

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>
Выпуск 6 (25) 2014 ноябрь – декабрь <http://naukovedenie.ru/index.php?p=issue-6-14>
URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/174TVN614.pdf>
DOI: 10.15862/174TVN614 (<http://dx.doi.org/10.15862/174TVN614>)

УДК 621.314.2

Коптяев Евгений Николаевич

ОАО «Северное Производственное Объединение «Арктика»
Россия, Северодвинск¹
Инженер по наладке и испытаниям 1 категории
Старший преподаватель
E-Mail: evgkor79@mail.ru

Балашевич Вячеслав Михайлович

НИИ Энергетики ЮРГТУ
Россия, Новочеркасск²
Ведущий инженер
E-Mail: bmashka@gmail.com

Атрашкевич Павел Васильевич

ОАО «Северное Производственное Объединение «Арктика»
Россия, Северодвинск³
Инженер по наладке и испытаниям 1 категории
E-Mail: bimfin@mail.ru

Непосредственный понижающий преобразователь частоты на базе Трансформатора с вращающимся магнитным полем

¹ Российская Федерация, 164500, Северодвинск, Архангельской области, Архангельское шоссе, 34

² Российская Федерация, 346428, Ростовская область г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

³ Российская Федерация, 164500, Северодвинск, Архангельской области, Архангельское шоссе, 34

Аннотация. Существует класс промышленных потребителей, в число которых входит электропривод переменного тока, требующих питания переменным током пониженной частоты, а также устройства плавного пуска для мягкого запуска двигателей без броска тока. В настоящее время для этого используют статические преобразователи частоты, преимущественно с ШИМ модуляцией, в том числе многоуровневые. Применения непосредственных преобразователей ограничивается низким качеством выходного напряжения для классических схем. К достоинствам преобразователей с ШИМ-модуляцией относятся схемотехническая простота и низкая стоимость. Но в случае с мощными потребителями их область применения ограничена из-за высокого уровня помех радиоприему и плохой электромагнитной совместимостью.

Описанный в статье преобразователь частоты на базе трансформатора с вращающимся магнитным полем обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с классическими схемами непосредственных преобразователей, а также обеспечивает лучшую электромагнитную совместимость с питающей сетью. Суть нового предложенного способа понижения частоты в алгоритме управления трехфазным реверсивным мостом, обеспечивающим нарастающее, с постоянным шагом, запаздывание коммутации силовых вентилях. Это позволяет создать непосредственный преобразователь с плавным регулированием выходной частоты, и выходным напряжением, состоящим из фрагментов синусоиды входного напряжения. Такие преобразователи могут найти применение в регулируемом электроприводе, особенно судовых гребных установках.

Ключевые слова: статический преобразователь; трехфазный; трансформатор с вращающимся полем; непосредственный преобразователь частоты; круговая обмотка; улучшенная электромагнитная совместимость; судовой электропривод; спектр выходного напряжения, *igbt*-модуль.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Коптяев Е.Н., Балашевич В.М., Атрашкевич П.В. Непосредственный понижающий преобразователь частоты на базе Трансформатора с вращающимся магнитным полем // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2014. № 6 <http://naukovedenie.ru/PDF/174TVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/174TVN614

Одним из классов полупроводниковых статических преобразователей являются преобразователи частоты, предназначенные для преобразования входного напряжения с заданной частотой и напряжением в выходное напряжение с требуемыми параметрами. По назначению преобразователи можно разделить на повышающие частоту – для питания сетей с потребителями, в основном 400 Гц, и понижающие частоту – их используют главным образом для питания регулируемого электропривода. Последние получили наибольшее распространение и применяются для плавного пуска механизмов, и регулирования оборотов тяговых двигателей, в том числе судового гребного электродвигателя [1,6,7].

Наиболее распространенным типом являются преобразователи частоты с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). К их достоинствам относятся хорошие массогабаритные показатели, низкая себестоимость и возможность регулирования частоты выходного напряжения в широких пределах. Вместе с тем, в основе ШИМ лежит принцип коммутации с разрывом кривой тока, а содержание основной гармоники в выходном напряжении ограничивается предельной частотой коммутации полупроводниковых вентилях, которая для IGBT-модулей не превышает 20 кГц и чаще всего несущая частота ШИМ составляет от 1 до 8 кГц. Более высокая по сравнению с классическими преобразователями частота коммутации вентилях вызывает повышенный нагрев и снижает долговечность модулей, а разрыв тока требует снабженных цепей для гашения коммутационных выбросов [1, 10]. Одним из путей повышения качества ШИМ является применение многоуровневых преобразователей, в которых тем или иным способом достигается разделение напряжения питания на несколько уровней, что позволяет приблизить форму выходного напряжения к синусоидальной и улучшить его гармонический состав. Чаще всего в многоуровневых преобразователях используют высоковольтные конденсаторы на большую емкость, что ведет к ухудшению габаритов преобразователя и снижению его надежности ввиду относительно низкой вероятности безотказной работы таких конденсаторов. Осциллограмма выходного напряжения отечественного многоуровневого ШИМ-преобразователя мощностью 1750 кВт приведена на рисунке 1.

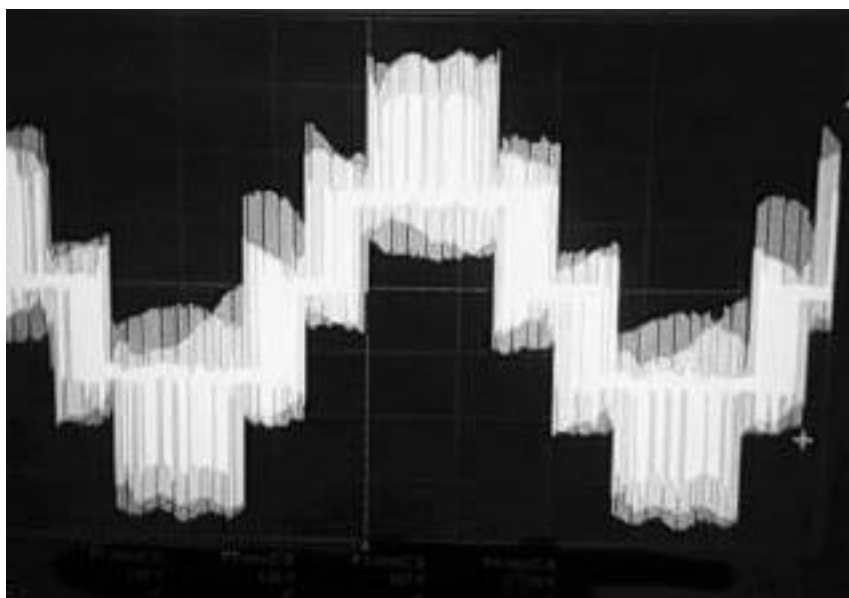


Рис. 1. Осциллограмма выходного напряжения отечественного многоуровневого ШИМ преобразователя частоты

Кроме преобразователей с ШИМ-модуляцией существует класс непосредственных, а также матричных, преобразователей частоты [1, 8, 9, 10], в том числе на полностью управляемых вентилях. При этом реализуется несколько вариантов преобразования – попеременное подключение фаз нагрузки к положительным и отрицательным огибающим выпрямленного напряжения, приближение мгновенных значений на выходе к форме опорного напряжения и получение выходного напряжения с квазиоднополосной кусочно-синусоидальной модуляцией. Качество подобных преобразователей, особенно при трехфазной питающей сети весьма низкое. Для его улучшения используют увеличение числа фаз, что требует использования группы обмоток с различными вариантами включения обмоток звезда, треугольник, “зиг-заг” и соответствующего роста числа витков и габаритов.

Необходимость дальнейшего совершенствования преобразователей частоты обусловлена проблемами качества выходного напряжения и электромагнитной совместимости с питающей сетью и другим электрооборудованием, обостряющимися с ростом мощности. Одним из направлений исследований является класс статических преобразователей на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем [1, 2, 3, 4, 5].

Трансформатор с вращающимся полем (ТВМП) представляет собой аналог асинхронного двигателя с заторможенным ротором. В пазах располагается первичная трехфазная обмотка по типу обмоток машин переменного тока, в качестве вторичной может выступать такая же обмотка, либо круговая обмотка аналогичная якорной обмотке машин постоянного тока. Последний тип обмоток представляется наиболее перспективным [1, 4, 5] и может быть использован в преобразователях различного типа, в том числе частоты. Отличительным свойством круговой обмотки (КО) является полная круговая геометрическая симметрия и замкнутый многоугольник ЭДС секций обмотки (рисунок 2). При этом число фаз определяется числом отводов обмотки и по сравнению с обычными трансформаторами не требует отдельной обмотки на каждую фазу, что позволяет существенно уменьшить число витков и снизить массу и габариты преобразователя.

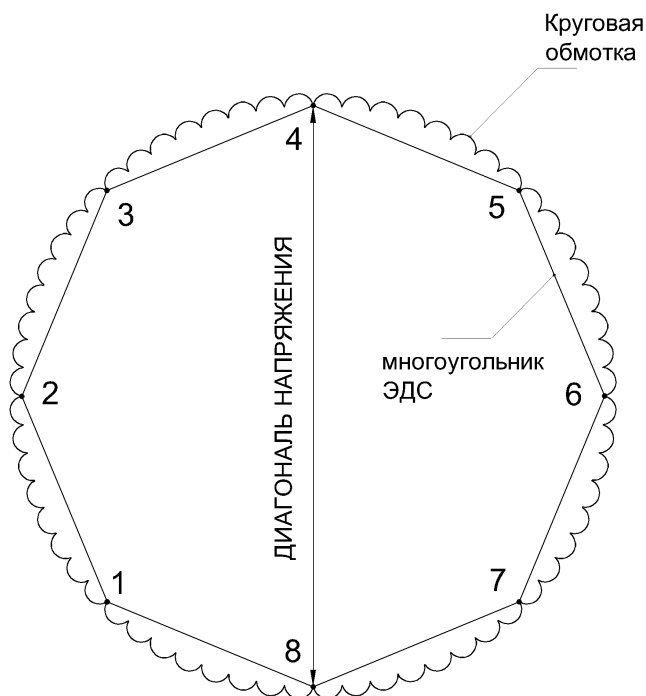


Рис. 2. Многоугольник ЭДС круговой обмотки ТВМП

Исследования подобных преобразователей и свойств КО посвящен ряд работ, в том числе [4, 5] где описаны алгоритмы работы выпрямителя и автономного инвертора на базе ТВМП с разным числом отводов КО и выполнен анализ качества выходного напряжения. Анализ выходного напряжения инвертора показал наличие значительного уровня высших гармонических составляющих выходного напряжения, сравнимый с уровнем основной частоты, в частности 7, 9 и 11. Причиной сравнительно невысокого качества является ключевая коммутация тока, при этом выходное напряжение зависит от переходных процессов в индуктивности обмотки.

Работа выпрямителей на базе ТВМП [4] основана на коммутации диаметральных пар отводов КО последовательно за вращением вектора магнитного поля, созданного трехфазной входной обмоткой. Выходное напряжение имеет число пульсаций за период питающей сети, равно числу отводов КО. Для изменения уровня постоянной составляющей выпрямленного напряжения в алгоритм управления коммутатором КО вводится угол управления, одинаковый для всех пар вентилях. Выходное напряжение при этом аналогично классическим тиристорным выпрямителям.

Введением в алгоритм импульсов управления силовыми ключами такого выпрямителя нарастающей с каждой коммутацией задержки относительно фазы питающей сети, так что каждая следующая коммутация пары отводов КО имеет период больший на определенное значение, определяемое коэффициентом преобразования частоты, можно получить понижение частоты выходного напряжения (рисунок 3).

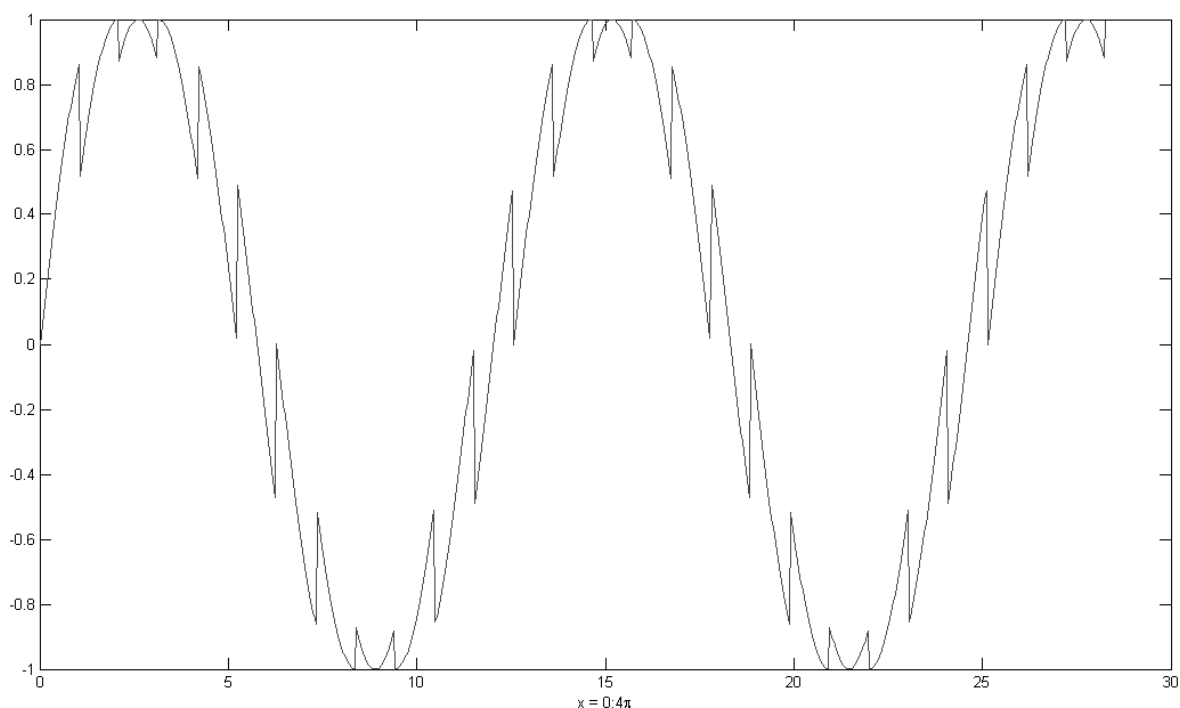
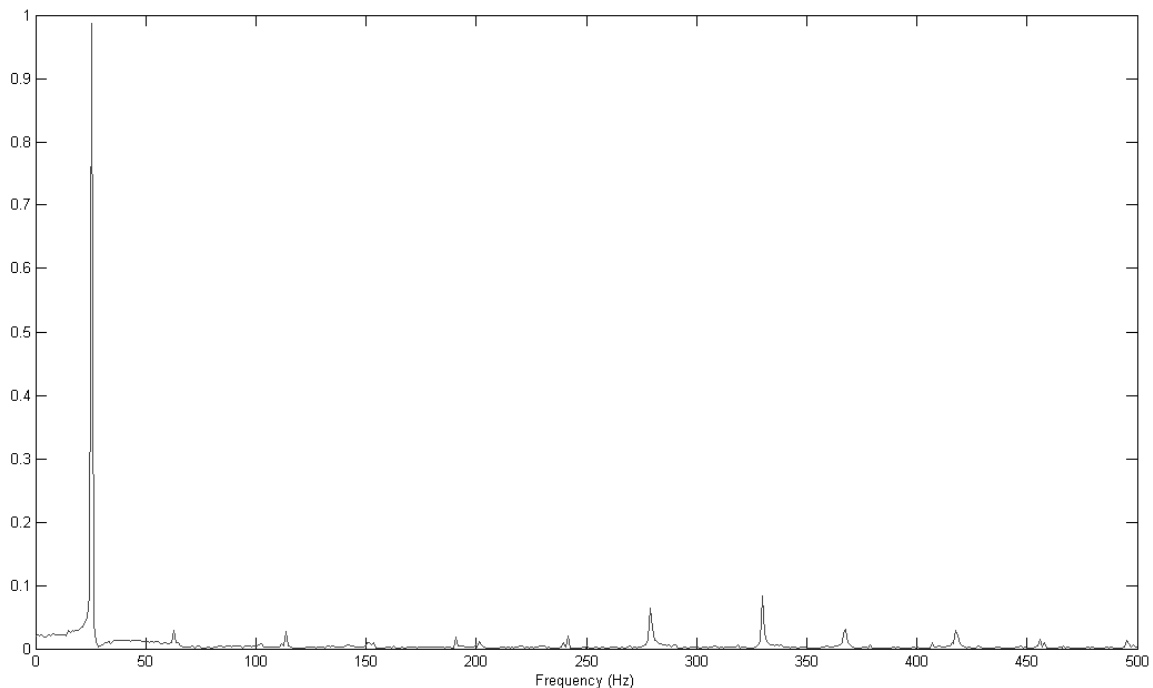


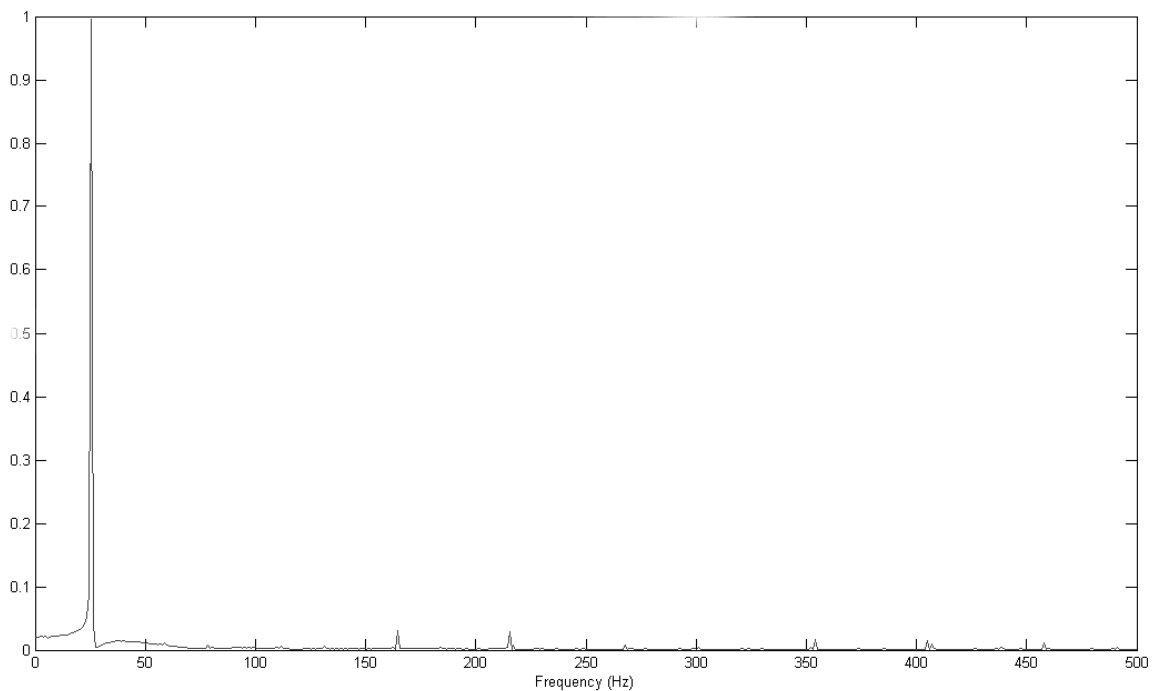
Рис. 3. График выходного напряжения непосредственного преобразователя частоты на базе ТВМП для случая 6 отводов КО и выходной частоты 25 Гц

В этом случае мы получаем разновидность непосредственного преобразователя частоты, в основе которого лежит кусочно-синусоидальная модуляция выходного напряжения. Преимуществом такого варианта является возможность значительно увеличить число ступеней выходного напряжения путем простого увеличением количества отводов КО. Тем не менее,

значительное увеличение числа отводов – потребует соответствующего дополнительного числа ключей, что может быть нерационально. На рисунке 4 представлены анализ спектра выходного напряжения для вариантов 6 и 8 отводов КО при делении частоты вдвое. Из графиков видно, что при увеличении числа отводов происходит уменьшение высших гармонических составляющих – но все же разница не столь значительна, а их уровень значительно ниже, чем в инверторе, описанном в [4]. Наибольший вклад в искажения вносят 11, 13 гармоники.



а)



б)

Рис. 4. Анализ спектра выходного напряжения преобразователя частоты при 6 отводах КО (а) и 8 отводов КО (б) для случая деления частоты вдвое (25 Гц)

К достоинствам такого варианта непосредственного преобразователя частоты можно отнести улучшенную электромагнитную совместимость с питающей сетью, высокое качество выходного напряжения, которое приближается к идеальному (качеству питающей сети) при снижении коэффициента деления. Работа без разрывов тока и коммутационных выбросов ЭДС возможна только при фиксированных коэффициентах деления частоты что может быть востребовано для потребителей, не требующих плавной регулировки частоты, например систем депарафинизации нефти, требующих пониженной частоты питающего напряжения 1-5 Гц.

Одной из перспективных областей применения подобных преобразователей является судовой гребной электропривод, в том числе системы полного электродвижения. Последнее время было ознаменовано внедрением трансформаторов с вращающимся полем в разработках ОАО "Электросила", в том числе в системе электродвижения. Применение ТВМП с КО в режиме непосредственного преобразования частоты позволит увеличить вероятность безотказной работы за счет отказа от ШИМ и улучшения режима работы IGBT-модулей, а также повысить совместимость с питающей сетью [1]. КПД таких систем электродвижения будет выше из-за отсутствия дополнительного звена преобразования, что повышает экономичность электродвижения.

Обобщая сказанное выше, можно заключить: в данный момент основные потребности промышленности обеспечиваются преобразователями на базе ШИМ. Тем не менее, остаются не до конца решенными вопросы электромагнитной совместимости и качества выходного напряжения для ряда конкретных применений [6,7]. Одним из направлений поиска решения указанных проблем являются преобразователи на базе ТВМП, представляющие сравнительно новое направление. Проведенные исследования показывают [1, 4, 5], что такие преобразователи обеспечивают лучшую совместимость с питающей сетью и сравнительно легкое увеличение числа фаз преобразователя без ухудшения массогабаритных показателей, что позволяет реализовать непосредственные преобразователи частоты с улучшенным качеством выходного напряжения. Подобные преобразователи могут найти применение в системах электродвижения судов, а также при депарафинизации нефтяных скважин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев Б.Ф., Рябенский В.М., Черевко А.И., Музыка М.М., Солунов П.В. Судовые полупроводниковые преобразователи. – СПб.:СПбГМТУ, 2011.
2. Грачев П.Ю., Костырев М.Л., Мягков Ф.Н., Кунцевич П.А. Многообмоточные преобразователи энергии для автономных объектов. – Электротехника, 2005, №12, с. 24
3. Гайтов Б.Х., Прасько Д.Г., Гайтова Т.Б. Разработка многофазных трансформаторов. – Электротехника, 2000, №8, с. 42
4. Черевко А.И., Семенов Д.Н., Казакевич А.И. Схемотехнические модели выпрямителей с трансформаторами вращающегося магнитного поля в MICRO-CAP7. – Электротехника, 2005, №4, с. 8
5. Черевко А.И., Гаврилов Д.А. Математическая модель автономного инвертора с трансформатором вращающегося магнитного поля в Matlab-Simulink. – Электротехника, 2005, №11, с. 31
6. Калмыков А.Н., Кузнецов В.И., Сеньков А.П., Токарев Л.Н. Судовые бестрансформаторные гребные электрические установки. – Морской вестник, 2013, №5, с. 40
7. Голубев К.Г. Энергетические установки кораблей с электродвижением. – Морской вестник, 2013, №2, с. 38
8. Абрамов А.Н. Непосредственный преобразователь частоты с улучшенной формой тока. – Электротехника, 1998, №3, с. 37
9. Мыщык Г.С., Чесноков А.В., Михеев В.В. Синтез трехфазных преобразователей с улучшенным качеством преобразованной электроэнергии. – Электричество, 1986, №12, с. 40
10. Зиновьев Г.С. Силовая электроника. – М.:Юрайт, 2012. – 667 с.

Рецензент: Дордий А.А., зам. главного конструктора, кандидат технических наук, НИИ Энергетики ЮРГТУ.

Koptjaev Evgenij Nikolaevich
JSC "Northern Industrial Association" Arctic"
Russia, Severodvinsk
E-Mail: evgkop79@mail.ru

Balashевич Vyacheslav Mikhailovich
Energy Research Institute YURGPU
Russia, Novocherkassk
E-Mail: bmashka@gmail.com

Atrashkevich Pavel Vasilevich
JSC "Northern Industrial Association" Arctic"
Russia, Severodvinsk
E-Mail: bimfin@mail.ru

Direct converter frequency transformer based on a rotating magnetic field

Abstract. There is a class of industrial consumers, which include drives that require AC power low frequency, as well as the soft starter for a soft start motor without inrush current. Currently this is done using the static frequency converters, mostly with PWM modulation, including a multilevel. Application of direct converters limited by the low quality of the output voltage to the classical schemes. The advantages of converters with PWM modulation are of circuit simplicity and low cost. But in the case of strong consumers of their field of application is limited due to the high level of interference to radio and electromagnetic compatibility bad.

Described in the article on the basis of the frequency converter transformer with a rotating magnetic field provides a number of advantages compared to classical schemes direct converters and also provides better electromagnetic compatibility mains. The essence of the proposed new method for reducing the frequency control algorithm reverse-phase bridge, providing a growing, with a constant pitch, delay switching power valves. This allows you to create a direct converter with continuous regulation of the output frequency and output voltage, consisting of fragments of a sine wave input voltage. These converters can be used in variable speed drive with, especially marine propulsion.

Keywords: Inverter; three-phase transformer with a rotating field; direct frequency converter; the circular coil; improved electromagnetic compatibility; electric propulsion system; the spectrum of the output voltage; igbt-module.

REFERENCES

1. Dmitriev B.F, Ryaben'kiy V.M., Cherevko A.I., Muzyka M.M., Solunov P.V. Sudovye poluprovodnikovye preobrazovateli. – SPb.:SPbGMTU, 2011.
2. Grachev P.Yu., Kostyrev M.L., Myagkov F.N., Kuntsevich P.A. Mnogoobmotochnye preobrazovateli energii dlya avtonomnykh ob"ektov. – Elektrotehnika, 2005, №12, s. 24
3. Gaytov B.Kh., Pras'ko D.G., Gaytova T.B. Razrabotka mnogofaznykh transformatorov. – Elektrotehnika, 2000, №8, s. 42
4. Cherevko A.I., Semenov D.N., Kazakevich A.I. Skhemotekhnicheskie modeli vypriamiteley s transformatorami vrashchayushchegosya magnitnogo polya v MICRO-CAP7. – Elektrotehnika, 2005, №4, s. 8
5. Cherevko A.I., Gavrilov D.A. Matematicheskaya model' avtonomnogo invertora s transformatorom vrashchayushchegosya magnitnogo polya v Matlab-Simulink. – Elektrotehnika, 2005, №11, s. 31
6. Kalmykov A.N., Kuznetsov V.I., Sen'kov A.P., Tokarev L.N. Sudovye bestransformatornye grebnye elektricheskie ustanovki. – Morskoy vestnik, 2013, №5, s. 40
7. Golubev K.G. Energeticheskie ustanovki korabley s elektrodvizheniem. – Morskoy vestnik, 2013, №2, s. 38
8. Abramov A.N. Neposredstvennyy preobrazovatel' chastoty s uluchshennoy formoy toka. – Elektrotehnika, 1998, №3, s. 37
9. Mytsyk G.S., Chesnokov A.V., Mikheev V.V. Sintez trekhfaznykh preobrazovateley s uluchshennym kachestvom preobrazovannoy elektroenergii. – Elektrichestvo, 1986, №12, s. 40
10. Zinov'ev G.S. Silovaya elektronika. – M.:Yurayt, 2012. – 667 s.