

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2620129

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Козярук Анатолий Евтихиевич (RU), Татаринов Денис Евгеньевич (RU), Васильев Богдан Юрьевич (RU)*

Заявка № 2016116345

Приоритет изобретения 26 апреля 2016 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 23 мая 2017 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 26 апреля 2036 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016116345, 26.04.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.04.2016Дата регистрации:
23.05.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.04.2016

(45) Опубликовано: 23.05.2017 Бюл. № 15

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет", отдел интеллектуальной
собственности и трансфера технологий (отдел
ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Козярук Анатолий Евтихиевич (RU),
Татаринов Денис Евгеньевич (RU),
Васильев Богдан Юрьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU2326486C1,10.06.2008.

RU2482595C1,20.05.2013.

US7420824B2,02.09.2008.

WO1990001826A1,22.02.1990.

RU2326486C1,10.06.2008.

RU2482595C1,20.05.2013.

US7420824B2,02.09.2008.

WO1990001826A1,22.02.1990.

(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

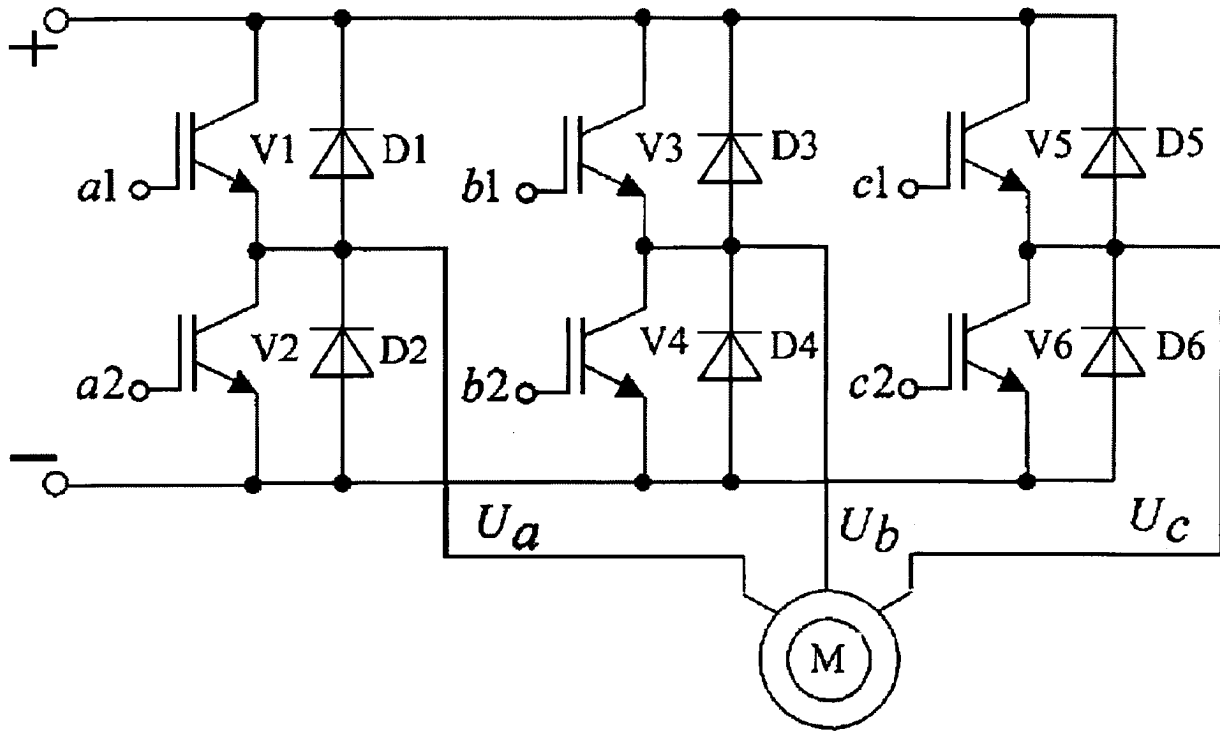
(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в системах управления автономными инверторами напряжения с широтно-импульсной модуляцией для преобразователей частоты, входящих в состав систем электроприводов переменного тока с жесткими требованиями по электромагнитной и электромеханической совместимости. Техническим результатом изобретения является улучшение виброшумовых и массогабаритных показателей электропривода переменного тока при одновременном повышении его электромагнитной и электромеханической совместимости. В способе управления автономным инвертором напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) осуществляют изменение частоты опорного сигнала треугольной формы в заданном диапазоне частот таким

образом, что длительность каждого последующего периода ШИМ отличается от предыдущего периода. В результате обеспечивается «размазывание» высокочастотного спектра выходного напряжения преобразователя частоты, т.е. происходит уменьшение амплитуд отдельно взятых высокочастотных гармоник. Аналогичный эффект наблюдается в токах, потребляемых асинхронным двигателем, и его электромагнитном моменте. Вследствие уменьшения амплитуд гармоник тока и электромагнитного момента двигателя происходит снижение шума и вибраций электропривода, уменьшаются габариты выходного фильтра преобразователя в случае его наличия. 4 ил.

RU
2 6 2 0 1 2 9
С 1

С 1
2 6 2 0 1 2 9
RU



Фиг. 1

RU 2620129 C1

RU 2620129 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2016116345, 26.04.2016**(24) Effective date for property rights:
26.04.2016Registration date:
23.05.2017

Priority:

(22) Date of filing: **26.04.2016**(45) Date of publication: **23.05.2017** Bull. № 15

Mail address:

199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet", otdel
intelektualnoj sobstvennosti i transfera tekhnologij
(otdel IS i TT)

(72) Inventor(s):

**Kozyaruk Anatolij Evtikhievich (RU),
Tatarinov Denis Evgenevich (RU),
Vasilev Bogdan Yurevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet" (RU)**

(54) **CONTROL METHOD FOR INDEPENDENT VOLTAGE INVERTER**

(57) Abstract:

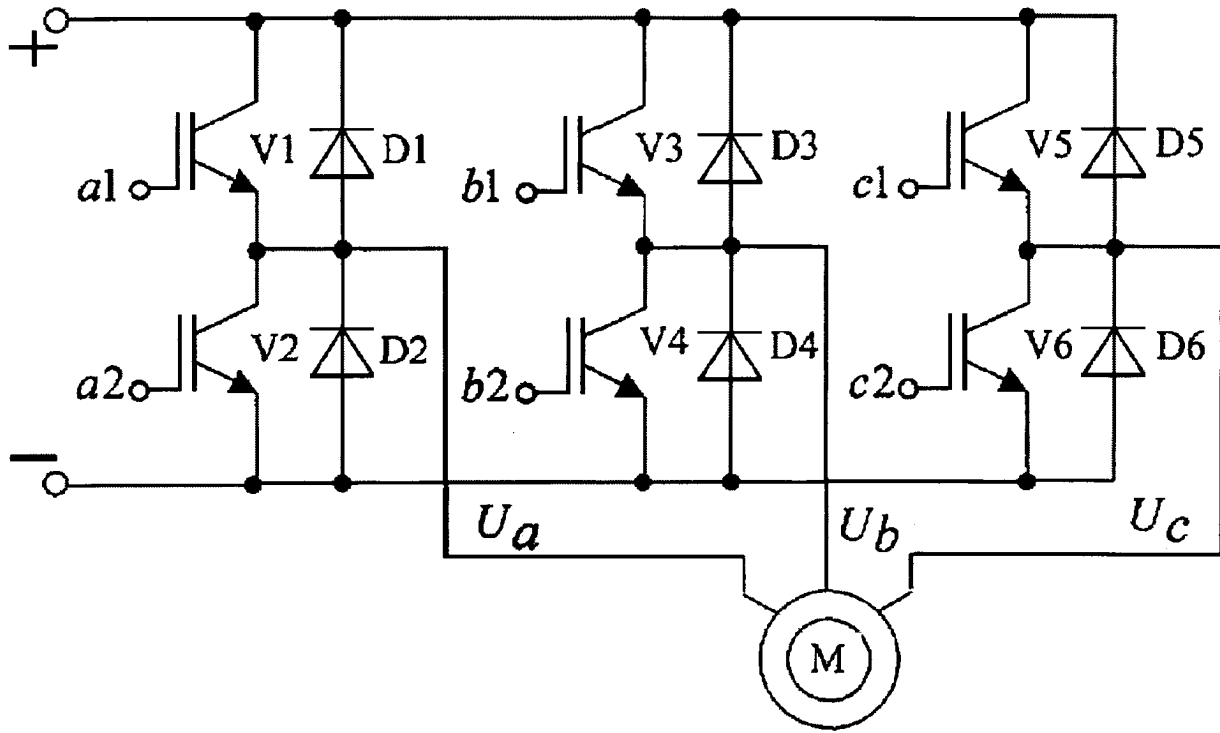
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: in the control method of the independent voltage inverter with pulse-width modulation (PWM) the frequency of the delta reference signal is varied in a predetermined frequency range so that the duration of each subsequent PWM period is different from the previous period. As a result, the high-frequency spectrum of the output voltage of the frequency converter is smeared, i. e. the amplitudes of individual high-frequency harmonics decrease. The similar effect is observed in the currents consumed by

the induction motor and in its electromagnetic moment. Due to the decrease in the amplitudes of the current harmonics and the motor electromagnetic moment, the noise and vibrations of the drive are decreased, the dimensions of the output filter of the converter are reduced, if available.

EFFECT: improvement of vibronoise and mass-dimensional parameters of the AC drive while simultaneously increasing its electromagnetic and electromechanical compatibility.

4 dwg



Фиг. 1

RU 2620129 C1

RU 2620129 C1

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано в системах управления автономными инверторами напряжения с широтно-импульсной модуляцией для преобразователей частоты, входящих в состав систем электроприводов переменного тока с жесткими требованиями по электромагнитной и

5 электромеханической совместимости.

Известен способ формирования импульсов управления ключами трехфазного инвертора (Казаченко В.Ф. Практическое руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления. - М.: Изд-во ЭКОМ, 1997. - 500 с.) путем сравнения по трем каналам одного цифрового опорного сигнала треугольной формы и трех цифровых сигналов задания, изменяющихся по частоте и амплитуде, причем в каждом из каналов сравнения формируют управляющий сигнал, соответствующий логической «1», если опорный сигнал меньше сигнала задания, и логическому «0», если опорный сигнал больше сигнала задания, который

10 дополнительно с инверсным используют для управления верхним и нижним ключами соответствующей фазы инвертора. Модулирующие сигналы представляют собой дискретные выборки табличных значений синуса, развертка которых во времени осуществляется по прерываниям процессора, а амплитуда определяется законом частотного управления.

Недостатком известного способа является несимметричность фазных напряжений на обмотках двигателя относительно оси ординат и, следовательно, содержание в спектре выходных напряжений четных гармоник, оказывающих наибольшее влияние на электромагнитный момент асинхронного двигателя.

Известен способ управления преобразователем частоты (патент RU №2482595, опублик. 20.05.2013 г.), в котором формирование сигналов управления силовыми ключами преобразователя частоты осуществляют с помощью широтно-импульсной модуляции в моменты равенства опорного пилообразного напряжения высокой частоты и управляющего напряжения низкой частоты, причем моменты формирования сигналов управления силовыми ключами преобразователя частоты дополнительно изменяют на каждом коммутационном интервале по случайному закону. Данное изменение

25 осуществляется за счет дополнительной модуляции по случайному закону скорости нарастания опорного пилообразного напряжения высокой частоты на каждом коммутационном интервале.

Недостатком такого способа управления является содержание в спектре выходного напряжения и тока высокого уровня амплитуд гармоник на частотах ШИМ и кратных ей, что отражается на пульсациях электромагнитного момента двигателя и габаритах выходного фильтра преобразователя в случае его наличия. Также в данном способе из-за изменения скорости нарастания опорного напряжения высокой частоты, при сохранении периода модуляции, возможно снижение амплитуды опорного напряжения, следствием чего является слияние следующих друг за другом импульсов управления

35 силовыми ключами преобразователя и, соответственно, импульсов выходного напряжения преобразователя. На этих участках теряется управляемость двигателем - зависимость ширины импульсов от амплитуды модулирующего сигнала.

Известен способ управления преобразователями частоты на основе ШИМ («Проблемы электромагнитной совместимости силовых полупроводниковых преобразователей» Тезисы докладов второго межведомственного научно-технического совещания. Академия наук Эстонской ССР, Институт термифизики и электрофизики. Таллин, 1982), в котором для решения проблем электромагнитной совместимости используются различные методы формирования ШИМ сигналов управления их

45

полупроводниковыми ключами. При этом сами преобразователи во всех случаях выполняются со специально синтезируемыми фильтрами выходного напряжения.

Недостатками известного способа управления преобразователями частоты являются повышенные массогабаритные показатели их выходных фильтров и, как следствие, низкое качество выходного напряжения из-за перенапряжений, возникающих при коммутациях нагрузки (из-за большой индуктивности дросселей фильтров).

Известен способ формирования широтно-импульсных сигналов управления автономным инвертором путем сравнения опорного напряжения треугольной формы и модулирующего напряжения синусоидальной формы (Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 216 с.), результатом которого является формирование серии импульсов, длительность которых изменяется по синусоидальному закону. Для получения трехфазной системы сигналов управления ключами инвертора используется один источник опорного напряжения, датчик трехфазного управляющего напряжения и три канала сравнения, в каждом из которых формируются два импульса управления ключами фазы инвертора.

Недостатком данного способа является содержание в спектре выходного напряжения инвертора высокочастотных гармоник с достаточно большой амплитудой, оказывающих наибольшее влияние на пульсации электромагнитного момента двигателя.

Известен способ управления трехфазным автономным инвертором (Патент RU №2558722, опублик. 16.04.2014 г.), основанный на сравнении высокочастотного опорного напряжения треугольной или пилообразной формы и низкочастотного трехфазного модулирующего напряжения, в котором производят модуляцию амплитуды положительных и отрицательных полуволн опорного напряжения соответственно положительной и отрицательной огибающими максимальных фазных модулирующих напряжений, и далее полученное опорное напряжение сравнивают с фазными модулирующими напряжениями.

Недостатком такого способа является присутствие в спектре выходного напряжения высокочастотных гармоник, имеющих достаточно большую амплитуду, что приводит к увеличению вибраций электропривода на соответствующих частотах, т.е. ухудшению электромеханической совместимости преобразователя с двигателем.

Известен способ формирования широтно-импульсных сигналов управления автономного инвертора (патент RU №2326486, опублик. 10.06.2008 г.), принятый за прототип, содержащего в каждой фазе полумост из последовательно соединенных первого и второго силовых ключей и полумост обратных вентилей, подключенных соответственно к первому и второму выводам источника питания, а средней точкой - к соответствующей фазе асинхронного двигателя, состоящий в том, что формирование импульсов управления осуществляют путем сравнения одного опорного сигнала треугольной формы и трех модулирующих синусоидальных сигналов задания, изменяющихся по частоте и амплитуде, причем в каждом из трех каналов сравнения формируют высокий уровень широтно-импульсного сигнала, если опорный сигнал меньше сигнала задания, и низкий уровень, если опорный сигнал больше сигнала задания, и формируют в каждом из трех выходных каналов два сопряженных инверсных относительно друг друга выходных сигнала управления первого и второго ключей соответствующей фазы инвертора, кроме того, дополнительно изменяют знак модулирующих сигналов на противоположный шесть раз за период в моменты времени, соответствующие точкам естественной коммутации выходных напряжений, и одновременно с коммутацией модулирующих сигналов инвертируют сигналы выходных каналов по отношению к широтно-импульсным сигналам каналов сравнения.

Недостатком способа является присутствие в спектре выходного напряжения высокочастотных комбинационных гармоник с частотами $f_{2kp} = k \cdot f_1 \pm p \cdot f_2$, где $k, p = 1, 2, 3 \dots$ - ряд натуральных чисел, f_1 - частота опорного сигнала треугольной формы, f_2 - частота управляющего сигнала. Однако гармоники первой группы комбинационных гармоник с частотами $f_{21p} = f_1 \pm p \cdot f_2$ имеют достаточно большую амплитуду, что приводит к увеличению вибрации двигателя на соответствующих частотах, увеличению массы и габаритов выходного силового фильтра в случае его наличия, увеличению вибрации дросселей. Кроме того, комбинационные гармоники попадают в частотный поддиапазон радиопомех, что ведет к снижению показателей электромагнитной совместимости.

Техническим результатом изобретения является улучшение виброшумовых и массогабаритных показателей электропривода переменного тока при одновременном повышении его электромагнитной и электромеханической совместимости.

Технический результат достигается тем, что дополнительно осуществляют изменение частоты опорного сигнала треугольной формы в заданном диапазоне частот таким образом, что длительность каждого последующего периода опорного сигнала отличается от предыдущего, при этом период выходного напряжения соответствует периоду модулирующего синусоидального сигнала задания, а диапазон изменения частоты выбирают в пределах от $(0,95 \div 0,8) \cdot f_{pwm}$ до $(1,05 \div 1,2) \cdot f_{pwm}$, исходя из допустимых потерь на переключениях и интенсивности «размазывания» высокочастотного спектра, где f_{pwm} - средняя частота работы преобразователя.

Описываемый способ управления автономным инвертором напряжения поясняется следующими чертежами:

фиг. 1 - схема автономного инвертора напряжения для реализации способа управления;

фиг. 2 - структурная схема технической реализации способа управления автономным инвертором напряжения, где:

1 - задатчик частоты;

2 - блок формирования фазы;

3 - трехфазный формирователь синусоидальных модулирующих сигналов;

4 - блок перемножения;

5 - функциональный преобразователь;

6 - узел сравнения;

7 - формирователь сигналов управления транзисторами;

8 - формирователь опорного сигнала треугольной формы;

9 - регулятор частоты опорного сигнала;

фиг. 3 - диаграмма управляющих сигналов;

фиг. 4 - спектры напряжения инвертора, тока и электромагнитного момента асинхронного двигателя при постоянной частоте (а) и при изменении частоты опорного сигнала треугольной формы (б), иллюстрирующие результат, полученный заявленным изобретением, где $U(n)$, $I(n)$, $M_{em}(n)$ - амплитуды n -й гармонической составляющей напряжения инвертора, тока и электромагнитного момента двигателя; n - порядковый номер гармоник, кратных частоте работы инвертора.

Способ осуществляется следующим образом. Автономный инвертор напряжения (фиг. 1) содержит три полумоста полностью управляемых ключей V1-V6 и три полумоста неуправляемых обратных вентилей D1-D6. Каждый из полумостов фазы инвертора содержит первый и второй ключи, подключенные соответственно к первому и второму выводам источника питания, а средней точкой - к соответствующей фазе асинхронного

двигателя М.

Структурная схема технической реализации способа управления автономным инвертором напряжения (фиг. 2) содержит задатчик 1 частоты, выход которого подключен через последовательно соединенные блок 2 формирования фазы и трехфазный формирователь 3 синусоидальных напряжений к трем первым входам блока 4 перемножения, а к его четвертому входу - через функциональный преобразователь 5. Три выхода блока 4 подключены через блок 6 сравнения к трем входам формирователя 7 импульсов управления ключами инвертора. Выход регулятора частоты опорного сигнала 9 подключен через генератор опорного сигнала треугольной формы 8 к четвертому входу блока 6 сравнения. Регулирование скорости асинхронного двигателя осуществляется путем изменения частоты питающих напряжений с одновременным изменением их амплитудных значений. Формирование напряжений осуществляется инвертором (фиг. 1) за счет коммутации силовых ключей V1-V6. Для формирования синусоидальных токов в фазах двигателя используется широтно-импульсная модуляция напряжений по синусоидальному закону.

Частота выходных напряжений формируется задатчиком 1, а соотношение между частотой и выходным напряжением инвертора, определяющее закон частотного регулирования, задается с помощью функционального преобразователя 5. Опорная фаза модулирующих сигналов задания формируется с помощью блока 2, а с помощью блока 5 задается их амплитудное значение. Формирование системы трехфазных модулирующих сигналов сдвинутых относительно друг друга на угол $2\pi/3$, осуществляется формирователем 3, а модуляция их по амплитуде - блоком перемножения 4.

Формирование широтно-импульсных сигналов управления осуществляется с помощью трехканального блока сравнения 6. Причем в каждом из каналов производят сравнение модулирующего сигнала соответствующей фазы с общим для всех каналов опорным сигналом треугольной формы, вырабатываемым блоком 8. Модулирующий и опорный сигналы канала фазы блока 6 показаны на фиг. 3, там же представлен широтно-импульсный сигнал на выходе соответствующего канала сравнения. Для уменьшения амплитуд высших гармоник, содержащихся в выходном напряжении инвертора, токе и электромагнитном моменте двигателя, осуществляют изменение частоты опорного сигнала треугольной формы вырабатываемого блоком 8 в соответствии с заданием на выходе регулятора частоты опорного сигнала 9.

Выходные сигналы а, b, с блока 6 поступают на блок 7, где производится формирование для каждой фазы пар, комплиментарных сигналов a1, a2, b1, b2, c1, c2 управления верхними и нижними ключами инвертора.

На фиг. 3 представлены графики, на которых сплошной линией показаны сигналы при постоянной частоте опорного сигнала треугольной формы, а пунктирной - при изменяющейся частоте опорного сигнала треугольной формы. На графиках обозначено: U9 - сигнал задания частоты опорного сигнала; U8 - опорный сигнал треугольной формы; U4 - модулирующий сигнал, определяющий частоту и амплитуду выходного напряжения инвертора; U6 - широтно-импульсный сигнал на выходе канала сравнения.

Установлено, что наиболее целесообразно при использовании заявленного способа управления автономным инвертором напряжения диапазон изменения частоты выбирать в пределах от $(0,95 \div 0,8) \cdot f_{pwm}$ до $(1,05 \div 1,2) \cdot f_{pwm}$ исходя из допустимых потерь на переключениях и интенсивности «размазывания» высокочастотного спектра, где f_{pwm} - средняя частота работы преобразователя.

Реализация заявленного способа управления автономным инвертором напряжения

на макете электропривода дала положительные результаты, которые наглядно отражены на фиг. 4.

Таким образом, результат, достигаемый предложенным способом управления (фиг. 4б), в сравнении с прототипом (фиг. 4а), позволяет уменьшить амплитуды отдельно
5 взятых высокочастотных гармоник в напряжении инвертора $U(n)$, токе $I(n)$ и электромагнитном моменте $M_{em}(n)$ асинхронного двигателя, распределяя их по спектру, а это, в свою очередь, позволяет улучшить виброшумовые и массогабаритные показатели (снижение габаритов выходного фильтра преобразователя) электропривода переменного тока. Соответственно, происходит улучшение показателей
10 электромагнитной и электромеханической совместимости электропривода.

(57) Формула изобретения

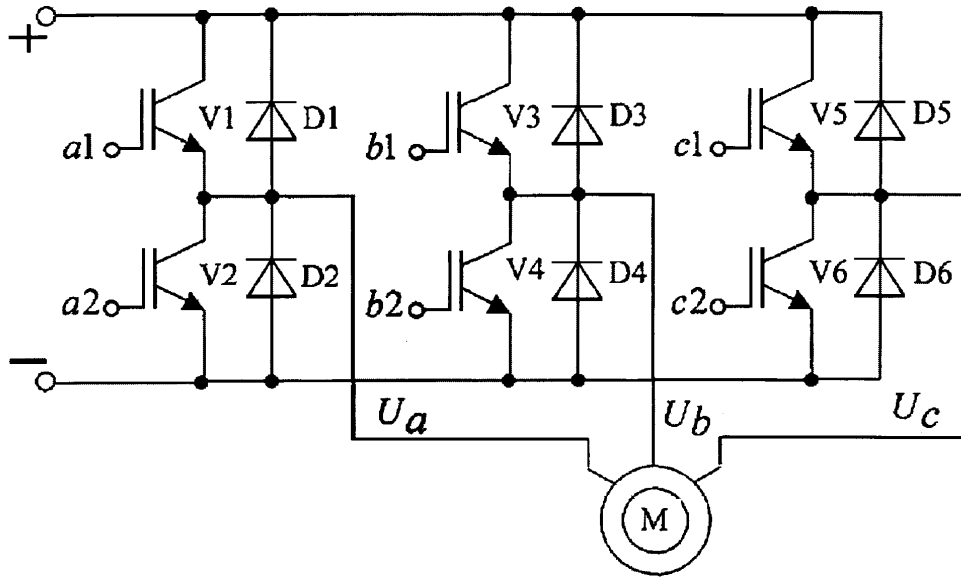
Способ управления автономным инвертором напряжения, включающий в каждой фазе полумост из последовательно соединенных первого и второго силовых ключей и
15 полумост обратных вентилей, подключенных соответственно к первому и второму выводам источника питания, а средней точкой - к соответствующей фазе асинхронного двигателя, состоящий в том, что формирование импульсов управления осуществляют путем сравнения одного опорного сигнала треугольной формы и трех модулирующих синусоидальных сигналов задания, изменяющихся по частоте и амплитуде, причем в
20 каждом из трех каналов сравнения формируют высокий уровень широтно-импульсного сигнала, если опорный сигнал меньше сигнала задания, и низкий уровень, если опорный сигнал больше сигнала задания, и формируют в каждом из трех выходных каналов два сопряженных инверсных относительно друг друга выходных сигнала управления первого и второго ключей соответствующей фазы инвертора, отличающийся тем, что
25 дополнительно осуществляют изменение частоты опорного сигнала треугольной формы в заданном диапазоне частот таким образом, что длительность каждого последующего периода опорного сигнала отличается от предыдущего, при этом период выходного напряжения соответствует периоду модулирующего синусоидального сигнала задания, а диапазон изменения частоты выбирают в пределах от $(0,95 \div 0,8) \cdot f_{pwm}$ до $(1,05 \div 1,2) \cdot f_{pwm}$
30 исходя из допустимых потерь на переключениях и интенсивности «размазывания» высокочастотного спектра, где f_{pwm} - средняя частота работы преобразователя.

35

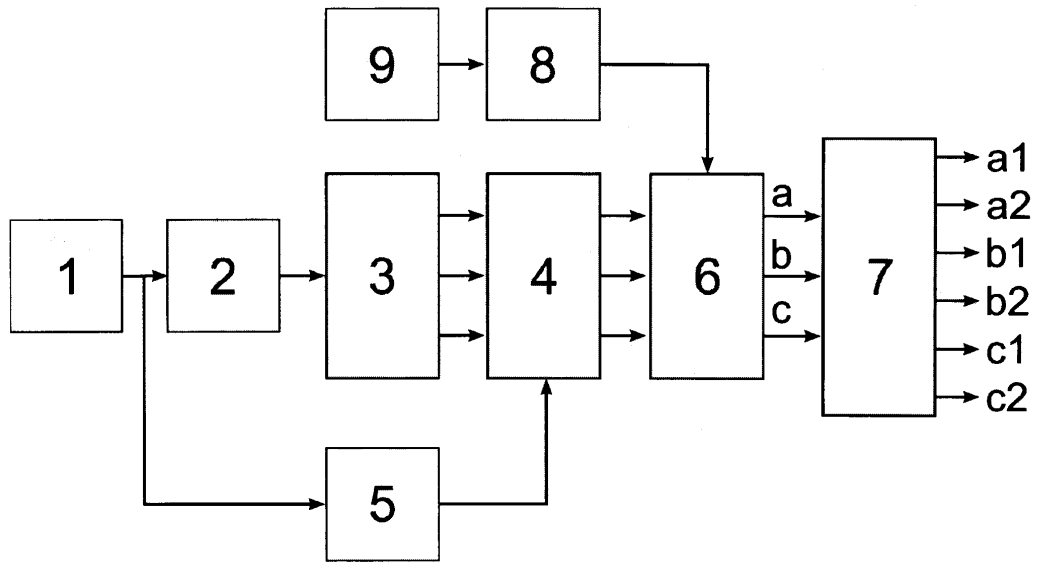
40

45

**СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ
НАПРЯЖЕНИЯ**

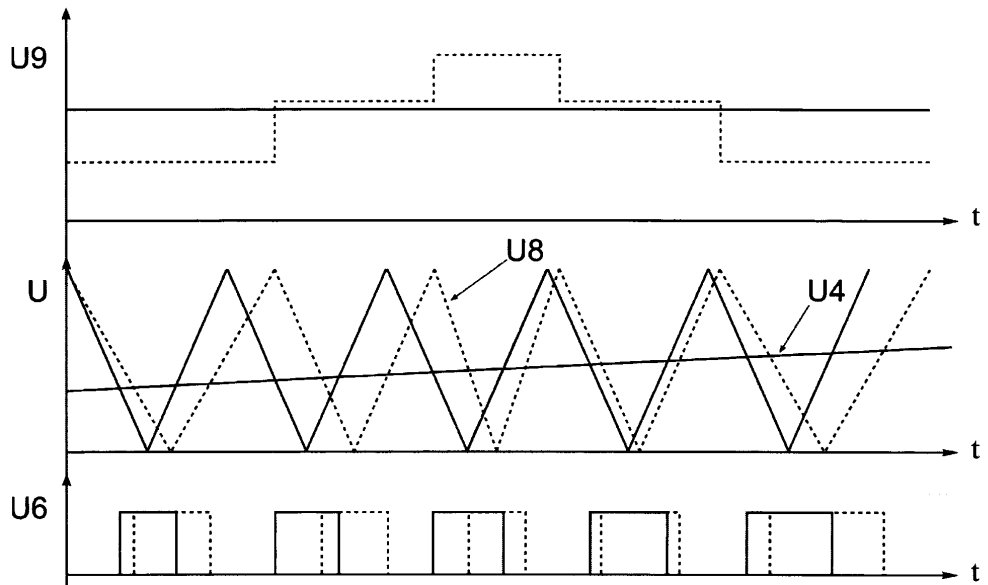


Фиг. 1



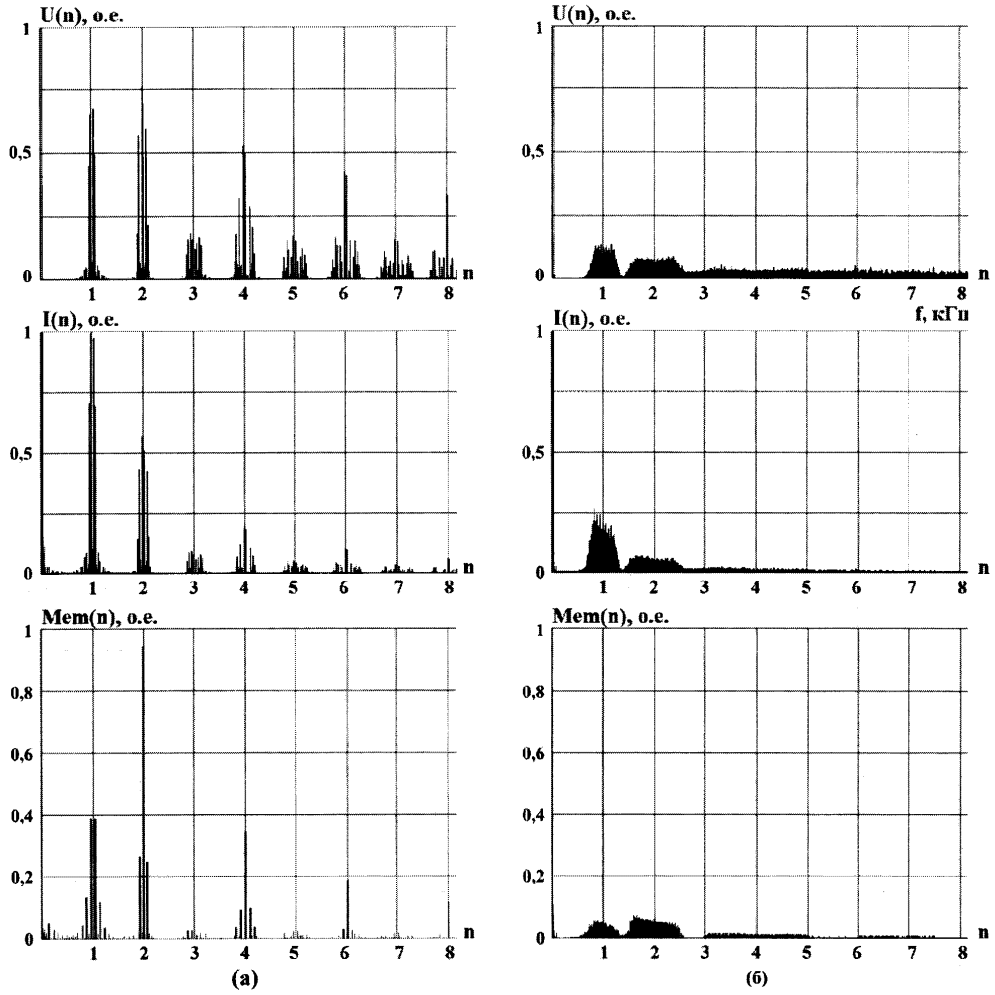
Фиг. 2

**СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ
НАПРЯЖЕНИЯ**



Фиг. 3

**СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ
НАПРЯЖЕНИЯ**



Фиг. 4