



# Мощные AC/DC-преобразователи для систем бесперебойного электропитания

**Сергей Коротков** (kor@mmp-irbis.ru),  
**Анатолий Лукин** (lukin@mmp-irbis.ru), **Игорь Соловьёв**

Уровень развития цивилизации тесно связан с количеством потребляемой энергии, а поскольку с каждым годом её необходимо всё больше, требования к мощности источников бесперебойного питания (ИБП) неуклонно растут. В свою очередь, это приводит к необходимости постоянного повышения удельной мощности преобразователей электроэнергии, входящих в состав ИБП.

## Особенности компоновки AC/DC-преобразователей для ИБП

В связи с тем что основная масса компонентов преобразователей, конструктивно занимающих большую часть печатной платы, имеет достаточно малые габариты, применение силовых элементов, в первую очередь электромагнитных компонентов большой высоты, приводит к неэффективному использованию объёма всего изделия. Чтобы пространство над малогабаритными, но занимающими значительную площадь платы компонентами не оставалось неиспользованным, необходимо, в первую очередь, максимально сократить эту площадь. Для этого все компоненты поверхностного монтажа размещают с обратной стороны печатной платы или переносят на отдельную плату, которую располагают вертикально. Даже входной фильтр и вспомогательный источник питания размещают на отдельных платах, создавая объёмную конструкцию наподобие трёхмерного тетриса, максимальным образом сокращая неиспользуемый объём. С этой же целью уменьшают общую высоту изделия, главным образом за счёт применения низкопрофильных сердечников в электромагнитных компонентах.

Уменьшение высоты преобразователей имеет свои разумные пределы, после достижения которых дальнейшее уменьшение высоты даёт обратный эффект, т.к. максимальная мощность изделия начинает резко ограничиваться из-за конечных размеров электромагнитных компонентов и электролитических конденсаторов большой ёмкости. В настоящее время оптимальной для мощных выпрямителей является высота, близкая к стан-

дартной высоте 1U для корзин 19" стоек питания. Ширина корпуса рассчитывается исходя из условия размещения в такой корзине нескольких выпрямителей.

Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время оптимальным по форме корпуса является достаточно длинный выпрямитель с небольшим поперечным сечением. В данной конструкции для обдува всех тепло выделяющих компонентов достаточно одного мощного вентилятора, причём при такой плотной компоновке скорость потока воздуха значительно выше, чем в свободных конструкциях, что значительно повышает эффективность обдува.

Вместе с тем ограничение высоты под стандарт 1U накладывает физические ограничения на максимальную мощность выпрямителя, поскольку оптимальная форма силовых электромагнитных компонентов мощных преобразователей не сильно отличается от формы куба и они не поддаются попыткам распределить их по плоскости. В настоящее время в корпусе шириной 85 мм (для размещения до 5 выпрямителей на одну полку в стойку 19") вполне реально разместить надёжный выпрямитель мощностью около 1,5 кВт, используя традиционную структуру корректор коэффициента мощности (ККМ) – мощный накопительный конденсатор – DC/DC-преобразователь. Мощности порядка 1,7...1,8 кВт являются для данных габаритов предельными, такими, при которых силовые компоненты работают с минимальными запасами.

При ширине корпуса 105 мм (до 4 выпрямителей на одну полку в стойку 19") номинальную мощность можно довести до 2,5...2,6 кВт, предельные значения при этом составят

2,7...2,8 кВт, причём предельные мощности будут иметь сильные ограничения по температуре окружающей среды, при которых снижение максимальной мощности начнётся едва ли не с +25...+30°C.

Для увеличения мощности выпрямителя можно в одном корпусе расположить несколько параллельно включённых преобразователей. При этом встроенному в выпрямитель микроконтроллеру необходимо осуществлять дополнительную функцию равномерного распределения выходного тока между составными частями выпрямителя. Одним из достоинств такого решения является резервирование питания в одном корпусе, т.е. выход из строя одного из преобразователей не приведёт к потере выходного напряжения, произойдёт только уменьшение максимальной выходной мощности. С другой стороны, для замены вышедшего из строя преобразователя потребуются демонтировать весь выпрямитель. На практике этот вариант был отброшен на стадии пробных образцов, участвовавших в выставках в составе стоек бесперебойного питания, но так и не нашедших своего потребителя.

Помимо внутренних факторов, ограничивающих мощность выпрямителя в указанных габаритах, не менее важным внешним фактором является выбор разъёма, соединяющего выпрямитель с корзиной. С одной стороны, входные контакты должны быть достаточно удалены друг от друга, а также от других контактов и корпуса выпрямителя, чтобы обеспечить необходимые требования по электробезопасности, с другой – выходные контакты должны быть рассчитаны на очень большой ток нагрузки. Наконец, разъём должен содержать определённое количество сигнальных контактов для связи выпрямителя с центральным процессором и внешним миром. В связи с этим подобрать разъём, удовлетворяющий перечисленным требованиям и не перекрывающий путь воздушного потока, создаваемого вентилятором, достаточно сложно. Реальный КПД, достижимый

в настоящее время при номинальном входном напряжении, не превышает величину порядка 94%, а это значит, что при выходной мощности 1,5 кВт вентилятор должен «сдувать» не менее 100 Вт потерь. По этой причине вопрос о габаритах разъёма нельзя сбрасывать со счётов.

**Компоненты выпрямителя, габариты которых влияют на мощность**

Для первой ступени выпрямителя – КKM – самой крупногабаритной и ответственной деталью, помимо дросселя, является накопительный электролитический конденсатор. Если в корпусе шириной 105 мм размещение нескольких конденсаторов Ø30...35×30 мм не вызывает особых трудностей, то в корпусе шириной 85 мм найти место даже для второго, дополнительного конденсатора не так просто, т.к. места рядом с вентилятором на плате уже нет. Кроме того, второй конденсатор занимает много места, ограничивая размещение других силовых компонентов, что в определённых случаях делает его применение

практически невозможным. Если же ориентироваться на один накопительный конденсатор, то при диапазоне входного напряжения выпрямителя от 85...90 В до 300...305 В и с учётом требований к допустимым пульсациям тока для выпрямителей в конструктиве 1U лучшим в настоящее время является номинал 560 мкФ на 450 В (Ø30×55...60 мм). Этот конденсатор позволяет без снижения характеристик в диапазоне входного напряжения 176...300 В обеспечить выходную мощность выпрямителя до 1,5 кВт и до 1,7...1,8 кВт при условии размещения конденсатора непосредственно в струе воздуха из вентилятора.

Очевидно, что столь жёсткие условия эксплуатации накопительно-электролитического конденсатора не способствуют увеличению его времени наработки на отказ и заявляемая отдельными производителями выпрямителей цифра 100 000 ч выглядит сомнительной. Поскольку подавляющее большинство производителей конденсаторов не публикуют формул для расчёта их долговечности в различных режимах эксплуатации,

остаётся верить, что конденсатор прослужит указанное время без отказов. Попытки увеличить срок службы за счёт применения конденсаторов диаметром 35 мм, допускающих больший ток пульсаций в конструктиве 1U, приводят к значительному сокращению полезной площади печатной платы, что для корпусов шириной 85 мм практически неприемлемо. Такое решение, в свою очередь, вынуждает уменьшать ширину силовых проводников, что при токах во входной цепи порядка 10...15 А может привести к уменьшению КПД на 1–2%.

Во второй ступени выпрямителя самой габаритной и не менее ответственной деталью является силовой трансформатор DC/DC-преобразователя. В конструктиве 1U при использовании современных сердечников типа PQ35, PQ40 можно получить выходную мощность до 1...1,5 кВт, а на сердечнике UU с обмотками из фольги с полиимидной изоляцией – до 1,5...1,8 кВт. Применение сердечника PQ40 с обмотками из фольги с полиимидной изоляцией позволяет довести выходную мощность до 2,5...2,8 кВт.

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭЛЕКОНД**



**50 лет**

**КОНДЕНСАТОРЫ**  
разработка и производство

**оксидно-электролитические алюминиевые**  
K50-15, K50-17, K50-27, K50-37, K50-68, K50-74, K50-76, K50-77, K50-80, K50-81, K50-83, K50-84, K50-85, K50-86, K50-87, K50-88, K50-89, K50-90, K50-91, K50-92, K50-93, K50-94, K50-95

**объемно-пористые танталовые**  
K52-1, K52-1M, K52-1БМ, K52-1Б, K52-9, K52-11, K52-17, K52-18, K52-19, K52-20, K52-21, K52-24

**оксидно-полупроводниковые танталовые**  
K53-1А, K53-7, K53-65(чип), K53-66, K53-68(чип), K53-71(чип), K53-72(чип), K53-74(чип), K53-77(чип)

**оксидно-полупроводниковые ниобиевые**  
K53-4, K53-52, K53-60

**ионисторы (суперконденсаторы)**  
K58-20, K58-21, K58-26

**накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов**

Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, 3  
Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77  
Факс: (34147) 4-32-48, 4-27-53  
e-mail: [elecond-market@elcudm.ru](mailto:elecond-market@elcudm.ru)  
<http://www.elecond.ru>

Реклама

Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015



Рис. 1. Выпрямитель ИП3000: а) в корпусе; б) со снятой крышкой

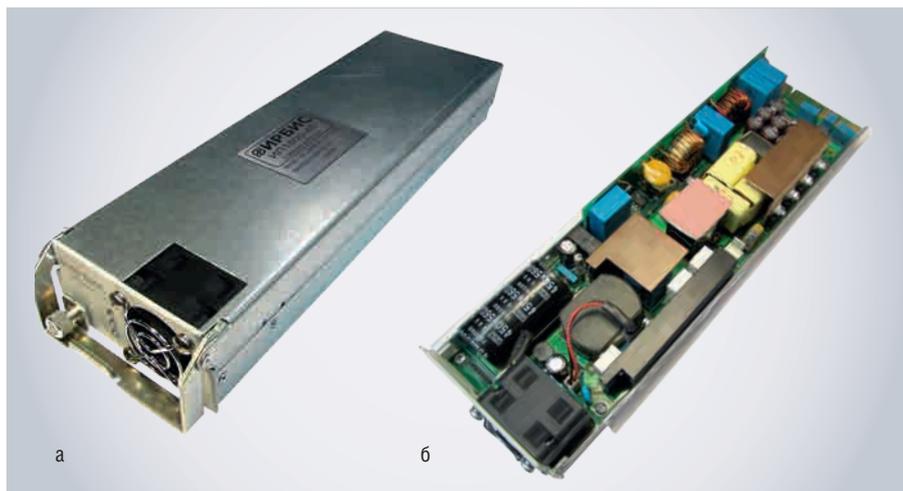


Рис. 2. Выпрямитель ИП1600: а) в корпусе; б) со снятой крышкой

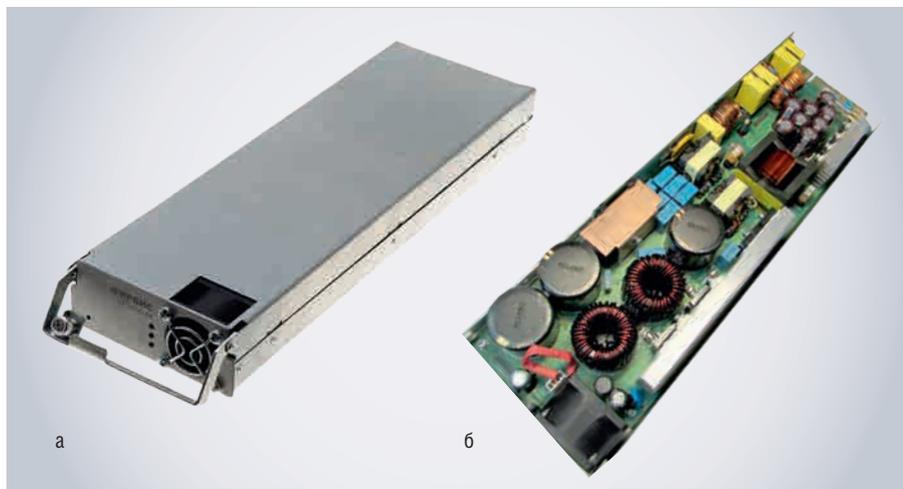


Рис. 3. Выпрямитель ИП2500: а) в корпусе; б) со снятой крышкой

**Топологии DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Практически для всех DC/DC-преобразователей мощностью более 1 кВт подходят две топологии: мостовая с фазовым сдвигом и резонансная. Обе топологии позволяют распределить тепловые потери между силовым трансформатором и дросселями, чтобы сделать их достаточно миниатюрными и

уложиться, таким образом, в габариты стандарта 1U.

При мощности нагрузки 1,5 кВт и выше, когда ток нагрузки составляет несколько десятков ампер, чрезвычайно важную роль играют параметры выпрямительных диодов (или синхронных ключей) на вторичной стороне преобразователя. Каждый лишний миллиом у ключа синхронного

выпрямителя при таких токах превращается в дополнительные ватты потерь. Естественно, предпочтительнее в этом случае выглядит топология, позволяющая использовать для выпрямления диоды или транзисторы с максимально меньшим допустимым напряжением и, следовательно, с меньшим падением напряжения в проводящем состоянии. Поэтому практически во всех современных выпрямителях большой мощности, рассчитанных на работу с аккумуляторами на 48 В и более, применяется та или иная вариация LLC-резонансного преобразователя. Помимо всех достоинств обычного резонансного преобразователя, при определённом, правильно выбранном сочетании величин индуктивности намагничивания, индуктивности рассеяния и ёмкости резонансного конденсатора и при фиксированном номинальном входном напряжении (что обеспечивает ККМ) рабочая частота LLC-преобразователя практически не зависит от тока нагрузки. Это свойство LLC-преобразователей значительно уменьшает возмущения выходного напряжения при резком изменении тока нагрузки и упрощает разработку схемы обратной связи.

**ВЫПРЯМИТЕЛИ КОМПАНИИ «ММП-ИРБИС»**

Компания «ММП-Ирбис» около 15 лет назад начала выпуск выпрямителей серии ИП1200А мощностью 1200 Вт. Их конструкция предполагает размещение по 6 выпрямителей в корзине 6U для 19" стойки. Достаточно свободная планировка позволяет применить стандартный сердечник ETD49 для силового трансформатора и кольцевые сердечники из пермаллоя для остальных электромагнитных компонентов. Вто-

рая ступень выпрямителя выполнена по схеме мостового преобразователя с фазовым сдвигом, вторичная сторона выполнена по схеме выпрямителя с удвоением тока. Большие габариты выпрямителя позволили использовать в качестве теплоотвода металлическое основание корпуса и применить для обдува маломощный вентилятор.

Позднее была разработана и воплощена новая концепция стойки бесперебойного питания, в которой для управления выпрямителями и инверторами не требуется центральный контроллер, а все его функции выполняют сами «умные» выпрямители и инверторы. В рамках этой концепции в дополнение к инверторам, выполненным в виде одной полки высотой 1U для стойки 19", в таком же корпусе на базе ИП1200А был разработан выпрямитель серии ИП3000 (см. рис. 1).

Силовая часть выпрямителя выполнена по той же схеме, что и ИП1200А, силовой трансформатор выполнен на кольцевом сердечнике, что позволяет вписаться по высоте в указанный ранее стандарт. Каждый выпрямитель содержит по две платы с AC/

DC-преобразователями мощностью 1500 Вт, включённые параллельно на общий выход, а также плату контроллера, следящего за равномерным распределением нагрузки между двумя преобразователями и выполняющего сервисные функции вместо центрального контроллера стойки. Внутренний вид выпрямителя ИП3000 показан на рисунке 1б.

Предусмотрено три стандартных исполнения выпрямителей ИП3000 для работы с аккумуляторными батареями на 24, 48 и 60 В.

В настоящее время выпрямители серии ИП3000 морально устарели, так и не найдя своего потребителя. Их место заняли выпрямители нового поколения серий ИП1600 (см. рис. 2) и ИП2500 (см. рис. 3). Данные выпрямители позволяют обеспечить до 8...10 кВт на одну полку высотой 1U для стойки 19", что в 3 раза превосходит возможности ИП3000.

Выпрямители рассчитаны на работу при входном напряжении от 85 до 297 В с ограничением максимальной мощности при входном напряжении ниже 176 В; рабочая температура без снижения выходной мощности – от +5 до +40...45°C, со снижением мощ-

ности – до +55°C. Удельная мощность составляет 1770...1900 Вт/дм<sup>3</sup>. Коэффициент полезного действия – до 94...95%.

Переменная скорость вращения вентилятора в зависимости от перегрева компонентов увеличивает срок его службы и снижает акустические шумы.

Помимо всех обязательных для выпрямителей функций, необходимых для работы в составе стоек бесперебойного питания, выпрямители данных серий допускают автономное использование для питания аппаратуры различного назначения и обладают набором дополнительных функций, таких как дистанционное включение/выключение, регулировка выходного напряжения от внешнего источника напряжения или с помощью внешнего переменного резистора, а также рядом других. Кроме того, предусмотрена возможность через адаптер интерфейса RS-485 подключиться к персональному компьютеру и с помощью специальной программы, находящейся в открытом доступе, наблюдать состояние выпрямителя и изменять отдельные настройки, в частности настройки выходного напряжения. ©

# НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Серия **GENESYS™**  
**5 кВт** (0...600 В / 0...500 А) • LAN / USB / RS-232 / RS-485  
 Масштабирование до 20 кВт



**TDK-Lambda**



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636  
INFO@PROSOFT.RU

[WWW.PROSOFT.RU](http://WWW.PROSOFT.RU)



НОВОСТИ МИРА

**ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА E-F@STORY СОКРАЩАЕТ ИЗДЕРЖКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА 60%**

31 мая 2018 года в рамках Startup Village выступил Андрей Гулаков, генеральный менеджер подразделения промышленной автоматизации Mitsubishi Electric в России. В своём докладе он представил цифровую платформу e-F@story и рассказал о качественно новых промышленных технологиях, которые компания реализует на российских предприятиях уже сегодня.

По мнению компании, именно такого уровня технологии позволят реализовать на практике стратегию социально-экономического развития Общество 5.0 не только в Японии, но и в России, и будут способствовать ускоренной цифровой трансформации российской экономики.

Ключевым элементом платформы является технология периферийных вычислений, или Edge computing, которая позволяет проанализировать и отобрать нужные данные, преобразовать их в информацию, которая необходима для принятия оптимальных управленческих

решений. Также технология позволяет значительно оптимизировать загрузку каналов связи и дата-центров. Система оперирует показателями в реальном времени и значительно увеличивает скорость принятия решения для оператора процесса. Применение платформы повышает производительность производства на 30%, а также сокращает издержки до 60%. Технология Edge computing – это фактически технология борьбы с ростом объёмов данных и связанных с этим процессом затрат. В свою очередь e-F@story – платформа для создания цифрового производства, позволяющая оптимизировать производственные процессы, преодолеть антагонизм операционных и информационных систем предприятия.

Следующим шагом в сфере цифрового производства станет усиление взаимодействия компаний-производителей, работающих на разных уровнях предприятия, – поставщиков ИТ и производственного оборудования. Большое количество различных протоколов на предприятиях препятствует слаженной работе всех его систем. Создание открытых платформ на основе объединения экспертизы и ноу-хау специализированных компаний позволит обеспечить «бесшовную» интеграцию производственных и ИТ-уровней предприятия в реальном времени, а также лёгкое моделирование данных.

Платформа e-F@story с успехом внедрена на всех предприятиях корпорации Mitsubishi Electric в Японии и активно внедряется на предприятиях России и стран СНГ. На базе платформы работают станки машиностроительных предприятий, водоканалы крупных городов, элементы платформы используются на предприятиях горнодобывающего комплекса России и Казахстана, а также контролируют работу шлюзов на Волго-Балтийском водном пути.

[www.mitsubishielectric.ru](http://www.mitsubishielectric.ru)

**СТРУКТУРА МИНЦИФРЫ БУДЕТ ИЗМЕНЕНА В ТЕЧЕНИЕ БЛИЖАЙШИХ НЕДЕЛЬ**

Структура Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций будет изменена в течение ближайших недель. Об этом на Петербургском международном экономическом форуме рассказал глава ведомства Константин Носков.

По его словам, перераспределение полномочий между Минэкономразвития и Министерством цифрового развития произойдёт примерно в те же сроки.

Министерство связи и массовых коммуникаций было преобразовано в Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций 15 мая 2018 года.

*Новости Интернета вещей*



**Программно-аппаратные комплексы с операционной системой реального времени**

**GNX PROSOFT® ADVANTIX**

**PROSOFT®**

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК**  
(495) 234-0636 • INFO@PROSOFT.RU • WWW.PROSOFT.RU



Реклама

## В МОСКВЕ ПРОШЁЛ ЕЖЕГОДНЫЙ ALTIUM FORUM 2018

Компания Altium Limited, ведущий мировой разработчик программного обеспечения для проектирования электроники, 22 мая 2018 года в Москве уже в пятый раз провела ежегодный форум, посвящённый инновациям в системах автоматизированного проектирования (САПР) электронных устройств на базе печатных плат. На одной площадке собрались разработчики, инженеры и пользователи САПР из российских и международных компаний.

Насыщенная программа форума состояла из секционных дискуссий и семинаров, посвящённых тематике мероприятия. Представители компании рассказали о достижениях Altium как на российском, так и на мировом рынках, особое внимание уделили стратегии развития своих программных решений. Приглашённые гости поделились положительным опытом успешно реализованных проектов, вызвавших неподдельный интерес аудитории. Затем участники посетили секции, где смогли первыми узнать о возможностях программных продуктов более детально и задать вопросы напрямую разработчикам и архитекторам продуктов Altium.

Первая секция была посвящена новой версии флагманского продукта компании Altium Designer® 18.1, в которой были улучшены базовые технологии, а также устранены ошибки, обнаруженные пользователями, и доработаны функциональные возможности, представленные в Altium Designer® 18.0.

Во втором секционном блоке было представлено новое решение Altium NEXUS®, которое создано для упрощения групповой проектной работы инженеров, конструкторов и их руководителей. Совместное проектирование позволяет распределять роли пользователей и управлять данными библиотек и проектов, а также автоматизировать общие процессы разработки. Такой подход обеспечивает прозрачное внесение изменений и сокращение количества итераций проектирования, что позволяет выводить на рынок качественные изделия в более короткие сроки. Особенностью Altium NEXUS® является то, что серверная часть, обеспечивающая взаимодействие, может находиться не только на серверном оборудовании организации, но и в облаке, что было недоступно ранее.

Участники третьей секции смогли подробнее узнать о математическом модели-



ровании электрических цепей в среде Altium Designer®, а также анализе цепей питания в PDN Analyzer®, позволяющем лучше реализовать заложенные в изделии технические решения и обеспечить целостность проектных данных.

Помимо этого, во время работы форума действовала интерактивная площадка Userzone, где каждый посетитель мог самостоятельно оценить нововведения и получить индивидуальную консультацию от технических экспертов Altium по любому из решений компании.

[www.altium.com](http://www.altium.com)





## LCD-панели AU Optronics

### Высокое качество по лучшим ценам

**Области применения:**

- Промышленное оборудование
- Банкоматы и терминалы оплаты
- Торговые терминалы (POS)
- Мультимедиа-системы
- Промышленные компьютеры (IPC)
- Системы безопасности
- Игровые автоматы
- Медицинское оборудование
- Системы автоматизации производственных процессов
- Информационные панели (PID)



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

**АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА**

(495) 232-2522 • INFO@PROCHIP.RU • WWW.PROCHIP.RU

