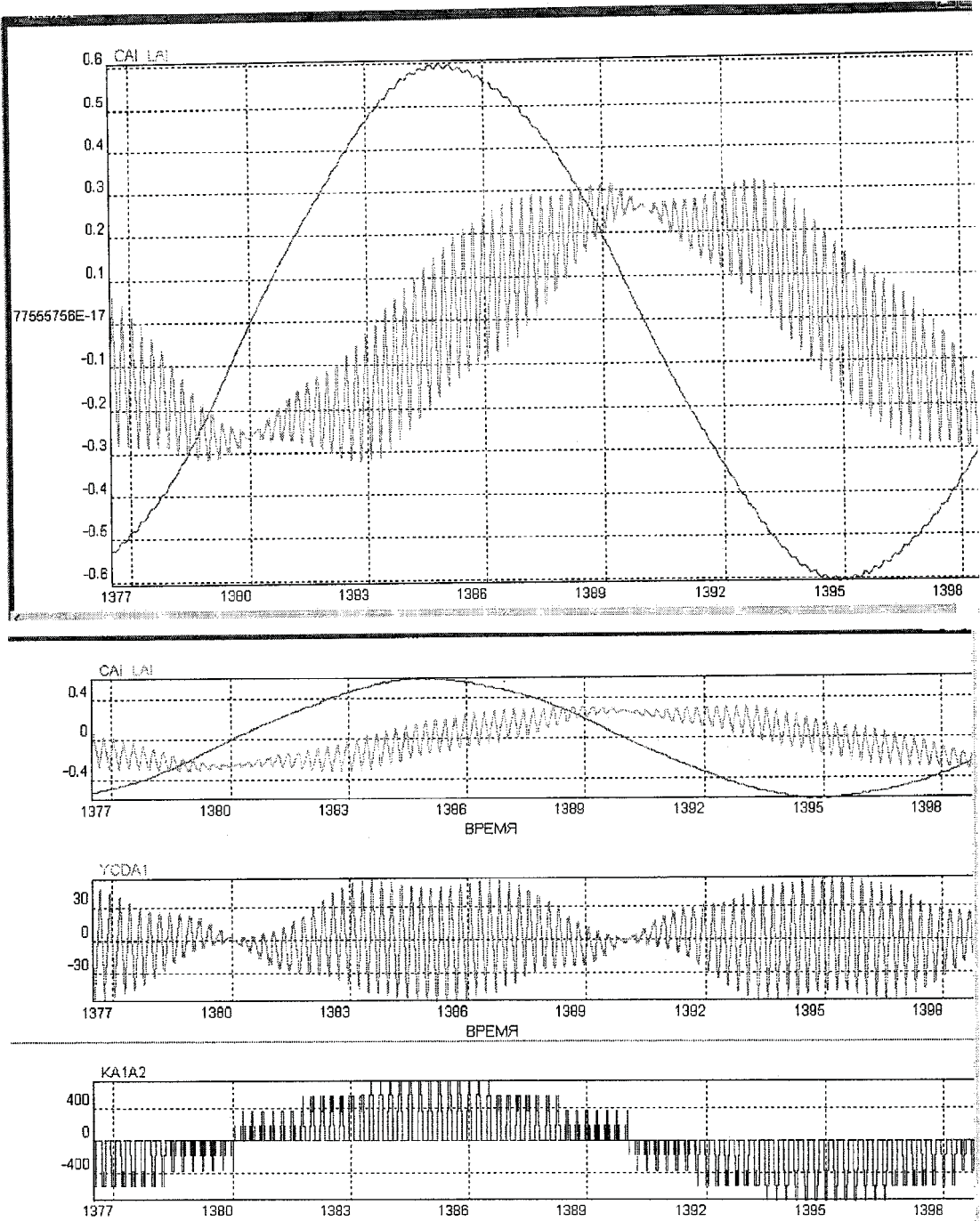
AZPIL - опорный пилообразный сигнал

Фиг.5



Увеличенная часть осциллограммы на фиг. 5, поясняющая траектории сигналов задания первого и второго трехфазных транзисторных мостов предлагаемого инвертора при реализации заявляемого способа управления по алгоритму чередующихся переключений.

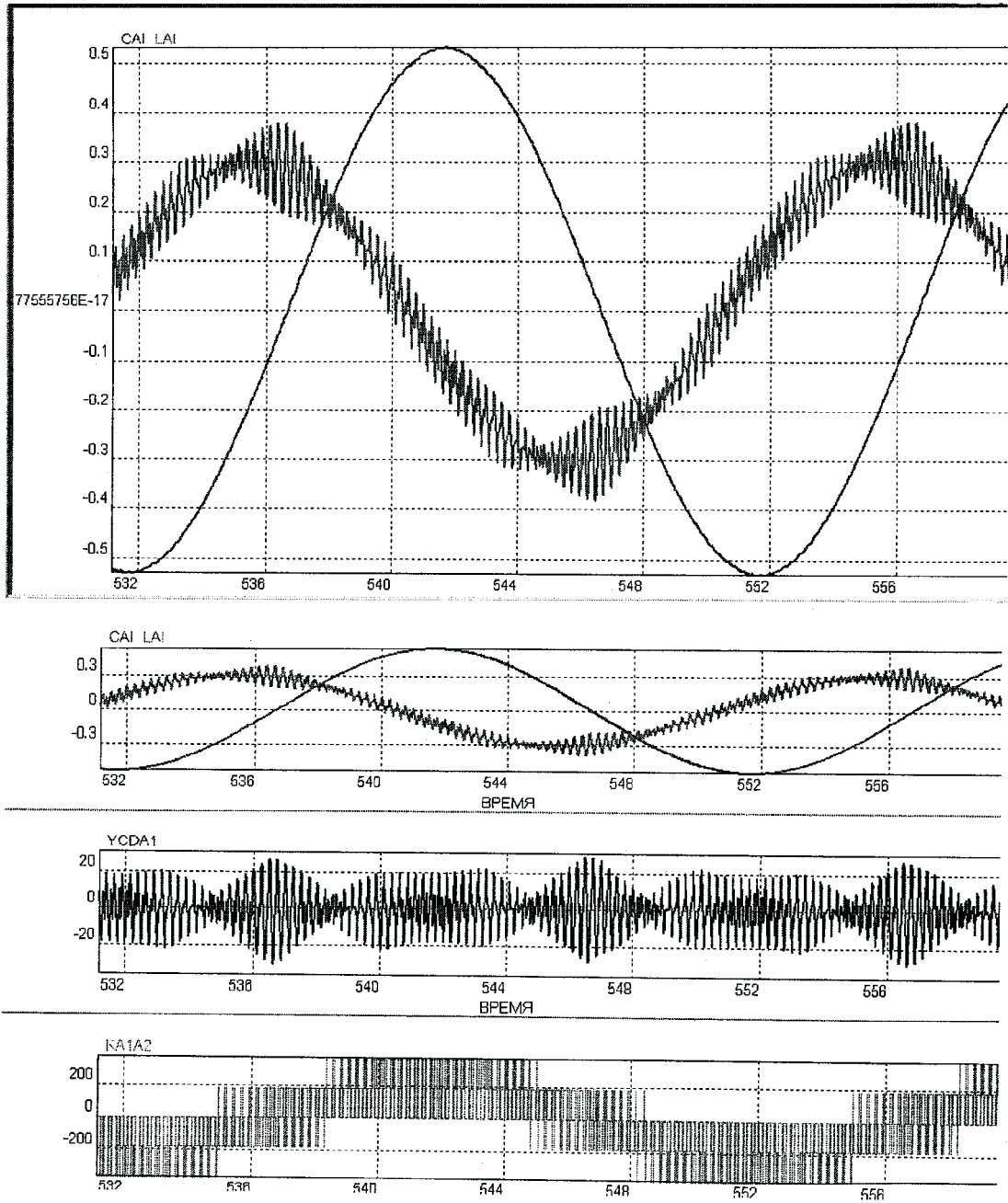
фиг. 6



EFF |YCDA1 | |2.44505E+0001

расчетные осциллограммы тока и напряжения на выходе инвертора, построенного по расцепленной схеме с зеркальный ШИМ (техническое решение [2]).

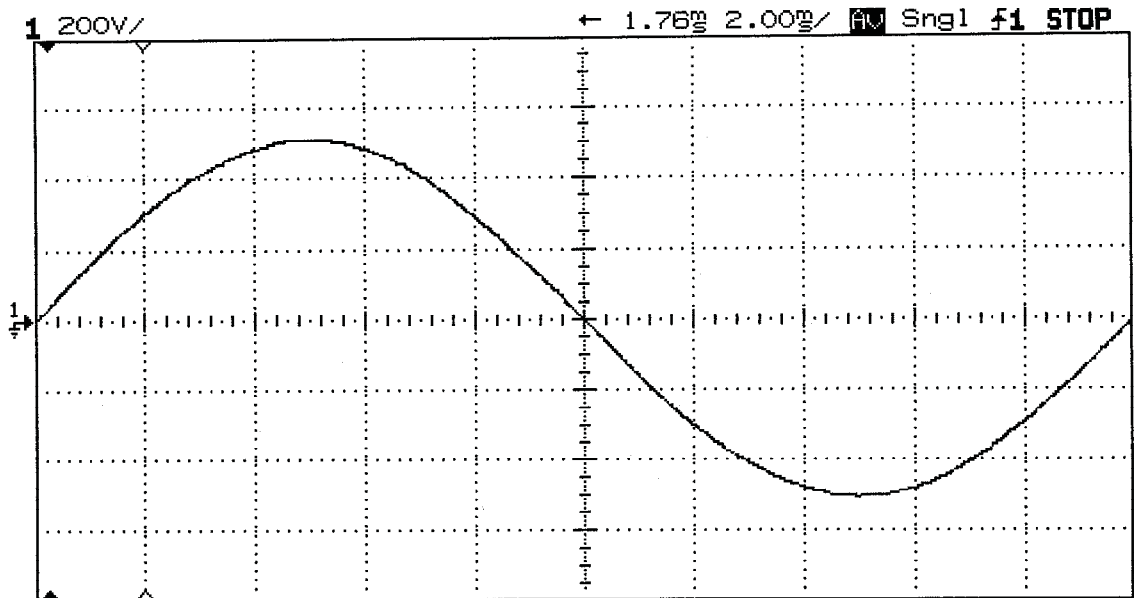
Фиг.7



EFF |YDA1 | | 1.01026E+0001

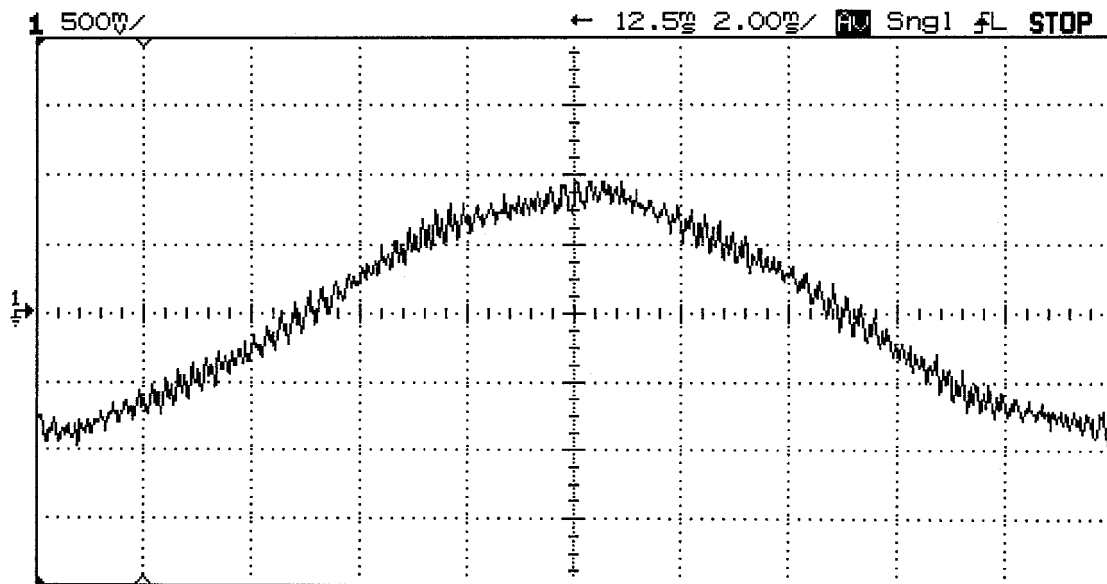
расчетные осциллограммы тока и напряжения на выходе инвертора, построенного по предлагаемой расщепленной схеме с реализацией заявляемого способа управления первым и вторым трехфазными транзисторными мостами по алгоритму чередующихся переключений.

Фиг.8



Выходное напряжение преобразователя СПЧН - ТПН-250

Фиг.9



Выходной ток преобразователя СПЧН - ТПН-250

Фиг. 10