



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 394 348** (13) **C2**

(51) МПК  
*H02M 5/453* (2006.01)  
*H02M 7/5383* (2007.01)  
*H02M 7/53862* (2007.01)  
*H05B 6/02* (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2008130766/09**, **24.07.2008**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**24.07.2008**

(43) Дата публикации заявки: **27.01.2010**

(45) Опубликовано: **10.07.2010** Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2040105 C1**, **20.07.2006**. **RU 2289190 C2**, **10.12.2006**. **RU 2155432 C1**, **27.08.2000**. **GB 2070350 A**, **03.09.1981**. **US 2004114408 A1**, **17.06.2004**. **FR 2576476 A1**, **25.07.1986**. **DE 2836610 A1**, **06.03.1980**. **JP 58201285 A**, **24.11.1983**. **EP 0016538 A1**, **01.10.1980**.

Адрес для переписки:  
**432071, г.Ульяновск, а/я 2280, Е.М. Силкину**

(72) Автор(ы):

**Силкин Евгений Михайлович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Общество с ограниченной  
ответственностью "Силовая электроника"  
(RU)**

## (54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

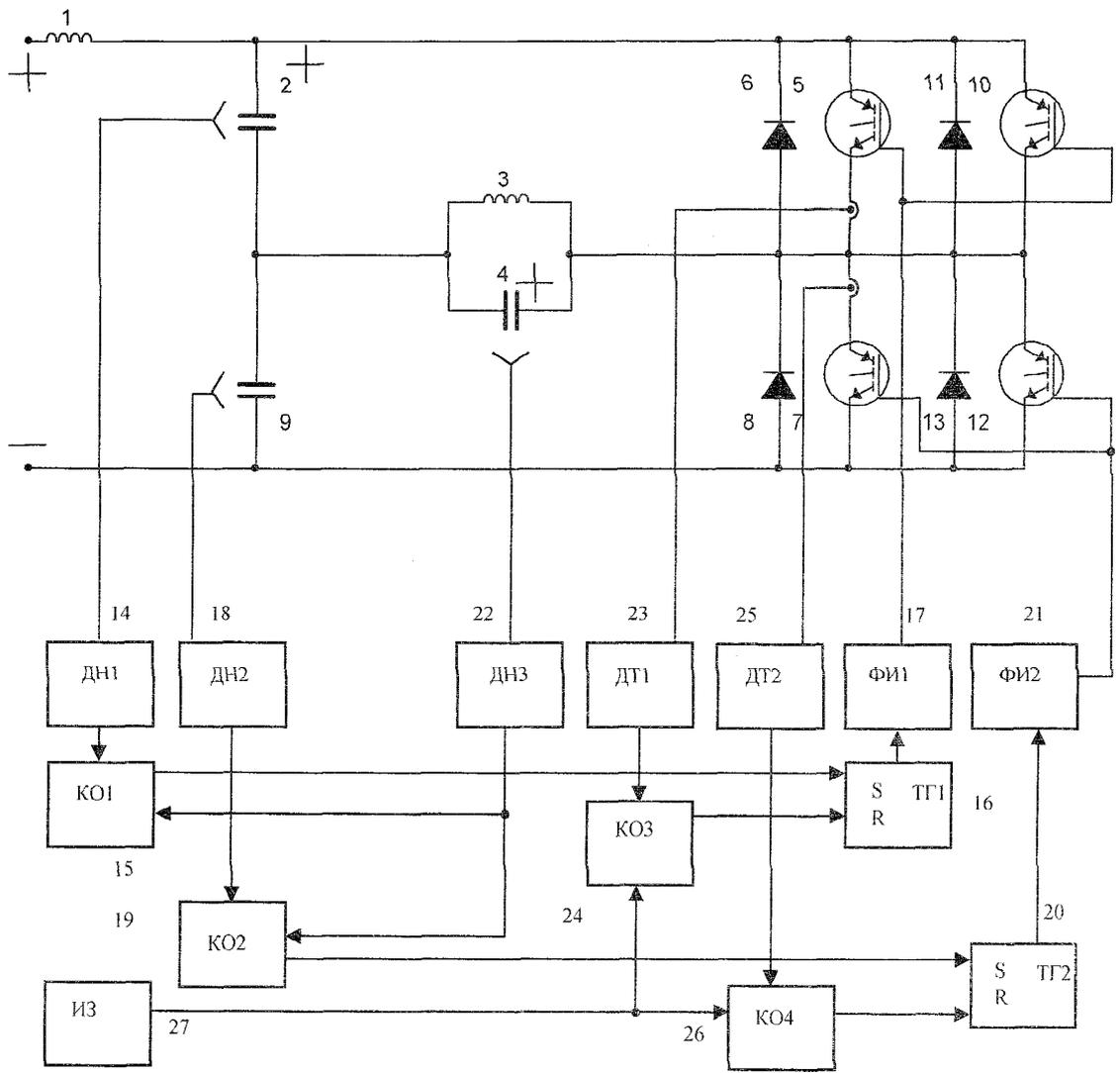
(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в индукционных плавильных комплексах для плавки черных и цветных металлов и сплавов. Техническим результатом является повышение надежности работы параллельного инвертора напряжения. Способ управления параллельным инвертором заключается в измерении мгновенного тока вентилей и

мгновенных напряжений на компенсирующем и фильтровых конденсаторах, задании уровня максимального тока, формировании подачи сигнала управления на соответствующие вентили и их включении в момент равенства мгновенных напряжений на компенсирующем и фильтровых конденсаторах, снятии сигнала управления и выключении вентилей в момент равенства мгновенного тока вентилей заданному уровню максимального тока. 3 ил.

RU 2 394 348 C2

RU 2 394 348 C2



Фиг. 2

RU 2394348 C2

RU 2394348 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
*H02M 5/453* (2006.01)  
*H02M 7/5383* (2007.01)  
*H02M 7/53862* (2007.01)  
*H05B 6/02* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2008130766/09, 24.07.2008**  
(24) Effective date for property rights:  
**24.07.2008**  
(43) Application published: **27.01.2010**  
(45) Date of publication: **10.07.2010 Bull. 19**  
Mail address:  
**432071, g.Ul'janovsk, a/ja 2280, E.M. Silkinu**

(72) Inventor(s):  
**Silkin Evgenij Mikhajlovich (RU)**  
(73) Proprietor(s):  
**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvenost'ju "Silovaja ehlektronika" (RU)**

**(54) METHOD FOR CONTROL OF PARALLEL VOLTAGE INVERTER**

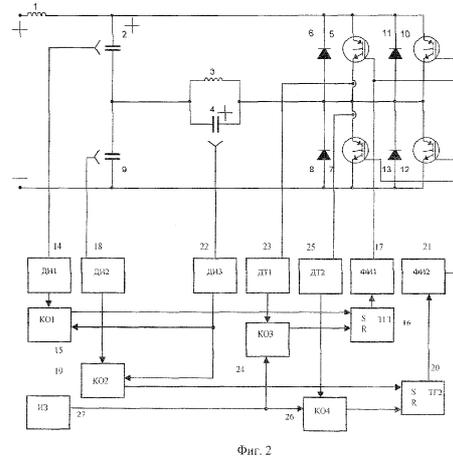
(57) Abstract:

FIELD: electric engineering.

SUBSTANCE: method for control of parallel inverter consists in measurement of instantaneous current of valves and instantaneous voltages at compensating and filter capacitors, setting level of maximum current, generation and supply of control signal to according valves and their connection at the moment of instantaneous voltages equality at compensating and filter capacitors, removal of control signal and disconnection of valves at the moment of instantaneous valve current equality to specified level of maximum current.

EFFECT: increased reliability of parallel voltage inverter operation.

5 dwg



Фиг. 2

RU 2 394 348 C2

RU 2 394 348 C2

Изобретение относится к электротехнологии и может быть использовано в индукционных плавильных комплексах для плавки черных и цветных металлов и сплавов, при проектировании систем управления с вентильными преобразователями частоты для индукционных нагревателей и других электротехнологических нагрузок.

Известен способ управления инвертором, по которому формируют и подают сигнал управления на соответствующие вентили и их включают, снимают сигнал управления и выключают вентили по истечении заданного интервала времени за счет естественного выключения при спаде мгновенного тока вентилях до нулевого уровня (Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок / Е.И.Беркович, Г.В.Ивенский, Ю.С.Иоффе и др. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. - С.50).

Недостатком способа управления является низкая надежность работы инвертора, выполненного в виде инвертора напряжения, на изменяющуюся электротехнологическую нагрузку высокой добротности, что обусловлено существенными перегрузками вентилях по току.

Известен способ управления инвертором, по которому формируют и подают сигнал управления на соответствующие вентили и их включают, снимают сигнал управления и выключают вентили по истечении заданного интервала времени за счет естественного выключения при спаде мгновенного тока вентилях до нулевого уровня, изменяют частоту подачи импульсов управления на вентили (Тиристорные преобразователи частоты / А.К.Белкин, Т.П.Костюкова, Л.Э.Рогинская и др. - М: Энергоатомиздат, 2000. - С.34).

Недостатком способа управления является низкая надежность работы инвертора, выполненного в виде инвертора напряжения, на изменяющуюся электротехнологическую нагрузку высокой добротности, что обусловлено перегрузками вентилях по току и относительной сложностью схемы компенсации реактивности нагрузки.

Известен способ управления инвертором напряжения, по которому формируют и подают сигнал управления на соответствующие вентили и их включают, снимают сигнал управления и выключают вентили по истечении заданного интервала времени (П. 2031534 РФ, МКИ Н02М 5/45. Преобразователь переменного тока для питания индуктора /Е.М.Силкин/ / БИ - 1995. - № 8).

Данный способ управления является наиболее близким по технической сущности к изобретению и используется в качестве прототипа.

Недостатком прототипа является низкая надежность работы инвертора напряжения на изменяющуюся электротехнологическую нагрузку высокой добротности, что обусловлено возможными токовыми перегрузками вентилях в рабочих режимах, высокими уровнями максимальных токов вентилях при выполнении инвертора напряжения на заданную мощность, высокими потерями энергии в вентилях из-за высоких амплитуд протекающих токов, возможными сбоями в системе управления инвертором напряжения из-за коммутационных перенапряжений и высоких амплитуд протекающих токов через вентили.

Изобретение направлено на решение задачи повышения надежности работы параллельного инвертора напряжения, что является целью изобретения.

Указанная цель достигается тем, что в способе управления параллельным инвертором напряжения, по которому измеряют мгновенный ток вентилях и мгновенные напряжения на компенсирующем и фильтровых конденсаторах, задают

уровень максимального тока, формируют и подают сигнал управления на соответствующие вентили и их включают в момент равенства мгновенных напряжений на компенсирующем и фильтровых конденсаторах, снимают сигнал управления и выключают вентили в момент равенства мгновенного тока вентилей заданному уровню максимального тока.

Повышение надежности работы инвертора напряжения является полученным техническим результатом, обусловленным новыми действиями в способе управления и порядком их осуществления, то есть отличительными признаками изобретения. При заявляемом способе управления инвертор напряжения приобретает свойства инвертора параллельного типа нового класса, отличительными особенностями которого являются питание от источника постоянного напряжения на входе, имеющего характеристику источника напряжения, и работа при параллельной компенсации реактивности нагрузки высокой добротности. Таким образом, отличительные признаки заявляемого способа управления параллельным инвертором напряжения являются существенными.

На фиг.1 приведены варианты принципиальных схем однофазных параллельных инверторов напряжения четвертьмостового (а), полумостового (б) и мостового (в) типов, на фиг.2 - функциональная схема реализации способа управления параллельным инвертором напряжения полумостового типа, на фиг.3 - временные диаграммы сигналов в схеме параллельного инвертора напряжения, поясняющие принцип управления инвертором с источником постоянного напряжения питания на входе, имеющим характеристику источника напряжения.

Возможен также вариант выполнения параллельного инвертора напряжения по нулевой схеме с управлением по заявляемому способу. В нулевой схеме параллельный нагрузочный контур подключается к выходным выводам инвертора напряжения через развязывающий (согласующий) трансформатор, имеющий нулевой вывод на первичной обмотке. Действия, осуществляемые при реализации заявляемого способа управления, не зависят от варианта принципиальной схемы и аналогичны для всех модификаций схем параллельных инверторов напряжения.

Способ управления параллельным инвертором напряжения с источником постоянного напряжения питания на входе, имеющим характеристику источника напряжения, работающим на нагрузку в виде параллельного колебательного контура с высокой добротностью, реализуется следующими действиями. Измеряют мгновенный ток вентилей и мгновенные напряжения на компенсирующем и фильтровых конденсаторах. Задают уровень максимального тока. Формируют и подают сигнал управления на соответствующие вентили и их включают в момент равенства мгновенных напряжений на компенсирующем и фильтровых конденсаторах. Снимают сигнал управления и выключают вентили в момент равенства мгновенного тока вентилей заданному уровню максимального тока.

Параллельные инверторы напряжения (фиг.1) содержат подключенную к входным выводам инвертора через дроссель фильтра 1 силовую схему с фильтровым конденсатором 2, нагрузочный параллельный колебательный контур, включающий индуктор 3 и компенсирующий конденсатор 4, вентиль 5 с встречно-параллельным диодом 6. В полумостовой схеме дополнительно последовательно с вентиляем включен второй вентиль 7 с вторым встречно-параллельным диодом 8 и последовательно с фильтровым конденсатором второй фильтровой конденсатор 9. В мостовой схеме в состав вентильного моста входит третий вентиль 10 с встречно-параллельным диодом 11 и четвертый вентиль 12 с встречно-параллельным диодом 13. Второй

фильтровой конденсатор в мостовой схеме служит для защиты вентиля моста от кратковременных коммутационных перенапряжений.

Для увеличения выходной мощности и повышения надежности работы в полумостовой схеме вентили 5, 10 и 7, 12 и встречно-параллельные диоды 6, 11 и 8, 13 включены параллельно (фиг.2). При этом электромагнитные процессы в схеме параллельного инвертора напряжения протекают аналогично. Функциональная схема также содержит последовательную цепь, включающую датчик напряжения 14 на фильтровом конденсаторе, компаратор 15, RS-триггер 16 и формирователь импульсов 17, соединенный с управляющими электродами первого и третьего вентиля, вторую последовательную цепь, содержащую датчик напряжения 18 на втором фильтровом конденсаторе, второй компаратор 19, второй RS-триггер 20 и второй формирователь импульсов 21, соединенный с управляющими электродами второго и четвертого вентиля, датчик напряжения 22 на компенсирующем конденсаторе, выход которого соединен со вторыми входами первого и второго компаратора, датчик тока вентиля 23, третий компаратор 24, выход датчика тока подключен к входу третьего компаратора, выход которого соединен с входом (R) сброса RS-триггера, датчик тока второго вентиля 25, четвертый компаратор 26, выход второго датчика тока подключен к входу четвертого компаратора, выход которого соединен с входом (R) сброса второго RS-триггера, источник задания уровня максимального тока 27, выход которого подключен к вторым входам третьего и четвертого компараторов.

Параллельный инвертор напряжения в установившемся режиме работает следующим образом. Вентили 5, 10 и 7, 12 включаются поочередно по сигналам формирователей импульсов 17, 21 с частотой, равной частоте выходного сигнала инвертора напряжения. Значения индуктивности дросселя фильтра 1 и емкостей фильтровых конденсаторов 2, 9 выбраны достаточной величины для качественной фильтрации тока и напряжения на входе однофазного полумоста. Таким образом, имеем реализацию автономного инвертора напряжения с источниками постоянного напряжения питания на входе, имеющими характеристики источников напряжения. Компенсирующий конденсатор 4 обеспечивает параллельную компенсацию реактивной мощности индукционного нагревателя (нагрузки) 3. Полный цикл (период) выходного сигнала параллельного инвертора напряжения состоит из двух равных временных интервалов (полупериодов -  $T/2$ , где  $T$  - период выходного напряжения), соответствующих различным сочетаниям включенного и выключенного состояния управляемых вентилях 5, 7, 10, 12 и встречно-параллельных диодов 6, 8, 11, 13. Электромагнитные процессы в различных полупериодах протекают аналогично. При этом токи и напряжения на выходных выводах, компенсирующем конденсаторе 4 и нагрузке 3 в соответствующих полупериодах одного периода имеют противоположные (по знаку) значения.

В каждом полупериоде (фиг.3) можно выделить три различных по характеру электромагнитных процессов временных интервала (проводимости управляемых вентилях  $t_1-t_0$ ,  $t_5-t_4$ ,  $t_9-t_8$ , проводимости встречно-параллельных диодов  $t_4-t_3$ ,  $t_8-t_7$ , а также паузы  $t_3-t_2$ ,  $t_7-t_6$  в работе управляемых вентилях и встречно-параллельных диодов). Основной интервал соответствует интервалу проводимости управляемых вентилях 5, 10 или 7, 12. Два других интервала целесообразно устанавливать малой длительности выбором параметров элементов, что позволяет обеспечить высокие энергетические показатели устройства.

На интервалах проводимости встречно-параллельных диодов 6, 11 и 7, 13 к выключенным (непроводящим) управляемым вентилям 5, 10 и 7, 12 прикладывается

небольшое обратное (отрицательное) напряжение, равное падению напряжения на соответствующих встречно-параллельных диодах (6, 11 и 7, 13) Таким образом, переход в проводящее состояние управляемых клапанов (5, 10 и 7, 12) осуществляется при близком к нулевому уровню напряжения на них и, следовательно, при малой

величине коммутационных потерь на включение клапанов.

Сигналы управления на клапаны 5, 10 и 7, 12 формируются формирователями импульсов 17, 21 в моменты равенства мгновенных напряжений на компенсирующем конденсаторе 4 и на фильтровых конденсаторах 2 и 9 соответственно. Формирование очередных импульсов управления клапанами осуществляется переводом RS-триггеров 16, 20 сигналами компараторов 15, 19 в заданное состояние по входам установки (S). Напряжения измеряются датчиками 22, 14, 18. Однако клапаны 5, 10 и 7, 12 в момент подачи сигналов управления на них не переходят в проводящее состояние. Вначале включаются соответствующие встречно-параллельные диоды 6, 11 и 8, 13. Управляемые клапаны 5, 10 и 7, 12 начинают проводить ток только после спада тока и выключения соответствующих встречно-параллельных диодов 6, 11 и 8, 13.

В момент включения (переход в состояние проводимости), например, управляемых клапанов 5, 10 напряжение на компенсирующем конденсаторе 4 имеет условно положительную полярность (положительный потенциал на правой по схеме на фиг.2 обложке компенсирующего конденсатора 4). Ток через нагрузку 3 после включения клапанов 5, 10 начинает возрастать. В момент равенства мгновенного тока клапанов 5, 10 заданному источником задания 27 уровню максимального тока третий компаратор 24 формирует сигнал сброса на RS-триггер 16. При этом сигнал управления (формирователь импульсов 17) с клапанов 5, 10 снимается. На фиг.3 моменты снятия сигнала управления с клапанов 5, 10 соответствуют моментам времени  $t_1$ ,  $t_2$ . Клапаны 5, 10 выключаются. С момента выключения клапанов 5, 10 начинается интервал паузы. Напряжение на компенсирующем конденсаторе 4 в интервале паузы изменяется по колебательному закону, а ток нагрузки 3 вначале несколько возрастает (интервал  $t_2-t_1$ ). Далее ток нагрузки 3 снижается по колебательному закону. Компенсирующий конденсатор 4 в интервале паузы перезаряжается до напряжения противоположной (отрицательной) полярности. В момент ( $t_3$ ) равенства мгновенного напряжения на компенсирующем конденсаторе 4 напряжению на фильтровом конденсаторе 9 включаются встречно-параллельные диоды 8, 13, а формирователем импульсов 21 формируется импульс управления на клапаны 7, 12. Формирование импульса управления осуществляется переводом второго RS-триггера 20 сигналом компаратора 19 в заданное состояние по входу установки (S). Напряжения измеряются датчиками 22 и 18. Электромагнитные процессы при включении встречно-параллельных диодов 8, 13 протекают аналогично. Но при этом токи и напряжения на выходных выводах, компенсирующем конденсаторе 4 и нагрузке 3, имеют противоположные предыдущему полупериоду (по знаку) значения. Ток клапанов 7, 12 измеряется датчиком тока 25. Сброс второго RS-триггера 20 в момент равенства мгновенного тока клапанов 7, 12 заданному источником задания 27 уровню максимального тока осуществляется сигналом четвертого компаратора 26.

Период в работе параллельного инвертора напряжения заканчивается в момент следующего перехода клапанов 5,10 в проводящее состояние.

Управляемые клапаны 5, 10 и 7, 12 при реализации параллельного инвертора напряжения должны быть выполнены двухоперационными, то есть полностью управляемыми симметричными или несимметричными (запираемые тиристоры,

транзисторы различных типов, комбинированные ключи).

На диаграммах фиг.3 использованы следующие обозначения. Сигналы управления вентилей обозначены как 17 и 21, напряжение на нагрузке (компенсирующем конденсаторе) - 4, ток индуктора - 3, сигналы датчиков тока 23, 25 на интервалах проводимости вентилей 5, 10 и встречно-параллельных диодов 6, 11, соответственно, 5, 6, а на интервалах проводимости вентилей 7, 12 и встречно-параллельных диодов 8, 13 как 7, 8, сигнал источника задания уровня максимального тока - 27, текущее время - 1.

Параллельный инвертор напряжения, таким образом, работает по принципу самовозбуждающегося инвертора. Нагрузка представляет собой колебательный контур параллельного типа. При этом инвертор питается от источников постоянного напряжения на входе, имеющих характеристику источника напряжения. Автономный инвертор по характеру электромагнитных процессов относится к новому классу параллельных инверторов напряжения. Выключение управляемых вентилей осуществляется при близком к нулевому уровню напряжения на них.

По сравнению с прототипом при управлении по заявляемому способу существенно повышается надежность работы параллельного инвертора напряжения на изменяющуюся в широких пределах электротехнологическую нагрузку высокой добротности. Это достигается снижением амплитудных величин токов управляемых вентилей и встречно-параллельных диодов за счет использования параллельной компенсации реактивности индукционного нагревателя (нагрузки), уровней перенапряжений на управляемых вентилях и встречно-параллельных диодах, возникающих при их выключении, уровней коммутационных потерь и электромагнитных помех, возникающих при включении и выключении управляемых вентилей и встречно-параллельных диодов, обеспечением ограничения тока источника питания инвертора при аварийных замыканиях выходных выводов инвертора напряжения на корпус нагрузки за счет дросселя фильтра. Повышается устойчивость автономного параллельного инвертора напряжения при работе на изменяющуюся в широких пределах электротехнологическую нагрузку (индукционный нагреватель) за счет снижения вероятности сбоев в системе управления. За счет использования принципа самовозбуждения и паузы в работе исключается вероятность возникновения режимов перекрытия токов управляемых вентилей и встречно-параллельных диодов, а также сбоев в системе управления инвертора. Снижаются статические и динамические потери энергии в полупроводниковых структурах управляемых вентилей и встречно-параллельных диодов.

Повышение надежности работы автономного параллельного инвертора напряжения оценивается по времени наработки на отказ. Согласно экспериментальным исследованиям и экспертным оценкам время наработки на отказ инвертора с управлением по заявляемому способу может быть увеличено на 35-40%.

По сравнению с прототипом дополнительно повышается коэффициент полезного действия параллельного инвертора напряжения за счет уменьшения коммутационных и статических потерь энергии в управляемых вентилях и встречно-параллельных диодах (снижение уровней коммутационных перенапряжений, начальных скоростей нарастания и скоростей спада тока при включениях и выключениях управляемых вентилей и встречно-параллельных диодов, рекуперация части энергии перенапряжений в нагрузку).

Дополнительно (по сравнению с прототипом) может быть существенно упрощена конструкция энергетической (силовой) части инвертора напряжения за счет

обеспечения возможности использования управляемых вентилях и встречно-параллельных диодов со сниженными требованиями к их параметрам и более низкой ценой при выполнении инвертора (преобразователя частоты) на заданную мощность.

5 Может быть расширена область применения способа управления за счет использования его в установках для индукционного нагрева деталей больших размеров, что обусловлено возможностью получения достаточно высоких уровней выходных напряжений параллельного инвертора напряжения, а также обеспечением стабилизации уровней максимального тока вентилях и, соответственно, индуктора. В  
10 результате, также может быть дополнительно повышен коэффициент полезного действия параллельного инвертора напряжения.

#### Формула изобретения

15 Способ управления параллельным инвертором напряжения, по которому измеряют мгновенный ток вентилях и мгновенные напряжения на компенсирующем и фильтровых конденсаторах, задают уровень максимального тока, формируют и подают сигнал управления на соответствующие вентилях и их включают в момент равенства мгновенных напряжений на компенсирующем и фильтровых  
20 конденсаторах, снимают сигнал управления и выключают вентилях в момент равенства мгновенного тока вентилях заданному уровню максимального тока.

25

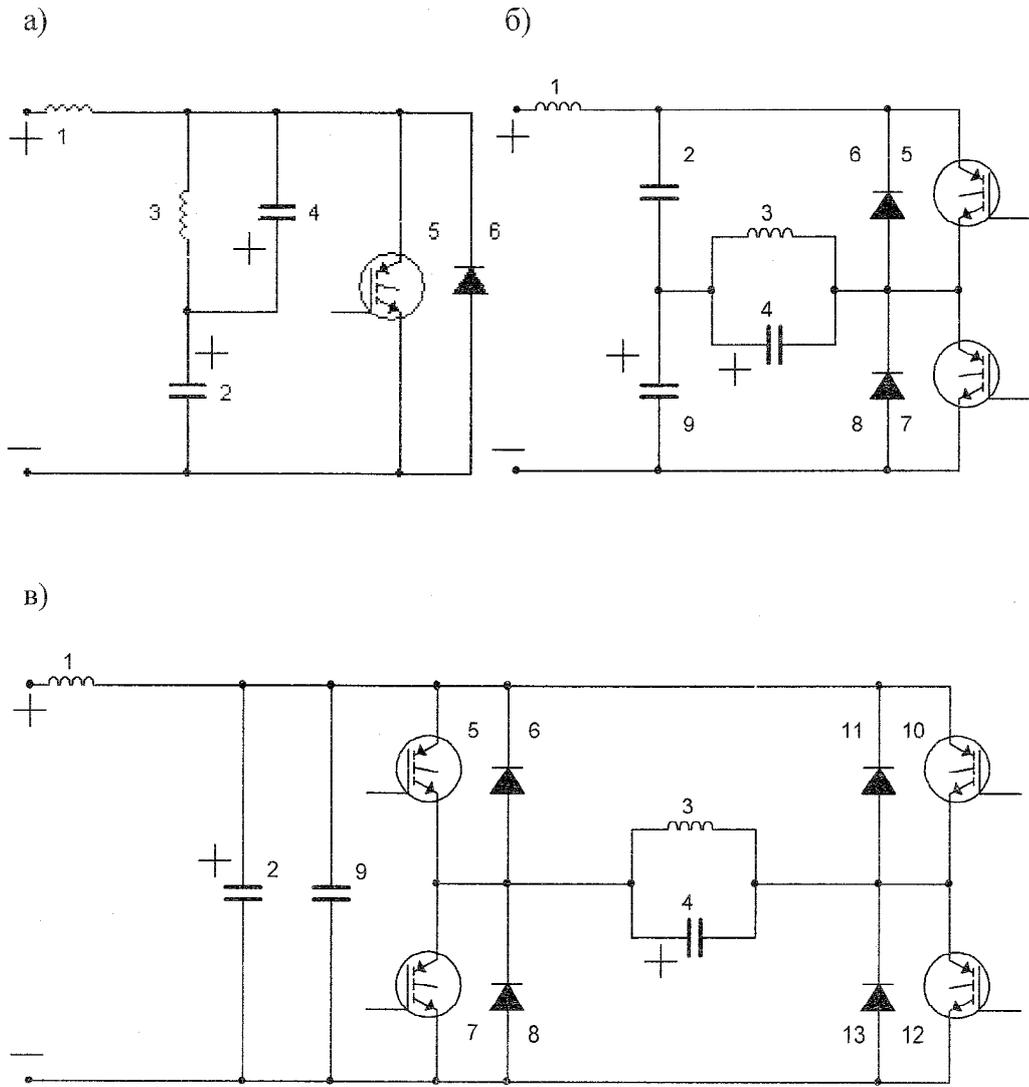
30

35

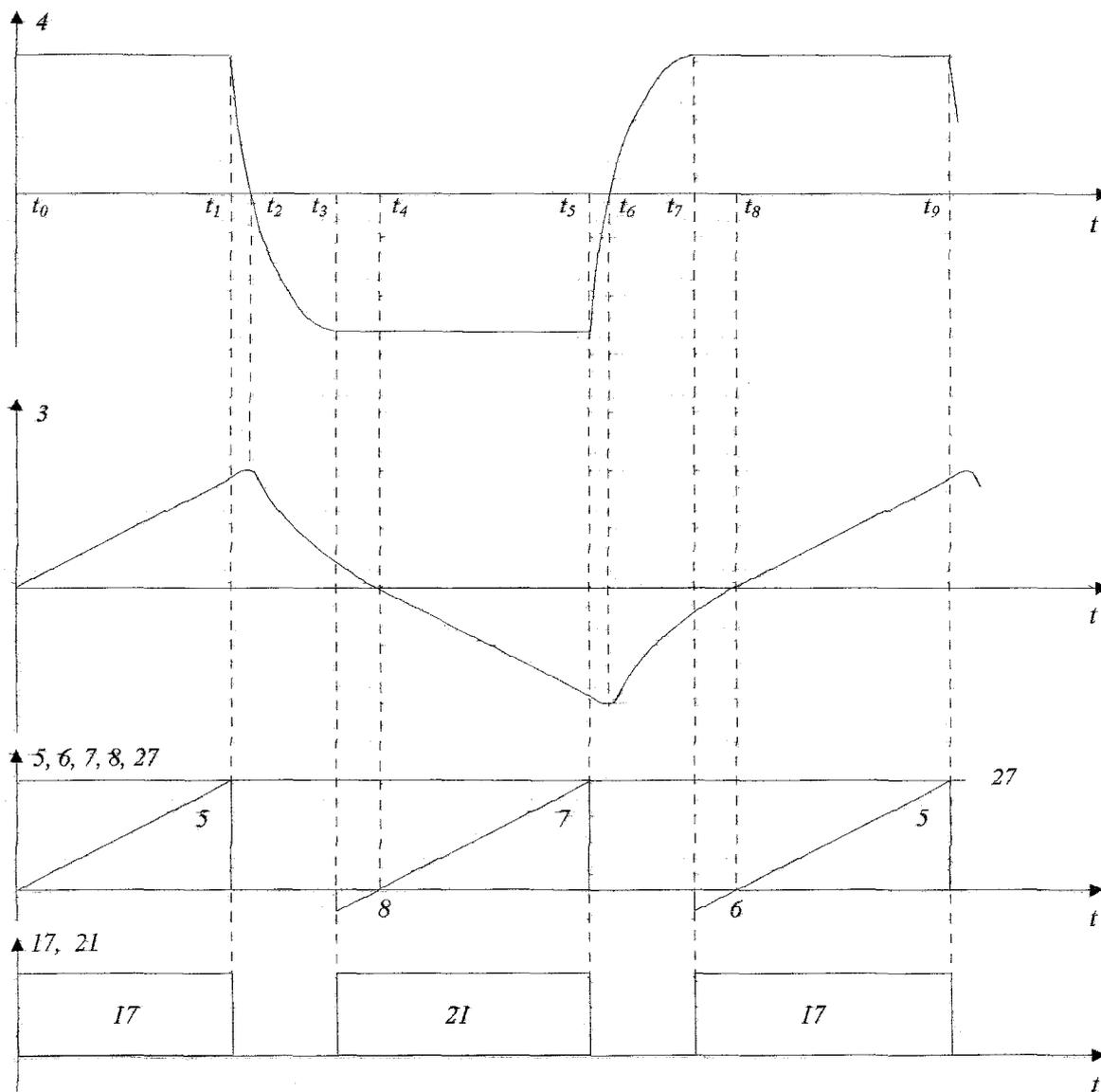
40

45

50



Фиг. 1



Фиг.3