

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044229**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.08.02

(51) Int. Cl. **H02J 3/26 (2023.01)**
H02M 7/5387 (2023.01)

(21) Номер заявки
202200092

(22) Дата подачи заявки
2022.07.25

(54) УСТРОЙСТВО СИММЕТРИРОВАНИЯ ТРЕХФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЫХОДЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ

(43) 2023.07.27

УНИВЕРСИТЕТ)" (ФГАОУ ВО
"ЮУРГУ (НИУ)") (RU)

(96) 2022000069 (RU) 2022.07.25

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "ЮЖНО-
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

(72) Изобретатель:
**Воронин Сергей Григорьевич (RU),
Султонов Оламафруз Олимович (TJ),
Шабуров Павел Олегович (RU)**

(56) CN-A-102570889
US-A-4922400
RU-U1-131916
US-A-3775663
RU-C1-2442275
RU-U1-57527

(57) Изобретение относится к области электротехники, электроэнергетики и силовой электроники. Устройство симметрирования трехфазного напряжения на выходе электронного полупроводникового преобразователя при несимметричной нагрузке включает электрически соединенные мостовой трехфазный инвертор, состоящий из трех верхних и трех нижних транзисторов, дополнительный транзисторный полумост, который состоит из двух транзисторов, источник электроэнергии и устройство 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 устройство 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. При помощи устройства осуществляется симметрирование выходного напряжения трёхфазного мостового инвертора при изменении фазных нагрузок в широком диапазоне.

B1

044229

044229 B1

Изобретение относится к области электротехники и может быть использовано для управления трехфазным статическим преобразователем с дискретной коммутацией, входящим в состав автономной системы электроснабжения при симметричной или несимметричной нагрузке.

Известен патент "Формирование нейтральной цепи" [Патент США US4922400А Формирование нейтральной цепи, Александр Кук, Опубл. 01.05. 1990]. Для формирования нейтральной цепи трехфазный инвертор с разделительными конденсаторами шины постоянного тока фактически состоит из трех однофазных полумостовых инверторов. Это обеспечивает независимое управление каждой фазой. При несбалансированных нагрузках ток нейтрали возвращается через конденсаторы шины постоянного тока. Напряжение на конденсаторе напрямую зависит от тока нулевой последовательности. Для балансировки напряжения требуются большие и дорогие конденсаторы звена постоянного тока, чтобы получить приемлемый уровень пульсации напряжения на конденсаторах звена постоянного тока. Трехфазные инверторы с разделительными конденсаторами постоянного тока имеют максимальный диапазон модуляции $\sqrt{3}/2$.

Кроме того, известен инвертор с нейтральным выводом с электронным управлением [Патент США US3775663А Инвертор с нейтральным выводом с электронным управлением. Тернбулл Ф., 27.11.1990]. Недостатком представленного решения является то, что его система управления не обеспечивает симметрирование выходного напряжения при отсутствии нагрузки в одной или двух фазах, например, при обрыве фазы. Большой объем вычислительных процедур требуется в результате двойного преобразования системы координат токов и напряжений при переходе от двухфазной к трёхфазной и наоборот.

Наиболее близким по техническому решению является трехфазный четырехполюсный инвертор и метод управления [ПАТЕНТ CN102570889А Трехфазный четырехполюсный инвертор и метод управления Ван Цзюнь, Чжан Сяюнь, Пэн Хун, Опубл. 11.07.2012]. Данный метод основан на принципе преобразования трехфазной системы координат abc в двухфазную систему координат d и q и после формирование эталонных сигналов, сигналов сравнения в этой системе координат, пропорционально формируя регулирующие сигналы, обратно преобразуемые в трехфазную систему координат abc, формируя моделирующий сигнал преобразователя, отличительной особенностью, которой является формирование по выделенному сигналу нулевой последовательности ортогонального сигнала, принимая его в качестве второй составляющей двухфазной системы координат нулевой последовательности, сформирован эталонный сигнал в d - системе координат, служащий для поддержания на выходе преобразователя выходных величин трехфазной системы прямой последовательности, в остальных же последовательностях поддержания выходных величин на входе преобразователя производятся в q - системе координат. Инвертор состоит из схемы выпрямления, схемы фильтрации постоянного тока, трехфазной четырехполюсной схемы инвертора, схемы фильтрации переменного тока, схемы выборки, контроллера, схемы развязки оптопары и схемы источника питания. Входная клемма соединена параллельно с двумя последовательно включенными конденсаторами накопления энергии. Каждый конденсатор накопления энергии параллельно подключен к эквивалентному резистору деления напряжения соответственно.

Однако данный метод управления указанным трехфазным инвертором для симметрирования величин трехфазной системы при несимметричной нагрузке требует одновременно мгновенные значения напряжения и тока на выходе трехфазного преобразователя, что усложняет алгоритм расчета, тем самым приводя к сложности конструкции устройства для реализации метода, способа управления и обслуживания устройства, а также при внезапной остановке одного датчика тока или напряжения симметрирование выходного напряжения не выполнимо.

Технической задачей предлагаемого изобретения является симметрирование выходного напряжения при помощи предлагаемого устройства, за счет разности величины активных и индуктивных фазных сопротивлений нагрузки.

Технический результат достигается за счет того, что устройство симметрирования трехфазного напряжения на выходе электронного полупроводникового преобразователя при несимметричной нагрузке включает электрически соединенные мостовой трехфазный инвертор, состоящий из трех верхних и трех нижних транзисторов; дополнительный транзисторный полумост, который состоит из двух транзисторов; источник электроэнергии и устройство 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 устройство 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.

Сущность технического решения поясняется изображениями на фиг. 1-5, где показано следующее:

на фиг. 1 изображена функциональная схема предлагаемого устройства;

на фиг. 2 изображена форма фазного напряжения U_f на выходе инвертора при симметричной на-

грузке;

на фиг. 3 изображена форма фазного напряжения U_f на выходе инвертора при несимметричной нагрузке;

на фиг. 4 изображено напряжение нулевой точки источника питания при симметричном (сплошные линии) и несимметричном (пунктирные линии) режимах;

на фиг. 5 изображен алгоритм замыкания транзисторных ключей при 180-градусной дискретной коммутации.

Сущность предлагаемого изобретения заключается в следующем. Во многих случаях, например, для бытовых потребителей требования по содержанию высших гармоник в напряжении невысокие. Поэтому вместо сложных и дорогостоящих синусоидальных преобразователей напряжения можно использовать более простые устройства с дискретным управлением, например, схему предлагаемого устройства на основе трёхфазного мостового инвертора, изображенную на фиг. 1. При реализации 180-градусной шеститактной коммутации, когда каждый ключ инвертора открыт в течение половины периода, форма фазного напряжения U_f на выходе инвертора при симметричной фазной нагрузке будет иметь вид фиг. 2. Несмотря на существенно несинусоидальную форму напряжения, содержание высших гармоник в нём оказывается незначительным, и действующее значение первой гармоники напряжения составляет 0,955 от действующего значения полного напряжения. Таким образом, такой простейший преобразователь (устройство симметрирования) с успехом может быть использован там, где требования по содержанию высших гармоник в фазном напряжении не очень жёсткие. Например, для электроснабжения небольших сельских поселений.

Но при питании бытовых потребителей нагрузка на каждую фазу может существенно отличаться, вплоть до полного отсутствия на одной или двух из них. При наличии несимметрии нагрузки форма фазного напряжения искажается (Фиг. 3). Следовательно, в состав преобразователя необходимо вводить дополнительные устройства симметрирования, позволяющие сохранять форму фазного напряжения при наличии несимметрии нагрузки. Поскольку предлагается простейшая схема преобразователя напряжения, не имеет смысла использовать описанные выше известные, достаточно сложно технически и алгоритмически реализуемые устройства.

В изобретении предлагается решить задачу симметрирования более простыми средствами. Основная идея изобретения заключается в измерении напряжения общей точки нагрузки инвертора, соединённой в звезду относительно отрицательной шины источника питания, и поддержания формы этого напряжения, соответствующей случаю симметричной нагрузки. В частности, форма напряжения общей точки нагрузки $U_{ОН}$ относительно отрицательной шины источника питания имеет вид сплошной линии, а при несимметричной нагрузке - вид пунктирной линии (Фиг. 4). Следовательно, в состав преобразователя (устройства для симметрирования напряжения) необходимо ввести устройство, которое бы обеспечивало диаграмму напряжения на нулевой точке, соответствующей симметричному режиму.

Схема устройства симметрирования трёхфазного напряжения на выходе электронного полупроводникового преобразователя при несимметричной нагрузке представлена на фиг. 1.

Устройство содержит: мостовой трёхфазный инвертор (МТИ) 1, состоящий из шести транзисторов (три верхних транзистора VT1, VT3, VT5 управляются сигналами X_1, X_2, X_3 , и три нижних транзистора VT4, VT6, VT2 управляются сигналами Y_1, Y_2, Y_3). МТИ 1 соединен с дополнительным транзисторным полумостом (ДопТП) 3, который состоит из двух транзисторов VT7, VT8, которые управляются сигналами X_4, Y_4 , и источником электроэнергии $U_{П}$ 4. Для управления транзисторами VT1-VT6 используется устройство управления коммутацией (УУК) 2, которое строится на основе внутреннего таймера-счетчика микроконтроллера, настроенного на работу на частоте 300 Гц и переключающего сигналы $X_1, X_2, X_3, Y_1, Y_2, Y_3$ по определенному алгоритму: $X_1X_3Y_2 - X_1Y_2Y_3 - X_1X_2Y_3 - X_2Y_1Y_3 - X_2X_3Y_2 - Y_1Y_2X_3 - X_1X_3Y_2$ и далее по кругу.

МТИ 1 имеет три выхода, соединенные с трехфазной нагрузкой 5, дополнительный транзисторный полумост 3 соединен через дроссель 6 с общей точкой трехфазной нагрузки 5. Для управления ДопТП 3 в УУК 2 интегрирован формирователь заданного значения напряжения общей точки (ФОН) 9, релейный регулятор напряжения (РРН) 10. ФОН 9 имеет четыре входа и один выход, на три входа подаются сигналы X_1, X_2, X_3 УУК 2, четвертый вход соединен через первый датчик напряжения (ДН1) 7 с источником электроэнергии $U_{П}$ 4, выход ФОН 9 соединен с РРН 10. РРН 10 также имеет два входа и два выхода. Первый вход РРН 10 соединен с ФОН 9, второй вход соединен через второй датчик напряжения (ДН2) 8 с нулевым проводом относительно шины "минус" МТИ 1. На выходах РРН 10 формируются сигналы X_4, Y_4 , которые управляют ДопТП 3.

Устройство работает следующим образом: входное напряжение источника питания постоянного тока $U_{П}$ 4 преобразуется МТИ 1 с использованием 180-градусной дискретной коммутации в трёхфазное линейное напряжение переменного тока (Фиг. 2). Для управления МТИ 1 используется УУК 2 с шестью выходными сигналами X_1, X_2, X_3 и Y_1, Y_2, Y_3 . УУК 2 с заданной частотой коммутации ключей $f_k=300$ Гц формирует импульсы управления ключами МТИ 1 длительностью 180 электрических градусов. На верхние транзисторы VT1, VT3, VT5 МТИ 1 подаются сигналы X_1, X_2, X_3 , на нижние транзисторы VT4, VT6, VT2 - Y_1, Y_2, Y_3 . Когда $X_1 = 1$ открывается верхний транзистор VT1 - МТИ 1, когда $X_1 = 0$ закрывается

верхний транзистор VT1 - МТИ 1, когда $Y_1 = 1$ открывается нижний транзистор VT4 МТИ 1, когда $Y_1 = 0$ закрывается нижний транзистор VT4 МТИ 1. При 180-градусной дискретной коммутации одновременно подаются сигналы на три транзисторных ключа МТИ 1. Открытие транзисторных ключей МТИ 1 происходит по такому алгоритму: $X_1X_3Y_2 - X_1Y_2Y_3 - X_1X_2Y_3 - X_2Y_1Y_3 - X_2X_3Y_2 - Y_1Y_2X_3 - X_1X_3Y_2$ и далее по кругу, (Фиг. 5). Так как одновременно замкнуты транзисторные ключи МТИ 1 абсолютно во всех трех фазах нагрузки 5, такой режим называют пофазной дискретной коммутацией. В каждом цикле коммутации две нагрузки из трехфазной нагрузки 5 подключены к постоянному источнику U_{Π} 4 параллельно, а третья нагрузка из трехфазной нагрузки 5 последовательно с ними.

При симметричной нагрузке в фазах трехфазной нагрузки 5 на выходе датчика напряжений (ДН2) 8 нулевой точки относительно шины "минус" источника питания напряжение $U_{ОН}$ изменяется от 0,333 до 0,666 U_{Π} , что показано сплошной линией на фиг. 4. Выходное трёхфазное линейное напряжение переменного тока при симметричной нагрузке показано на фиг. 2.

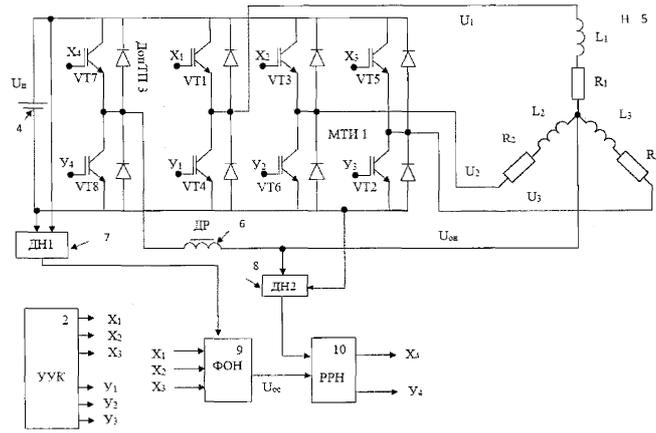
В этом случае в МТИ 1 работают шесть транзисторных ключей, управление этими ключами осуществляет УУК 2. Поскольку потенциал периодически от такта к такту коммутации меняется, можно условно принять, что на чётном такте потенциал высокий, а на нечётном - низкий, за начало отсчёта можно взять три импульса на выходе УУК 2, например, X_1, X_2, X_3 . С помощью ФОН 9 формируются, соответственно симметричной нагрузке, значения потенциала общей точки $U_{ОС}$ на чётных тактах 0,666 U_{Π} и нечётных тактах 0,333 U_{Π} . (разность $U_{ОС}$ и $U_{ОН}$ будет нулевая, поэтому ДопТП 3 работать не будет). В случае несимметрии нагрузки в фазах трехфазной нагрузки 5 форма сигнала на нулевом проводе $U_{ОН}$ относительно шины "минус" МТИ 1 меняется (пунктирная линия на фиг. 4). Выходные трёхфазные линейные напряжение переменного тока будут несимметричны, что показано на фиг. 3. Определив разность напряжения между $U_{ОС}$ и $U_{ОН}$, РРН 10 выдает сигналы X_4, Y_4 , которые, в свою очередь, управляют ДопТП 3. В этом случае на выходе МТИ 1 напряжение симметрируется (Фиг. 2).

Таким образом, обеспечивается симметрирование напряжения при наличии разных величин активных и индуктивных фазных нагрузок 5, то есть при несимметричной нагрузке.

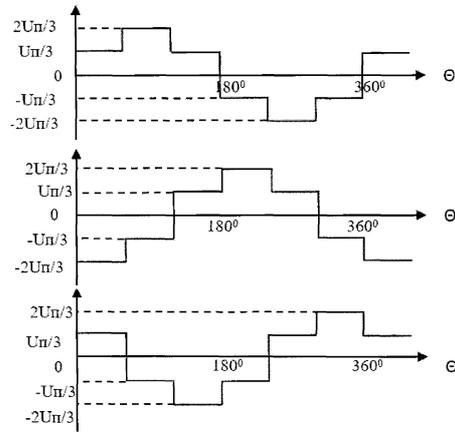
Пример. Для проверки работоспособности предлагаемого устройства был собран макет, в котором в качестве МТИ 1 были взяты три транзисторных полумоста IGBT SKM600GB66D; в качестве ДопТП - один транзисторный полумост IGBT SKM600GB66D; датчики напряжения ДН1, ДН2 выполнены по дифференциальной схеме включения операционного усилителя TLV272; для осуществления функций управления используется микроконтроллер STM32F303VCT6, в котором блок УУК 2 является основной программой и используется для управления МТИ 1, а ФОН 9 и РРН 10 являются подпрограммами и используются для управления ДопТП 3.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

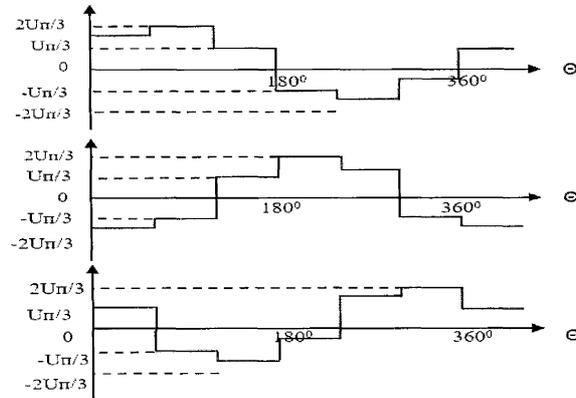
Устройство симметрирования трехфазного напряжения на выходе электронного полупроводникового преобразователя при несимметричной нагрузке, включающее электрически соединенные мостовой трехфазный инвертор, состоящий из трех верхних и трех нижних транзисторов; дополнительный транзисторный полумост, который состоит из двух транзисторов; источник электроэнергии и устройство 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 устройство 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.



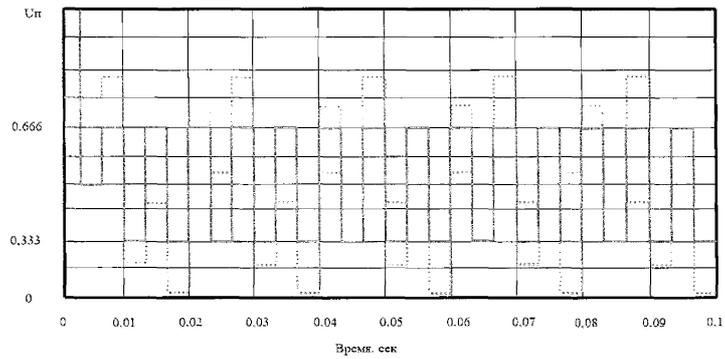
Фиг. 1



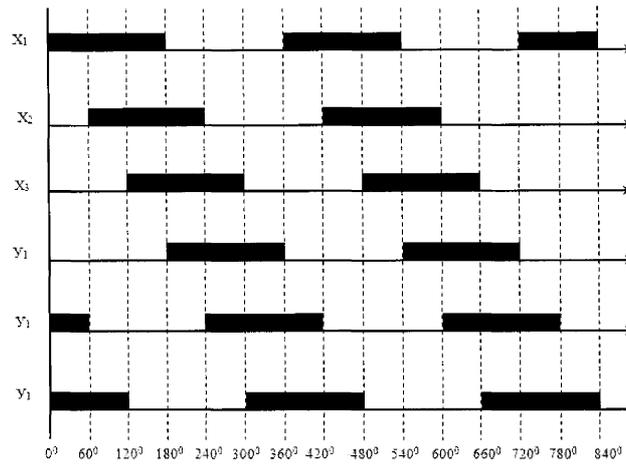
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

