



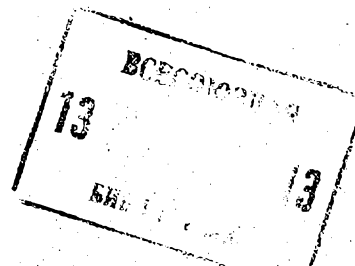
СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) **SU** (11) **1117794** **A**

3 (5D) Н 02 М 5/44

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ И АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 3589393/24-07  
(22) 12.05.83  
(46) 07.10.84. Бюл. № 37  
(72) В.Ф.Шукалов, А.Н.Тихонов,  
В.А.Иванов и Н.А.Иванова  
(71) Ленинградский институт авиаци-  
онного приборостроения  
(53) 621.314.27 (088.8)  
(56) 1. Авторское свидетельство СССР  
№ 758431, кл. Н 02 М 5/27, 1978.  
2. Авторское свидетельство СССР  
№ 782084, кл. Н 02 М 5/27, 1978.  
3. Авторское свидетельство СССР  
№ 930530, кл. Н 02 М 5/27, 1977.  
4. Попов В.И. Электромашинные  
совмещенные преобразователи частоты.  
М., "Энергия", 1980, с. 5-9.  
5. Загрядцкий В.И. и др. Введение  
в бесконтактные электромеханические  
системы повышенной частоты. Кишинев,  
Штиинца, 1975, с. 68, рис. 24 (про-  
тотип).  
(54)(57) СТАТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ  
ЧАСТОТЫ, содержащий трансформатор  
с вращающимся магнитным полем, вход-  
ная и выходная трехфазные обмотки

которого выполнены с различным чис-  
лом полюсов -  $2p_1$  и  $2p_2$  и распо-  
ложены на общем кольцевом магнитопро-  
воде по типу магнитопровода элект-  
рических машин переменного тока;  
отличающийся тем, что, с  
целью улучшения энергетических харак-  
теристик и расширения функциональных  
возможностей, в него введены много-  
фазный выпрямитель и многофазный  
полупроводниковый инвертор, выпол-  
ненные по многофазным многоблочным  
мостовым схемам, а кольцевой магни-  
топровод трансформатора дополнитель-  
но снабжен двумя многофазными обмо-  
тками, выполненными с различным чис-  
лом полюсов, причем концы одной мно-  
гофазной обмотки с числом полюсов  
 $2p_1$  подключены к входу многофазного  
выпрямителя, а концы второй много-  
фазной обмотки с числом полюсов  $2p_2$   
подключены к выходу многофазного  
полупроводникового инвертора, соеди-  
ненного своим входом постоянного то-  
ка с выходом многофазного выпрямите-  
ля.

(19) **SU** (11) **1117794** **A**

Изобретение относится к области силовой преобразовательной техники, в частности к статическим преобразователям магнитовентильного типа, в которых используется трансформатор, выполненный на магнитопроводе по типу статора электрической машины переменного тока с вращающимся магнитным полем, и может найти применение в системах электропитания в качестве вторичного источника напряжения стабильной или изменяющейся частоты с трансформаторным входом и выходом, например, для питания разнообразных потребителей, частота питания которых выше или ниже частоты промышленной сети, а также для одновременного питания потребителей постоянным током.

Известны преобразователи частоты, для которых характерным является наличие двух многообмоточных трансформаторов входной и выходной частоты, используемых для целей согласования уровней напряжений питающей сети, преобразователя и нагрузки, как разделительные, и в то же время как ферромагнитные преобразователи числа фаз для организации многофазной структуры преобразования, обеспечивающей высокое качество потребляемого тока и выходного напряжения преобразователей [1]–[3].

Наличие в этих преобразователях нескольких трансформаторов соизмеримой мощности, выполненных на магнитопроводах разных типоразмеров, приводит к увеличению массы и габаритов, повышенному расходу активных и конструкционных материалов на единицу мощности преобразователя, большой установленной мощности трансформаторного оборудования и повышению трудоемкости его изготовления.

Известны электромашинные преобразователи частоты, в которых использован принцип совмещения нескольких вращающихся магнитных полей в общем магнитопроводе. Такие совмещенные преобразователи частоты представляют собой электрическую машину, на статоре и роторе которой в общих пазах размещены разнополюсные обмотки "отдельных" машин преобразователя, между которыми взаимная индуктивная связь отсутствует.

Такое совмещение магнитных систем нескольких электрических машин в общем магнитопроводе снижает массу

и габариты преобразователя, улучшает использование активных материалов, повышает энергетические показатели и дает значительный экономический эффект [4].

Однако недостатками электромашинных совмещенных преобразователей частоты являются плохие виброакустические характеристики, износ щеток и подшипников, механические потери, пониженный коэффициент мощности требует применения емкостной компенсации. В таких преобразователях при определенных условиях одновременное действие в совмещенном магнитопроводе несколько магнитных полей может привести к возникновению значительных электромагнитных сил вибрационного характера, способных привести к нарушению нормальной работы преобразователя, возрастанию намагничивающих токов и магнитных потерь, появлению дополнительных шумов.

Наиболее близким к предлагаемому является статический ферромагнитный преобразователь частоты с вращающимся магнитным полем, содержащий общий кольцевой магнитопровод, выполненный по типу магнитопроводов машин переменного тока, в пазах которого расположены многофазные первичная и вторичная обмотки с различным числом полюсов, а на ярме магнитопровода расположена обмотка подмагничивания, питаемая от выпрямительного моста, подключенного зажимами переменного тока к концам первичной обмотки.

Принцип действия такого преобразователя, представляющего собой трансформатор с насыщенным вращающимся и постоянным магнитными полями ферромагнитным магнитопроводом, основан на выделении высших гармонических ЭДС четного или нечетного порядка во вторичных обмотках, полюсность которого кратна номеру выделяемых гармоник. Простота, компактность, надежность и относительная дешевизна отличают его от преобразователей других типов. Применение в таких преобразователях частоты совмещенных обмоток позволяет усовершенствовать их конструкцию и улучшить массогабаритные показатели устройства [5].

Однако использование в известном преобразователе частоты трансформатора с насыщенным магнитопроводом приводит к большим потерям энергии в нем, и как следствие, невысокому

входному коэффициенту мощности и КПД. Для повышения коэффициента мощности и улучшения внешней характеристики преобразователя в нем устанавливают дополнительные конденсаторы емкостной компенсации, соизмеримой с преобразователем мощности, что приводит к увеличению веса и габаритов устройства. Кроме того, вследствие незначительности амплитуды и мощности рабочей гармоники повышенной частоты тока коэффициент использования установленной мощности преобразователя является низким. В связи с этим неэффективно также использование гармоник выше третьей. Получение больших кратностей преобразования частоты возможно при каскадном соединении преобразователей, однако это усложняет устройство, приводит к увеличенному расходу активного материала, большому весу, снижению КПД. Этот преобразователь частоты невозможно использовать в широком диапазоне частот, а также при колебаниях напряжения питающей сети, что ограничивает область применения устройства.

Целью изобретения является улучшение энергетических характеристик преобразователя частоты: повышение коэффициента мощности, КПД, уменьшение установленной мощности оборудования при широком диапазоне регулирования частоты и расширение функциональных возможностей устройства при повышенных требованиях к качеству потребляемого преобразователем тока и выходного напряжения.

Для достижения поставленной цели в статический преобразователь частоты, содержащий трансформатор с вращающимся магнитным полем, входная и выходная трехфазные обмотки которого выполнены с различным числом полюсов —  $2p_1$  и  $2p_2$ , и расположены на общем кольцевом магнитопроводе по типу магнитопровода электрических машин переменного тока, введены многофазный выпрямитель и многофазный полупроводниковый инвертор, выполненные по многофазным многоблочным мостовым схемам, а кольцевой магнитопровод трансформатора дополнительно снабжен двумя многофазными обмотками, выполненными с различным числом полюсов, причем концы одной многофазной обмотки с числом полюсов  $2p_1$  подключены к входу многофаз-

ного выпрямителя, а концы второй многофазной обмотки с числом полюсов  $2p_2$  подключены к выходу многофазного полупроводникового инвертора, соединенного своим входом постоянного тока с выходом многофазного выпрямителя.

Реализация в таком преобразователе идеи магнитного совмещения трансформаторов входной и выходной частот за счет использования свойств вращающихся магнитных полей позволяет выполнить входную и выходную трехфазные разнополюсные обмотки, а также многофазные разнополюсные обмотки в пазах одного общего магнитопровода с подключением многофазных обмоток к многофазному выпрямителю и многофазному инвертору. Такой "двухчастотный" трансформатор с вращающимся магнитным полем обладает минимальными весом и габаритом, благодаря пониженному расходу активных и конструкционных материалов уменьшается установленная мощность трансформаторного оборудования. Использование "двухчастотного" трансформатора в совокупности с многофазным выпрямителем и подключенным к нему многофазным инвертором с соответствующими многофазными вентильными обмотками позволяет при высоком качестве потребляемого преобразователем тока и выходного напряжения расширить диапазон регулирования выходной частоты преобразователя при нагрузке различного характера по отношению к частоте питающей сети, достичь плавности регулирования частоты, а также одновременно питать потребителей постоянным током. Такое построение преобразователя частоты при многократном преобразовании обеспечивает более высокий КПД и меньшую установленную мощность в сравнении с известным устройством, а также высокое качество потребляемого преобразователем тока и выходного напряжения.

На фиг. 1 представлена принципиальная схема предлагаемого преобразователя частоты на примере выполнения выпрямителя и полупроводникового инвертора по эквивалентной  $n$ -фазной и  $m$ -фазной соответственно мостовой схеме; на фиг. 2 — схема пространственного расположения обмоток трансформатора для этого случая. А, В, С —

фазы входной обмотки;  $a, b, c$  - фазы выходной обмотки;  $U_1, f_1$  - напряжение и частота питающей сети переменного тока;  $U_2, f_2$  - напряжение и частота выходного напряжения преобразователя;  $n$  - число блоков многофазного выпрямителя;  $m$  - число блоков многофазного инвертора;  $A_1-A_n, B_1-B_n, C_1-C_n$  - фазы многофазной обмотки с числом полюсов  $2p_1$ ;  $a_1-a_m, b_1-b_m, c_1-c_m$  - фазы многофазной обмотки с числом полюсов  $2p_2$ .

Многофазный трансформатор 1 с вращающимся магнитным полем выполнен на одном общем кольцевом шихтованном магнитопроводе 2, в одних и тех же пазах которого размещены следующие обмотки, выполненные по типу обмоток машин переменного тока: входная трехфазная обмотка 3 с числом полюсов  $2p_1$ , выходная трехфазная обмотка 4 с числом полюсов  $2p_2$ , многофазная обмотка 5 с числом полюсов  $2p_1$  и многофазная обмотка 6 с числом полюсов  $2p_2$ . Многофазные обмотки 5 и 6 разделены на симметричные трехфазные группы, соединенные каждая звездой. Входная обмотка 3 соединена в звезду. Выводы ее фаз  $A, B, C$  являются входом преобразователя и подключены к трехфазной первичной сети переменного тока с частотой  $f_1$  и напряжением  $U_1$ . Многофазный выпрямитель 7 выполнен на основе трехфазной мостовой схемы с параллельным соединением  $n$  выпрямительных блоков и подключен своими входными выводами переменного тока к концам фаз  $A_1-A_n, B_1-B_n, C_1-C_n$  многофазной обмотки 5. Выход многофазного выпрямителя 7 соединен с входными выводами постоянного тока многофазного полупроводникового инвертора 8, который также выполнен на основе трехфазной мостовой схемы с параллельным соединением  $m$  инверторных блоков. Выходные выводы переменного тока многофазного инвертора 8 подключены к концам фаз  $a_1-a_m, b_1-b_m, c_1-c_m$  многофазной обмотки 6. Выводы фаз  $a, b, c$  выходной обмотки 4, соединенной в звезду, являются выходом преобразователя, с них снимается трехфазное напряжение  $U_2$  с частотой  $f_2$ .

Входная трехфазная обмотка 3 трансформатора и многофазная обмотка 5, как и выходная трехфазная обмотка 4 и многофазная обмотка 6, индуктивно связаны друг с другом. Между обмот-

ками 3 и 5 с числом полюсов  $2p_1$  и обмотками 4 и 6 с числом полюсов  $2p_2$  взаимная индуктивная связь отсутствует.

Преобразователь работает следующим образом.

При подключении входной обмотки 3 трансформатора к трехфазной первичной сети переменного тока с частотой  $f_1$  в кольцевом магнитопроводе 2 трансформатора образуется вращающееся  $2p_1$ -полюсное магнитное поле  $\Phi_1$ . Поскольку фазы обмотки 5 имеют индуктивную связь с полем  $\Phi_1$ , на выводах переменного тока выпрямителя 7 действует многофазная система ЭДС. Трехфазные группы обмотки 5 расположены с пространственным электрическим сдвигом на угол  $\pi/3n$  друг относительно друга (фиг. 2). На выходе многофазного выпрямителя 7 формируется постоянное напряжение  $U_d$  с малым коэффициентом пульсаций и частотой пульсаций  $G_n f_1$ , которое поступает на входные выводы многофазного инвертора 8. Вентильные мосты инвертора коммутируются с временным сдвигом  $\pi/3m$  и формируют в фазах обмотки 6 многофазную систему напряжений с частотой  $f_2$ . Результирующее вращающееся  $2p_2$ -полюсное магнитное поле  $\Phi_2$  системы токов этой обмотки наводит в индуктивно связанной с этим полем выходной обмотке 4 трехфазную систему многоступенчатых ЭДС с низким процентным содержанием высших гармоник. Таким образом, обмотки 3 и 6 создают в общем кольцевом магнитопроводе трансформатора 1 два одновременно действующих разнополюсных магнитных поля.

Совместное действие в общем магнитопроводе разнополюсных полей  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  налагает определенные условия на выбор электромагнитных нагрузок трансформатора 1.

Магнитопровод трансформатора должен быть ненасыщенный, что является одним из условий синусоидального распределения магнитных полей  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  по своим полюсным делениям и одновременно исключает проникновение входной частоты на выход преобразователя, и наоборот, а также обеспечивает высокое качество потребляемого преобразователем тока и выходного напряжения. Для этой же цели применяется многофазное построение выпрямителя и инвертора преобразователя,

поскольку при такой структуре в трансформаторе образуются круговые магнитные поля с малыми пульсациями и высокой степенью равномерности вращения. Вращение магнитных полей  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  может быть как согласным, так и встречным.

Обмотки трансформатора необходимо выполнять, устраняя взаимные индуктивные связи между разнополюсными обмотками, расположенными в общих пазах, т.е. необходимо устранить влияние поля  $\Phi_1$  2р1-полюсной обмотки 3 на 2р2-полюсные обмотки 4 и 6 и поля  $\Phi_2$  2р2-полюсной обмотки 6 на 2р1 полюсные обмотки 3 и 5. Это достигается выбором соответствующих шагов обмотки, соответствующим распределением катушечных групп в фазах, ограничением числа параллельных ветвей обмоток.

Так, например, при соотношении чисел пар полюсов обмоток  $p_2/P_1=3$  обмотка 3 и обмотка 4 трансформатора взаимноиндуктивно друг с другом не связаны, если обмотка 3 с числом полюсов 2р1 выполнена двухслойной с шагом  $y_1 = 2/3\tau_1$ , где  $\tau_1$  — полюсное деление поля  $\Phi_1$ , и соединена в одну или две параллельные ветви, а обмотка 4 с числом полюсов 2р2 выполнена однослойной или двухслойной с диаметральной шагом  $y_2 = \tau_2$ , где  $\tau_2$  — полюсное деление поля  $\Phi_2$ , и соединена в одну параллельную ветвь ( $a = 1$ ). При соотношении чисел пар полюсов обмоток  $2p/P_1=2$  обмотка 3 и обмотка 4 трансформатора взаимноиндуктивно друг с другом не связаны, если обмотка 3 с числом полюсов 2р1 выполнена однослойной или двухслойной с диаметральной шагом  $y_1 = \tau_1$ , а обмотка 4 с числом полюсов 2р2 выполнена с шагом  $y_2 = \tau_2$  и соединена в одну параллельную ветвь.

В этих случаях вредные действия электродействующих сил, наводимых в катушечных группах обмотки 3 полем  $\Phi_2$  и в катушечных группах обмотки 4 полем  $\Phi_1$ , сводятся к нулю, и эти обмотки можно соединить как звездой, так и треугольником. Такие условия устранения взаимноиндуктивных связей между двумя разнополюсными обмотками, расположенными в общем магнитопроводе, справедливы и для многофазных обмоток 5 и 6. Основным условием выбора числа пазов магнитопровода является возможность выполнения многофазных обмоток с требуемым числом полюсов.

Благодаря тому, что магнитные цепи трансформатора ненасыщены и в них практически отсутствуют воздушные зазоры, намагничивающий ток трансформатора незначителен (3–8%) и преобразователь имеет высокий коэффициент мощности на входных зажимах ( $\cos \varphi \approx 1$ ), следовательно, в нем нет необходимости в установке компенсирующих конденсаторов. Реактивный ток нагрузки преобразователя замыкается через группы обратных диодов инвертора и цепь постоянного тока без влияния на величину коэффициента мощности на входе. Внешняя характеристика этого преобразователя является более пологой, чем у известного.

При больших кратностях преобразования частоты хорошо используется установленная мощность трансформатора преобразователя. Амплитуда основной рабочей гармоники вращающегося магнитного поля  $\Phi_2$  не зависит от соотношения частот  $f_1$  и  $f_2$ . По этой же причине мощность и КПД преобразователя практически не зависят от выходной частоты. Диапазон выходной частоты преобразователя, который задается автономным многофазным инвертором 8, ограничивается только свойствами материала магнитопровода трансформатора 1.

Нормальное функционирование устройства при нагрузках различного характера обеспечивается многофазной структурой преобразования, позволяющей получить близкое к синусоидальному распределение магнитных полей  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  по полюсным делениям  $\tau_1$  и  $\tau_2$ . Преобразователь сохраняет свою работоспособность при колебаниях напряжения питающей сети.

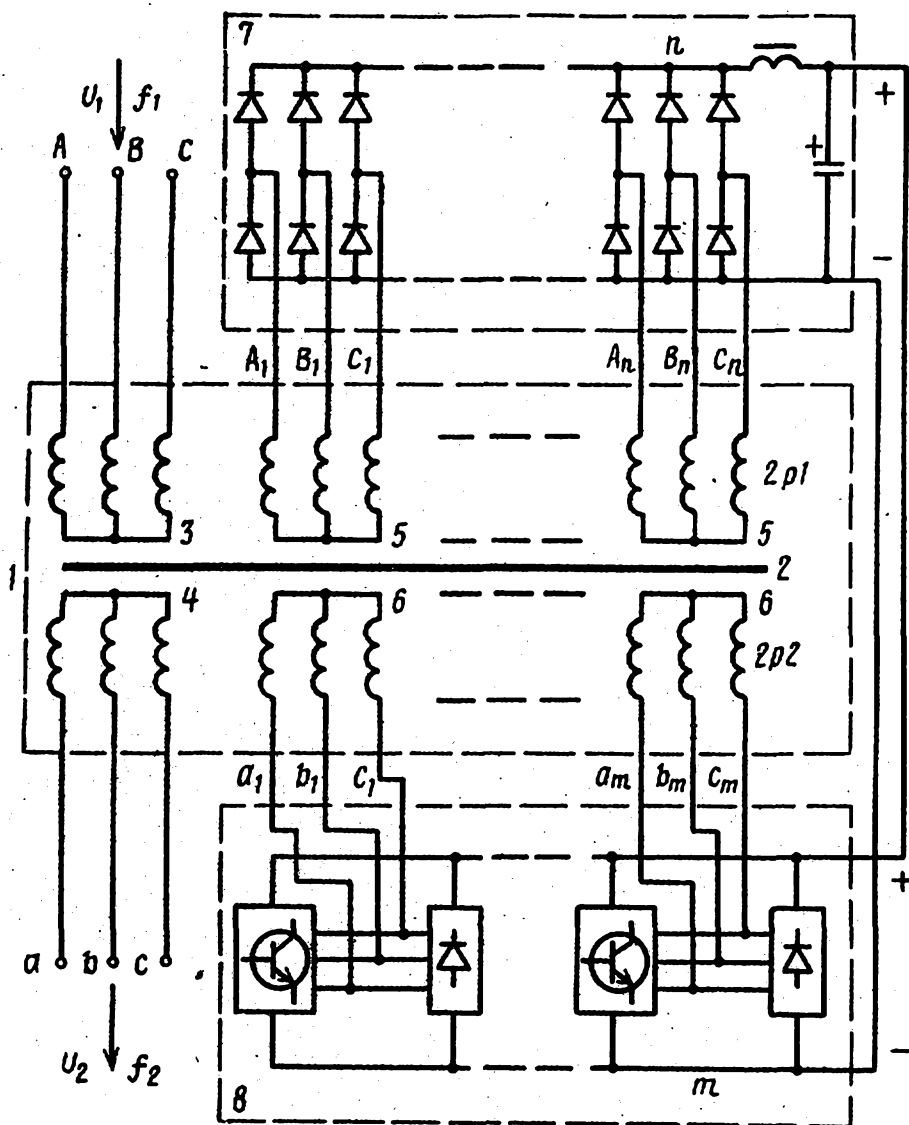
Инвертор и выпрямитель преобразователя могут быть выполнены и по другим схемам, обеспечивающим высокое качество потребляемого тока и выходного напряжения, например по резонансным или каскадным, однако это ограничит диапазон возможных нагрузок, с которыми работает данный преобразователь.

Таким образом, по сравнению с известным предложенный преобразователь частоты имеет более высокий  $\cos \varphi$  на входе, что обеспечивается отсутствием насыщенных магнитных полей в трансформаторе, низким содержанием высших гармоник в разнополюсных вращающихся полях и отводом реактивного тока через обратные диоды инвертора.

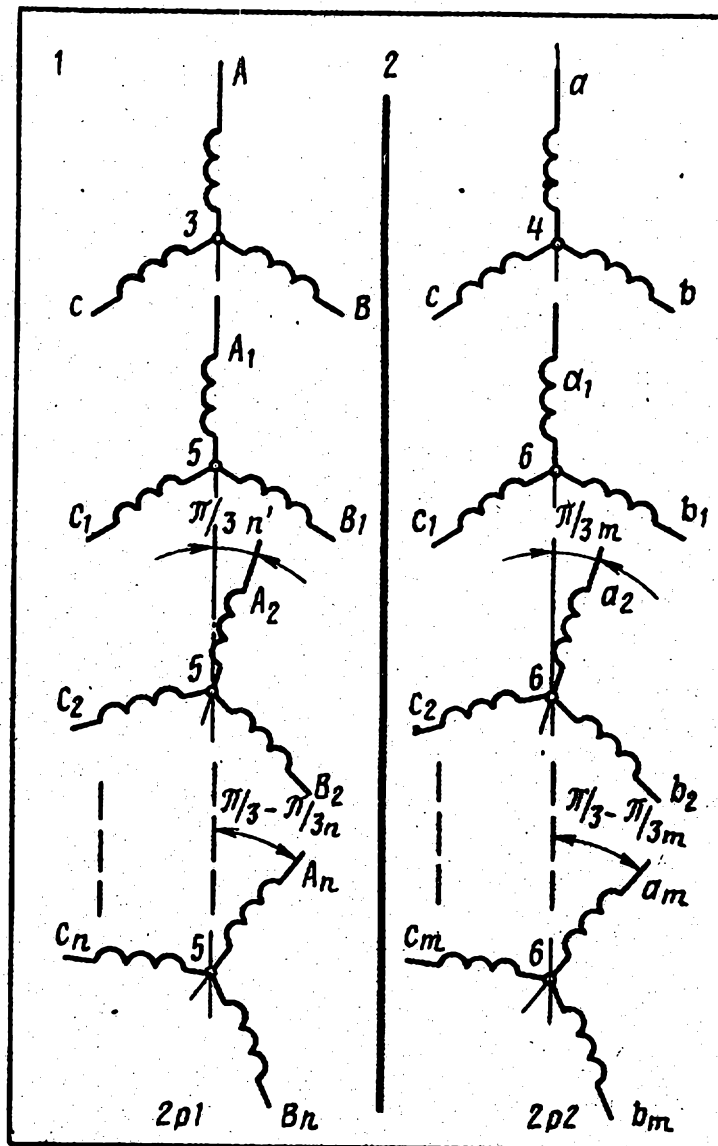
При выходной мощности 4 кВт преобразователь имеет на входных зажимах  $\cos \varphi = 0,95$  (у известного  $\cos \varphi = 0,2-0,4$ , что требует установки конденсаторов емкостью 200 мкФ).

Предложенное устройство преобразует промышленную частоту 50 Гц в повышенную частоту в диапазоне 400-

1500 Гц при КПД не менее 78% и массе преобразователя 115 кг и допускает регулирование частоты и величины выходного напряжения. В известном устройстве возможно получение только удвоенной (100 Гц) или утроенной (150 Гц) частоты при КПД 62-75%, массе 185 кг и выходной мощности преобразователя 4,5-6,2 кВт.



Фиг.1



Фиг. 2

Составитель Г. Мьцьк  
 Редактор Т. Кургышева Техред Л. Коцюбняк Корректор Е. Сирохман

Заказ 7273/41 Тираж 666 Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР  
 по делам изобретений и открытий  
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ИПИ "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4