

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **043229**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.04.28**

(51) Int. Cl. **H02J 3/26** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202292616**

(22) Дата подачи заявки  
**2022.10.13**

---

(54) **СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫМ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ**

---

(43) **2023.04.26**

(56) RU-U1-57527  
RU-C1-2573599  
US-A1-20160268922  
CN-A-104980057  
CN-A-114430241

(96) **2022000094 (RU) 2022.10.13**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
"НИЖЕГОРОДСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА" (НГТУ) (RU)**

(72) Изобретатель:

**Дарьенков Андрей Борисович,  
Слузов Антон Павлович, Бердников  
Иван Евгеньевич, Соколов Виктор  
Васильевич, Куркин Андрей  
Александрович (RU)**

---

(57) Изобретение относится к области электроэнергетики и может быть использовано для управления инверторами напряжения, работающими на однофазные нагрузки. Техническим результатом предлагаемого способа управления является обеспечение синусоидальности выходного фазного напряжения инвертора при питании однофазной нагрузки, а также отсутствие необходимости постоянного измерения мгновенных значений напряжений инвертора, что не требует установки дополнительных датчиков напряжения. Этот технический результат достигается за счет того, что на основе мгновенных значений модулирующих кривых выходных напряжений трехфазного инвертора напряжения, работающего в соответствии с алгоритмом векторной ШИМ, рассчитывается сигнал напряжения нулевой последовательности, который подается на формирователь ШИМ для дополнительного транзисторного полумоста, который формирует напряжение нейтрального вывода инвертора напряжения.

---

**B1**

**043229**

**043229**

**B1**

Изобретение относится к области электроэнергетики и может быть использовано для управления инверторами напряжения, работающими на однофазные нагрузки.

Известен способ управления трехфазным инвертором напряжения с широтно-импульсной модуляцией [патент US 3775663A, США. Инвертор с нейтральным выводом с электронным управлением/Ф. Тернбулл, опублик. 27.11.1990], который содержит цепь нейтральной клеммы, представляющую собой дополнительный однофазный полумостовой инвертор. При работе инвертора цепи нейтральной клеммы напряжение формируется таким образом, что потенциал нейтральной клеммы равен половине напряжения на входных клеммах звена постоянного тока трехфазного инвертора напряжения. Таким образом, при подключении однофазной нагрузки между нейтральной клеммой и одной из фаз трехфазного инвертора напряжения обеспечивается ее питание фазным напряжением трехфазного инвертора напряжения. Недостатком данного способа управления является то, что он не обеспечивает синусоидальную форму выходного напряжения трехфазного инвертора при питании однофазной нагрузкой.

Также известен способ управления трехфазным преобразователем напряжения [патент CN 102570889A, Китай. Трехфазный четырехполюсный инвертор и метод управления/Ван Цзюнь, Чжан Сяоюн, Пэн Хун, опублик. 11.07.2012], который состоит из схемы выпрямления, схемы фильтрации постоянного тока, трехфазной четырехполюсной схемы инвертора, схемы фильтрации переменного тока, схемы выборки, контроллера DSP, схемы гальванической развязки и схемы источника питания, входная клемма соединена параллельно с двумя последовательно включенными конденсаторами накопления энергии, каждый конденсатор накопления энергии параллельно подключен к эквивалентному резистору разделения напряжения. Данный способ управления трехфазным инвертором напряжения основан на принципе преобразования трехфазной системы координат abc в двухфазную систему координат dq и формировании эталонных сигналов, сигналов сравнения в этой системе координат, а также пропорционального формирования регулирующих сигналов, обратно преобразуемых в трехфазную систему координат abc, формировании модулирующего сигнала преобразователя. Отличительной особенностью данного способа управления является формирование по выделенному сигналу нулевой последовательности ортогонального сигнала, который принимается в качестве второй составляющей двухфазной системы координат нулевой последовательности. Недостаток данного способа заключается в необходимости постоянного измерения мгновенных значений напряжений и токов на выходе трехфазного инвертора напряжения, что усложняет структуру устройства и алгоритм его функционирования.

Наиболее близким по техническому решению является способ управления трехфазным инвертором напряжения [патент 2771777, Российская Федерация, МПК H02J 3/26. Устройство симметрирования трехфазного напряжения на выходе электронного полупроводникового преобразователя при несимметричной нагрузке/С.Г. Воронин, О.О. Султонов, П.О. Шабуров, Н.В. Клипчаев, Д.А. Курносов, С.Ш. Таваров, А.М. Давлатов - № 2021133548; заявл. 18.11.2021; опублик. 12.05.2012, Бюл. № 14], состоящего из трех верхних и трех нижних транзисторов, дополнительного транзисторного полумоста, который состоит из двух транзисторов, источника электроэнергии и устройства управления коммутацией на основе микроконтроллера, причем три выхода инвертора соединены с трехфазной нагрузкой, дополнительный транзисторный полумост соединен через дроссель с общей точкой трехфазной нагрузки. В устройстве управления коммутацией интегрирован релейный регулятор и формирователь заданного значения напряжения, который тремя входами соединен с устройством управления коммутацией верхними транзисторами, четвертый вход формирователя напряжения соединен через первый датчик напряжения с источником электроэнергии, один выход формирователя напряжения соединен с релейным регулятором напряжения, первый вход релейного регулятора соединен с формирователем напряжения, второй вход соединен через второй датчик напряжения с нулевым проводом относительно шины "минус" инвертора, а два выхода релейного регулятора соединены с дополнительным транзисторным полумостом. Устройство управления коммутацией осуществляет симметрирование выходного напряжения трехфазного мостового инвертора при изменении фазных нагрузок в широком диапазоне. Симметрирование выходного напряжения осуществляется за счет управления транзисторами дополнительного транзисторного полумоста, соединенного через дроссель с общей точкой трехфазной нагрузки. Недостатками данного способа управления является необходимость постоянного измерения мгновенных значений напряжений инвертора, а также то, что в данном способе не применяются алгоритмы векторного управления инвертором, что не позволяет обеспечить синусоидальность выходного напряжения инвертора.

В этой связи целью изобретения является разработка способа управления инвертором напряжения, который обеспечивает улучшение качества электроэнергии при питании однофазной нагрузки от автономного инвертора напряжения с дополнительным транзисторным полумостом, управляемым в соответствии с алгоритмами векторной широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Техническим результатом предлагаемого способа управления является обеспечение синусоидальности выходного фазного напряжения инвертора при питании однофазной нагрузки, а также отсутствие необходимости постоянного измерения мгновенных значений напряжений инвертора, что не требует установки дополнительных датчиков напряжения.

Этот технический результат достигается за счет того, что в способе управления трехфазным инвертором напряжения, система управления которым содержит блок формирования модулирующих кривых

выходного напряжения в соответствии с алгоритмом векторной широтно-импульсной модуляции и блок генератора опорного напряжения треугольной формы, соединенные с блоками формирования импульсов управления транзисторами фаз А, В и С трехфазного инвертора напряжения и блоком вычисления напряжения нулевой последовательности, который соединен с блоком формирования импульсов управления транзисторами дополнительного транзисторного полумоста трехфазного инвертора напряжения, напряжение на выходе трехфазного инвертора напряжения формируется в соответствии с алгоритмом классической векторной широтно-импульсной модуляции, и отличающийся тем, что переключения транзисторов дополнительного транзисторного полумоста трехфазного инвертора напряжения осуществляются в моменты равенства опорного напряжения широтно-импульсной модуляции и напряжения нулевой последовательности, которое рассчитывается как одна треть суммы мгновенных значений модулирующих фазных напряжений трехфазного инвертора напряжения

На основе мгновенных значений модулирующих кривых выходных напряжений трехфазного инвертора напряжения, работающего в соответствии с алгоритмом векторной ШИМ, рассчитывается сигнал напряжения нулевой последовательности, который подается на формирователь ШИМ для дополнительного транзисторного полумоста, который формирует напряжение нейтрального вывода инвертора напряжения.

На фиг. 1 представлена структурная схема системы управления трехфазного инвертора напряжения (состоящего из транзисторов VT1-6) с дополнительным транзисторным полумостом (состоящего из транзисторов VT7-8), содержащая блок 1 формирования модулирующих кривых выходного напряжения в соответствии с алгоритмом векторной ШИМ и блок 2 генератора опорного напряжения треугольной формы, соединенные с блоками 3-5 формирования импульсов управления транзисторами фаз А, В и С трехфазного инвертора напряжения и блоком 6 вычисления напряжения нулевой последовательности, который соединен с блоком 7 формирования импульсов управления транзисторами дополнительного транзисторного полумоста трехфазного инвертора напряжения.

На вход блока 1 поступают амплитуда и частота выходного напряжения трехфазного инвертора, на вход блока 2 поступает частота ШИМ выходного напряжения инвертора, на входы блока 6 с выхода блока 1 поступают значения модулирующих кривых фазных напряжений, на входы блоков 3-5 и блока 7 с выхода блока 2 поступает сигнал опорной кривой ШИМ, на входы блоков 3-5 с выходов блока 1 поступают значения модулирующих кривых соответственно фаз А, В и С, на выходе блока 3 формируются импульсы управления транзисторами VT1 и VT2 полумоста фазы А, на выходе блока 4 формируются импульсы управления транзисторами VT3 и VT4 полумоста фазы В, на выходе блока 5 формируются импульсы управления транзисторами VT5 и VT6 полумоста фазы С, на выходе блока 7 формируются импульсы управления транзисторами VT7 и VT8 дополнительного полумоста.

Формирование импульсов управления ключами трехфазного инвертора напряжения с дополнительным транзисторным полумостом осуществляется следующим образом.

Блок 1, на вход которого подаются значения амплитуды и частоты выходного напряжения трехфазного инвертора, производит в соответствии с алгоритмом векторной ШИМ расчет мгновенных значений модулирующих кривых фазных напряжений. Блок 2, на вход которого подается частота ШИМ выходного напряжения инвертора, формирует опорную кривую ШИМ. Блоки 3-5, на входы которых подаются опорные кривые ШИМ с выхода блока 2 и рассчитанные блоком 1 значения модулирующей кривой соответствующей фазы, путем сравнения опорной и модулирующей кривых производят формирование импульсов управления транзисторами VT1-6 фаз А, В и С трехфазного инвертора напряжения. Блок 6, на входы которого поступают модулирующие напряжения фаз трехфазного инвертора, в соответствии с выражением (1) производит расчет напряжения нулевой последовательности:

$$u_N = \frac{1}{3}(u_A + u_B + u_C), \quad (1)$$

где  $u_A$  - модулирующее напряжения фазы А,  $u_B$  - модулирующее напряжение фазы В,  $u_C$  - модулирующее напряжения фазы С,  $u_N$  - напряжение нулевой последовательности.

Блок 7 путем сравнения поступающих на его вход опорного напряжения ШИМ и напряжения нулевой последовательности, формирует импульсы управления транзисторами VT7-8 дополнительного полумоста трехфазного инвертора напряжения. Переключения транзисторов дополнительного транзисторного полумоста трехфазного инвертора напряжения осуществляются в моменты равенства опорного напряжения широтно-импульсной модуляции и напряжения нулевой последовательности, которое рассчитывается как одна треть суммы мгновенных значений модулирующих фазных напряжений трехфазного инвертора напряжения,

Для проверки предлагаемого способа управления трехфазным инвертором напряжения разработана имитационная модель в программе Matlab Simulink. В качестве примера рассмотрена работа модели трехфазного инвертора напряжения, управляемого в соответствии с предлагаемым способом, на однофазную активно-индуктивную нагрузку (22 Ом, 8 мГн).

На фиг. 2 представлены расчетные зависимости модулирующего напряжения фазы А  $u_A$ ; модулирующего напряжения фазы В  $u_B$ ; модулирующего напряжения фазы С  $u_C$  и напряжение нулевой последо-

вательности  $u_N$  при формировании их в соответствии с алгоритмом векторной ШИМ.

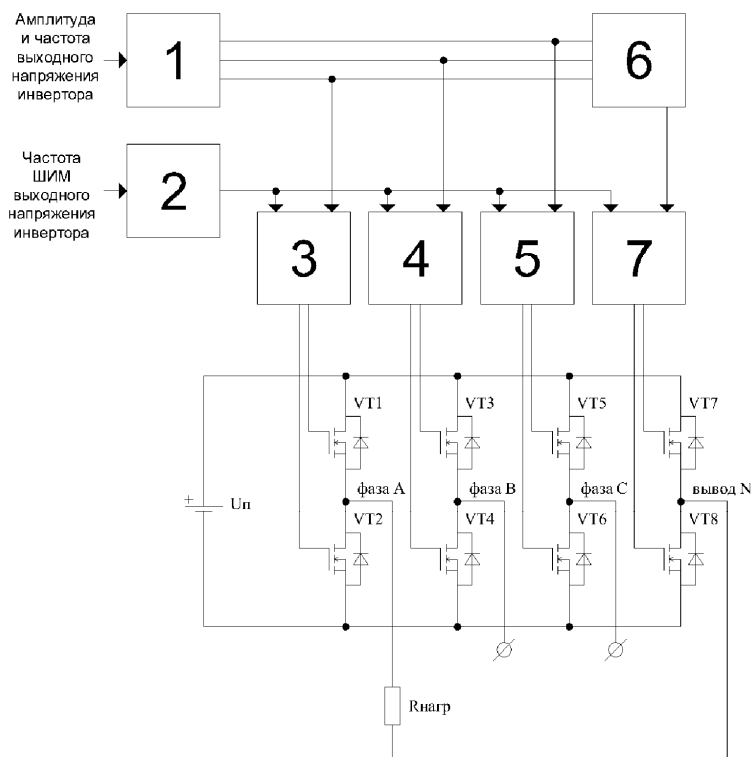
На фиг. 3 показан принцип формирования импульсов управления транзисторами VT7-8 дополнительного полумоста трехфазного инвертора напряжения. На первой сверху диаграмме фиг. 3 показаны сигналы напряжения нулевой последовательности и опорного напряжения ШИМ частотой 1 кГц, которые подаются на вход блока 7. На второй сверху диаграмме фиг. 3 представлены импульсы управления транзистором VT7 дополнительного полумоста. На нижней диаграмме фиг. 3 представлены импульсы управления транзистором VT8 дополнительного полумоста.

На фиг. 4 представлены рассчитанные с помощью модели временные зависимости напряжения на однофазной нагрузке инвертора и тока через нее без применения предлагаемого способа управления, а на фиг. 5 - с применением предлагаемого способа управления.

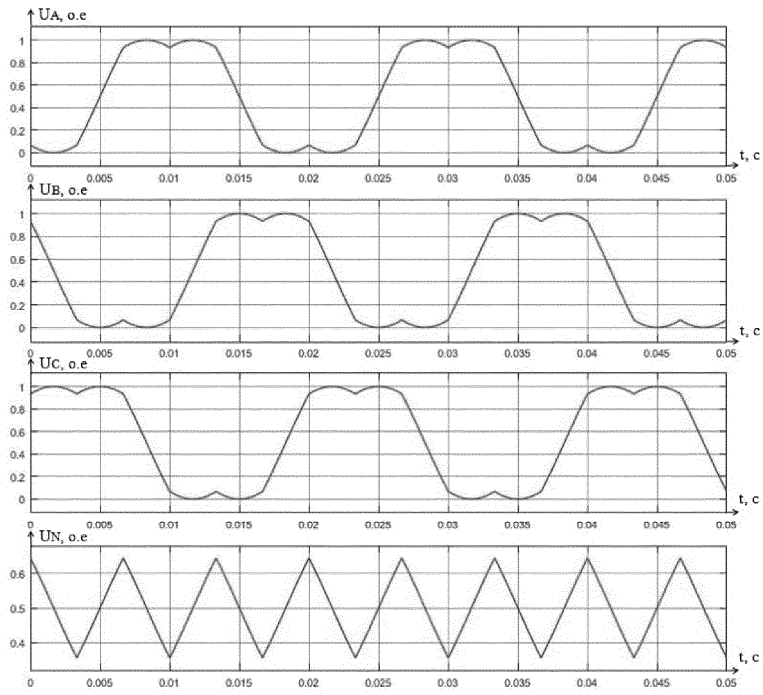
В результате проведенного моделирования установлено, что предлагаемый способ управления трехфазным инвертором напряжения с дополнительным транзисторным полумостом при питании однофазной нагрузки позволил в рассматриваемом примере снизить коэффициент нелинейных искажений кривой тока инвертора с 22,04 до 9,47%.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

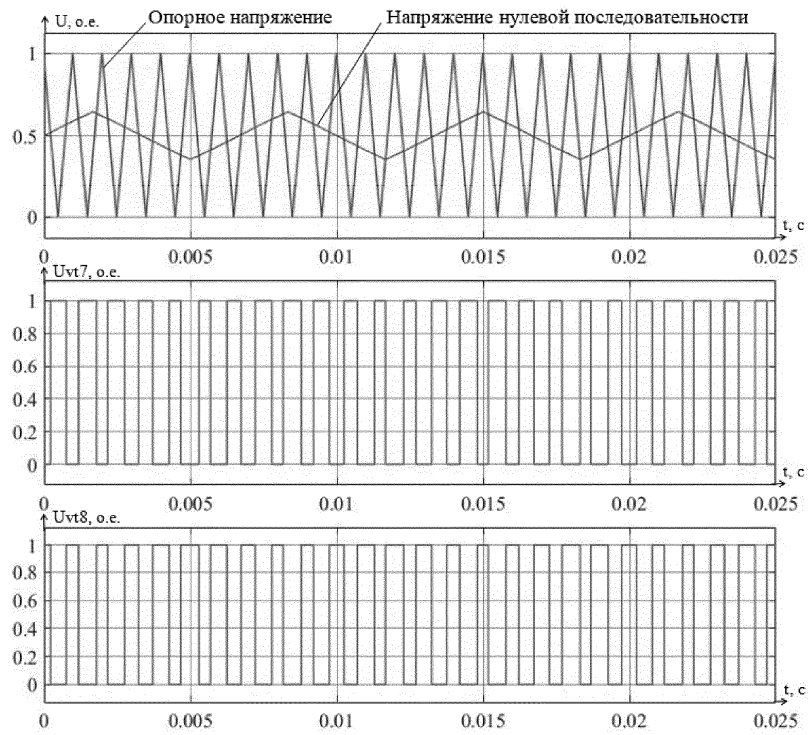
Способ управления трехфазным инвертором напряжения, система управления которым содержит блок формирования модулирующих кривых выходного напряжения в соответствии с алгоритмом векторной широтно-импульсной модуляции и блок генератора опорного напряжения треугольной формы, соединенные с блоками формирования импульсов управления транзисторами фаз А, В и С трехфазного инвертора напряжения и блоком вычисления напряжения нулевой последовательности, который соединен с блоком формирования импульсов управления транзисторами дополнительного транзисторного полумоста трехфазного инвертора напряжения, заключающийся в том, что напряжение на выходе трехфазного инвертора напряжения формируется в соответствии с алгоритмом классической векторной широтно-импульсной модуляции, и отличающийся тем, что переключения транзисторов дополнительного транзисторного полумоста трехфазного инвертора напряжения осуществляются в моменты равенства опорного напряжения широтно-импульсной модуляции и напряжения нулевой последовательности, которое рассчитывается как одна треть суммы мгновенных значений модулирующих фазных напряжений трехфазного инвертора напряжения.



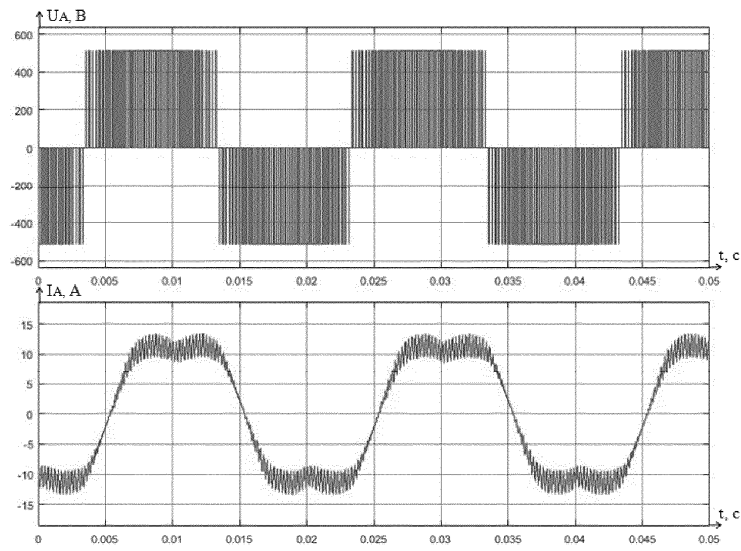
Фиг. 1



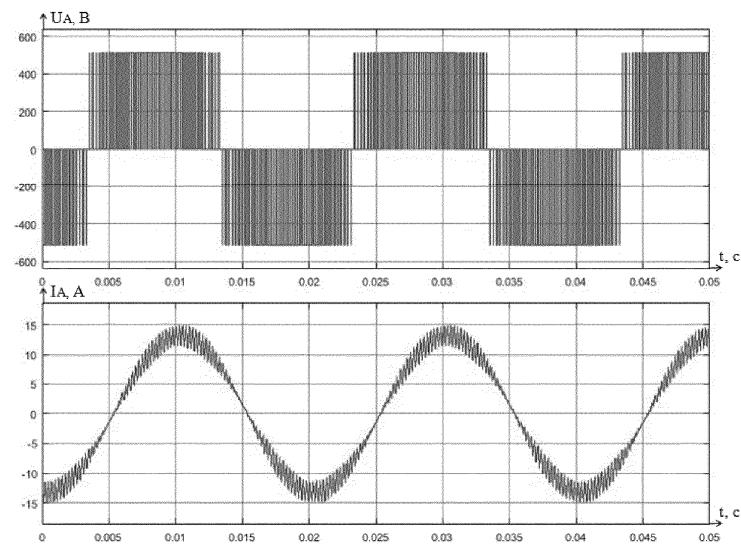
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5