



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015105458/07, 17.02.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
17.02.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.02.2015

(45) Опубликовано: 27.04.2016 Бюл. № 12

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: WO2006000111A1, 05.01.2006.  
RU2303851C1, 27.07.2007. RU103254U1,  
27.03.2011.

Адрес для переписки:

192012, Санкт-Петербург, пр. Обуховской  
Обороны, 120, лит. ЕЧ, Акционерное общество  
"Конструкторское бюро специального  
машиностроения"

(72) Автор(ы):

Сувалко Владимир Юльевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество "Конструкторское  
бюро специального машиностроения" (RU)

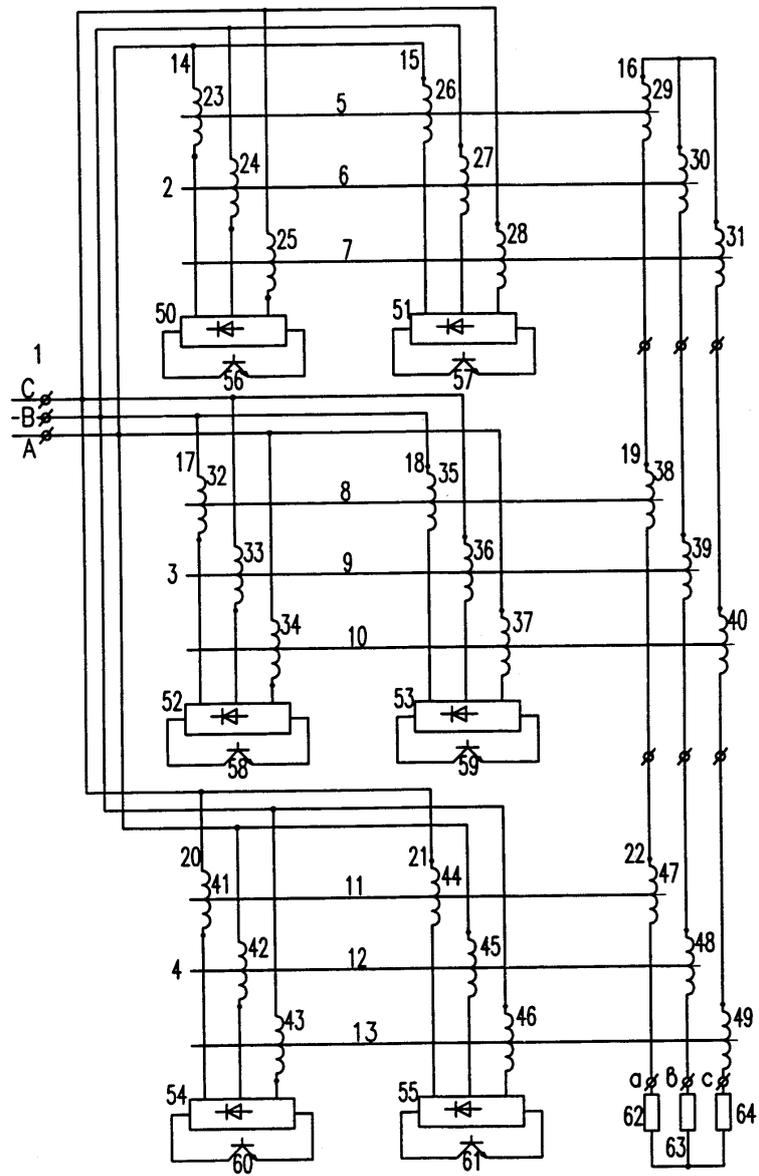
## (54) ТРЁХФАЗНО-ТРЁХФАЗНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и обеспечивает технический результат - возможность повышения эффективности процесса преобразования частоты, расширения функциональных возможностей и области использования преобразователя. Преобразователь частоты содержит входные зажимы А, В, С для подключения питающей сети, выходные зажимы для подключения трехфазной нагрузки, три одинаково выполненных трехфазных трансформатора (ТТ), каждый из которых включает первую и вторую входные и выходную трехфазные обмотки (ТО). Начальные выводы фазных обмоток первой входной ТО и концы фазных обмоток второй входной ТО подключены к соответствующим входным

зажимам А, В и С, а другие выводы каждой из входных ТО подключены к соответствующему этой обмотке коммутирующему элементу в виде трехфазного диодного моста с электронным ключом в цепи постоянного тока. Фазные обмотки входных ТО одного ТТ последовательно подключены к входным зажимам А, В, С, а фазные обмотки входных ТО двух других ТТ последовательно подключены соответственно к входным зажимам В, С, А и С, А, В. Одноименные фазные обмотки выходных ТО упомянутых трехфазных трансформаторов соединены последовательно в три ветви, которые объединены в схему звезда и образуют трехфазный выход. 4 ил.

R U 2 5 8 2 6 5 4 C 1



Фиг.1

R U 2 5 8 2 6 5 4 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015105458/07, 17.02.2015

(24) Effective date for property rights:  
17.02.2015

Priority:

(22) Date of filing: 17.02.2015

(45) Date of publication: 27.04.2016 Bull. № 12

Mail address:

192012, Sankt-Peterburg, pr. Obukhovskoj Oborony,  
120, lit. ECH, Aktsionernoe obshchestvo  
"Konstruktorskoe bjuro spetsialnogo  
mashinostroeniya"

(72) Inventor(s):

Suvalko Vladimir Juljanovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Aktsionernoe obshchestvo "Konstruktorskoe  
bjuro spetsialnogo mashinostroeniya" (RU)

(54) **TRIPHASE-TRIPHASE FREQUENCY CONVERTER**

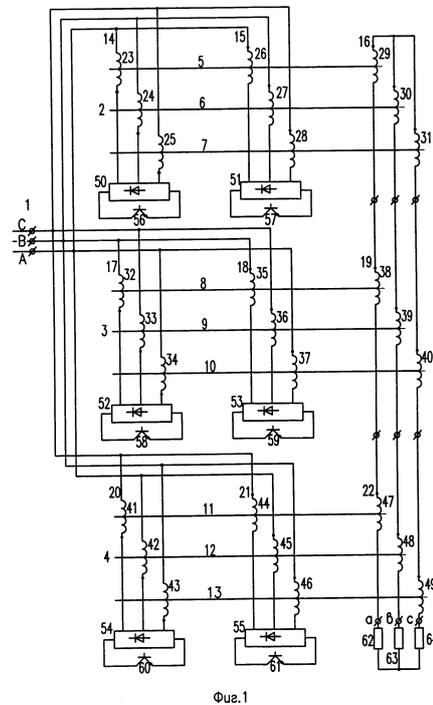
(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to electrical engineering. Frequency converter comprises input terminals of A, B, C for connection of supply mains, output terminals for connection of three-phase load, three equally made three-phase transformer (TT), each of which comprises first and second input and output three-phase windings (TW). Initial leads of phase windings of first input TW and ends of phase windings of second input TW are connected to corresponding input terminals A, B and C, and other leads of each of input TW are connected to, related to said winding, a switching element in form of a three-phase diode bridge with electronic switch in DC circuit. Phase windings of input TW that one of transformer is connected in series to input terminals A, B, C, and phase windings of input TW of two other TT are connected in series to input terminals B, C, A and C, A, B. Similar phase windings of output TW of said three-phase transformers are connected in series in three branches, which are combined in star circuit to make three-phase output.

EFFECT: technical result is possibility of increasing efficiency of frequency conversion, expansion of

functional capabilities and field of use of converter.  
1 cl, 4 dwg



RU 2 582 654 C1

RU 2 582 654 C1

Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано в реверсивном и высокочастотном электроприводе, в автономных источниках электропитания с приводом от турбогенератора или дизель-генератора для обеспечения потребителей электроэнергией с требуемыми частотой и напряжением и в агрегатах гарантированного (бесперебойного) питания.

Основные тенденции улучшения энергетических показателей трехфазно-трехфазных преобразователей частоты связаны с улучшением формы кривой выходного напряжения (улучшением гармонического состава выходного напряжения), в том числе и при его регулировании. Это требование актуально и для класса непосредственных преобразователей частоты (НПЧ), в которых формирование выходного напряжения осуществляется путем модуляции непосредственно из отрезков синусоид фаз питающей сети.

Наиболее эффективным способом преобразования частоты в этих НПЧ являются технические решения, в которых фазы сети подключаются к фазам нагрузки циклически через равные интервалы времени. Процесс преобразования при этом осуществляется или путем непосредственной модуляции, или за счет модуляции и демодуляции. Известны бестрансформаторные преобразователи частоты с трехфазным выходом, обеспечивающие возможность синтеза синусоидальных кривых выходного напряжения, приведенные в книге Джюджи Л., Пелли Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение. Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 312-316. Однако известные бестрансформаторные преобразователи не обеспечивают возможности получения на выходе преобразователя напряжения, равного или выше напряжения на его входе. К их недостаткам также можно отнести существенное ухудшение гармонического состава напряжения на выходе НПЧ при регулировании напряжения.

Известен преобразователь  $m$ -фазной системы напряжений одной частоты в  $n$ -фазную систему напряжений другой частоты (SU 515222, H02M 5/257, H05P 7/62, 1976). Известный преобразователь содержит  $m$ -фазный трансформатор с двумя вторичными  $m$ -фазными обмотками, два  $m$  целевых ключа в виде двух неуправляемых  $m$ -фазных вентильных мостов с полностью управляемыми ключами на стороне постоянного тока, причем входы этих мостов подключены к разноименным концам двух вторичных обмоток трансформатора, а другие концы этих обмоток, принадлежащие одной и той же фазе, объединены между собой, а также  $m$ -фазных управляемых вентильных мостов, входы каждого из  $m$ -фазных управляемых мостов подключены к указанным точкам объединения вторичных обмоток трансформатора.

Однако известный преобразователь частоты не обеспечивает возможность получения на нагрузке напряжения с частотой, равной или больше частоты питающего напряжения.

Для получения требуемых значений частоты (выше частоты питающей сети) и выходного напряжения на нагрузке, равного или выше напряжения питающей сети, в НПЧ используется, как правило, структура, содержащая модулятор, согласующий трансформатор и демодулятор.

Известен преобразователь частоты, который кроме трехфазного согласующего трансформатора содержит входные цепи в виде трехфазной группы первичных обмоток этого трансформатора и выходные цепи, выполняющие функции регулирования напряжения и частоты, содержащих три одинаково выполненные группы трехфазных вторичных обмоток и три коммутирующие элемента, каждый в виде трехфазного диодного моста, зажимами переменного тока подключенный к одноименным фазным выводам одной из указанных групп обмоток, а зажимами постоянного тока - к силовым

выводам включенного в проводящем направлении транзисторного ключа, в то время, как другие одноименные выводы каждой трех вторичных обмоток разных фаз и групп присоединены к одному из выводов трехфазной нагрузки (Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе. Под. ред. Р.С. Сарбатова. М.: Энергия, 1980. С. 280).

5 Недостатком известного преобразователя частоты является низкая эффективность преобразования из-за того, что выходное напряжение содержит практически весь спектр гармонических составляющих.

Известен однофазный мостовой преобразователь частоты по патенту RU 104401 U1 (H02P 27/18, 2011). Известный преобразователь частоты содержит оконечное устройство,  
10 включающее первую и вторую обмотки, причем оконечное устройство выполнено с возможностью подключения к электрической питающей сети через первую и вторую мостовые схемы выпрямления, содержащие электронные ключи. Мостовые схемы выпрямления выполнены каждая в виде однофазного неуправляемого моста, в диагональ которого в проводящем направлении включен электронный ключ. Причем первый  
15 ввод каждого однофазного неуправляемого моста предназначен для подключения к первому вводу электрической питающей сети. Второй ввод одного однофазного неуправляемого моста подключен к концу первой обмотки, а второй ввод другого однофазного неуправляемого моста подключен к началу второй обмотки. При этом начало первой и конец второй обмоток предназначены для подключения ко второму  
20 вводу электрической питающей сети.

Известный однофазный мостовой преобразователь частоты может быть использован как основа для создания трехфазного преобразователя частоты, однако при этом принципиальная электрическая схема трехфазного преобразователя будет содержать девять однофазных трансформаторов и восемнадцать управляемых ключей, что  
25 усложняет преобразователь частоты и снижает его надежность и экономичность.

Известен преобразователь частоты по патенту RU 2256284 C1 (H02M 5/297, 2005). Известный преобразователь частоты содержит блок управления и группы параллельно соединенных пар последовательно включенных ключей, а также блок фазирования и блок фильтрации, подключенные к входам преобразователя частоты, и трансформаторы  
30 в количестве, равном числу фаз входного напряжения. При этом одни выходы блока управления подключены через блок фазирования к управляющим входам одних ключей, другие выходы блока управления последовательно через блок фильтрации и блок фазирования подключены к управляющим входам других ключей. Первичные обмотки трансформаторов подключены к входам преобразователя частоты через одни  
35 соответствующие группы ключей, собранные по мостовым схемам преобразования напряжения и объединенные в звезду или многоугольник. Вторичные обмотки разных трансформаторов соединены последовательно. Крайние выводы этих групп обмоток подключены к входам преобразователя частоты через другие соответствующие группы ключей, собранные по мостовым схемам преобразования напряжения и объединенные  
40 в звезду.

Недостатком известного решения является необходимость преобразования переменного трехфазного напряжения на входе преобразователя частоты в переменное напряжение повышенной частоты на выводах групп вторичных обмоток трансформаторов, которое далее преобразуется в трехфазное широтно-модулированное  
45 переменное напряжение на выходах преобразователя частоты. Для реализации этого преобразования используются 24 управляемых ключа. Сложный процесс преобразования, большое количество управляемых ключей и сложность схемы управления снижают надежность и экономичность устройства.

Наиболее близким по совокупности существенных признаков с заявляемым изобретением является трехфазно-трехфазный преобразователь частоты, приведенный в описании изобретения по патенту RU 2239274 C1 (H02M 5/297, 2004). Известный преобразователь частоты содержит трехфазную питающую сеть, трансформаторное звено с трехфазными входными и выходными обмотками и коммутирующие элементы, выполненные в виде трехфазных диодных мостов с электронными ключами в цепи постоянного тока. Для получения в первичных обмотках трансформатора трехфазного напряжения повышенной частоты входные цепи преобразователя выполнены аналогично выходным цепям, а именно с применением трех одинаково выполненных трехфазных групп первичных обмоток и трех коммутирующих элементов, каждый в виде трехфазного диодного моста с зажимами переменного тока, подключенными к одноименным выводам первичных обмоток одной из трехфазных групп, а зажимами постоянного тока - к силовым выводам включенного в проводящем направлении транзисторного ключа. При этом другие выводы каждой трех первичных обмоток фаз и групп подключены к одной из фаз питающей сети.

К недостаткам известного решения можно отнести необходимость реализации процессов модуляции и демодуляции при преобразовании переменного тока одной частоты на входе преобразователя частоты в трехфазный переменный ток другой частоты на его выходе. Кроме того, выходное напряжение содержит весь спектр высших гармонических составляющих. Отмеченные недостатки делают процесс преобразования неэффективным, ограничивают функциональные возможности и область использования преобразователя частоты.

Задачей настоящего изобретения является создание трехфазно-трехфазного преобразователя частоты, обеспечивающего повышение эффективности процесса преобразования частоты, расширение функциональных возможностей и области использования преобразователя частоты.

Указанная задача решается тем, что предложен трехфазно-трехфазный преобразователь частоты, содержащий входные зажимы А, В, С для подключения питающей сети, выходные зажимы для подключения трехфазной нагрузки, три одинаково выполненных трехфазных трансформатора, каждый из которых включает первую и вторую входные и выходную трехфазные обмотки. Начальные выводы фазных обмоток первой входной трехфазной обмотки и концы фазных обмоток второй входной трехфазной обмотки подключены к соответствующим входным зажимам А, В и С, а другие выводы каждой из входных трехфазных обмоток подключены к соответствующему этой обмотке коммутирующему элементу в виде трехфазного диодного моста с электронным ключом в цепи постоянного тока. Фазные обмотки входных трехфазных обмоток одного трехфазного трансформатора последовательно подключены к входным зажимам А, В, С, а фазные обмотки входных трехфазных обмоток двух других трехфазных трансформаторов последовательно подключены соответственно к входным зажимам В, С, А и С, А, В. Одноименные фазные обмотки выходных трехфазных обмоток упомянутых трехфазных трансформаторов соединены последовательно в три ветви, которые объединены в схему звезда и образуют трехфазный выход.

Технический результат использования изобретения состоит в том, что оно обеспечивает возможность создания трехфазно-трехфазного преобразователя частоты, позволяющего повысить эффективность процесса преобразования частоты и расширить эксплуатационные возможности и область использования преобразователя.

На фиг. 1 представлена схема заявляемого преобразователя частоты; на фиг. 2 -

диаграммы формирования напряжения на выходе преобразователя частоты; на фиг. 3 - диаграммы формирования напряжения на выходе преобразователя частоты при регулировании выходного напряжения; на фиг. 4 - то же. На диаграммах:  $U_{A1}$  - напряжение, формируемое на фазных обмотках 23, 26 входных обмоток 14, 15 трехфазного трансформатора 2;  $U_{B1}$  - напряжение, формируемое на фазных обмотках 32, 35 входных обмоток 17, 18 трехфазного трансформатора 3;  $U_{C1}$  - напряжение, формируемое на фазных обмотках 41, 44 входных обмоток 20, 21 трехфазного трансформатора 4;  $U_{a(62)}$  - суммарное фазное напряжение, формируемое на последовательно соединенных фазных обмотках 29, 38, 47 выходных обмоток 16, 19, 22 трехфазных трансформаторов 2-4, прикладываемое к нагрузке 62;  $\omega$  - круговая частота;  $t$  - время; 56-61 - интервалы включения соответствующих электронных ключей.

Преобразователь частоты содержит входные зажимы А, В, С для подключения питающей сети 1, выходные зажимы а, в, с для подключения трехфазной нагрузки, три одинаково выполненных трехфазных трансформатора 2-4 с магнитопроводами 5-7, 8-10 и 11-13 соответственно. На трехфазном трансформаторе 2 расположены входные трехфазные обмотки 14, 15 и выходная трехфазная обмотка 16. На трехфазном трансформаторе 3 расположены входные трехфазные обмотки 17, 18 и выходная трехфазная обмотка 19. На трехфазном трансформаторе 4 расположены входные трехфазные обмотки 20, 21 и выходная трехфазная обмотка 22. Упомянутые входные и выходные трехфазные обмотки включают фазные обмотки 23-49. Начальные выводы фазных обмоток 23-25, 32-34 и 41-43, а также концы фазных обмоток 26-28, 35-37 и 44-46 подключены к соответствующим входным зажимам А, В и С. При этом фазные обмотки 23, 26, 34, 37 и 42, 45 подключены к входному зажиму А. Фазные обмотки 24, 27, 32, 35 и 43, 46 подключены к входному зажиму В. Фазные обмотки 25, 28, 33, 36 и 41, 44 подключены к входному зажиму С. Другие выводы упомянутых фазных обмоток трехфазных входных обмоток 14, 17 и 20 подключены к переменным входам соответствующих коммутирующих элементов 50-55, каждый из которых выполнен в виде трехфазного диодного моста с электронным ключом (56-61) в цепи постоянного тока. Магнитопроводы 5, 8, 11 и фазные обмотки 23, 26, 32, 35, 41, 44 относятся к фазе А, магнитопроводы 6, 9, 12 и фазные обмотки 24, 27, 33, 36, 42, 45 относятся к фазе В, магнитопроводы 7, 10, 13 и фазные обмотки 25, 28, 34, 37, 43, 46 - к фазе С.

Фазные обмотки 16, 19, 22, фазные обмотки 29, 39, 48 и фазные обмотки 31, 40, 49 (т.е. одноименные обмотки) выходных трехфазных обмоток 16, 19 и 22 трехфазных трансформаторов 2-4 соединены последовательно в три ветви, которые объединены в схему звезда и образуют трехфазный выход.

Трехфазно-трехфазный преобразователь частоты работает следующим образом.

Преобразование трехфазного переменного тока в преобразователе частоты основано на принципе трехполосной модуляции, в котором модулирующая функция формирования выходной частоты и выходного напряжения в каждой фазе нагрузки реализуется путем циклических подключений входных трехфазных обмоток 14, 15, 17, 18, 20, 21 трехфазных трансформаторов 2-4 к трехфазной питающей сети 1 через равные интервалы времени одновременно по трем фазам по круговой диаграмме, а их отключение осуществляется в пределах прямой и обратной полуволн фаз входного трехфазного напряжения.

В преобразователе частоты частота выходного переменного тока определяется выражением  $f_{\text{вых}} = f_1 - f_c$ , где  $f_c$  - частота сети трехфазного переменного тока,  $f_1$  - частота следования управляющих импульсов, поступающих от блока управления (на чертеже не показано) на ключи 56, 57, 58, 59, 60, 61.

Таким образом, если необходимо на выходе преобразователя частоты получить частоту 50 Гц, то частота следования управляющих импульсов на ключи 56-61 должна составлять 100 Гц. Если необходимо получить на выходе 400 Гц, то частота управления ключами 56-61 должна быть равной 450 Гц. При равенстве частот управления и сети на выходе будет формироваться постоянный ток. Если частота управления  $f_1$  будет меньше  $f_c$ , то в выходном напряжении изменится порядок чередования фаз, а частота будет равна  $f_{\text{вых}}=f_c-f_1$ .

Например, если  $f_1=40$  Гц, то на выходе получим частоту 10 Гц. Таким образом, если в качестве нагрузки 62-64 (фиг. 1) будут, например, фазные обмотки электродвигателя переменного тока с короткозамкнутым ротором, то будет обеспечиваться регулирование его скорости вверх и вниз от синхронной, обеспечиваться его реверс, а также - его вращение в другую сторону в диапазоне от нуля до скорости, близкой к синхронной.

Амплитуда напряжения в фазах нагрузки в преобразователе частоты является суммой напряжений, формируемых на всех трех фазных выходных обмотках трехфазных трансформаторов 2-4. Так для фазы нагрузки 62 оно будет суммой напряжений, формируемых обмотками 16, 19, 22. Аналогично для фаз нагрузок 63 и 64 выходное напряжение будет суммой напряжений, формируемых обмотками 30, 39, 48 и 31, 40, 49 соответственно.

Количество импульсов «n» в выходном фазном напряжении в течение периода для каждой частоты определяется выражением:

$$n = m \frac{f_1}{f_1 - f_c} \quad \text{при } f_1 > f_c, \quad \text{и} \quad n = m \frac{f_1}{f_c - f_1} \quad \text{при } f_1 < f_c,$$

где  $m$  - количество входных трехфазных обмоток.

Величина входного фазного напряжения в пределах каждого импульса является арифметической суммой величин напряжений трех импульсов, формируемых относящимися к данной фазе входными фазными обмотками трех трансформаторов.

Плавное регулирование амплитуды напряжений в фазах нагрузки в преобразователе частоты осуществляется за счет изменения продолжительности включенного состояния электронных ключей 56-61 (транзисторов или тиристоров).

На фиг. 2 показана диаграмма формирования напряжения в фазе А ( $U_A$ ) нагрузки 62 при включенном состоянии ключей 56-61 в течение  $90^\circ$  (по круговой диаграмме). На фиг. 3 - то же при включенном состоянии ключей 56-61 в течение  $60^\circ$  (по круговой диаграмме) и на фиг. 4 - то же при включенном состоянии ключей 56-61 в течение  $30^\circ$ .

Из диаграмм фиг. 2-4 видно, что форма выходного напряжения при его регулировании в преобразователе частоты остается неизменной. Анализ этой формы кривой показывает, что в ней отсутствуют 5-ая и 7-ая гармонические составляющие, что обеспечивает преобразователю частоты высокие энергетические показатели.

Простота управления, широкий и плавный диапазон регулирования частоты и напряжения на нагрузке (с сохранением неизменной формы кривой напряжения на диаграмме), возможность обмена энергией между нагрузкой и питающей сетью обеспечивают преобразователю частоты возможность использования в различных областях: в реверсивном электроприводе, высокочастотном электроприводе, в высокочастотных источниках электропитания, в автономных источниках электропитания с приводом от турбогенератора или дизель-генератора для обеспечения потребителей электроэнергией с требуемыми частотой и напряжением.

Таким образом, благодаря особенности исполнения трехфазно-трехфазного преобразователя частоты изобретение обеспечивает возможность повышения

эффективности процесса преобразования частоты, расширение функциональных возможностей и области использования преобразователя частоты.

#### Формула изобретения

5       Трехфазно-трехфазный преобразователь частоты, содержащий входные зажимы А, В, С для подключения питающей сети, выходные зажимы для подключения трехфазной нагрузки, три одинаково выполненных трехфазных трансформатора, каждый из которых включает первую и вторую входные и выходную трехфазные обмотки, причем  
10       начальные выводы фазных обмоток первой входной трехфазной обмотки и концы фазных обмоток второй входной трехфазной обмотки подключены к соответствующим входным зажимам А, В и С, а другие выводы каждой из входных трехфазных обмоток подключены к соответствующему этой обмотке коммутирующему элементу в виде  
15       трехфазного диодного моста с электронным ключом в цепи постоянного тока, причем фазные обмотки входных трехфазных обмоток одного трехфазного трансформатора последовательно подключены к входным зажимам А, В, С, а фазные обмотки входных  
20       трехфазных обмоток двух других трехфазных трансформаторов последовательно подключены соответственно к входным зажимам В, С, А и С, А, В, при этом одноименные фазные обмотки выходных трехфазных обмоток упомянутых трехфазных трансформаторов соединены последовательно в три ветви, которые объединены в  
25       схему звезда и образуют трехфазный выход.

25

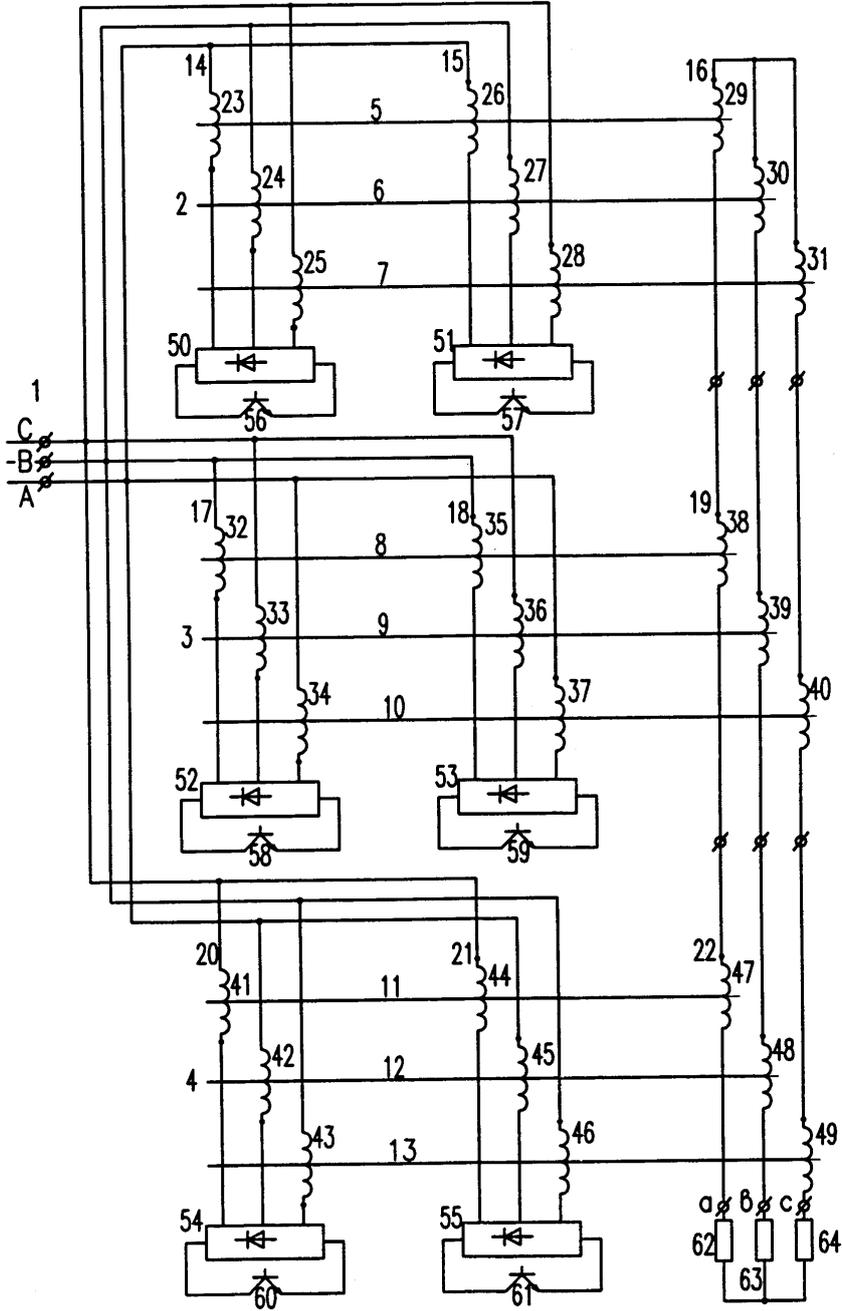
30

35

40

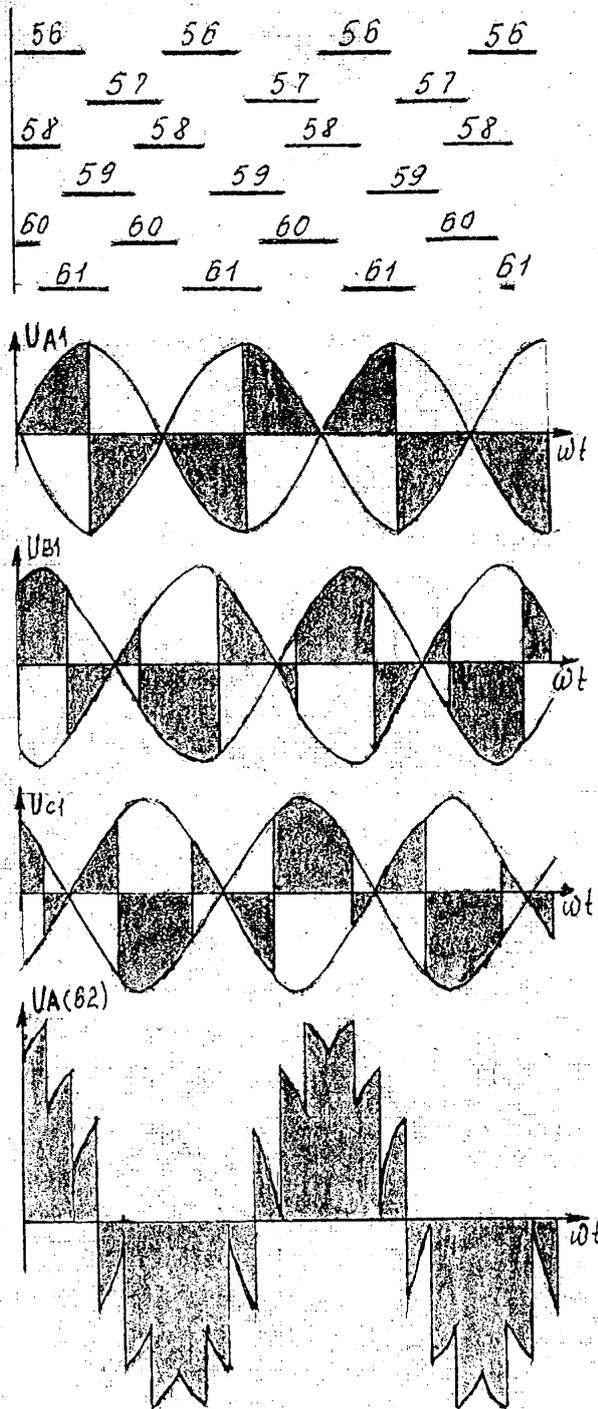
45

Трехфазно-трехфазный преобразователь частоты



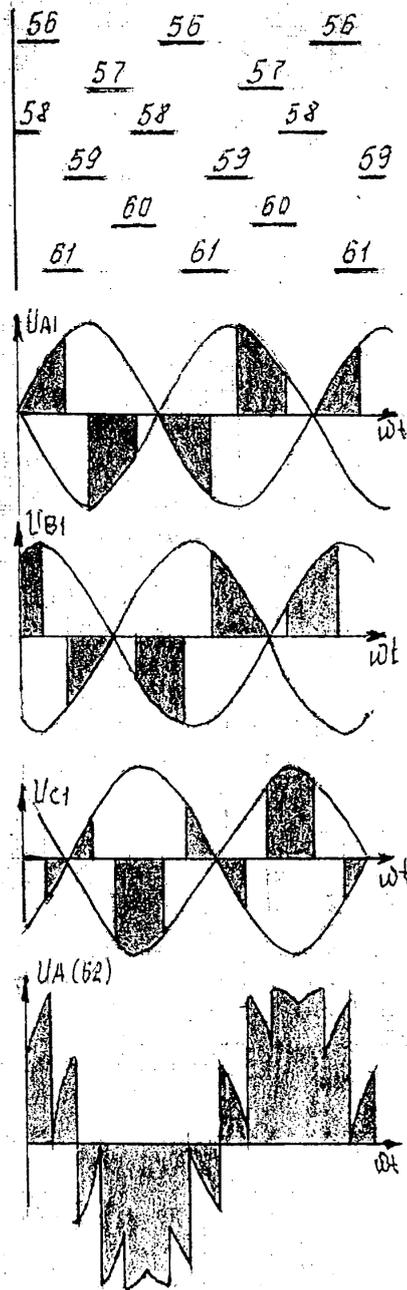
Фиг.1

Трехфазно-трехфазный преобразователь частоты

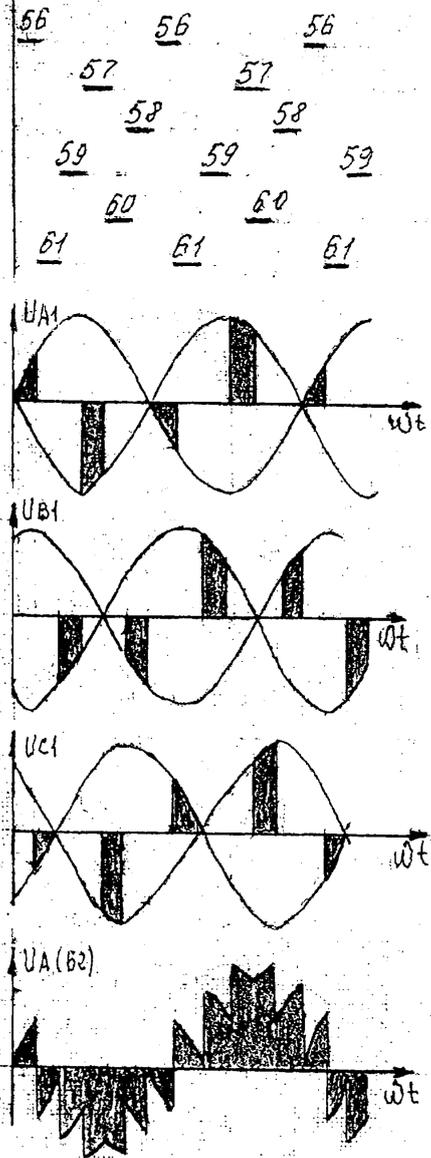


Фиг. 2

Трехфазно-трехфазный преобразователь частоты



Фиг. 3



Фиг. 4