

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В.В. Алмазов, Л.Н. Кирьян, А.А. Мушлян

*В статье предложены функциональные схемы преобразователей частоты с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками с промежуточным звеном постоянного тока, выполненного с использованием резонансного инвертора, и непосредственного преобразователя частоты, выполненного на реверсивном выпрямителе.*

*Ключевые слова: автономная система электроснабжения, преобразователь частоты, резонансный инвертор, трансформатор с вращающимся магнитным полем, реверсивные выпрямитель.*

Как известно, ПЧ называется электротехническое устройство, преобразующее электроэнергию переменного тока одной частоты в электроэнергию переменного тока другой частоты.

В автономных системах электроснабжения (АСЭ) нашли применение два типа преобразователей частоты (ПЧ) с промежуточным звеном постоянного тока и непосредственные преобразователи частоты (НПЧ), выполненные на базе силовых полупроводниковых приборов. Такие преобразователи, в сравнении с электромашинными, имеют улучшенные эксплуатационно-технические характеристики [1].

ПЧ могут применяться как для повышения, так и для понижения частоты тока генерируемого автономным источником электроэнергии. И в первом и во втором случаях они способны выполнять две функции: стабилизировать напряжение и частоту тока. Кроме того, эти две функции система управления ПЧ выполняет независимо друг от друга [1].

Преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока за счет двойного преобразования электроэнергии (преобразуют переменный ток в постоянный, а затем преобразуют постоянный в переменный ток, требуемой частоты) имеют низкие значения КПД, повышенную массу и габариты в сравнении с НПЧ.

НПЧ осуществляют непосредственную связь питающей сети и цепей нагрузки и в свою очередь подразделяются на НПЧ с естественной коммутацией тиристоров (под воздействием напряжения питающей сети) и НПЧ с искусственной (принудительной) коммутацией тиристоров.

НПЧ состоят главным образом из статических ключей, соединяющих входные и выходные выводы. Управление ключами произ-

водится таким образом, чтобы из отрезков кривой входного напряжения составляется кривая выходного напряжения с желаемой основной гармоникой.

НПЧ, в сравнении с преобразователем с промежуточным звеном постоянного тока, кроме того, имеют следующие преимущества: высокая надежность работы и перегрузочная способность; обладают возможностью независимого плавного регулирования частоты и напряжения, высоким быстродействием, малым временем переходных процессов и обладают способностью пропускать энергию в обоих направлениях.

Однако, основными недостатками двух типов ПЧ являются высокий уровень электромагнитных помех, создаваемых силовыми полупроводниковыми ключами, которые могут приводить к сбоям в работе собственных систем стабилизации параметров электроэнергии и защиты, а также относительно низкие показатели надежности и КПД.

Одно из направлений, позволяющее уменьшить уровень электромагнитных помех и улучшить показатели надежности и КПД ПЧ является уменьшение силовых полупроводниковых приборов. Это может быть достигнуто за счет принципиально новых подходов в структурных решениях таких преобразователей.

Одним из перспективных направлений решения задачи уменьшения уровня электромагнитных помех, а также улучшения технических характеристик ПЧ может быть решено за счет применения в их составе трансформаторов с вращающимся магнитным полем (ТВМП) [2].

В статье предлагаются новые технические решения ПЧ с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками, выполненные на базе резонансных инверторов,

трансформаторов с вращающимся магнитным полем и реверсивных выпрямителей.

На рисунке 1 представлена принципиальная электрическая схема трехфазного преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока, где трехфазная система напряжений получается за счет применения однофазно-трехфазного ТВМП. Преобразователь содержит трехфазную мостовую схему неуправляемого выпрямителя *В*, резонансный инвертор *И*, выполненный на транзисторах  $VT_1$  и  $VT_2$ , конденсатор инвертора  $C_1$ , систему управления инвертором *СУ*, однофазно-трехфазный трансформатор с вращающимся магнитным полем *ТВМП*, содержит две первичные обмотки  $W_{11}$  и  $W_{12}$ , фазосдвигающий конденсатор  $C_2$  и три вторичные обмотки  $W_{21} - W_{23}$ . На рисунке 1 показаны выводы  $A_1, B_1$  и  $C_1$  для подключения источника напряжения с частотой  $f_1$  и выводы  $A_2, B_2$  и  $C_2$  для подключения нагрузки с частотой напряжения  $f_2$ .

Преобразователь частоты работает следующим образом.

Трехфазное напряжение источника электроэнергии повышенной частоты  $f_1$  выпрямителем *В* преобразуется в напряжение постоянного тока, которое затем поступает на вход резонансного инвертора *И*. Инвертор *И* преобразует постоянный ток в переменный следующим образом. К примеру, в исходном состоянии конденсатор инвертора  $C_1$  разряжен. Для формирования положительной полуволны напряжения в первичных обмотках  $W_{11}$  и  $W_{12}$  трансформатора с вращающимся магнитным полем *ТВМП* система управления инвертором *СУ* подает управляющие импуль-

сы на транзистор  $VT_1$ , он открывается, и конденсатор инвертора  $C_1$  начинает заряжаться таким образом, что его выводы будут иметь потенциалы, указанные знаками на рисунке 1.

Ток заряда конденсатора инвертора  $C_1$  будет протекать через первичные обмотки  $W_{11}$  и  $W_{12}$  трансформатора с вращающимся магнитным полем *ТВМП* и фазосдвигающий конденсатор  $C_2$ . Для формирования отрицательной полуволны напряжения в первичных обмотках трансформатора система управления инвертором *СУ* закрывает транзистор  $VT_1$  и открывает транзистор  $VT_2$ . В этом случае конденсатор резонансного инвертора *И* является источником питания для нагрузки, и его ток разряда будет протекать по первичным обмоткам трансформатора *ТВМП* и фазосдвигающий конденсатор  $C_2$  в обратном направлении. Таким образом, по первичным обмоткам  $W_{11}$  и  $W_{12}$  трансформатора протекает переменный ток, что приводит к появлению переменного магнитного потока в тороидальной части магнитопровода трансформатора. Поскольку первая  $W_{11}$  и вторая  $W_{12}$  первичные обмотки трансформатора смещены в пространстве одна относительно другой на угол  $90^\circ$  и подключены между собой через фазосдвигающий конденсатор  $C_2$ , то в магнитопроводе трансформатора образуется вращающееся магнитное поле, вызывающее действие ЭДС во вторичных обмотках. Вторичные обмотки  $W_{21} - W_{23}$  трансформатора сдвинуты одна относительно другой на угол  $120^\circ$ , поэтому на выводах  $A_2, B_2$  и  $C_2$  преобразователя формируется симметричная трехфазная система напряжений переменного тока [2].

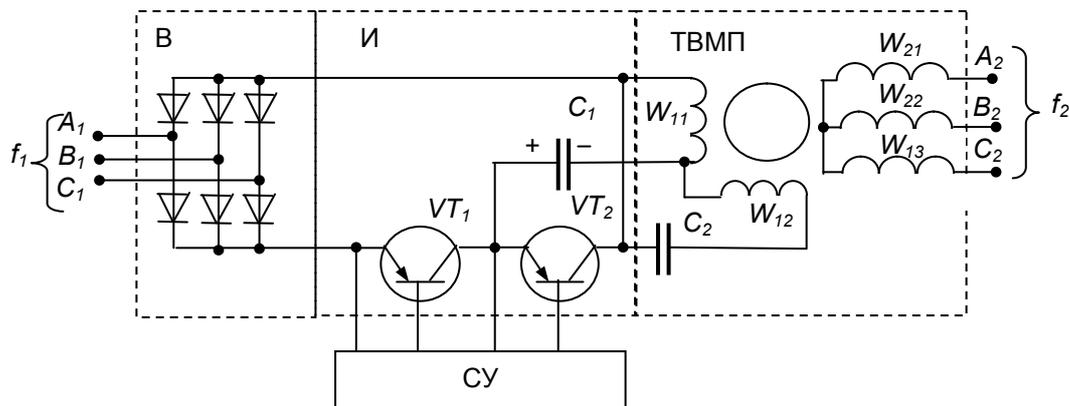


Рисунок 1 – Функциональная схема преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока, выполненного на резонансном инверторе и однофазно-трехфазном трансформаторе с вращающимся магнитным полем

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

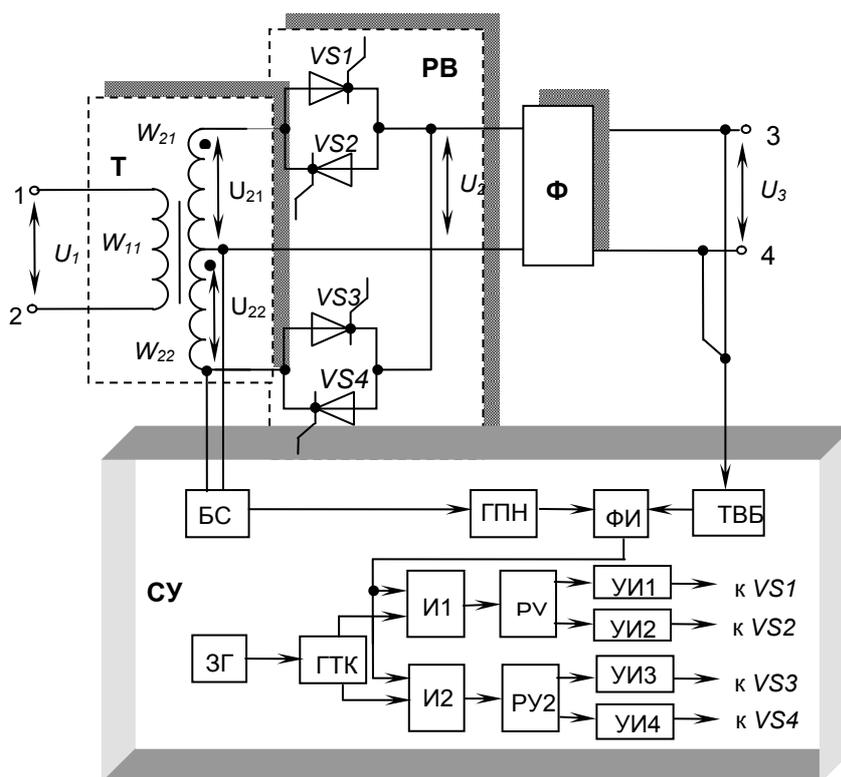


Рисунок 2 – Функциональная схема преобразователя частоты на реверсивном выпрямителе

Частота выходного напряжения ПЧ определяется частотой коммутации транзисторов  $VT_1$  и  $VT_2$ , а стабилизация напряжения осуществляется за счет изменения времени их открытого состояния.

Применение в конструкции ПЧ резонансного инвертора экономически целесообразно при мощностях преобразователя не превышающих 1 кВт. При больших значениях мощности ПЧ необходимо применять классические однофазные схемы инверторов, в том числе мостовую.

Таким образом, использование в составе ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока трехфазной мостовой схемы неуправляемого выпрямителя, однофазного инвертора и однофазно-трехфазного ТВМП позволяет уменьшить число полупроводниковых приборов силовой схемы преобразователя, что в свою очередь упрощает схему системы управления и повышает надежность работы ПЧ [1].

Другим перспективным направлением улучшения эксплуатационно-технических характеристик ПЧ может быть решено за счет применения в их составе реверсивных выпрямителей (РВ), выполненные на двух парх встречно-параллельно включенных полупроводниковых приборов. Система управления

таких преобразователей обеспечивает независимую стабилизацию частоты тока и выходного напряжения преобразователя.

На рисунке 2 приведена, функциональная схема ПЧ, выполненная на РВ, а на рисунке 3 – диаграммы напряжений, поясняющие принцип ее работы.

Преобразователь частоты содержит трансформатор Т первичная обмотка  $W_{11}$  имеет выводы 1 и 2 которые подключены к источнику напряжения повышенной частоты, реверсивный выпрямитель РВ, выполненный на тиристорах VS1 - VS4, фильтр Ф и систему управления СУ. К выводам 3 и 4 преобразователя подключается нагрузка.

ПЧ работает следующим образом. К входу преобразователя частоты подключается источник напряжения повышенной частоты тока, которое по величине понижается (повышается) до требуемого уровня необходимое для нагрузки трансформатором Т. Реверсивный выпрямитель РВ повышенную частоту тока преобразует в частоту необходимую для нагрузки, следующим образом.

Задающий генератор ЗГ системы управления СУ преобразователем формирует низкочастотный сигнал синусоидальной формы соответствующий частоте нагрузки (рисунок 3, а), кото-

рый поступает на вход генератора типа кривой ГТК, на выходе генератора формируются импульсы соответствующие положительной и отрицательной полуволнам задающего генератора (рисунок 3, б). Сигналы с выхода генератора типа кривой ГТК подаются на первые входы логических элементов И (И1 и И2 соответственно).

На вторые входы логических элементов И поступает импульсный сигнал, синхронизированный с напряжением источника питания от блока синхронизации БС (рисунок 3, в, г)

через генератор пилообразного напряжения ГПН и формирователь импульсов ФИ. Длительность этого сигнала пропорциональна величине выходного напряжения преобразователя частоты, поскольку длительность формирующего импульса управления зависит от величины выходного напряжения трансформаторно-выпрямительного блока ТВБ (рисунок 3, д, е).

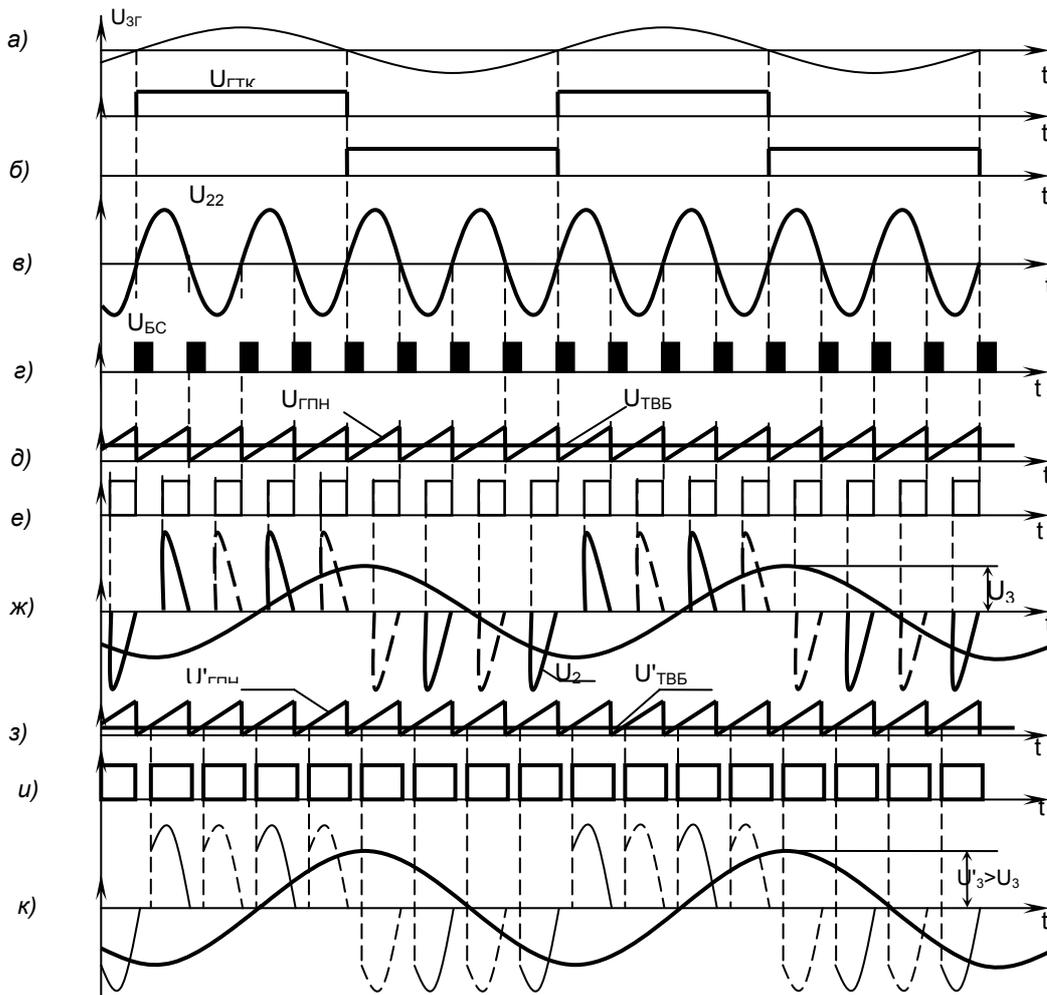


Рисунок 3 – Диаграммы напряжений, поясняющие принцип работы преобразования частоты на реверсивном выпрямителе

При положительной полярности низкочастотного выходного напряжения срабатывает логический элемент И1 и импульсы управления через первое распределительное устройство РУ1 и усилители импульсов УИ1 и УИ2 поступают на управляющие электроды тиристоров VS1 и VS3 силовой схемы реверсивного выпрямителя РВ и на выходе преобразователя формиру-

ются положительные полуволны с напряжением  $U_2$  (рисунок 3, ж). При отрицательной полярности выходного напряжения срабатывает логический элемент И2 импульсы управления через второе распределительное устройство РУ2 и усилители импульсов УИ3 и УИ4 поступают на управляющие электроды тиристоров VS2 и VS4 силовой схемы реверсивного выпрямителя РВ и

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

на выходе преобразователя формируется положительная полуволна  $U_2$  (рисунок 3, ж). Выходной фильтр  $\Phi$  подавляет высшие гармоники и на выводах формируется низкочастотный синусоидальный сигнал  $U_3$  (рисунок 3, ж).

К примеру, при понижении уровня выходного напряжения снижается и значение  $U_{ТВБ}$  (рисунок 3, з,  $U'_{ТВБ}$ ), при этом, увеличивая длительность импульсов (рисунок 3, и,  $U'_{\PhiИ}$ ), что приводит к увеличению времени открытого состояния тиристоров реверсивного выпрямителя и, как следствие, увеличение уровня выходного напряжения (рисунок 3, к,  $U'_3$ ).

Использование в составе преобразователя частоты реверсивного выпрямителя, выполненного на двух парах встречно-параллельно включённых тиристоров и предложенной системы управления, обеспечивающей независимую стабилизацию частоты и напряжения, позволяют улучшить его показатели надежности и КПД. Перспективным является направление применения в АСЭ бесконтактных генераторов электроэнергии: асинхронных генераторов с емкостным возбуждением и синхронных генераторов с постоянными магнитами. Рассмотренные генераторы имеют однотипные системы управления. Поэтому эффективным способом стабилизации параметров электроэнергии (напряжения и частоты тока) бесконтактных генераторов является применение НПЧ с естественной (НПЧЕ) и искусственной коммутацией силовых вентиляей. В последнем случае НПЧ называются с регулируемым углом сдвига фаз (НПЧР) [3].

НПЧЕ имеют улучшенные показатели надежности в сравнении с НПЧР. Однако основным недостатком НПЧЕ является то, что угол сдвига фаз на входе преобразователя неизменно отстающий, т. е. независимо от угла управления силовыми вентилями преобразователь для источника электроэнергии является активно-индуктивной нагрузкой, поэтому, при совместной работе НПЧЕ с автономным генератором электроэнергии для компенсации реактивного тока

между НПЧЕ и генератором необходимо подключать конденсаторы, которые значительно увеличивают массу автономного источника энергии.

Отличительной конструктивной особенностью схемы НПЧР в сравнении с НПЧЕ является наличие в силовой части, цепей обеспечивающих искусственную коммутацию силовых вентиляей и в способе регулирования напряжения. НПЧР позволяют независимо от характера нагрузки изменять угол сдвига фаз на входе преобразователя от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$ . Тем самым позволяют уменьшить массу конденсаторов, обеспечивающих компенсацию реактивной мощности нагрузки. Однако в сравнении с НПЧЕ они имеют хуже показатели надежности.

Таким образом, внедрение в состав АСЭ новых технических решений ПЧ, позволит улучшить эксплуатационно-технические характеристики этих систем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григораш, О.В. К вопросу улучшения технических характеристик преобразователей частоты автономных систем электроснабжения / О.В. Григораш, О.В. Новокрещенов, Д.А. Столбчатый // Труды КубГАУ. – Краснодар, 2009. – № 6. – С.186–190.
2. Григораш, О.В. Трансформаторы статических преобразователей электроэнергии: монография / О.В. Григораш, С.В. Божко, Р.С. Шхалахов; КубГАУ. – Краснодар, 2008. – 134 с.

*Алмазов В.В., ассистент каф. «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии», Кубанский государственный аграрный университет;*

*Кирьян Л.Н., нач. проектно-технического отдела ООО «ЭЛКиН», соискатель каф. «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии», Кубанский государственный аграрный университет;*

*Мушлян А.А., магистр каф. «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии», Кубанский государственный аграрный университет.*