

# РЫНОК СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ (ДИНАМИКА И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ)

АВТОРЫ:

Р.Н. ШУЛЬГА, К.Т.Н.  
ВЗИ-ФИЛИАЛ ФГУП  
«РФЯЦ-ВНИИТФ»

**Ч**тобы соответствовать требованиям современных рынков, производители силовой электроники должны постоянно улучшать характеристики своей продукции. К параметрам, которые определяют конкурентоспособность продукции, относятся:

- повышение КПД;
- повышение удельной мощности преобразователей;
- повышение климатической стойкости и надежности;
- снижение стоимости.

**Ключевые слова:** рынок; силовая электроника; полевой МОП-транзистор; IGBT-прибор; SiC-прибор; GaN-прибор.



В 2020 г. мировое потребление электроэнергии составило 25 ТВт·ч. К 2050 г. это потребление выйдет на уровень 38 ТВт·ч

Силовая электроника (СЭ), по определению Общества инженеров силовой электроники, — это область электроники, связанная с преобразованием электроэнергии и коммутацией силовых электрических цепей с помощью электронных вентиляей. Значимость СЭ определяется тем, что две трети вырабатываемой электроэнергии потребляется в преобразованном по параметрам виде. Несмотря на наступление четвертой информационной волны индустриализации, ее реализация невозможна без увеличения выработки электроэнергии. Так, по данным Международного энергетического агентства (МЭА), в начале века годовое потребление энергии в мире составляло 40–50 ТВт·ч, а потребление электричества — 8–12 ТВт·ч. При этом ежегодные затраты на производство электроэнергии оценивались на уровне 500 млрд долл., а потери — до 80 млрд долл. Ограничение ресурсов при росте населения даже во время пандемии не позволяет обеспечить душевное удовлетворение потребностей в электроэнергии, несмотря на развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ), применение местных источников, новых технологий и др.

Основными потребителями электроэнергии являются: электроприводы (ЭП) — 51%, освещение — 19%, нагрев (охлаждение) — 16%, телекоммуникации — 14%, причем 25% электроэнергии используется прямо без потерь для управления объектами применения.

Применение ЭП экономит до 40% генерируемой электроэнергии, доля ЭП в технологиях пока не превышает 40% и с учетом повышения может дать экономию до 72 млрд долл. Применение новых источников освещения позволяет сэкономить от 120 млрд до 200 млрд долл. Применение СЭ для автомобилей обеспечивает экономию до 30 млрд долл., а в ближайшие годы примене-

ние СЭ для электромобилей позволит сэкономить более 300 млрд долл., что требует отдельного рассмотрения. Переход на импульсные источники питания дает экономию до 2,5 млрд долл. Применение СЭ на генерирующих ТЭС и АЭС позволяет снизить энергопотребление на 30–40%, а себестоимость выработки электроэнергии — примерно на 10%. Емкость рынка СЭ в РФ на начало века составляла 18 млрд долл., при том что емкость рынка силовых полупроводниковых приборов (СПП) оценивалась в 582 млн долл. [9].

## СОСТОЯНИЕ РЫНКА СЭ НА НАЧАЛО ВЕКА

Динамика роста СПП в 2005 г., по данным В. Муркова (зам. ген. директора ЦНИИ «Электроника»), достигала 30% в год, емкость рынка СЭ в мире составляла 26 млрд долл., в то время как рынок интегральных микросхем достигал 200 млрд долл., а рынок изделий радиоэлектронной техники 1,3–1,4 трлн долл. Выпуск СЭ в мире осуществляют 300–340 ведущих фирм в десятках странах мира [5].

Потребителями СЭ в РФ являются организации ТЭК, промышленности, транспорта, связи, телекоммуникации, ЖКХ. Запросы этих организаций обеспечивают примерно 40 предприятий в 30 городах РФ. Наиболее крупными производителями считаются «Электровыпрямитель», «Протон-Электротекс», «Ангстрем». Общий объем производства СПП в РФ в 2005 г. достигал 4 млрд руб. в год, а номенклатура составляла примерно 70 групп, хотя в стране не был удовлетворен спрос на внутреннем рынке, РФ экспортировала продукцию СЭ на 40 млн долл. в 50 стран при участии 156 компаний. Несмотря на давление мирового рынка СЭ, российские производители сохраняют позиции в части выпуска

силовых тиристоров и диодов, а также силовых модулей IGBT и быстродействующих диодов FDV. Потребности Гособоронзаказа заставляют не только поддерживать, но и развивать опережающими темпами ряд ключевых направлений: лазерная техника, СВЧ-техника, электромагнитное и пучковое оружие, которые невозможно реализовать без СЭ, СПП и цифровых систем управления (СУ). Уровень цифровизации и роботехники становится определяющим фактором развития экономики и военных приложений. Область систем накопления электроэнергии (СНЭ) не только способствует развитию альтернативной энергетики (ВЭУ, ФЭУ и др.), но и приводит к новой форме генерации и потребления, так называемой распределенной генерации, включая малые атомные реакторы, местные источники, новые технологии генерации, передачи и распределения.

В статье В. Войтовича и соавт. [2] сделан довольно подробный аналитический обзор, где мировой рынок мощных транзисторов оценен в 11 млрд долл. с темпом роста 31%, рынок мощных диодов — в 2 млрд долл. с темпом роста 4%, рынок мощных тиристоров — в 1,2 млрд долл. с темпом роста 3,7%. Однако квалифицированный обзор недоучел прогресс в исследованиях новых технологий развития перспективных приборов, которыми явились SiC-, GaN-приборы, значительно опередившие показатели приборов на основе кремниевой технологии.

## ПРЕДШЕСТВУЮЩАЯ ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ РЫНКА СЭ

С 1950-х гг. развитие производства электронных вентиляей, являющихся базой СЭ для энергетики, определялось соперничеством двух конкурен-

тов: ВЭИ (СССР) и ABB (Швеция). Сначала на основе ртутной техники были созданы одноанодные (ВЭИ) или шестианодные (ABB) вентили, затем в 1970-е гг. — высоковольтные тиристорные вентили (ВТВ). ВЭИ, разработав к 1980-м гг. восемь поколений ВТВ с жидкостным охлаждением, световым управлением, модульным исполнением, опередил ABB за счет создания уникальных комплексов электрооборудования для передачи постоянного тока (ППТ) 1500 кВ Экибастуз–Центр мощностью 6 ГВт длиной 2500 км и крупнейшей вставки постоянного тока (ВППТ) в Выборге мощностью 1,4 ГВт.

Развал СССР обусловил передачу эстафеты лидерства в энергетике фирме ABB, которая в 1990-е гг. стала безусловным лидером энергетической, освоив приборы IGBT, IGCT, разработав передовую технологию HVDC LIGHT, участвуя в широком

энергетическом строительстве в Китае и других странах мира. В первом десятилетии нынешнего века фирма Siemens, разработав технологию HVDC PLUS, вырвалась на лидирующие позиции в энергетике, освоив порядка 100 объектов FACTS (ППТ, ВППТ, компенсаторы и т. п. на основе СЭ) по всему миру. Разработанные фирмой фототиристоры с диаметром шайбы 150 мм стали основой более 10 ППТ в Китае, Индии и других странах мира.

Последние 10 лет ознаменовались переходом лидерства к Китаю, осуществляющему широкое энергетическое строительство. Вводя в год 100 МВт мощностей (в России — 5 МВт), Китай освоил ППТ напряжением до 2200 кВ длиной до 3 тыс. км, начал развитие сетей постоянного тока напряжением до 500 кВ, построив сети линий электропередачи (ЛЭП) переменного тока напряжением до 1200 кВ.

Следует отметить, что к настоящему времени передовые фирмы Запада, к которым относятся ABB, Siemens, GE, стали монополистами в энергетике благодаря патентному праву, участию в МЭК, СИГРЭ и других международных организациях и блокируют попытки выхода на рынок энергетической развивающихся стран, включая Россию. Вышеперечисленные фирмы стали транснациональными и благодаря значительному заделу в части исследовательских работ лидируют в большинстве направлений. Например, ABB — лидер ЭП большой мощности для промышленности, транспорта и др. Разработав с начала века электрические винторулевые колонки типа AZIPOD мощностью до 30 МВт, фирма поставила их на более чем 80 судов, включая круизные лайнеры, ледоколы, буровые и нефтедобывающие платформы. Siemens и GE имеют заделы по основным направлениям развития СЭ, правда, пока на основе традиционной кремниевой технологии.

На рис. 1 показан прогресс в части параметров ППТ, где цифрами 1 и 3 обозначены соответственно мощность  $P$  и напряжение  $U$  традиционных электропередач для передачи больших мощностей на дальние расстояния по технологии преобразователя тока (ПТ), а цифрами 2 и 4 — соответственно  $P$  и  $U$  для кабельных электропередач по технологии преобразователя напряжения (ПН). Системные аварии, появление новых источников в виде ВИЭ и рост требований к надежности энергоснабжения поставили на повестку дня разработку многоподстанционных сетей постоянного тока (МСПТ), которые, используя технологию ПН, должны объединить с помощью кабельных линий (КЛ) многочисленные источники генерации, включая ВИЭ с многочисленными потребителями, в том числе пассивными, для обеспечения надежного энергоснабжения даже в условиях аварии в любой ветви энергосистемы [3, 4]. Мощность КЛ

## ПРОГРЕСС В ЧАСТИ ПАРАМЕТРОВ ППТ (МОЩНОСТИ $P$ , НАПРЯЖЕНИЯ $U$ ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ПТ (1, 3) И ПН (2, 4)

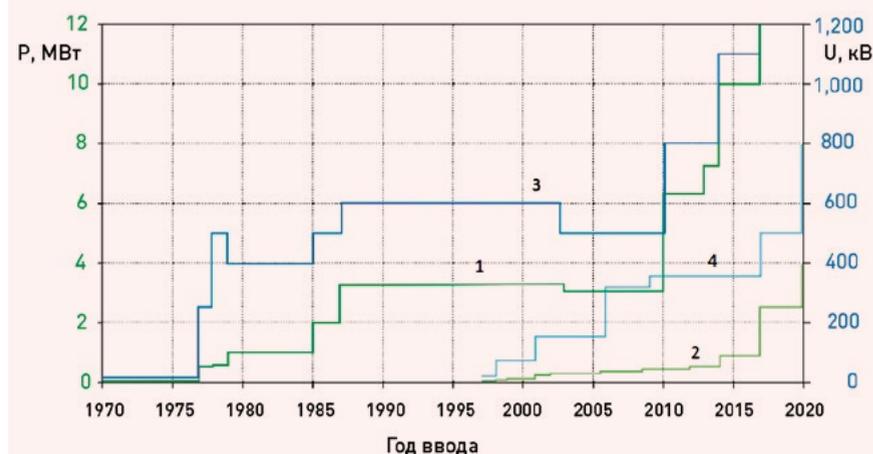


Рис. 1

должна достигать 500–1000 МВт, напряжение — 200–300 кВ, что вполне достижимо, кроме выключателей постоянного тока, которые должны быть простыми, надежными и дешевыми в силу многочисленности. Гибридные выключатели, которые разработаны в Китае и фирмой ABB, пока не соответствуют предъявляемым требованиям, поэтому проблема МСПТ требует дополнительных исследований и разработок. В России уже вполне реальна разработка МСПТ мощностью 20–30 МВт напряжением 20–30 кВ для энергоснабжения городов, отдаленных районов, объектов спецтехники, например, в Арктике или на Чукотке от плавучей АЭС «Ломоносов», тем более что все оборудование, включая выключатели постоянного тока, уже разработаны [16]. Проблемы МСПТ обсуждаются во многих публикациях [см., напр., 14, 17, 20].

## СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ДЕЛ НА РЫНКАХ СЭ

Современное положение дел на рынках СЭ характеризуется традиционным ростом выпуска приборов на основе кремния, включая тиристоры, диоды, приборы IGBT, быстро восстанавливающиеся диоды, которые по мощности и энергоэффективности удовлетворяют требованиям потребителей. В статье М. Макушина [10], И. Покровского [12] отмечается, что, по оценкам IR, объем мирового рынка ЭП с 2010 по 2015 г. утроился. В части электроэнергетики доминировали ВЭУ и ФЭУ. Объем рынка ФЭУ до 30% составляют фотопанели, в то время как основные компоненты СЭ в виде инверторных преобразователей (ИП) и аккумуляторных батарей (АБ) составляют 70–80%. Наиболее характерным является пример Да-

## РЫНОК НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ВИЭ [19, 23]



Источник: Bloomberg New Energy Finance

Рис. 2

### ИНФОРМАЦИЯ

**International Rectifier** — американский разработчик и производитель электронных компонентов. Специализируется на изделиях для систем электропитания: силовые транзисторы, импульсные стабилизаторы, микросхемы управления импульсными преобразователями, электродвигателями, люминесцентными лампами и др. Номенклатура изделий International Rectifier (с префиксами IR, IRF) стала де-факто стандартом силовой электроники и широко используется независимыми производителями.

нии, где треть энергопотребления обеспечивается ВЭУ, а остальное энергопотребление осуществляется за счет централизованных и местных источников [22].

## РЫНОК ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ И НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Рынок источников питания [25] является одним из быстроразвивающихся. Объем рынка в 2018 г. составил 8,2 млрд долл. [21] с ежегодным ростом на 6%, так что к 2021 г. объем составит 10 млрд

долл. Динамика рынка обусловлена развитием серверных центров, а также заменой свинцово-кислотных аккумуляторов на литий-ионные аккумуляторы (ЛИА). В 2018 г. передовые ИТ-компании потратили 120 млрд долл. на создание центров обработки данных (ЦОД). Из них значительную сумму составляют затраты на источники бесперебойного питания (ИБП) с ЛИА суммарной емкостью примерно 200 МВт·ч, причем объем рынка ИБП с ЛИА в 2022 г. составит 2 млрд долл.

Рынок накопителей электроэнергии (НЭЭ) и систем накопления электроэнергии (СНЭ) в различных типах ВИЭ представлен на рис. 2.

По данным Экспертно-аналитического доклада [13], рынок СНЭ к 2025 г. составит от 1,5 млрд до 8,6 млрд долл. с ожидаемым эффектом от 2,5 млрд до 11 млрд долл. К 2017 г. мощность крупнейшего производства в России «Лиотех»

составила 1 ГВт·ч/год, а в мире — 107 ГВт·ч/год.

В мире СНЭ развиваются опережающими темпами. В 2017 г. объем рынка СНЭ составил 2,6 млрд долл., к 2024 г. он достигнет 82 млрд долл., из них на стационарные СНЭ будет приходиться до 50 млрд долл. [23].

Динамика рынка СНЭ в различных отраслях ВИЭ (в млрд долл.) в интервале 2004–2017 гг. была отражена на рис. 1, и если инвестиции на ВЭУ и ФЭУ составляют соответственно от 100 млрд до 150 млрд долл./год, то затраты на цифровую энергетику неуклонно возрастали, достигли примерно 50 млрд долл. и включают в себя затраты на РЗА, устройства связи и телекоммуникации (см. элементы красного цвета на рис. 2). Цифровая энергетика включает цифровые станции и подстанции по протоколу IEC 61850, а также цифровое управление производством, транспортом и домаш-

ними хозяйствами. Этот сегмент рынка будет неуклонно развиваться с учетом искусственного и облачного интеллекта с перспективой перехода к нейронным сетям.

Приведенная стоимость хранения в течение жизненного цикла (LCOS) для наиболее продвигаемых ЛИА составляла в 2005 г. 550 долл./МВт·ч, в 2017 г. 320 долл./МВт·ч, а к 2025 г. снизится до 150 долл./МВт·ч [19]. Близкие к ним данные дает Институт электропитания [11], который оценивает LCOS в 2016 г. в 273 долл./кВт·ч, а в 2030 г. в 74 долл./кВт·ч (20%-ное снижение ежегодно). Еще более радужные перспективы у натрий-сернистых аккумуляторов: снижение LCOS с 300 долл./кВт·ч в 2015 г. до 200 долл./кВт·ч в 2030 г. Аналогичные показатели LCOS у суперконденсаторов, которые в 2015 г. составляли 350 долл./кВт·ч, а к 2030 г. достигнут 200 долл./кВт·ч [12].

Динамика цен на разные типы СНЭ приведена на рис. 3 в интервале 2004–2017 гг., откуда видно, что ЛИА и проточные батареи обладают наибольшими перспективами (первые из-за более высокой тиражируемости, а вторые благодаря меньшей стоимости материалов). Ожидается, что снижение цен на СНЭ будет происходить не только за счет крупных батарей (мощностью до 100 МВт), но в большей степени за счет внедрения в домашние хозяйства (мощностью до 10 кВт) [10, 13, 19, 21, 23–25].

В России наиболее широкие перспективы имеет применение ВИЭ в сочетании с СНЭ для районов автономного энергоснабжения, которые занимают две трети территории страны и в настоящее время обеспечивают энергоснабжение за счет дизельных электростанций (ДЭС). Затраты на производство электроэнергии за жизненный цикл

(LCOE) при наличии ДЭС составляют 25,67 руб./кВт·ч. Стоимость применения ДЭС+ВЭУ+СНЭ (при замене 70% мощности ДЭС) составит 11,43 руб./кВт·ч, т.е. будет вдвое ниже нынешней стоимости [11]. Экономия затрат обусловлена тем, что ВЭУ+СНЭ обеспечивают базовый режим работы вместо ДЭС с меньшим расходом топлива.

По дорожной карте развития СНЭ к 2025 г. в России предполагается нарастить объем рынка до 78 млрд руб., предусмотрев экспорт оборудования на 26 млрд руб., объем получения водорода на 65 млрд руб., доведя LCOS до 15 руб./кВт·ч. Объединение усилий Газпрома и Росатома для получения водорода обеспечит использование электроэнергии от АЭС и переработку добываемого из-под земли метана. Водородная энергетика в России признана наиболее перспективным направлением развития. Наряду с этим поставлена задача для СНЭ с ЛИА к 2025 г. обеспечить удельную емкость в размере более 200 Вт·ч/кг, ресурс с числом циклов более 5 тыс., срок службы более 7 лет, удельную капитальную стоимость менее 100–140 долл./кВт·ч.

Рынок СЭ предъявляет следующие требования к компонентам СЭ: повышение КПД, удельной мощности источников питания (ИП), климатической, а также радиационной стойкости и надежности, снижение стоимости.

Начиная с 2015 г. на рынок начинают выходить новые технологии СПП: GaN — для низковольтных приборов и SiC — для высоковольтных приборов. Для приборов на основе кремния начинают использоваться пластины диаметром 300 мм. Также предусматривается широкое использование пленочных конденсаторов взамен электролитических, нанокристаллического железа взамен ферритов. Осущест-

вляется цифровизация СУ ИП. Для традиционных приборов на основе кремния взамен пайки повсеместно вводятся конструкции прижимного типа, улучшаются технологии сборки и корпусирования силовых модулей (СМ) [1, 6–8, 15, 18].

Объем рынка традиционных СПП на основе кремния на 40% обеспечивается фирмой IR, поглотившей фирму Infineon. Другие известные производители (числом до 10) занимают примерно по 10% рынка компонентов СЭ. Объем рынка РФ в части производства ИП в 2015 г. превысил 2 млрд долл. (из них 30% на российский оборудовании). Объем рынка исследований СПП составил 120 млн долл., причем поло-

#### ИНФОРМАЦИЯ

Из протокола заседания подкомитета РНК СИГРЭ В4 и ПК-6 «Силовая электроника в электроэнергетике» [2016]

Основные экономические и технические эффекты от внедрения устройств регулирования потоков мощности на базе силовой электроники и ППТ в электроэнергетику могут быть получены за счет следующих факторов:

- Возможности управляемой передачи электроэнергии большой мощности на дальние расстояния при помощи воздушной ЛЭП постоянного тока
- Обеспечения возможности управляемой передачи электроэнергии по длинным (свыше 30–50 км) подводным и подземным кабельным линиям при использовании значительно более дешевой кабельной системы постоянного тока.

вина суммы связана с разработкой СМ, вторую половину составляют затраты на силовые дискретные компоненты и сборки.

Ведущими предприятиями по-прежнему являются «Электровыпрямитель» и «Протон-Электротекс», обеспечивающие большинство заказов крупных потребителей. После 2015 г. наметился некоторый поворот в производстве СПП в РФ за счет девальвации рубля, что облегчило конкуренцию с Китаем, особенно для военных применений. Следует отметить, однако, что стоимость печатных плат (ПП) и сборок в Китае в три раза ниже, чем в РФ или Европе. Это обусловлено эффективной организацией производства, низкой стоимостью материалов, оплаты труда.

## ОЖИДАНИЯ РЫНКА СЭ С УЧЕТОМ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

По данным Yole Developpement (Лион, Франция) [24], в 2018 г. уровень продаж на рынке СЭ в части СПП оценивался в 53,4 млрд долл., а к 2024 г. — в 72,6 млрд долл. (без учета последствий пандемии), так что средний темп роста в сложных процентах (CAGR) ожидается на уровне 5,3%. В части производства СПП ожидается приоритетное производство полевых транзисторов МОП, IGBT- и SiC-приборов. Рост продаж IGBT- и SiC-приборов ожидается соответственно на 3,7 и 4,6% в год. Объем выпуска электродвигателей и электроприводов ЭП составит 23 и 29% (соответственно с 2018 по 2024 г.). Доля ФЭУ вырастет с 8,3 до 10,4%, а доля ВЭУ снизится с 3,9 до 3,4%. Доля железнодорожного транспорта повысится с 8,6 до 11,9%. Наибольшие приросты ожидаются от 23 до 29%

## ДИНАМИКА ЦЕН НА РАЗНЫЕ ТИПЫ СНЭ В 2004–2017 ГГ. [11]



Источник: Navigant Research

для ЭП и зарядной инфраструктуры электромобилей. Доля электромобилей увеличится с 3,5 до 10,7%. ЛЭП практически не изменятся и займут нишу на уровне 1%. Последний показатель не касается Китая и Индии, осуществляющих ускоренное развитие электросетей.

В 2020 г. ожидается объем потребления электроэнергии в мире на уровне 25 ТВт·ч, а к 2050 г. — на уровне 38 ТВт·ч. Объем промышленного потребления электроэнергии к 2040 г. составит 30%, электромобилей — 5%; 8 млн ЦОД будут потреблять до 2–3% электроэнергии с ежегодным приростом 5%. Если сегодня приборы IGBT на основе кремния занимают 23% объема рынка, то в перспективе наибольший рост ожидается для SiC с широкой запретной зоной, большей удельной мощностью. SiC-приборы в отличие от кремниевых более трудны в обработке, имеют высокую дефектность и гораздо дороже кремниевых. Однако преимущества в показателях и в эксплуатации перевешивают их недостатки. GaN-приборы обладают большой мощностью, низким зарядом затвора, нулевым обратным током, плоской выходной емкостью, но мало применимы в промышленных приложениях.

Наиболее продвинутым производителем SiC-приборов является STMicroelectronics (Швейцария) с ожидаемым объемом выпуска SiC-приборов на уровне 3,7 млрд долл. Эти приборы выпускаются с пластинами диаметром 150 мм для напряжения от 650 до 1700 В частотой до 500 кГц. Значительные перспективы ожидает выпуск GaN на подложке SiC. Ведущими фирмами в этом направлении являются Cree (лидер), Integra, Microsemi. Указанные приборы позволяют расширить применение радиолокации, лидаров, беспилотного транспорта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянова К.С., Кувшинов А.А., Хренников А.Ю. Сетевые стенды с высоковольтным сильноточным полупроводниковым ключом для электродинамических испытаний силовых трансформаторов//Известия вузов. Электромеханика. 2016. № 6 (548). С. 92–97.
2. Войтович В., Гордеев А., Думаневич А.Si, Ga As, SiC, GaN — силовая электроника. Сравнение, новые возможности//Силовая электроника. 2010. № 28. С. 4–10.
3. Измайлов С.В., Шульга А.Р., Шульга Р.Н., Змиева К.А. Новые подходы к созданию энергоинформационных распределительных систем//Электротехника. 2014. № 2. С. 39–43.
4. Измайлов С.В., Шульга А.Р., Шульга Р.Н. Реализация облачной информационной технологии для контроля, мониторинга и управления распределительными энергосистемами//Электротехника. 2013. № 12. С. 52–56.
5. Кондратов И. Силовая электроника — направление перспективное. URL: <https://www.itweek.ru/themes/detail.php?ID=69243> (дата обращения 21.12.2004).
6. Кувшинов А.А., Вахнина В.В., Черненко А.Н., Кретов Д.А., Хренников А.Ю. Применение тиристоров для защиты силовых трансформаторов от геомагнитных возмущений//Энергия единой сети. 2018. № 6. С. 66–70.
7. Кувшинов А.А., Хренников А.Ю. Высоковольтный сильноточный полупроводниковый ключ для безопасного проведения электродинамических испытаний силовых трансформаторов//Электричество. 2016. № 3. С. 4–11.
8. Кувшинов А.А., Хренников А.Ю., Радин П.С., Галиев И.Т., Мажурин Р.В., Шкурпат И.А. Перспективы применения фототиристоров, запираемых тиристоров IGCT и мощных транзисторов IGCT для электродинамических испытаний силовых трансформаторов//Новое в российской электроэнергетике. 2016. № 11. С. 6–20.
9. Кузнецов Ф.А., Резниченко М.Ф., Преображенский Е.Б., Харитонов С.А. Оценка рынка устройств и систем силовой электроники в Российской Федерации//Химия в условиях устойчивого развития. 2001. Т. 9. № 7. С. 837–844.
10. Макушин М. Тенденции развития силовой электроники//Электроника: наука, технология, бизнес. 2019. № 8 (189). С. 50–57.
11. ООО «Институт электропитания». URL: <http://www.all-pribor.ru/>
12. Покровский И. Обзор рынка компонентов силовой электроники//Вестник электроники. 2016. № 2. С. 6–7.
13. Рынок систем накопления энергии в России: потенциал развития. Экспертно-аналитический доклад. Под ред. Ю. Удальцова, Д. Холкина. М.: Центр стратегических разработок, 2018.
14. Трансформирование сети для революционного изменения электроэнергетики в Северной Америке — «Сеть 2030». Национальный взгляд (видение) на второе столетие электроэнергетики. Департамент энергетики США: аналитическая записка. М.: Информационно-маркетинговый центр Всероссийского электротехнического института, 2003.
15. Хренников А.Ю. Высоковольтное электротехническое оборудование в электроэнергетических системах: диагностика, дефекты, повреждаемость, мониторинг. Учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2019.
16. Шульга Р.Н. К вопросу о возможности создания гибридной энергораспределительной сети с накоплением электроэнергии//Новое в российской электроэнергетике. 2015. № 12. С. 29–44.
17. Шульга Р.Н. Контейнерные подстанции среднего напряжения//Новости электротехники. 2018. № 2 (110). С. 42–46.
18. Шульга Р.Н., Петров А.Ю., Хренников А.Ю. Энергетические платформы с использованием цифровых модульных подстанций и энергоблоков//Энергия единой сети. 2020. № 3. С. 28–39.
19. Bloomberg New Energy Finance. URL: <http://www.about.bnef.com/>
20. Deliverable 1.3: Synthesis of available studies on offshore meshed HVDC grids. URL: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/deliverable-13-synthesis-of-available-studies-on-offshore-meshed-projects/>
21. IHS Markit. URL: <https://ihsmarkit.com/index.html>
22. IPCC-2013. URL: <http://old.sovel.org/21032014>
23. Navigant Research. URL: <http://www.navigantresearch.com/>
24. Status of the Power Electronics Industry 2019 report. Yole Developpement, 2019. URL: [https://www.slideshare.net/Yole\\_Developpement/status-of-the-power-electronics-industry-2019-by-yole-dveloppement](https://www.slideshare.net/Yole_Developpement/status-of-the-power-electronics-industry-2019-by-yole-dveloppement)
25. TAdviser Summit. 24.11.2020. URL: <https://summit.tadviser.ru/>

# Программно-технический комплекс «АСУ-МТ»

Комплекс предназначен для построения систем контроля и управления объектами электроэнергетики, систем сбора и передачи оперативной информации подстанций, автоматизированных систем управления технологическими процессами подстанций с высшим уровнем напряжения 6-220 кВ, автоматизированных систем диспетчерского управления. Комплекс «АСУ-МТ» включает:

## ШФК-МТ - шкаф функционального контроллера

**Назначение:** сбор, управление, обработка и передача данных на верхний уровень. Принимает до 288 ТС и выдает до 160 ТУ.

## ШАСУ-МТ - шкаф автоматизированной системы управления

**Назначение:** сбор, управление, обработка и передача данных на верхний уровень. Без приема и передачи ТС и ТУ.

## ШКП-МТ - шкаф контролируемого пункта

**Назначение:** расширение возможностей системы по сбору дискретной и цифровой информации.

## Программный комплекс WebScadaMT

- Встроенный конвертер протоколов
- Формирование отчетов
- Прикладные алгоритмы АСУЭ

К шкафу ШФК-МТ можно подключить несколько ШКП-МТ

Возможность импорта SCL-файлов (SSD, BCC и/или CID)

Сопряжение с системами автоматизированного контроля и учета электроэнергии (АИИС КУЭ)



реклама

ООО «НТЦ «Механотроника» более 30 лет разрабатывает и производит интеллектуальные устройства релейной защиты и автоматики. Развиваясь и совершенствуясь, предприятие наращивает выпуск существующих устройств и решений и создает новые, превосходящие по своим параметрам продукцию мирового уровня.



**МЕХАНОТРОНИКА**  
Интеллектуальные устройства релейной защиты

198206, Санкт-Петербург, ул. Пионерстроя, д. 23, лит. А  
Единый телефон тех. поддержки: 8 (800) 250-63-60  
[www.mtrele.ru](http://www.mtrele.ru)