

A. M. Repin. AC-to-DC bridge ventil converter. / А. М. Репин. Мостовой преобразователь переменных напряжений в постоянное. // Гос. Ком. Изобр. Откр. (ГКИО СССР). Авт.Свид.Из. (АСИ СССР). № SU 1035755. БИ. № 12. 15.8.1983. Заявл. 3.7.1981. № 3311053/24-07. МПК H02M7/08.

Анонс. Впервые при авторском дизайне и с АСИ публикуется описание данного изобретения. Но качество, ошибки в сканкопиях описания не исправлены. По ясным причинам.



СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 1035755

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР, Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий выдал настоящее авторское свидетельство на изобретение:
"Мостовой преобразователь переменных напряжений в постоянное"

Автор (авторы): Репин Аркадий Михайлович

Заявитель:

Заявка № 3311053 Приоритет изобретения 3 июля 1981г.
Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР

15 апреля 1983г.
Действие авторского свидетельства распространяется на всю территорию Союза ССР.

Председатель Комитета

Начальник отдела



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

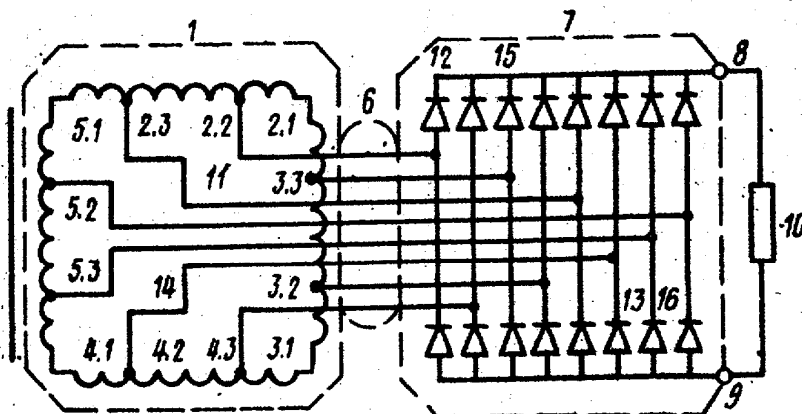
ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

- (21) 3311053/24-07
 (22) 03.07.81
 (46) 15.08.83. Бюл. № 30
 (72) А.М.Репин
 (53) 621.314.6(088.8)
 (56) 1. Авторское свидетельство СССР № 598198, кл. Н 02 М 7/06, 1978.
 2. Авторское свидетельство СССР № 743140, кл. Н 02 М 7/06, 1980.
 3. Авторское свидетельство СССР № 743141, кл. Н 02 М 7/06, 1980.
 4. Авторское свидетельство СССР по заявке № 2938434, кл. Н 02 М 7/06, 1980.

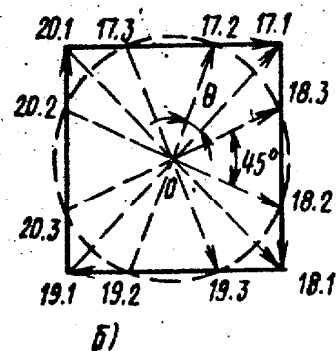
(54) (57) 1. МОСТОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОСТОЯННОЕ с n -кратной частотой пульсации, содержащий M_n исходных источников фазосдвинутых ЭДС при числе $M_n \geq 1$, формируемых, например, на разделенных на секции вентильных обмотках трансформатора, автотрансформатора, электрической машины, сфазирован-

ных генераторов, которые соединены между собой последовательно и топологически образуют правильный замкнутый Γ -гранник с числом граней $\Gamma = 2k$, где $k = 2, 3, \dots$, и $V_n = 2\Gamma$ вентилялей, соединенных в L_n -ячейковый вентильный мост, выводы которого по переменному току подключены посредством $L_n = \Gamma$ линий к Γ -граннику, а выводы по постоянному току являются выходами устройства, отличающийся тем, что, с целью снижения уровня пульсации выходного напряжения, каждая секция вентильных обмоток снабжена двумя отводами, к которым подключены L_n исходных и $L'_n = L_n$ дополнительных введенных линий, причем последние подключены к дополнительно введенным $V' = 2L'_n$ вентилям, собранным в L'_n -ячейковый вентильный мост, который по цепи постоянного тока соединен параллельно однополярно с исходным мостом и совместно с ним образует $L' = 2L_n$ -ячейковый вентильный мост.



а) $\Gamma = 4, M_n = 2, L = 8, M_d = 4, P = 8, K = 0,293$

Фиг. 1



б)

(19) **SU** (11) **1035755** **A**

2. Преобразователь по п. 1, отличающийся тем, что, с целью удвоения кратности частоты пульсации выходного напряжения, каждый введенный отвод равноудален от ближнего к нему края секции вентильной об-

мотки, причем с числом витков (K) от края, равным $0,25/\cos^2 \theta$ относительно общего числа витков секции, где $Q = \pi/\pi$ - полпериода огибающей выходного напряжения; $\Pi = 2\Gamma = 2\Pi_{\Pi}$ - кратность частоты пульсации.

1

Изобретение относится к электротехнике, в частности к преобразовательной технике, и может быть использовано в качестве источника электропитания постоянного тока с повышенной кратностью частоты пульсации.

Известны мостовые преобразователи трехфазного переменного тока в постоянный с Π -кратной частотой пульсации, содержащие силовой трехфазный трансформатор, снабженный одной основной (центральной) вторичной (схемной) обмоткой, соединенной в звезду, и рядом подключенных соответствующим образом к ее свободным концам дополнительных и вспомогательных секций схемных обмоток с отводами. Соединенные обмотки топологически образуют незамкнутый многоугольник, к которому посредством Π линий подключен Π -ячейковый вентильный мост. Выход его по постоянному току является выходом преобразователя.

Достоинством известных преобразователей является возможность построения на одном трехфазном трансформаторе схемной структуры, обеспечивающей теоретически любую частотную кратность пульсации [1]-[3].

Однако снижение уровня и повышение частоты пульсации достигается путем введения большого числа вспомогательных обмоток и отводов от них при большом разнообразии чисел их витков, что значительно усложняет схему и конструкцию преобразователей и является существенным их недостатком. К числу недостатков относятся также большое число витков силовых (схемных) обмоток, обусловленное тем, что при больших значениях Π центральная трехфазная обмотка дублирует остальные части обмоток, топологически включенные параллельно ос-

2

новной, в связи с чем является практически лишней, и, как следствие этого, значительный расход активных материалов (меди, стали, алюминия и пр.) в таком доминирующем по весу и габаритам функциональном устройстве преобразователей, каким является силовой трансформатор; сложность схемных соединений, конструкции и технологии изготовления; существенно пониженная (по отношению к теоретически ожидаемой) частота пульсации выходного напряжения и повышенный ее уровень из-за сильного проявления асимметрии, приводящая к увеличению массы и объема сглаживающих фильтров. Следствием всего являются повышенные потери энергии, сравнительно низкие КПД и надежность, повышенная стоимость.

Наиболее близким к предлагаемому является мостовой преобразователь переменных напряжений в постоянное с Π_{Π} -кратной частотой пульсации, содержащий M_{Π} исходных источников преобразуемых ЭДС, формируемых, например, на разделенных на секции схемных обмотках преобразовательного трансформатора, электрической машины, которые соединены между собой последовательно согласно и топологически образуют правильный замкнутый многоугольник (Γ -гранник) и $V_{\Pi} = 2\Gamma$ вентилей, собранных в Π_{Π} -ячейковый вентильный мост, выводы которого по переменному току подключены посредством $\Pi_{\Pi} = \Gamma$ линий к Γ -граннику, а выводы по постоянному току являются выходными выводами преобразователя [4].

Недостатком известного устройства является относительно небольшое [равное $M_{\Pi} = [3 - (-1)^{\Gamma}] \Gamma / 4$] число формируемых им диагональных ЭДС, как следствие, сравнительно высокий уровень

и относительно низкая (равная $P_H=0,5 [3-(-1)^n]G$) кратность частоты пульсации переменной составляющей выходного напряжения.

Цель изобретения - снижение уровня пульсации выходного напряжения, а также удвоение ее частоты.

Эта цель достигается тем, что в мостовом преобразователе переменных напряжений в постоянное с P_H -кратной частотой пульсации, содержащем M_H исходных источников фазосдвинутых ЭДС при числе $M_H > 1$, формируемых, например, на разделенных на секции вентильных обмотках трансформатора, автотрансформатора, электрической машины, сфазированных генераторов, которые соединены между собой последовательно и топологически образуют правильный замкнутый G -гранник с числом граней $G=2k$, где $k=2,3,\dots$, и $V_H=2G$ вентилях, соединенных в L_H -ячейковый вентильный мост, выводы которого по переменному току подключены посредством $L_H=G$ линий к G -граннику, а выводы по постоянному току являются выходами устройства, каждая секция вентильных обмоток снабжена двумя отводами, к которым подключены L_H исходных и $L'=L_H$ дополнительных введенных линий, причем последние подключены к дополнительно введенным $V'=2L_H$ вентилям, собранным в L' -ячейковый вентильный мост, который по цепи постоянного тока соединен параллельно однополярно с исходным мостом и совместно с ним образует $L'=2L_H$ -ячейковый вентильный мост.

Кроме того, каждый введенный отвод равноудален от ближнего к нему края секции вентильной обмотки, причем с числом витков K от края, равным $0,25/\cos^2 Q$ относительно общего числа витков секции, где $Q=\pi/P$ - полупериода огибающей выходного напряжения; $P=2G=2P_H$ - кратность частоты пульсации.

На фиг. 1а приведена принципиальная схема 8-ячейкового мостового преобразователя, построенного на основе 4-гранника; на фиг. 1б - соответствующая ему векторная диаграмма формирования диагональных ЭДС, образующих выходное напряжение; на фиг. 2 и 3 - примеры реализации устройства, построенного на основе 6- и 12-гранников.

Мостовой преобразователь (фиг. 1) содержит $M_H=2$ исходных источников

переменных ЭДС, сдвинутых по фазе относительно друг друга на 90 эл.град. (ортогонально). Эти ортогональные ЭДС формируются на двух схемных обмотках 1 преобразовательного трансформатора (сетевые обмотки его на фиг. 1 не показаны) или обмотках 1 электрической машины.

Каждая из двух обмоток разделена на две секции: 2.1; 3.1; 4.1; 5.1, которые, будучи соединенными между собой последовательно, топологически образуют правильный замкнутый G -гранник. Секции 2.1; 3.1; 4.1; 5.1 имеют по два отвода (2.2; 2.3; 3.2; 3.3; 4.2; 4.3; 5.2; 5.3), которые посредством L линий ($L=8$) подключены к L -ячейковому вентильному мосту 7, к выходам 8 и 9 которого по постоянному току, являющимся выходами преобразователя, подключена нагрузка 10. При этом каждый отвод выполнен, в частности, с числом витков от ближнего к отводу края соответствующей секции равным $0,25/\cos^2 Q$ от общего числа витков секции, где $Q=\pi/2G=180^\circ/8=22,5^\circ$ - полупериода огибающей выходного напряжения.

Линия 11 соединена с анодом вентиля 12, катод вентиля 13 - с линией 14.

Вентили 15 и 16 входят в вентильный мост 7.

На фиг. 1б векторы 17.1-20.3 поясняют работу устройства, которая осуществляется следующим образом.

Две исходные ортогональные ЭДС, поделенные каждая на две секции и соединенные в правильный замкнутый 4-гранник (в квадрат) формируют две диагональные ЭДС - векторы 17.1-19.1; 18.1-20.1 ($M_H=[3-(-1)^4] \cdot 4/4=2$). При работе этих ЭДС на 4-ячейковый вентильный мост на его выходе формируется пульсирующее незначающее напряжение U_H с амплитудой S_{0qH} , равной модулю вектора диагональной ЭДС (дэдс) 17.1-19.1.

Кратность частоты пульсации при этом составляет $P_H=[3-(-1)^4] \cdot 4/2=4$, а ее уровень равен

$$\Delta U_H = (U_{H\max} - U_{H\min}) / U_{H\max} = \\ = 1 - \cos 2\theta_H = 1 - \cos 45^\circ = 0,293$$

относительно S_{0qH} . Этот уровень относительно среднего значения U_0 выходного напряжения U_0 (коэффициент пульсации K_d) составляет $Qtg(Q/2)=$

$\approx 32,5\%$. Фазовый сдвиг ДЭДС равен $360^\circ/4=90^\circ$.

При подключении 8-ячейкового вентильного моста к отводам 2.2; 2.3; 3.2; 3.3; 4.2; 4.3; 5.2; 5.3 схемных обмоток 1 на нагрузке 10 формируется пульсирующее незнакопеременное напряжение U_{10} , образуемое новыми диагональными ЭДС - векторами 17.2-19.2; 18.3-20.3; 18.2-20.2; 19.3-17.3. Эти ДЭДС сдвинуты по фазе относительно друг друга на определенный угол, зависящий от числа витков отводов относительно общего числа витков секции. При амплитудно-фазовой симметрии ЭДС этот угол равен $2Q=2\pi/P=2\pi/2\Gamma=180^\circ/4=45^\circ$. Амплитуда выходного напряжения U_{10} равна в пределах этого угла модулю вектора соответствующей ДЭДС.

Каждая ДЭДС имеет частоту, совпадающую с частотой преобразуемых ЭДС, и приложена (фиг. 1а) между анодом соответствующего вентиля катодной группы моста 7 и катодом вентиля его анодной группы, причем эти вентили принадлежат разным вентилям ячейкам.

Открывается та пара вентилях этих групп, ДЭДС которых имеет в данный момент наибольшее значение. Например, в момент времени, соответствующий действию вектора 17.2-19.2, на фазовой плоскости векторной диаграммы (фиг. 1б) наибольшее значение имеет проекция векторы ДЭДС 17.2-19.2.

При открытых вентилях образуется замкнутый контур прохождения тока через нагрузку, а на остальных вентилях моста 7 создается напряжение обратной полярности (плюс на катоде и минус на аноде), в связи с чем эти вентили оказываются закрытыми. Затем вступает в действие другая ДЭДС, значение которой становится в данный момент наибольшим относительно выходов 8 и 9 преобразователя. Происходит циклическая смена контуров токопрохождения и содержащихся в них элементов. В рассматриваемой схемной реализации устройства таких контуров за период любой из ЭДС (преобразуемой или диагональной) восемь. Их число определяет число пульсаций выходного напряжения за период ЭДС (при амплитудно-фазовой

симметрии ДЭДС - кратность частоты пульсации).

Пользуясь векторной диаграммой фиг. 1б и/или схемой фиг. 1а, можно достаточно просто проследить пути тока нагрузки по различным контурам, выявить их число, определить форму токов и напряжений на элементах схемы, в том числе векторную и линейную временную диаграммы выходного напряжения.

Так, например, под действием ДЭДС вектора 17.2-19.2 ток через нагрузку 10 протекает по следующему контуру (фиг. 1а): отвод 2.2, линия 11, вентиль 12, выход 8, нагрузка 10, выход 9, вентиль 13, линия 14, отвод 4.2.

От отвода 4.2 ток нагрузки разветвляется по двум параллельным, с равными сопротивлениями цепям, одна из которых содержит часть секции 4.1, секцию 5.1, часть секции 2.1, другая - часть секции 4.1, секцию 3.1, часть секции 2.1.

Таким образом, благодаря замкнутому соединению обмоток в симметричный многоугольник, протекающий через них ток в данный момент меньше тока нагрузки, что важно при относительно повышенных значениях его. Равенство сопротивлений параллельных цепей (в отличие, например, от неравенства сопротивлений в соединении обмоток в треугольник), а также сравнительно малое число частей обмоток, их полная одинаковость и простота соединения обеспечивают по сравнению с известными преобразователями (1-3) более высокую симметрию пульсации выходного напряжения, улучшают массо-габаритные и стоимостные показатели сглаживающего фильтра и технологичность изготовления устройства.

Через время, равное в угловых единицах $Q=\pi/2\Gamma=\pi/8=22,5$ эл.град, значение диагональной ЭДС вектора 17.2-19.2 становится меньше значения ДЭДС вектора 18.3-20.3, и вентили 12 и 13 закрываются, вентили 15 и 16 открываются. Ток нагрузки проходит по контуру: отвод 3.3 - вентиль 15 - выход 8 - нагрузка 10 - выход 9 - вентиль 16 - отвод 5.3.

Далее процессы повторяются с циклическим изменением контуров токопрохождения и относящихся к ним обмоток и вентилях.

Как видно из фиг. 16, число диагональных ЭДС, определяющих частоту пульсации выходного напряжения, равно четырем ($M\alpha = \Gamma = 4$), что в два раза больше, чем в прототипе. Соответственно, кратность P частоты пульсации также удваивается ($P = 2M\alpha = 2\Gamma = 8 > P_{\text{пр}} = 4$). Последнее достигается при условии, если отводы равно удалены от ближних к ним краев секций, причем с числом витков (K), равным $0,25/\cos^2 Q = 1/(2\sqrt{2}) = 0,293$ относительно общего числа витков секции. Это число витков отводов определяется согласно теореме синусов из векторного треугольника фиг. 16. Отсюда получаем $\theta = 22,5^\circ$. Следовательно, $P = \pi/\theta = 180/22,5 = 8$, что и доказывает удвоение частоты пульсации.

Уровень пульсации в схемной реализации (фиг. 1а) составляет $\Delta U_{\text{р}} = 1 - \cos Q = 1 - \cos 22,5^\circ = 0,076$, коэффициент пульсации $K_{\text{п}}$ равен 7,81%, что примерно в 4 раза меньше уровня 0,293 и соответственно 32,5%, свойственного прототипу.

При этом положительный эффект достигается без введения большого числа дополнительных и вспомогательных обмоток силового трансформатора при значительном разнообразии их чисел витков, как это требуется в известных устройствах [1]–[3]. Следовательно, по отношению к последним со свойственной им схемно-конструкторско-технологической сложностью и плохими массо-габаритными показателями сглаживающих фильтров вследствие сильного проявления низкочастотной модуляции выходного напряжения, данное техническое решение является во всех отношениях значительно более простым.

При другом числе исходных преобразуемых ЭДС, линий и граней ($M_{\text{и}}, L, \Gamma$) схемные реализации мостового преобразователя с пониженным уровнем и удвоенной частотой пульсации по сравнению с прототипом осуществляются аналогично.

На фиг. 2а, 3а топологически изображены схемные структуры преобразователей, в которых секции преобразуемых переменных ЭДС соединены соответственно в 6- и 12-гранник. Векторные диаграммы для них, показывающие (подобно диаграмме (фиг. 16) формирование диагональных ЭДС в фазовой плоскости, даны на фиг. 2б, 3б.

Из фиг. 2 и 3 видно, что кратность частоты пульсации в этих реализациях при числе витков отводов равно, соответственно, $1/(2+\sqrt{3}) = 0,268$ и $0,254$ относительно числа витков секции составляет 12 и 24, что в 2 раза выше, чем в прототипе. Коэффициент пульсации в том и другом случаях уменьшен примерно в 4 раза. Масса, объем и стоимость устанавливаемых в этом случае сглаживающих фильтров снижаются в единицы раз.

Например, требуемое при проектировании производство $L \cdot C$ для разрабатываемого индуктивно-емкостного Γ -образного фильтра снижается примерно в $(P/P_{\text{пр}})^4$ раз или, при $P/P_{\text{пр}} = 2$, примерно в 16 раз, что также является преимуществом устройства.

Кроме того, повышение частотной кратности пульсации повышает качество потребляемой и транспортируемой энергии, снижая уровень нежелательных гармоник в спектрах выходного напряжения и входного тока. В частности, форма последнего при наличии сглаживающих фильтров индуктивного характера (когда в качестве первого элемента фильтра в его продольной ветви установлен дроссель) от резко ступенчатой приближается к синусоидальной. Синусоидальная форма потребляемого тока является, как известно, наиболее выгодной при преимущественно синусоидальной форме питающих напряжений, поскольку более просто снижает уровень сетевых промышленных помех и оптимально обеспечивает наилучший коэффициент искажения и коэффициент использования мощности первичного источника энергии.

Так, например, вентиляльный преобразователь с 12-кратной частотой пульсации и фильтром индуктивного характера, основанный на сочетании двух фазосдвинутых 6-фазных схем, имеет коэффициент мощности, равный примерно 0,91–0,958, против 0,88–0,915 для преобразователя с 6-кратной частотой пульсации. Несмотря на кажущуюся процентную незначительность такого повышения, оно имеет существенное значение, особенно в автономных (например, на подвижных объектах) системах с мощностью, соизмеримой с мощностью потребителя, или в сравнительно мощных энергосистемах.

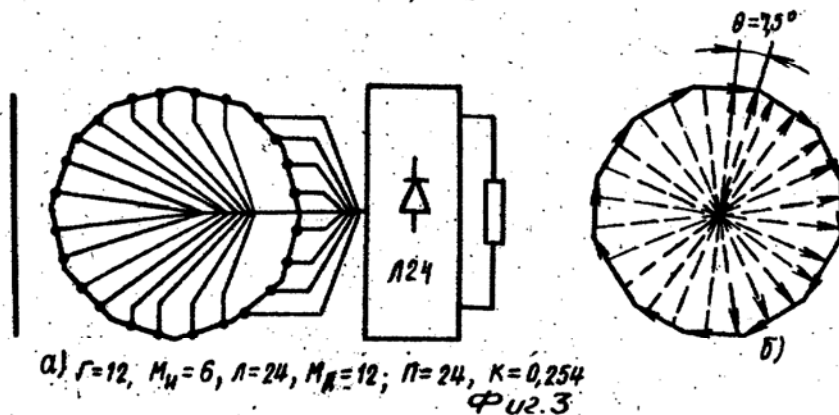
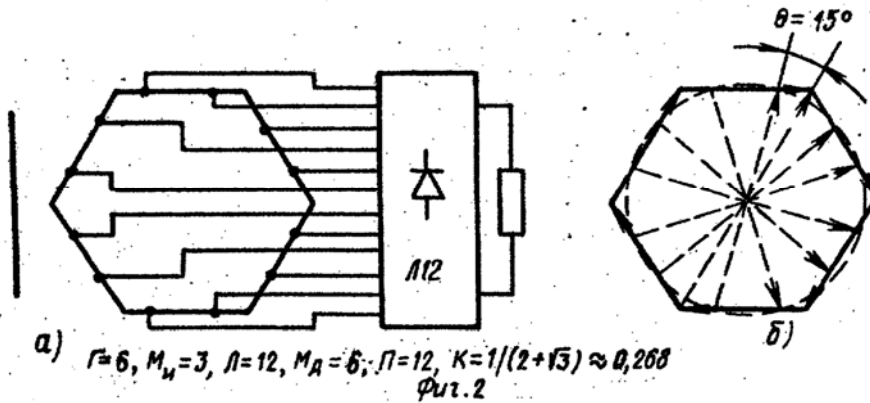
Переход от преобразователей с низкой частотной кратностью пульсации на преобразователи с повышенной частотой в ряде случаев не требует увеличения капиталовложения, но приводит к снижению эксплуатационных расходов. Экономическая эффективность повышения коэффициента мощности обусловлена снижением потерь энергии в питающей энергосистеме за счет уменьшения потоков реактивной мощности, что особенно полезно для упомянутых выше систем. Так, например, внедрение преобразователей с 12-кратной частотой пульсации вместо преобразователей с 6-кратной частотой на тяговых подстанциях железнодорожного транспорта одного из сибирских регионов обеспечило, по подсчетам специалистов, экономию электроэнергии около 500-600 МВт·ч в год на каждой из них, что имеет исключительно важное народнохозяйственное значение, особенно в условиях намечающегося кризиса энергоресурсов.

Таким образом, в соответствии с изобретением реализуется мостовой преобразователь переменных напряже-

ний в постоянное, в котором достигается снижение уровня пульсации выходного напряжения, а также удвоение ее частоты, что применительно к схемным структурам вентильных преобразователей энергии, основанных на схемно-топологическом построении источников преобразуемых ЭДС по типу "Правильный многогранник", обеспечивает решение важных современных задач в области электропитания по улучшению качества передаваемой и потребляемой энергии, снижению уровня индустриальных помех, экономии энергии первичных источников, улучшению массо-габаритных показателей сглаживающих фильтров и преобразователя в целом.

При этом положительный эффект достигается без усложнения схемной топологии соединения источников преобразуемых ЭДС и, следовательно, без сопутствующего этому ухудшения коэффициента полезного действия, надежности, массы и объема.

Все это обеспечивает предлагаемому преобразователю соответствующий технико-экономический эффект и практическую полезность применения.



Редактор М.Петрова Составитель Е.Мельникова Корректор А.Дзятко
 Техред А.Бабинец
 Заказ 5851/57 Тираж 687 Подписное
 ВНИПИ Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5
 Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4