



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 414 043** (13) **C1**

(51) МПК
H02M 5/452 (2006.01)
H02M 7/5387 (2007.01)
H02M 7/5395 (2006.01)
H02M 1/12 (2006.01)
H02P 27/08 (2006.01)
H02J 3/36 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010111413/07, 26.03.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.03.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.03.2010

(45) Опубликовано: 10.03.2011 Бюл. № 7

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2303851 C1, 27.07.2007. RU 2357352 C1, 27.05.2009. SU 1358719 A1, 10.07.2000. GB 1290228 A, 20.09.1972. US 5598328 A, 28.01.1998. DE 19844050 A1, 30.03.2000. JP 2008067534 A, 21.03.2008. EP 0642211 A2, 08.03.2000. WO 9009645 A1, 23.08.1990.

Адрес для переписки:

141700, Московская обл., г. Долгопрудный,
пр-кт Пацаева, 5, кв.79, А.Д. Ильинскому

(72) Автор(ы):

Мустафа Георгий Маркович (RU),
Демчук Сергей Петрович (RU),
Сеннов Юрий Михайлович (RU),
Ильинский Александр Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

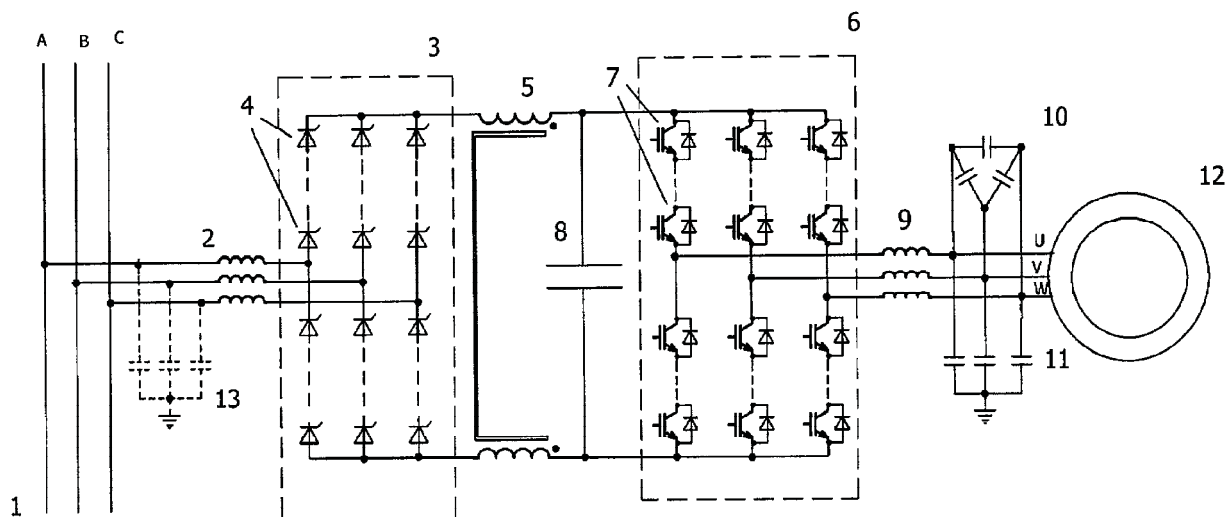
Мустафа Георгий Маркович (RU)

(54) БЕСТРАНСФОРМАТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО СРЕДНЕВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано преимущественно в мощных электроприводах, применяемых в средневольтных (6...35 кВ) трехфазных электрических сетях. Техническим результатом является снижение уровня затрат на текущее эксплуатационное обслуживание, увеличение ресурса работы преобразователя, приводного электродвигателя и кабелей питающей сети. Бестрансформаторный преобразователь частоты для регулируемого электропривода для сетей с изолированной нейтралью класса 6, 10 кВ и более содержит выпрямитель, трехфазный инвертор напряжения с управляющим блоком широтной модуляции, конденсатор, подключенный в звено постоянного тока инвертора, выходной LC-фильтр, датчик междофазных напряжений и регулятор междофазных напряжений, конденсаторную батарею LC-

фильтра, которая разделена на две неравные части. Основная часть (95% общей емкости или более) состоит из конденсаторов, включенных между выходными фазами инвертора и изолированных от «земли». Малая часть подключена к выходным фазам инвертора по схеме «звезда», нейтраль которой подключена к «земле», в звено постоянного тока инвертора подключены две размещенные на общем ферромагнитном сердечнике, магнитосвязанные обмотки. Выводы упомянутых обмоток подключены таким образом, что при протекании по обмоткам рабочего тока преобразователя частоты магнитодвижущие силы обмоток направлены встречно. В бестрансформаторный преобразователь частоты введены датчик напряжения вышеупомянутой малой части конденсаторной батареи LC-фильтра, демпфирующий регулятор смещения нейтрали и сумматор, соединенные так, как указано в



Фиг. 1

RU 2414043 C1

RU 2414043 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
H02M 5/452 (2006.01)
H02M 7/5387 (2007.01)
H02M 7/5395 (2006.01)
H02M 1/12 (2006.01)
H02P 27/08 (2006.01)
H02J 3/36 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2010111413/07, 26.03.2010**

(24) Effective date for property rights:
26.03.2010

Priority:

(22) Date of filing: **26.03.2010**

(45) Date of publication: **10.03.2011 Bull. 7**

Mail address:

141700, Moskovskaja obl., g. Dolgoprudnyj, pr-kt Patsaeva, 5, kv.79, A.D. Il'inskomu

(72) Inventor(s):

**Mustafa Georgij Markovich (RU),
Demchuk Sergej Petrovich (RU),
Sennov Jurij Mikhajlovich (RU),
Il'inskij Aleksandr Dmitrievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

Mustafa Georgij Markovich (RU)

(54) NON-TRANSFORMER FREQUENCY CONVERTER FOR CONTROLLED MEDIUM VOLTAGE ELECTRIC DRIVE

(57) Abstract:

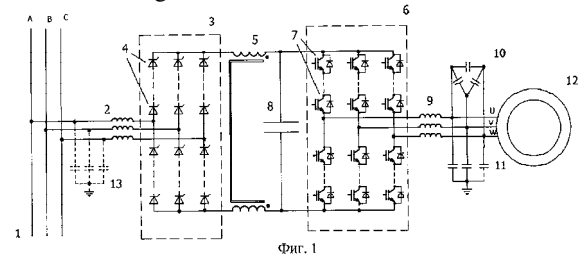
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: non-transformer frequency converter for controlled electric drive for networks with insulated neutral of class 6, 10 kV and more includes rectifier, three-phase voltage inverter with control unit of width modulation, capacitor connected to the direct current link of inverter, output LC filter, sensor of phase-to-phase voltages and control of phase-to-phase voltages, capacitor bank of LC filter, which is divided into two unequal parts. The main part (95% of total capacity or more) consists of capacitors connected between output phases of inverter and ungrounded. Small part is connected to output phases of inverter as per star circuit the neutral of which is grounded; to direct current link of inverter there connected are two magnetically connected windings arranged on common ferromagnetic core. Outputs of the above windings are connected so that when operating current of

frequency converter flows via windings, magnetomotive forces of windings are opposite directed. To non-transformer frequency converter there introduced is voltage sensor of the above small part of capacitor bank of LC filter, damping neutral displacement control and adder, which are connected as it is specified in the request materials.

EFFECT: reducing the costs for current operational service, enlarging service life of converter, drive electric motor and supply main cables.

2 cl, 6 dwg



RU 2 4 1 4 0 4 3 C 1

RU 2 4 1 4 0 4 3 C 1

Заявляемое техническое решение относится к электротехнике, преимущественно к мощным электроприводам, применяемым в средневольтных (6...35 кВ) трехфазных электрических сетях.

5 Схема мощных электроприводов с электродвигателями на напряжение 6 (10) кВ до недавнего времени строилась таким образом: питающая сеть 6 (10) кВ - понижающий трансформатор - выпрямитель - инвертор - повышающий силовой трансформатор - электродвигатель.

10 Создание полупроводниковых приборов (IGCT и IGBT) на достаточно высокие напряжения позволило применять схемы преобразователя без понижающего и повышающего силовых трансформаторов, являющихся дорогими, материалоемкими и крупногабаритными устройствами. В таких схемах выпрямитель подключен непосредственно (или через LC-фильтр) к питающей сети, а электродвигатель привода подключен, как правило, через LC-фильтр к выходу инвертора. Особенностью таких 15 схем, обусловленной дискретностью переключения вентилях как выпрямителя, так и инвертора, является наличие скачков напряжения значительной величины (соизмеримых с фазным напряжением), что приводит к перепадам напряжения между нейтралью трехфазных систем напряжений питающей сети и выходных напряжений 20 инвертора. Вследствие этого вся трехфазная обмотка электродвигателя, подключенная к инвертору, испытывает перепады напряжения с крутым фронтом по отношению к «земле». Результатом этого является ускоренный износ изоляции и подшипников электродвигателей, вследствие протекания токов по паразитным емкостям электродвигателя. Применение входного трансформатора решает эту 25 проблему, однако, как уже отмечено выше, сопряжено с большими дополнительными затратами.

Известно техническое решение [1], в котором предложено ввести дополнительные элементы выходного фильтра и заземлить нейтраль «звезды» конденсаторов 30 выходного LC-фильтра. Данное техническое решение [1] является наиболее близким к заявляемому техническому решению по своей сущности и техническому результату.

Однако техническое решение [1], к сожалению, не приемлемо в электрических сетях с изолированной нейтралью источника. На основании утвержденного в 1921 году 35 плана ГОЭЛРО в России в электрических сетях от 6 до 35 кВ (средневольтных) применяется электрооборудование, нейтрали которого не присоединены к заземляющим устройствам или присоединены к ним через устройства измерения, защиты, сигнализации с большим сопротивлением. Такие сети называются: «Сети с изолированной нейтралью» (ГОСТ 24291-90 ("Электрическая часть электростанции и 40 электрической сети. Термины и определения")). В этих сетях допускается работа оборудования при однофазном замыкании на землю, но ток замыкания при этом контролируется. При токе замыкания на землю более 5 А срабатывает защита на отключение электропривода от энергосистемы.

При применении схемы электропривода [1] в сетях с изолированной нейтралью 45 значение тока от источника на землю в рабочем режиме будет значительно больше порога срабатывания защиты, как вследствие электрической связи AN, так и вследствие большой емкости заземленного выходного фильтра, что вызовет срабатывание вышеупомянутой защиты. Кроме того, элементы выходного LC-фильтра должны быть рассчитаны на работу при напряжении, в 1,73 раза больше 50 рабочего (в случае однофазного замыкания на землю), что значительно увеличивает их массогабаритные показатели и стоимость.

Таким образом, при создании систем электропривода, питающихся от

средневольтной сети с изолированной нейтралью без входного силового трансформатора требуется специальное техническое решение.

Задача, на решение которой направлено заявляемое техническое решение, заключается в устранении высокочастотных пульсаций напряжений электродвигателя как межфазных, так и напряжений фаз относительно «земли» при одновременном устранении вышеуказанных недостатков, присущих схеме электропривода [1].

При решении поставленной задачи достигаемый технический результат заключается в снижении уровня затрат на текущее эксплуатационное обслуживание, увеличении ресурса работы преобразователя, приводного электродвигателя и кабелей питающей сети.

В соответствии с предложенным техническим решением указанная задача решается тем, что в известном бестрансформаторном преобразователе частоты для регулируемого электропривода для сетей с изолированной нейтралью класса 6, 10 кВ и более, содержащем выпрямитель (диодный или тиристорный), трехфазный инвертор напряжения, выполненный на основе полностью управляемых полупроводниковых ключей (IGBT или IGCT), с управляющим блоком широтной модуляции, конденсатор, подключенный в звено постоянного тока инвертора, выходной LC-фильтр, датчик междуфазных напряжений и регулятор междуфазных напряжений, согласно заявляемому техническому решению конденсаторная батарея LC-фильтра разделена на две неравные части, основная часть (95% общей емкости или более) состоит из конденсаторов, включенных между выходными фазами инвертора и изолированных от «земли», а малая часть подключена к выходным фазам инвертора по схеме «звезда», нейтраль которой подключена к «земле»; в звено постоянного тока инвертора подключены две размещенные на общем ферромагнитном сердечнике магнитосвязанные обмотки, первая обмотка подключена между положительными выводами выпрямителя и инвертора, вторая обмотка подключена между отрицательными выводами выпрямителя и инвертора, причем выводы упомянутых обмоток подключены таким образом, что при протекании по обмоткам рабочего тока преобразователя частоты магнитодвижущие силы обмоток направлены встречно.

Кроме этого в соответствии с предложенным техническим решением указанная задача решается тем, что в известном бестрансформаторном преобразователе частоты для регулируемого электропривода согласно заявляемому техническому решению в него введен датчик напряжения вышеупомянутой малой части конденсаторной батареи LC-фильтра, демпфирующий регулятор смещения нейтрали и сумматор; сигнал с выхода датчика напряжения основной части конденсаторной батареи LC-фильтра подается на один из двух входов регулятора междуфазного напряжения, на другой вход которого подается сигнал уставки междуфазного напряжения, выход регулятора междуфазного напряжения соединен с одним из двух входов сумматора; сигнал с выхода датчика напряжения малой части конденсаторной батареи LC-фильтра подается на вход демпфирующего регулятора смещения нейтрали, выход которого соединен с другим входом сумматора, выход которого соединен с управляющим входом блока широтной модуляции трехфазного инвертора напряжения.

На фиг.1 представлена электрическая схема бестрансформаторного преобразователя частоты для регулируемого электропривода, выполненного согласно заявляемому техническому решению с использованием в инверторе последовательно соединенных IGBT в качестве ключей.

На фиг.2 представлена электрическая схема бестрансформаторного

преобразователя частоты для регулируемого электропривода, выполненного согласно заявляемому техническому решению с использованием трехуровневого инвертора на IGBT.

5 На фиг.3 представлена электрическая схема бестрансформаторного преобразователя частоты для регулируемого электропривода, выполненного согласно заявляемому техническому решению с применением регуляторов междуфазного напряжения и демпфирующего регулятора смещения нейтрали.

10 На фиг.4 представлена схема замещения «по нейтрали» бестрансформаторного преобразователя частоты для регулируемого электропривода.

На фиг.5 представлены осциллограммы выходного напряжения инвертора при отсутствии синфазного реактора.

15 На фиг.6 представлена осциллограмма выходного напряжения инвертора при подключенном синфазном реакторе.

20 Устройство заявляемого технического решения в его статическом состоянии может быть описано по схеме на фиг.1. К питающей средневольтной сети с изолированной нейтралью 1 через дроссели фильтра 2 подключен трехфазный мостовой выпрямитель 3, каждый из шести вентилях которого состоит из нескольких последовательно подключенных полупроводниковых ключей 4. Тип полупроводниковых ключей 4 - диоды, тиристоры, GTO, IGCT или IGBT, а также число последовательно подключенных полупроводниковых ключей зависит от условий применения электропривода. К выходным зажимам постоянного тока выпрямителя 4 через синфазный реактор 5 подключен трехфазный мостовой инвертор 6, каждый из шести вентилях которого состоит из нескольких последовательно подключенных полупроводниковых ключей 7 (GTO, IGCT или IGBT), число которых также зависит от условий применения электропривода. В звено постоянного тока инвертора 6 подключен конденсатор 8. В звено постоянного тока инвертора 6 также могут быть 30 подключены сглаживающие дроссели (на фиг.1 не показаны). К выходу инвертора 6 подключен электродвигатель 12 через LC-фильтр, состоящий из дросселей 9 и двух частей (групп) конденсаторов, причем основная часть 10 (95% общей емкости или более) включена между выходными фазами инвертора 6 и изолирована от «земли», а малая часть 11 подключена к выходным фазам инвертора 6 по схеме «звезда», 35 нейтраль которой подключена к «земле». На схеме штриховыми линиями изображены также паразитные емкости 13 питающих кабелей относительно «земли».

На фиг.2 представлена аналогичная схема, в которой инвертор 6 выполнен с использованием трехуровневого инвертора на IGBT.

40 Дополнительно устройство заявляемого технического решения в его статическом состоянии может быть описано по схеме на фиг.3, на которой изображена структурная схема управления инвертором 6. Сигнал 14 с выхода датчика напряжения (датчик на схеме не показан) основной части 10 конденсаторной батареи LC-фильтра подается на один из двух входов регулятора 15 междуфазного 45 напряжения, на другой вход которого подается сигнал 16 уставки междуфазного напряжения, выход регулятора 15 междуфазного напряжения соединен с одним из двух входов сумматора 17; сигнал 18 с выхода датчика напряжения (датчик не показан) малой части 11 конденсаторной батареи LC-фильтра подается на вход 50 демпфирующего регулятора 19 смещения нейтрали, выход которого соединен с другим входом сумматора 17, выход которого соединен с управляющим входом блока 20 широтной модуляции инвертора 6.

Устройство работает следующим образом.

Работа выпрямителя 3 и широтно-модулированного инвертора 6 происходит известным образом и не требует специальных пояснений. В основных процессах синфазный реактор 5 не участвует, т.к. при протекании по его обмоткам рабочего тока преобразователя частоты магнитодвижущие силы обмоток направлены встречно и компенсируют действие друг друга. Фильтрация главных составляющих напряжения осуществляется элементами LC-фильтра аналогично тому, как это происходит в любой схеме преобразователя с сетевым трансформатором.

Как уже отмечено выше, переключения вентилях выпрямителя 3 и инвертора 6 вызывают перепады напряжения между нейтральными трехфазных систем напряжений питающей сети 1 и выходных напряжений инвертора 6. Для рассмотрения процессов такого рода целесообразно использовать однолинейную схему замещения преобразователя частоты «по нейтрали», представленную на фиг.4, на которой приняты следующие обозначения:

- 1 - питающая трехфазная сеть,
- 3 - мостовой трехфазный выпрямитель, создающий ЭДС E_v ,
- 5 - синфазный реактор,
- 6 - трехфазный мостовой инвертор, создающий ЭДС E_i ,
- 11 - эквивалентная емкость малой части 11 конденсаторной батареи LC-фильтра,
- 12 - эквивалентная паразитная емкость электродвигателя 12 относительно «земли»,
- 13 - паразитные емкости 13 питающих кабелей относительно «земли».

В схеме на фиг.4 действуют две нелинейные ЭДС E_v и E_i , вводимые в схему замещения для представления процессов переключения вентилях выпрямителя 3 и инвертора 6. Если не принять специальных мер, их действие может приводить к протеканию замыкающегося по «земле» тока через заземленные емкости конденсаторов LC-фильтра, паразитные емкости электродвигателя 12 и паразитные емкости 13 питающих кабелей относительно «земли». Как уже отмечено выше, действие этого тока вызывает ускоренный износ изоляции и подшипников электродвигателей, а также может приводить к нежелательному (ложному) срабатыванию защиты, контролирующей ток замыкания на землю.

Для ограничения величины этого тока в заявляемом техническом решении в звено постоянного тока инвертора 6 введен синфазный реактор 5 и конденсаторная батарея LC-фильтра разделена на две части, причем основная часть 10 (95% общей емкости или более) изолирована от «земли», а малая часть 11 соединена в «звезду» с заземленной нейтралью. Как известно, формула коэффициента передачи фильтра нижних частот имеет вид: $K(\omega) = 1/[1 - (\omega/\omega_0)^2]$, где $\omega_0 = 1/\sqrt{L \cdot C}$ - резонансная частота LC-фильтра, а характеристическое сопротивление фильтра выражается формулой: $\rho = \sqrt{L/C}$.

Фильтрация по нейтрали осуществляется за счет сочетания большой индуктивности синфазного реактора 5 (равной индуктивности холостого хода трансформатора) и малой емкости 11. Достаточно небольшой емкости 11, чтобы получить достаточно хорошую фильтрацию напряжения нейтрали.

Рассмотрим пример практической реализации. Например, для преобразователя мощностью 630 кВт значение емкости основной части 10 конденсаторной батареи LC-фильтра составляет около 60 мкФ.

Если применить синфазный реактор 5 с индуктивностью $L_c = 2,5$ Гн и конденсаторы для малой части 11 с суммарной емкостью $C_m = 2$ мкФ, то для этих значений получим: $\omega_0 \approx 446$ рад/сек и $f_0 \approx 71$ Гц.

Основная частота пульсаций ЭДС нейтрали выпрямителя 3 составляет $f_1=150$ Гц ($\omega_1=2\pi f_1=942$ рад/сек), что в 2,11 раза превосходит значение ω_0 .

При этом значение $K(\omega_1)$ составит: $K(\omega_1)\approx 0,28$, что обеспечивает

удовлетворительную фильтрацию.

Очевидно, что еще сильнее будет ослаблено влияние переключений вентилей инвертора 6, осуществляемое, как правило, со значительно большей частотой ($f_2\geq 1000$ Гц).

Для иллюстрации приведены реальные осциллограммы, полученные при испытаниях электропривода средневольтного электродвигателя (6 кВ) мощностью 630 кВт.

На фиг.5 представлены осциллограммы выходного напряжения инвертора 6 при отсутствии синфазного реактора 5 (синфазный реактор закорочен). Отчетливо видны выбросы напряжения значительной величины даже в области перехода кривой напряжения через нулевое значение.

На фиг.6 представлена осциллограмма выходного напряжения инвертора 6 при подключенном синфазном реакторе 5. Отсутствие выбросов напряжения свидетельствует об эффективности применения синфазного реактора.

Характеристическое сопротивление фильтра: $\rho = \sqrt{L_c / C_m} \approx 1100$ Ом, что обеспечивает ограничение тока, протекающего по «земле» на уровне существенно ниже порога срабатывания защиты, контролирующей ток замыкания на землю.

В нормальных режимах фазное напряжение на электродвигателе 12 имеет уровень в 1,73 раза меньше линейного напряжения и синусоидально по форме за счет действия фильтра (L_c, C_m).

В особом режиме, когда одна из фаз питающей сети 1 замкнута на землю, а преобразователь должен продолжать работу, напряжение на конденсаторах малой группы 11 поднимается до уровня линейного напряжения. Для обеспечения их работоспособности они должны быть выбраны на мощность, в 3 раза превосходящую их номинальную мощность. Однако поскольку емкость этих конденсаторов чрезвычайно мала в сравнении с емкостью конденсаторов основной группы 10, это практически не отражается на увеличении стоимости преобразователя в целом.

В некоторых случаях при высокой добротности колебательного контура нейтрали, что характерно для мощных электроприводов, в преобразователе частоты может потребоваться дополнительное воздействие, подавляющее переходные колебания на нейтрали и тем самым ослабляющее негативное влияние переключений вентилей выпрямителя 3 и инвертора 6. В этом случае, как изображено на фиг.3, в схему управления инвертором 6 вводится датчик напряжения (не показан) вышеупомянутой малой части конденсаторной батареи LC-фильтра, сигнал которого поступает на вход демпфирующего регулятора 19 смещения нейтрали, действующего аналогично основному регулятору междуфазного напряжения 15. Выходные сигналы демпфирующего регулятора 19 и регулятора междуфазного напряжения 15 поступают на вход сумматора 17, выход которого соединен с управляющим входом блока широтной модуляции трехфазного инвертора 6 напряжения. В напряжение широтно-модулированного инвертора 6 при этом вносится дополнительная нейтральная составляющая, действующая в противофазе с переходными колебаниями нейтрали и тем самым демпфирующая их.

Таким образом, при вышеуказанном исполнении заявляемого устройства обеспечивается устранение высокочастотных пульсаций напряжений электродвигателя, как межфазных, так и напряжений фаз относительно «земли».

Источники информации

1. Patent USA, Multifunction Power Converter, Pub. No.: US 2005/0174812 A1, Pub. Date: Aug. 11, 2005, Int. Cl.⁷ H02J 1/02.

5

Формула изобретения

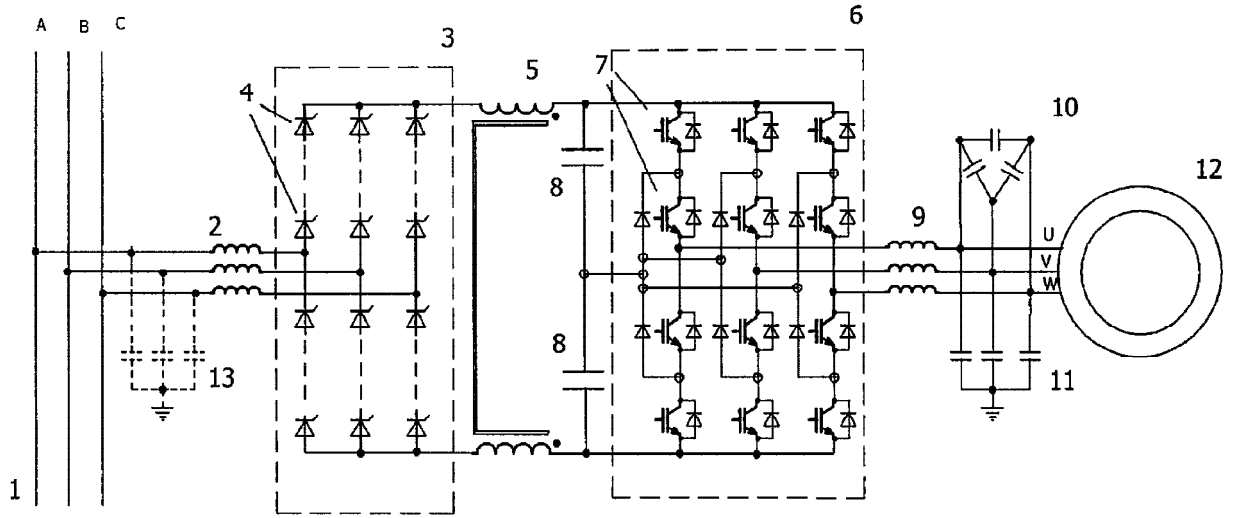
1. Бестрансформаторный преобразователь частоты для регулируемого электропривода для сетей с изолированной нейтралью класса 6,10 кВ и более, содержащий выпрямитель (диодный или тиристорный), трехфазный инвертор
10 напряжения, выполненный на основе полностью управляемых полупроводниковых ключей (IGBT или IGCT), с управляющим блоком широтной модуляции, конденсатор, подключенный в звено постоянного тока инвертора, выходной LC-фильтр, датчик междуфазных напряжений и регулятор междуфазных напряжений, отличающийся тем, что конденсаторная батарея LC-фильтра разделена на две неравные части, основная
15 часть (95% от общей емкости или более) состоит из конденсаторов, включенных между выходными фазами инвертора и изолированных от «земли», а малая часть подключена к выходным фазам инвертора по схеме «звезда», нейтраль которой подключена к «земле»; в звено постоянного тока инвертора подключены две
20 размещенные на общем ферромагнитном сердечнике магнитосвязанные обмотки, первая обмотка подключена между положительными выводами выпрямителя и инвертора, вторая обмотка подключена между отрицательными выводами выпрямителя и инвертора, причем выводы упомянутых обмоток подключены таким
25 образом, что при протекании по обмоткам рабочего тока преобразователя частоты магнитодвижущие силы обмоток направлены встречно.

2. Бестрансформаторный преобразователь частоты для регулируемого электропривода по п.1, отличающийся тем, что в него введен датчик напряжения вышеупомянутой малой части конденсаторной батареи LC-фильтра, демпфирующий
30 регулятор смещения нейтрали и сумматор; сигнал с выхода датчика напряжения основной части конденсаторной батареи LC-фильтра подается на один из двух входов регулятора междуфазного напряжения, на другой вход которого подается сигнал уставки междуфазного напряжения, выход регулятора междуфазного напряжения
35 соединен с одним из двух входов сумматора; сигнал с выхода датчика напряжения малой части конденсаторной батареи LC-фильтра подается на вход демпфирующего регулятора смещения нейтрали, выход которого соединен с другим входом сумматора, выход которого соединен с управляющим входом блока широтной модуляции трехфазного инвертора напряжения.

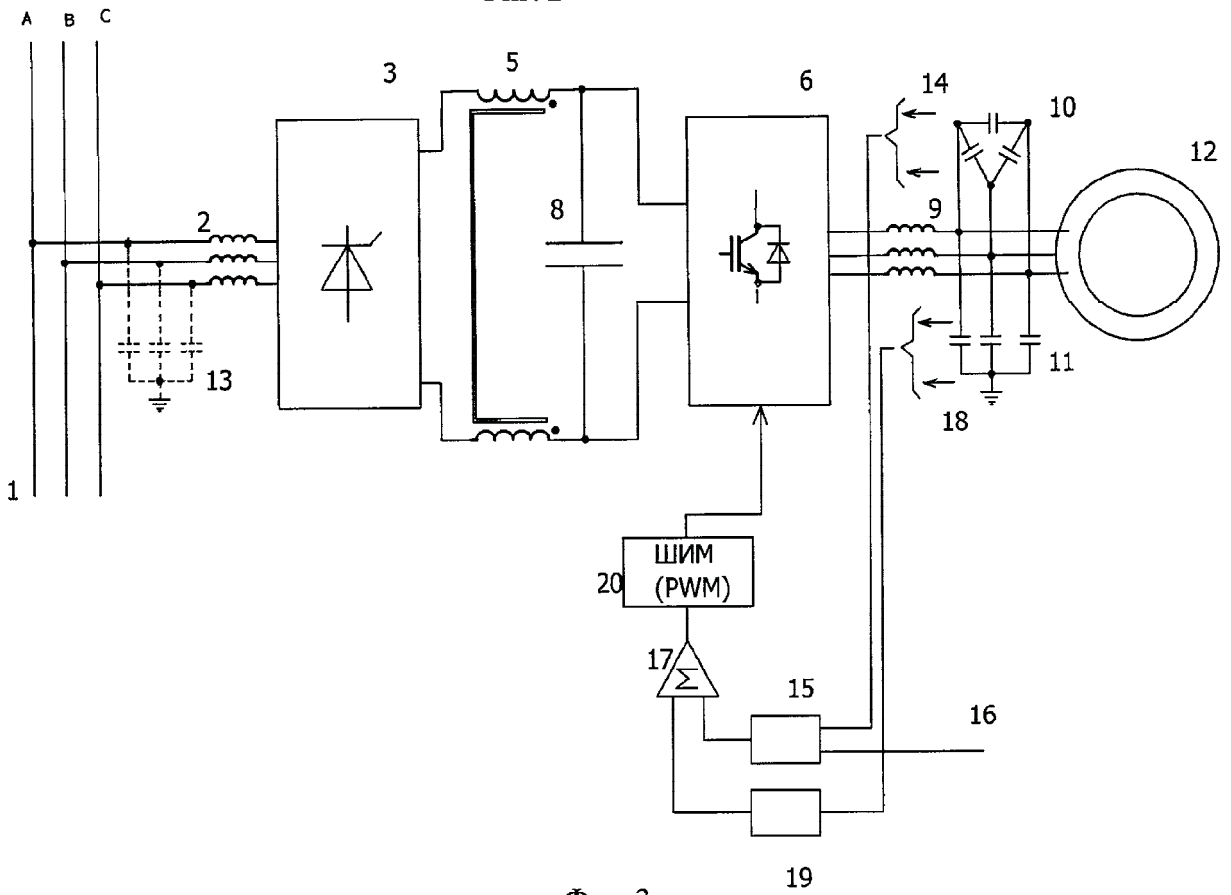
40

45

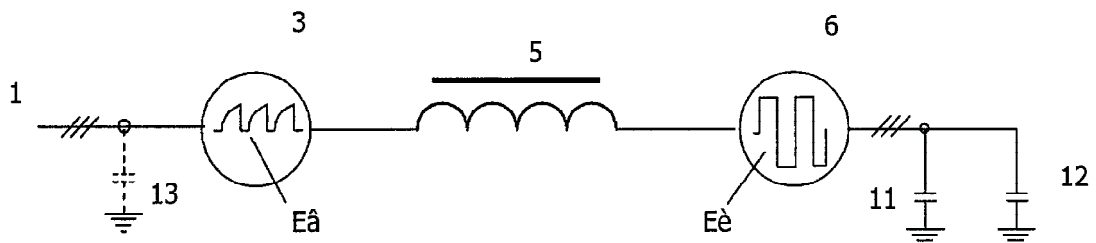
50



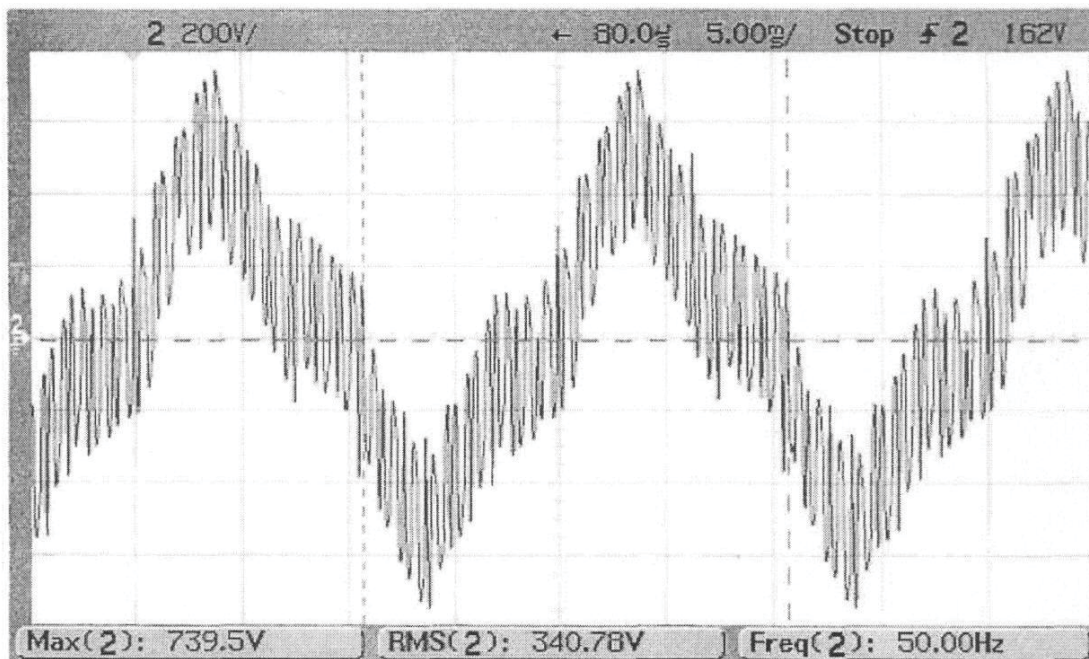
Фиг. 2



Фиг. 3

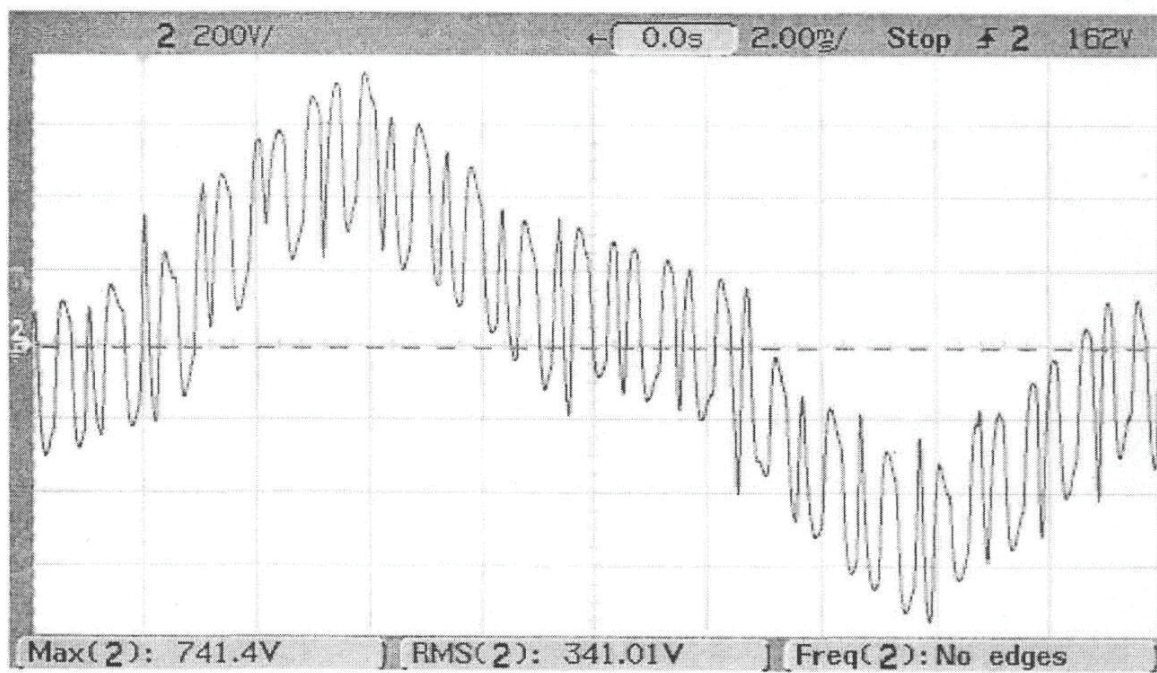


Фиг. 4



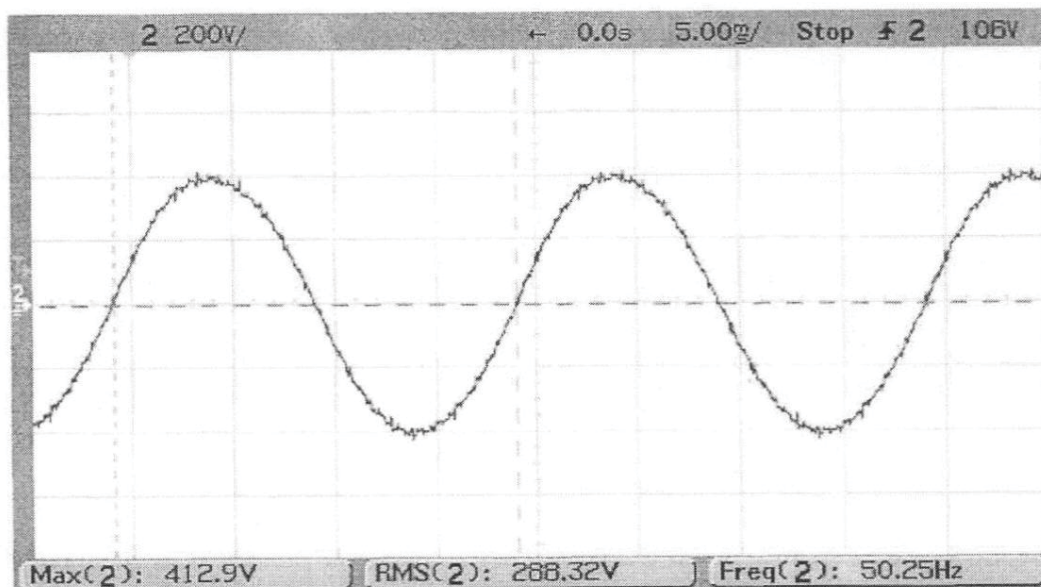
Осц. 79 Режим: По п.24 таблицы 1. Работа на двигатель: $U_{\text{вых.лин.}} = \text{кВ}$, $F = 50 \text{ Гц}$, $I_{\text{нагр.}} = \text{А}$, $U_d = 8,2 \text{ кВ}$, $I_d = 500 \text{ А}$. Питание ВПЧА от сети через дополнительный реактор $6,4 \text{ мГн}$. Фильтр: $C = 83 \text{ нФ}$, $R = 255 \text{ Ом}$. Синфазный реактор закорочен.

Напряжение фазное выходного напряжения (фазное - относительно «земли») (1 деление - 2000 В , 5 мс);



Осц. 80 Растянутое изображение Осц.79

Фиг. 5



Осц. 83 Режим: По п.26 таблицы 1. Работа на двигатель: $U_{\text{вых.лин.}} = \text{кВ}$, $F = 50 \text{ Гц}$, $I_{\text{нагр.}} = \text{А}$, $U_d = 8,2 \text{ кВ}$, $I_d = 500 \text{ А}$. Питание ВПЧА от сети через дополнительный реактор $6,4 \text{ мГн}$. Фильтр: $C = 550 \text{ нФ}$, $R = 255 \text{ Ом}$.

Напряжение фазное выходного напряжения (фазное - относительно «земли») (1 деление - 2000 В , 5 мс).

Фиг. 6