

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.10.9>

УДК: 621.314, 608.3, 347.771.3

## ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В.И. Авдзейко, В.И. Карнышев, А.А. Дроздова, В.М. Рулевский

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,  
634034, Томск, пр. Ленина, 40

Статья поступила в редакцию 14 июля 2023 г.

**Аннотация.** В статье проведен сравнительный анализ способов преобразования параметров электрической энергии, исследованы тенденции развития преобразователей постоянного тока в постоянный (DC/DC), переменного тока в переменный (AC/AC), переменного тока в постоянный (AC/DC) и постоянного тока в переменный (DC/AC), на основе Международной патентной классификации (МПК) в редакции 2023 года. Проведено сравнение вариантов преобразователей с промежуточным преобразованием и без промежуточного преобразования в переменный или постоянный ток, на транзисторах и тиристорах, и конкретных схемных решений, соответствующих классификации МПК. Выявлены перспективные направления развития этих вариантов. Анализ проведен на основе сформированных авторами баз данных патентов США с 2012 по 2023 годы в группах МПК H02M3, H02M5, H02M7. Перспективные направления развития выявлены путем построения временных рядов патентов и последующего сравнения вариантов преобразователей по количеству зарегистрированных патентов и динамике их роста. Доказано преимущество построения преобразователей на транзисторах, выявлены перспективные направления развития способов преобразования параметров электрической энергии, а также варианты их реализации. Отмечено снижение числа регистрируемых патентов США на изобретения в рассмотренных группах МПК на 40% в период с 2019 по 2022 год.

**Ключевые слова:** преобразователь электрической энергии, способ преобразования, переменный ток, Международная патентная классификация, патенты США, USPTO, тенденции развития.

**Финансирование:** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-29-0403 <https://rscf.ru/project/23-29-00403/>

**Автор для переписки:** Авдзейко Владимир Игоревич, [avdzeykovi@yandex.ru](mailto:avdzeykovi@yandex.ru)

## Введение

Системы электропитания (СЭП) с передачей электроэнергии по кабелю являются важнейшими и неотъемлемыми частями глубоководных комплексов, летательных аппаратов, горнодобывающего шахтного оборудования, космических аппаратов и пилотируемых орбитальных станций, «зеленой» энергетики, а также систем и комплексов с промежуточным преобразованием параметров электрической энергии, предназначенных для работы в различных условиях эксплуатации, включая самые экстремальные.

Разработка новых, автоматизация и модернизация уже существующих систем и комплексов, неразрывно связаны с решением целого ряда проблем: оптимизация потерь электроэнергии при передаче, повышение надежности их функционирования и улучшение массогабаритных показателей при одновременном повышении требований к параметрам преобразуемой энергии.

Преобразование параметров передаваемой электроэнергии требуется в целом ряде случаев, например, при отклонении частоты и напряжения у первичного источника электропитания, от номинальных величин, при низкой эффективности передачи электроэнергии по кабелю, а также при необходимости подключения многочисленных потребителей с различными параметрами потребляемого тока.

Снижение потерь электроэнергии при передаче и оптимизация массогабаритных показателей СЭП достигаются за счет промежуточного преобразования электроэнергии и выбора ее оптимальных параметров: частоты

преобразования электрической энергии, величины напряжения на входе и выходе кабеля, а также, вида передаваемого по кабелю тока.

Цель данной статьи заключается в анализе и выявлении на основе патентного анализа наиболее перспективных способов и схемных решений по преобразованию параметров электрической энергии для их применения на этапе проектирования СЭП.

Для проведения патентного анализа были сформированы данные о количестве патентов на изобретения, зарегистрированных Патентным ведомством США (USPTO) с 2013 по 2022 гг. в группах и подгруппах H02M3 («Преобразование энергии постоянного тока на входе в энергию постоянного тока на выходе»), H02M5 («Преобразование энергии переменного тока на входе в энергию переменного тока на выходе») и H02M7 («Преобразование энергии переменного тока на входе в энергию постоянного тока на выходе; преобразование энергии постоянного тока на входе в энергию переменного тока на выходе») Международной патентной классификации (далее – МПК).

На основе полученных данных были построены временные ряды (2013-2022) патентов США и проведен количественный анализ динамики регистрации оригинальных схемных решений для 165 подгрупп H02M3, H02M5, H02M7. Анализ количества патентов и тенденций динамики их регистрации в подгруппах послужили обоснованием для выбора варианта преобразования и выявления наиболее перспективных направлений развития способов преобразования параметров электрической энергии, классифицируемых МПК (DC/DC, AC/AC, AC/DC, DC/AC).

Полученные в данной работе новые результаты предназначены для технических специалистов в области проектирования и разработки устройств преобразовательной техники и систем электропитания на их основе.

## 1. Патентный анализ как инструмент выявления перспективных технических направлений

Поиск и выявление перспективных и прорывных технических (технологических) направлений развития основывается на анализе информации, содержащейся в открытых источниках (журнальные статьи, доклады, патенты, отчеты о НИР, научные диссертации, монографии). Исходным критерием для оценки уровня развития и прогнозирования того или иного направления является анализ количества научно-технических публикаций в конкретной области с помощью библиометрических методов, которые основаны на свойстве информации, содержащейся в публикациях, отражать и опережать по времени практическую реализацию разработок.

Наибольшее распространение среди известных библиометрических методов получили *публикационный* и *патентный* методы.

Первый из них основан, в частности, на поиске и разнообразном анализе опубликованных журнальных статей и докладов на различных научно-технических мероприятиях. В этом случае выборка публикаций для последующего анализа осуществляется с использованием ключевых слов (словосочетаний).

Например, тезаурус цифровой библиотеки IEEE Xplore представляет собой контролируемый словарь, содержащий почти 11500 описательных инженерных, технических и научных терминов, а также терминов, характерных для общества IEEE. А тезаурус Inspec (индексирующая база данных научной и технической литературы по физике, электротехнике, электронике, вычислительной технике, технике управления и информационным технологиям.) представляет собой предметный указатель, содержащий более 10000 контролируемых терминов. Причем предметы в базе данных Inspec распределены в рамках иерархической структуры с использованием более 3500 классификационных кодов, которые можно использовать для более точного поиска в предметных областях Inspec.

Тем не менее, несмотря на достоинства публикационного метода, патентный метод имеет преимущество с точки зрения оценки состояния и развития именно технических направлений. Поскольку в его основе лежит более развернутая и более обширная (например, по сравнению с Inspec) иерархическая структура – Международная патентная классификация, состоящая из восьми разделов (А, В, С, D, Е, F, G, H), охватывающих практически весь спектр технических решений. При этом МПК непрерывно развивается и расширяется. Например, редакция МПК18 содержала 73915 подгрупп, тогда как в редакцию МПК на начало 2023 года входило уже 78604 подгрупп.

Анализ конкретного технического направления, описываемого в рамках структуры МПК, реализуется при последовательном выполнении следующих этапов: сбор данных о количестве патентов, формирование и анализ временных рядов, выявление найденных закономерностей, представление результатов и формулировка выводов [1]. В работе [2] предложен один из вариантов патентного метода для выявления перспективных технических решений в области преобразования параметров электрической энергии. Данный вариант основан на анализе динамики регистрации патентов США на изобретения в соответствующих группах МПК за последние 10 лет включительно. Выбранный временной интервал является достаточным для большинства задач, решаемых с помощью патентного метода, поскольку в условиях быстрого развития технологий большая часть разработанных способов и устройств теряют за десять лет, или даже быстрее, свою актуальность и вытесняются более востребованными. В соответствии с разработанной авторами методикой [3], перспективными в рамках конкретных групп и подгрупп МПК считаются технические решения, защищенные достаточным для анализа количеством патентов, с растущей динамикой количества патентов на выбранном временном интервале.

## 2. Проблемы передачи по кабелю параметров электрической энергии

При проектировании систем электропитания с передачей электроэнергии потребителям по кабелю приходится решать следующие основные проблемы:

- выбор способа передачи энергии на постоянном или переменном токе;
- выбор величины напряжения постоянного или переменного тока на входе и выходе кабеля;
- выбор частоты передачи на переменном токе.

Проблема выбора способа передачи электроэнергии по кабелю, возникшая с изобретением систем передачи на постоянном и переменном токе (Т. Эдисон, Н. Тесла), является актуальной и в настоящее время. В рамках решения этой проблемы предложены различные варианты построения СЭП постоянного и переменного тока. Например, в публикациях [4-6] приводят аргументы о преимуществе систем электропитания постоянного тока, а авторы [7-9] отдают предпочтение СЭП переменного тока. С одной стороны, разработка надежных биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) и управляемых тиристоров (IGCT) привела к разработке новых вариантов преобразования электрической энергии, но, с другой, еще больше усложнила выбор оптимального варианта построения СЭП.

Авторы [10-13] на примере анализа СЭП телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (далее – ТНПА) исследовали преимущества и недостатки известных вариантов построения СЭП и сформулировали рекомендации для разработчиков систем электропитания с передачей электроэнергии по кабелю на постоянном и переменном токе. Анализ результатов, полученных в этих публикациях, показал, что все рассмотренные варианты имеют право на реализацию, обладают определенными преимуществами перед другими, но также имеют недостатки, которые необходимо учитывать.

Анализ вариантов построения СЭП с передачей энергии по кабелю и их оптимизация по целому ряду параметров (стоимость, эффективность, надежность) является сложной многофакторной задачей, наилучшее решение которой предполагает учет параметров первичного источника электропитания,

режимов работы и характера нагрузок, длины кабеля, условий эксплуатации системы, а также специфических требований потребителя. Кроме того, оптимальный выбор разработчиками варианта СЭП зависит от имеющейся элементной базы, технологий и производственных возможностей, опыта разработки, финансовых и иных ресурсов, а также от других факторов.

### **3. Анализ способов передачи энергии**

Для анализа применяемых способов преобразования рассмотрены варианты СЭП передачи электроэнергии на переменном токе с частотой 50 и 1000 Гц и на постоянном токе.

Передача на частоте 50 Гц до сих пор применяется из-за надежности и годами отработанных технологий. Применение способа прямого подключения первичного источника электропитания к кабелю ограничивается большими потерями в кабеле из-за относительно низкой величины его входного напряжения и необходимости использования кабеля с большим сечением проводников.

На практике нашли применение системы с подключением повышающего трансформатора с выходным напряжением от 1,0 до 6,6 кВ [14] на входе кабеля. Повышение величины напряжения позволяет уменьшить ток в кабеле, а, следовательно, сократить потери в нем. Снижение тока в проводнике любого сечения, например, в два раза, обеспечивает снижение потерь в четыре раза [15]. Основной недостаток данного способа – необходимость установки понижающих трансформаторов в глубоководной аппаратуре, работающих на частоте 50 Гц и необходимость использования исполнительных механизмов с большой величиной напряжения электропитания. Способ преобразования уровня напряжения за счет применения трансформаторов, работающих на частоте питающей сети, не представляет интереса с точки зрения патентного анализа.

Значительно чаще на практике применяется вариант передачи на переменном токе с промежуточным высокочастотным преобразованием

параметров электрической энергии. В данных СЭП выходное 3-х фазное напряжение переменного тока с выхода генератора с помощью мостового выпрямителя преобразуется в напряжение постоянного тока, которое затем преобразуется с помощью высокочастотного инвертора с выходным повышающим трансформатором в напряжение переменного тока (DC/AC) величиной до 3-5 кВ частотой от 400 или 1000 Гц [16]. Повышение частоты промежуточного преобразования позволяет в разы улучшить массогабаритные показатели повышающих трансформаторов инвертора и понижающих трансформаторов, используемых в системе управления тросом (Tether Management System – далее TMS) и дистанционно управляемом аппарате (Remotely operated Vehicle – далее ROV). Повышение величины напряжения на входе кабеля обеспечивает возможность снижения в несколько раз сечения проводников, а, следовательно, уменьшение массы, стоимости и потерь в кабеле. Уровень выходного напряжения инвертора ограничивается только допустимым напряжением изоляции кабеля, стоимостью судового и глубоководных полупроводниковых преобразователей, а также величиной  $\cos \phi$  передачи кабеля по току и по напряжению, влияющих на величину активной мощности на выходе кабеля. В этом варианте осуществляется преобразование переменного напряжения в переменное (AC/AC) с промежуточным преобразованием в переменный ток в надводной части СЭП и высоковольтного переменного на TMS и ROV в постоянное (AC/DC). Электропитания для собственных нужд осуществляется на базе маломощных трансформаторов, выпрямителей и стабилизаторов постоянного тока.

Наибольшую популярность в настоящее время получил вариант СЭП ТНПА с передачей электроэнергии на постоянном токе. Преимущество этого способа основано также на использовании промежуточного преобразования параметров электроэнергии на высокой частоте. Выпрямленное напряжение генератора с помощью конвертора DC/DC преобразуется в напряжение постоянного тока, величина которого ограничивается только изоляционными свойствами кабеля. Известны публикации [17, 18], в которых сообщается

об использовании напряжения до 5 и даже до 10 кВт. Высокое напряжение постоянного тока на выходе кабеля понижается с помощью конвертора DC/DC до приемлемого уровня и поступает на двигатели постоянного тока, а также преобразуется в переменное с помощью инвертора DC/AC. Таким образом, при использовании передачи на постоянном и переменном токе используются все способы преобразования электрической энергии: DC/AC, AC/AC, AC/DC и DC/DC.

#### 4. Анализ способов преобразования параметров электрической энергии

В соответствии с МПК преобразование электрической энергии осуществляется следующими способами: преобразование энергии постоянного тока в постоянный ток (DC/DC), преобразование энергии переменного тока в переменный (AC/AC), преобразование энергии переменного тока в постоянный (AC/DC) и преобразование энергии постоянного тока в переменный (DC/AC). На рис. 1 показана динамика выдачи патентов США на изобретения с 2013 по 2022 гг. по данным способам.

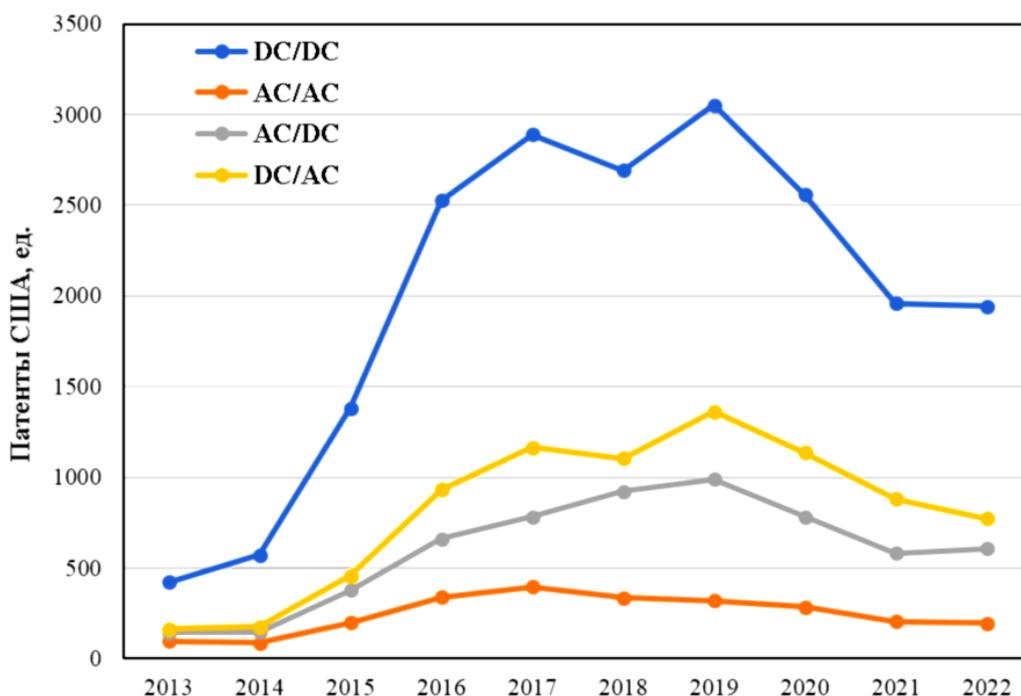


Рис. 1. Способы преобразования параметров электрической энергии.

Такой характер регистрации патентов свидетельствует о том, что наибольшее применение и развитие получил способ преобразования энергии постоянного тока в энергию постоянного тока. Так, например, на этот способ преобразования выдано 55,2% от общего количества патентов США, зарегистрированных в 2022 году. По сравнению со способом DC/DC, в отношении преобразования типа DC/AC зарегистрировано почти в 2,5 раза меньше патентов, а в отношении AC/DC и AC/AC в 3,2 раза и в 10 раз меньше, соответственно.

Значительное превосходство преобразования типа DC/DC можно объяснить стремительным прогрессом в области микроэлектроники, вычислительной техники, техники специального назначения, а также цифровизацией технологий, развитие которых основано на применении СЭП постоянного тока.

Общее количество патентов в 2022 году, по сравнению с 2018 годом, уменьшилось на 43,6%. В современных системах СЭП непосредственная передача по кабелю от первичного источника питания к потребителю не применяется ввиду нецелесообразности либо экономической неэффективности. На всех этапах цепи «генератор – кабель – потребитель» осуществляется промежуточное преобразование параметров электрической энергии, которым в данной статье уделено основное внимание.

## **5. Анализ способов преобразования DC/DC (конверторы)**

Преобразователи DC/DC, в соответствии с классификацией МПК выполняются в двух вариантах: без промежуточного преобразования (БПП) в переменный ток (H02M3/02 – 3/158), и с промежуточным преобразованием (СПП) в переменный ток (H01M3/22 – 3/338). Динамика изменения количества выданных патентов на эти варианты и их модификации за последние 10 лет показана в таблице 1.

Таблица 1. Варианты построения конверторов DC/DC.

Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
DC/DC без промежуточного преобразования в переменный ток										
H02M3/02 – 3/158	46	218	741	1551	1858	1670	1964	1651	1247	1218
H02M3/125 – 3/142	0	2	3	2	3	7	20	5	6	7
H02M3/145 – 3/158	21	184	619	1261	1518	1274	1508	1214	917	916
H02M3/157	2	29	69	109	126	111	153	97	96	80
H02M3/158	2	41	274	620	802	707	778	667	499	581
DC/DC с промежуточным преобразованием в переменный ток										
H02M3/22 – 3/338	371	348	619	949	998	989	1049	865	659	619
H02M3/325 – 3/338	329	312	564	856	884	894	956	796	585	578
H02M3/337	4	4	60	101	102	104	115	83	50	38
H02M3/338	4	10	13	21	13	27	22	9	9	5

Начиная с 2015 года, по количеству патентов, вариант БПП опережает вариант СПП. Схемы с БПП используются в маломощных преобразователях и не обеспечивают гальванической развязки входных и выходных цепей. Схемы СПП применяются в мощных устройствах, гальваническую развязку у которых выполняют инверторные схемы с выходными трансформаторами. Преобразователи на полупроводниковых приборах БПП реализуются на тиристорах (H02M3/125 – 3/142) или на транзисторах (H02M3/145 – 3/158). Практическое применение получил только транзисторный вариант БПП, схемы которого, в соответствии с МПК, выполняются для автоматического управления током или напряжением с цифровым управлением (H02M3/157), либо с несколькими полупроводниковыми приборами в качестве конечного управляющего устройства с несколькими транзисторами в качестве конечного управляющего устройства для одной нагрузки (H02M3/158).

Преобразователи СПП в постоянный ток также патентуются только на транзисторах (H02M3/325 – 3/338), при этом на схемы преобразователей, выполненные на базе двухтактных схем инверторов (H02M3/337), выдано наибольшее количество патентов.

В СЭП постоянного тока буксируемых глубоководных аппаратов преобразователи с гальванической развязкой применяются в качестве силовых преобразователей на входе кабеля, а схемы без промежуточного преобразования при передаче электроэнергии по кабелю с высоким напряжением, в схемах электропитания потребителей постоянного тока на выходе кабеля.

## **6. Анализ способов преобразования АС/АС**

Преобразователи АС/АС, в соответствии с МПК, подразделяются на два вида: без промежуточного преобразования в постоянный ток (H02M5/02 – 5/297) и с промежуточным преобразованием в постоянный ток (H02M5/42 – 5/458). Количество патентов, выданных на эти варианты, и их основные модификации приведено в таблице 2. Преобразователи БПП выполняются на полупроводниковых приборах типа тиристора, для которых требуется применение средств гашения разряда (H02M5/22 – 5/27) в двух модификациях: с использованием только полупроводниковых приборов (H02M5/257), или для преобразования частоты (H02M5/27). В последние 5-7 лет наметилась тенденция снижения внимания разработчиков к тиристорным вариантам проектирования преобразователей БПП, в то время как вариант на транзисторах (H02M5/275 – 5/297) получил преимущество. Преобразователи БПП на транзисторах, выполненные с использованием только полупроводниковых приборов (H02M5/293), по количеству патентов в 2-4 раза опережают устройства для преобразования частоты (H02M5/297).

На вариант выполнения преобразователей АС/АС с промежуточным преобразованием в постоянный ток (H02M5/40 – 5/458) выдано значительно большее количество патентов. Вариант преобразователей на тиристорах (H02M5/443 – 5/452) имеет тенденцию снижения количества патентов. На транзисторный вариант преобразователей СПП (H02M5/453 – 5/458) за последние 10 лет выдано в 3,8 раза больше патентов, чем на преобразователи СПП на тиристорах.

В системах электропитания буксируемых глубоководных аппаратов самым перспективным вариантом проектирования преобразователей АС/АС является транзисторный вариант с промежуточным преобразованием в постоянный ток, используемый для повышения величины напряжения и частоты на входе кабеля.

Таблица 2. Варианты построения конверторов АС/АС.

Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
АС/АС без промежуточного преобразования в переменный ток										
H02M5/02 – 5/297	19	12	65	123	121	133	100	94	63	65
H02M5/25 – 5/27	10	2	18	24	19	20	15	15	8	6
H02M5/275 – 5/297	3	7	28	64	56	58	37	30	32	32
АС/АС с промежуточным преобразованием в переменный ток										
H02M5/40 – 5/458	74	66	129	210	266	200	220	187	141	130
H02M5/443 – 5/452	29	30	25	45	48	22	23	16	11	10
H02M5/453 – 5/458	8	10	64	120	157	130	155	145	104	98

## 7. Анализ способов преобразования АС/DC (выпрямители)

Статические преобразователи данного типа подразделяются на варианты без управляющего электрода (H02M7/06 – 7/10) – неуправляемые выпрямители, и с управляющим электродом (H02M7/12 – 7/25) – управляемые выпрямители. Неуправляемые выпрямители, классифицируются в МПК как устройства с включением полупроводниковых приборов параллельно (H02M7/08) или последовательно (H02M7/10) и для настоящего исследования интереса не представляют. Управляемые выпрямители на тиристорах (H02M7/145 – 7/19) выполняются с использованием полупроводниковых приборов в мостовой схеме (H02M7/162), включенных параллельно (H02M7/17) или последовательно (H02M7/19). В транзисторном варианте (H02M7/21 – 7/25) управляемые выпрямители патентуются также в трех вариантах: по мостовой схеме (H02M7/219), с включением полупроводниковых прибором параллельно (H02M7/23) или последовательно (H02M7/25).

Таблица 3. Варианты построения конверторов АС/DC.

Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Преобразование АС/DC без управляющего электрода										
H02M7/06 – 10	28	18	83	145	162	181	180	176	107	117
Преобразование АС/DC с управляющим электродом										
H02M7/12 – 7/25	52	70	158	287	333	327	403	297	233	254
H02M7/145 – 7/19	8	17	18	35	37	45	61	37	24	24
H02M7/162	1	4	9	11	10	17	21	13	7	8
H02M7/17	1	4	2	1	1	1	3	2	2	1
H02M7/19	0	0	1	6	4	3	5	1	1	0
H02M7/21 – 7/25	44	51	125	232	268	262	300	224	179	214
H02M7/219	3	6	28	45	83	79	99	80	70	93
H02M7/23	1	1	1	10	14	14	14	12	7	4
H02M7/25	3	1	0	6	7	10	8	4	5	3

Для СЭП с преобразованием АС/DC самым перспективным вариантами являются управляемые преобразователи переменного тока в постоянный ток, выполненные на транзисторах или тиристорах по мостовым схемам. По количеству выданных патентов транзисторный вариант на порядок превышает тиристорный вариант. Данные преобразователи используются в качестве стабилизаторов напряжения или тока для питания компьютеров и оборудования, критичных к качеству напряжения питания.

## 8. Анализ способов преобразования DC/AC (инверторы)

Практически все преобразователи постоянного тока в энергию переменного тока выполняются на полупроводниковых приборах с управляющим электродом. В МПК данные преобразователи подразделяются на следующие разновидности:

– преобразователи с выходами, каждый из которых может иметь более двух уровней напряжения (H02M7/483 – 7/49) – многоуровневые инверторы;

– схемы соединений статических преобразователей для параллельной работы (H02M7/493);

– синусоидальные выходные напряжения, получаемые путем комбинирования множества напряжений, несовпадающих по фазе (H02M7/497);

– синусоидальные выходные напряжения, получаемые путем комбинирования множества импульсов напряжений, имеющих разные амплитуды и длительность (H02M7/501);

– с использованием приборов типа тиристора, для которых требуются средства для гашения разряда (H02M7/505 – 7/529);

– с использованием приборов типа транзистора, для которых требуется непрерывный управляющий сигнал (H02M7/53 – 7/5395).

Среди перечисленных разновидностей преобразователей DC/AC наибольшее количество патентов было выдано на преобразователи с выходами, каждый из которых может иметь более двух уровней напряжения (H02M7/483 – 7/49), и на преобразователи с использованием приборов типа транзистора, для которых требуется непрерывный управляющий сигнал (H02M7/53 – 7/5395). Остальные разновидности по количеству патентов уступают этим устройствам в несколько раз.

Таблица 4. Варианты построения конверторов AC/DC.

Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
H02M 7/483 – 7/49	1	6	93	210	248	183	227	175	163	142
H02M 7/493	0	2	21	45	51	36	49	39	41	30
H02M 7/497	0	1	1	2	2	6	5	3	1	2
H02M 7/501	0	1	1	1	1	1	2	2	1	0
H02M 7/505 – 7/529	6	7	11	11	13	7	19	16	8	12
H02M 7/53 – 7/5395	111	103	225	426	544	515	658	586	476	433
H02M 7/5375	1	0	0	3	3	0	5	1	0	1
H02M 7/538 – 7/5381	9	5	27	24	53	20	39	29	12	15
H02M 7/5383	4	6	10	6	7	11	4	2	0	0
H02M 7/5387 -7/5388	53	44	103	226	242	219	346	358	304	242
H02M 7/539 – 7/5395	3	7	24	52	69	71	92	82	65	65

В свою очередь многоуровневые преобразователи подразделяются на инверторы с нулевым выводом (H02M7/487) и на инверторы с комбинацией форм выходного напряжения множества преобразователей (H02M7/49).

Преобразователи, выполненные на транзисторах, подразделяются по МПК на следующие модификации, использующие транзисторы:

- со специальным устройством запуска (H02M7/5375);
- в двухтактной схеме (H02M7/538 – 7/5381);
- в устройстве с автоколебаниями (H02M7/5383);
- в мостовой схеме (H02M7/5387 – 7/5388);
- с автоматическим управлением формой или частотой выходного сигнала (H02M7/539 – 7/5395 – 7/5395).

В соответствии с приведенными в таблице 4 данными, на практике используются только транзисторные многоуровневые преобразователи DC/AC, выполненные на инверторах с нулевым выводом (H02M7/487), и инверторы с комбинацией форм выходного напряжения множества преобразователей (H02M7/49), а также транзисторные преобразователи с автоматическим управлением формой или частотой выходного сигнала (H02M7/539). Данные типы преобразователей используются в надводной части СЭП с передачей электроэнергии на переменном токе.

## **Заключение**

1) Все способы преобразователей при использовании транзисторов в качестве силовых полупроводниковых приборов значительно чаще патентуются, чем при использовании тиристорных.

2) Самым перспективным способом является преобразование постоянного напряжения в постоянное.

3) Маломощные преобразователи DC/DC без промежуточного преобразования самый развиваемый способ преобразования параметров электрической энергии.

4) Преобразователи АС/АС с промежуточным преобразованием по количеству выданных патентов в 1,5-2 раза опережают вариант без промежуточного преобразования.

5) Использование мостовых схем на транзисторах является перспективным направлением развития преобразователей АС/DC и DC/АС.

**Финансирование:** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-29-0403 <https://rscf.ru/project/23-29-00403/>

### Литература

1. Avdzeyko, V., Karnyshev, V., Pascal, E. Patent Analysis as a Tool for Revealing Promising Trends of Technological Development // Proceedings of papers. 2019. Vol. 2. P. 1191–1197.
2. Патентный анализ как инструмент для выявления перспективных направлений развития DC/DC конвертеров / В.И. Авдзейко, В.И. Карнышев, В.М. Рулевский, Е.С. Паскаль // Практическая силовая электроника. 2019. № 1. С. 20–23.
3. Прогнозирование тенденций развития и выявление перспективных технологий в области преобразовательной техники / В.И. Авдзейко, В.И. Карнышев, Р.В. Мещеряков, Л.В. Парнюк // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2017. Т. 60, № 2. С. 51–56.
4. An introduction to high voltage direct current (HVDC) subsea cables systems. Brussels. 2012. P. 1–20. URL: [https://europacable.eu/wp-content/uploads/2021/01/Introduction-to-HVDC-Subsea-Cables-16-July-2012\\_.pdf](https://europacable.eu/wp-content/uploads/2021/01/Introduction-to-HVDC-Subsea-Cables-16-July-2012_.pdf)  
(Дата обращения: 12.01.2023)
5. Исследование и разработка системы энергообеспечения привязного подводного робота с модернизированным источником электропитания / В.А. Герасимов, А.В. Комлев, Н.А. Найденко, А.Ю. Филоженко // Подводные исследования и робототехника. 2021. №3(37). С. 82–88.

6. Система электропитания глубоководного аппарата с высоковольтной передачей энергии постоянного тока по кабель-тросу / В.М. Рулевский, В.А. Чех, В.Г. Букреев, Р.В. Мещеряков // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. №1(195). С. 155–167.
7. Почему мы используем переменный ток вместо постоянного тока: интересные аспекты в различных отраслях промышленности и дома // Lambda Geeks. URL: <https://ru.lambdageeks.com/why-do-we-use-ac-instead-of-dc/> (Дата обращения: 16.01.2023)
8. Мишин, В.Н., Рулевский, В.М., Юдинцев, А.Г. Системы электропитания телеуправляемых подводных аппаратов переменного тока мощностью свыше 10 кВт // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 322, № 4. С. 107–110.
9. Direct current power supply for deep-sea mining machine / J. Janousek, P. Tusla, P. Vozenilek, K. Buhr // The proceedings of the fifth isope ocean mining symposium. Tsukuba, Japan. 2003. P. 99–104.
10. Components of an ROV system – Part 2: Primary subsystems and electrical considerations // EETimes. URL: <https://www.eetimes.com/components-of-an-rov-system-part-2-primary-subsystems-and-electrical-considerations/> (Дата обращения: 23.01.2023)
11. Fard, R.N., Tedeschi, E. Investigation of AC and DC power distributions to seafloor mining equipment // OCEANS 2017 – Aberdeen. 2017. P. 1–7. <https://doi.org/10.1109/oceanse.2017.8084903>
12. Michael, C.W., Marcelo, A.T., Jose, M. An analysis of sub sea electric power transmission techniques from DC to AC 50/60 Hz and Beyond // Conference: OCEANS. 2007. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2007.4449349>
13. Рулевский, В.М., Юдинцев, А.Г. Системы электропитания современных телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов // Технические проблемы освоения Мирового океана. 2013. С. 108–112 <http://www.imtp.febras.ru/images/stories/konf/tpomo-5-30-sentjabrja-4-oktjabrja-2013/pdf/sekcija1.pdf>

14. Cable Selection Considerations for Subsea Vehicles // R.N. Fard, O.A. Eidsvik, E. Tedeschi, I. Scholberg // 2018 OCEANS – MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO). 2018. P. 1–8. <https://doi.org/10.1109/OCEANSKOBE.2018.8559225>
15. Snaryt, P., Bingham, C.M., Stone, D.A. Influence of ROV umbilical on power quality when supplying electrical loads // 2005 European Conference on Power Electronics and Applications. Dresden, Germany. 2005. P. 1–10. <https://doi.org/10.1109/EPE.2005.219565>
16. Cheh, Q., Liu, Z. A novel electric power delivery system voltage regulation strategy for the of a 6000-m ROV // Applied Ocean Research. 2018. P. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2018.08.020>
17. Sedita, M., Cocimano, R., Hallewell, G. Power and Submarine Cable Systems for the KM3NeT kilometre cube Neutrino Telescope. 2008. P. 286–290. <https://cds.cern.ch/record/1235826/files/p286.pdf>
18. Johann, W. K., David, M., Jonas, E.H. Conceptualization of the MVDC Power System of Ultra-Deep Sea HyDrones. URL: [https://www.pes-publications.ee.ethz.ch/uploads/tx\\_ethpublications/18\\_ICDCM\\_2021\\_Keynote\\_FINAL\\_060721.pdf](https://www.pes-publications.ee.ethz.ch/uploads/tx_ethpublications/18_ICDCM_2021_Keynote_FINAL_060721.pdf) (Дата обращения: 01.02.2023)

**Для цитирования:**

Авдзейко В.И., Карнышев В.И., Дроздова А.А., Рулевский В.М. Выявление перспективных способов преобразования параметров электрической энергии. // Журнал радиоэлектроники. – 2023. – №. 10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.10.9>