

УДК 621.311

© Катаржин А.В., Сова А.Н., Степанов М.И., Першин С.М., Агафонов К.В.
Katarjin A., Sova A., Stepanov M., Pershin S., Agafonov K.

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

BACKGROUND AND DEVELOPMENT OF ENERGY SYSTEMS OF POWER CONVERTERS ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY WITH IMPROVED PERFORMANCE

Аннотация. В статье рассмотрены достоинства и недостатки известных методов улучшения эксплуатационных характеристик преобразователей энергии и намечены пути их дальнейшего развития, а также предложены методы, основанные на новых физических принципах.

Работа выполнена на средства гранта Президента РФ государственной поддержки молодых российских ученых MD-7570. 2013.10.

Annotation. The article describes the advantages and disadvantages of the known methods to improve the performance of power converters and the ways of their further development, and suggests methods based on new physical principles.

Work performed under the grant of the President of the Russian state support of young Russian scientists MD-7570. 2013.10.

Ключевые слова. Система электроснабжения, преобразователь энергии, электротехника.

Key words. Electrical power system, energy converter, electrotechnics.

Большинство специалистов эксплуатационников считают, что тенденция роста числа преобразователей электрической энергии (ПЭЭ) в системах электроснабжения (СЭС) различного назначения объектов вооружения и военной техники (ОВВТ) на ближайшие два десятка лет изменений не претерпит. Данное обстоятельство обусловлено тем, что аппаратура управления, автоматики и связи ОВВТ постоянно совершенствуется, при этом изменяются как структуры агрегатов, приборов, подсистем, так и элементная база, на которой они основаны.

Общепринято считать, что рост ПЭЭ связан с

уменьшением КПД и надёжности СЭС, увеличением стоимости низковольтного оборудования, снижением качества электрической энергии на зажимах потребителей и ухудшением массогабаритных показателей систем.

Для концентрации внимания на штатных СЭС остановимся только на трёх типах ПЭЭ: преобразователях переменного тока в постоянный (выпрямителях), преобразователях постоянного тока в переменный (инверторах) и преобразователях постоянного напряжения одного номинала в постоянное напряжение различных номиналов (конверторах).

*Катаржин Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортные установки», МАДИ;
Сова Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортные установки», МАДИ;*

Степанов Михаил Иванович – доктор технических наук, профессор, советник заместителя генерального директора филиала, ФГУП «Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры»-«Конструкторское бюро транспортно-химического машиностроения»;

Першин Сергей Михайлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник ФБУ «4 ЦНИИ Минобороны России», тел. 7(495)543-36-76;

Агафонов Кирилл Владимирович – аспирант, кафедра «Транспортные установки», МАДИ.

Katarjin Alexander – doctor of technical sciences, the professor of «Transport installations», MADI;

Sova Alexander – doctor of technical sciences, the professor, managing chair «Transport installations», MADI;

Stepanov Mikhail – doctor of technical sciences, the professor, advisor to the deputy of general director of branch, FSUE «Center of operation of objects of a land space infrastructure»-«Design office of transportno-chemical mechanical engineering»;

Pershin Sergey – candidate of technical sciences, senior researcher, senior researcher, FBI "4 Central scientific research institute of the Ministry of defense of Russia"

Agafonov Kirill – post-graduate student, department of "Transport settings", MADI.

Инверторы штатных систем электроснабжения

Возникновение инверторов, как основных элементов штатных СЭС, относится к концу 50-х годов прошлого столетия. Их появление на смену электромашинных преобразователям особенно радостно было воспринято эксплуатационниками СЭС, так как отпала необходимость бороться с шумом электрических машин, постоянным искрением коллектора и большими пусковыми токами, а мгновенность к действию, высокая надёжность и большой ресурс работы покорили отечественных и зарубежных разработчиков.

Однако вскоре стали появляться нарекания на качество выходного напряжения инверторов от разработчиков различных систем, так как для многих потребите-

гармоники восстанавливаются.

Комбинированные инверторы, в которых высшие гармоники с низкими номерами нейтрализуются с помощью аппроксимации, а гармоники с высокими номерами фильтруются, нашли применение на ОВВТ, где потребители являются достаточно мощными.

Разработкой комбинированных инверторов занимался целый ряд организаций: КБЭ и ХЭМЗ г. Харьков, ВНИИЭМ – 2 г. Томск и некоторые другие, при этом в схемах инверторов вместо маломощных транзисторов применялись тиристоры с коммутирующими токами в десятки ампер.

Некоторые параметры рассмотренных инверторов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры инверторов

Тип инвертора	KU,%	Мощность, ВА	Частота, Гц	КПД, %	cos φ, о.е.
Фильтровый	≤ 3	1000...3000	50 ± 1	до 86	0,85
Бесфильтровый	≥ 5	1000...3000	50 ± 1	до 65	0,80
Комбинированный	5...8	> 3000	50 ± 1	до 80	0,85

лей высшие гармоники напряжения питания являются недопустимыми. Данное обстоятельство предопределило необходимость разработки методов улучшения формы кривой выходного напряжения инверторов, среди которых наиболее распространёнными является: фильтрация, аппроксимация и фильтрация и аппроксимация [1, 2].

Фильтровые инверторы, например, 8Л053, 8Л054, появившиеся благодаря результатам исследований В.Б. Никитина (1961 г.) и А.И. Чернышёва (1963 г.) казалось бы, решали задачи обеспечения нормальных условий эксплуатации большинства потребителей, однако результаты эксплуатации данных инверторов показали, что синусоидальное напряжение обеспечивается только при неизменном токе нагрузки, а индуктивности и ёмкости фильтров обуславливают возникновение сверхтоков и перенапряжений.

Устранение большинства недостатков фильтровых инверторов стало возможно в схемах, осуществляющих аппроксимацию синусоиды прямоугольными напряжениями, формируемыми автогенераторами Роейра.

Бесфильтровые инверторы, например 15Л289, 15Л290 и 15Л192, созданные группой учёных, руководимой В.Г. Константиновым, нашли широкое применение на различных ОВВТ, однако использование пересчётных схем приводит к снижению надёжности, а в диапазоне мощностей (0,5...0,8) кВт указанные схемы становятся слабо управляемыми, в результате чего ступенчатость синусоиды нарушается и нежелательные высшие

Рассмотренные инверторы имеют установившийся состав: блок коммутаций постоянного тока (БКПТ), собственно сам инвертор, преобразовательный трансформатор (ПТ), формирующий каскад (ФК) и система управления коммутаторами тока (СУК).

Анализ функций, решаемых перечисленными элементами структуры инверторов, показывает, что из них только два элемента ПТ и ФК могут быть объединены в один, если его основать на электромашинном методе формирования синусоидальной кривой. Однако теоретические и практические проработки схем инверторов, в которых постоянный ток преобразуется в переменный по обычным принципам, а формирование синусоиды осуществляется по принципу синхронного генератора, пока неизвестны.

Таким образом, среди множества методов улучшения эксплуатационных характеристик ПЭЭ применение в СЭС нашли только три; возможности остальных методов изучены не полностью и области их применения не определены.

Кроме того, исследования по созданию теории и практики ПЭЭ, основанные на достоинствах статических и электромашинных, не проводятся.

Выпрямители штатных систем электроснабжения

Развитие выпрямителей стало бурным после того, как в 1923 году русский электротехник А.Н. Ларионов изобрёл трёхфазную мостовую схему выпрямления, ко-

торой поныне нет аналога.

Наиболее простой структурой трёхфазного выпрямителя является структура, содержащая преобразовательный трансформатор, схему выпрямления и сглаживающий фильтр.

Не останавливаясь на сущности функций, решаемых указанными элементами выпрямителя, отметим, что основным показателем качества электрической энергии на выходе его является коэффициент пульсаций ($K_{\text{п}}$). Имеется несколько методов достижения требуемого значения $K_{\text{п}}$, среди которых наиболее развиты фильтрация и умножение числа фаз перед схемой выпрямления. Многозвенные сглаживающие фильтры, разработанные по схемам ГС. Векслера позволяют уменьшить $K_{\text{п}}$ в сотни и тысячи раз, однако при их использовании резко ухудшаются массогабаритные показатели выпрямителей и не исключено возникновение перенапряжений в переходных режимах. Многофазный преобразовательный трансформатор, разработанный в 1940 году Г.Н. Петровым, позволяет значительно уменьшить коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения, однако схема выпрямителя с данным трансформатором усложняется из-за неравенства фазных напряжений лучей двадцатичетырёхфазной системы вторичной обмотки. Некоторые параметры выпрямителей сведены в табл. 2.

Кроме того, из анализа литературных источников следует, что пока нет исследований по созданию выпрямителей с комбинированным методом улучшения эксплуатационных характеристик.

Указанные обстоятельства предопределили необходимость создания серий выпрямителей с различными $K_{\text{п}}$, применяемых в разных отраслях техники, что затрудняет решение задачи унификации низковольтного электрооборудования.

Конверторы штатных систем электроснабжения

Преобразователи энергии данного типа появились сравнительно недавно в блоках питания электронно-вычислительных машин, при этом первичным источником электрической энергии в конверторах могут быть выпрямители, подключенные к сети, и аккумуляторные батареи.

Ввиду того, что эффективность преобразования энергии в выпрямителях и инверторах, входящих в структуру конвертора, определена, то следует отметить низкий уровень КПД конверторов и сравнительно низкое качество напряжения питания потребителей.

Особенно низок уровень эксплуатационных характеристик конверторов в системах электроснабжения малой мощности.

Таблица 2

Параметры выпрямителей

Тип выпрямителя	Выходное напряжение, %	Частота пульсаций, Гц	КПД, %	Коэффициент пульсаций, %	Выходной ток, А
Бесфильтровый	30	300	88...92	6	до 50
Фильтровый	60	300	78...85	0,01	до 200
С умножением числа фаз	30	1200	80...82	0,003	до 500

Комбинированные выпрямители, созданные группой учёных под руководством Ш. Размадзе широкого применения в СЭС не нашли из-за необходимости распределения уравнительных токов.

Следует заметить, что структуры штатных выпрямителей многие годы оставались неизменными и новых методов уменьшения пульсаций не предлагалось, хотя математические выражения определяющие $K_{\text{п}}$ содержат, например, частоту напряжения сети перед выпрямителем, увеличивая которую тем или иным способом можно добиться упрощения схем фильтров за счёт резкого повышения частоты пульсаций.

Теоретических разработок по созданию эффективности с двойным преобразованием энергии не проводится, поэтому свойства конверторов полностью зависят от возможностей входящих в них инверторов и выпрямителей.

Таким образом, задача совершенствования преобразователей энергии штатных систем электроснабжения объектов вооружения и военной техники остаётся актуальной, а разработка методов улучшения их эксплуатационных характеристик пока не завершена, поскольку в указанных методах не нашли применения многие из достижений современной электродинамики.

Литература

1. Бут Д.А. Основы электромеханики. М: МАИ, 1996. 468 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. М.: Энергия, 1980. 520 с.

Материал поступил в редакцию 25. 02. 2014 г.