

Построение отказоустойчивых систем электропитания с использованием современных AC/DC-преобразователей

**Александр Гончаров (г. Прага, Чехия),
Константин Степнев, Олег Негреба (г. Воронеж)**

В статье рассматриваются универсальные AC/DC-преобразователи, предназначенные для питания промышленной и специальной аппаратуры. Преобразователи не имеют мировых аналогов по сочетанию широкого температурного диапазона, устойчивости к внешним воздействующим факторам и малогабаритного низкопрофильного конструктива.

На современном рынке AC/DC-источников питания широко представлены изделия с рабочим температурным диапазоном $-10...70^{\circ}\text{C}$ и относительно большими размерами. Кроме этого, источники мощностью более 150 Вт часто содержат такой потенциально ненадёжный элемент, как встроенный вентилятор. Однако существуют условия эксплуатации в технике промышленного и специального назначения, которые предъявляют к источникам питания особые требования по габаритам и устойчивости к интенсивному воздействию механических, климатических и химических факторов (вибрация, расширенный температурный диапазон, пыль, соляной туман и т.п.).

Радиоэлектронная аппаратура для изделий категорий Military и Industrial обычно требует для электропитания от двух до десяти номиналов стабилизированных постоянных напряжений из ряда 3,3; 5; 9; 12; 15; 24; 27; 36; 48; 60 В, которые формируются из сети переменного напряжения 220 В частотой 47...440 Гц. При работе с буферной аккумуляторной батареей также используются номиналы напряжения 14, 28 и 56 В (с учётом падения на разделительном диоде).

Как правило, в составе требуемых номиналов необходимо иметь несколько источников стабильного напряжения, гальванически не связанных между собой и с другими источниками. Это определяется необходимостью сформировать «плавающие» источники напряжения, допускающие при необходимости последовательное или параллельное соединение выходных напряжений, соединение полюсов с корпусом устройства, резервирование или, для обеспечения ЭМС, выделение «чистой» и «грязной» земли для аналоговых и цифровых блоков.

В настоящее время при построении распределённых систем электропитания широко используются две структурные схемы, показанные на рисунках 1 и 2.

В первой схеме (см. рис. 1) к напряжению входной сети переменного тока подключаются относительно маломощные модули AC/DC, которые сразу, без промежуточных преобразований, формируют необходимые для аппаратуры гальванически развязанные номиналы выходных напряжений. Эта структура в простейшем случае имеет один AC/DC-модуль, превращаясь в обычную систему электропитания. При необходимости

один из модулей может иметь на выходе буферный аккумулятор для питания наиболее ответственных узлов аппаратуры.

Во второй структурной схеме (см. рис. 2) имеется централизованный мощный блок питания, стабилизатор-кондиционер, который из напряжения входной сети формирует гальванически развязанное стабильное напряжение промежуточной шины, например 24 или 48 В. Если решается задача обеспечения бесперебойности, то кондиционер формирует 28 или 56 В для буферного аккумулятора. Также к промежуточной шине своими входами подключаются модули DC/DC, которые окончательно формируют упомянутые выше 2–10 номиналов выходных напряжений. При этом легко решаются вопросы их гальванической развязки.

Каждая из приведённых структурных схем распределённого электропитания имеет свои преимущества и недостатки. К недостаткам первой структуры можно отнести удалённость преобразователей от питаемых нагрузок, вызванную необходимость исключения высоковольтных проводов входной сети.

Однако именно при таком построении системы электропитания достигается максимальный КПД и минимальные тепловые потери, что часто является определяющим фактором. Поскольку эта система является однокаскадной, то при КПД каждого преобразователя 80% в виде тепла рассеивается лишь 25% суммарной выходной мощности.

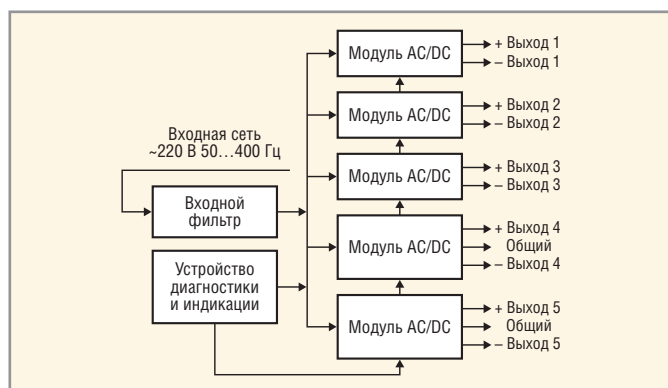


Рис. 1. Распределённая система электропитания без промежуточных преобразований

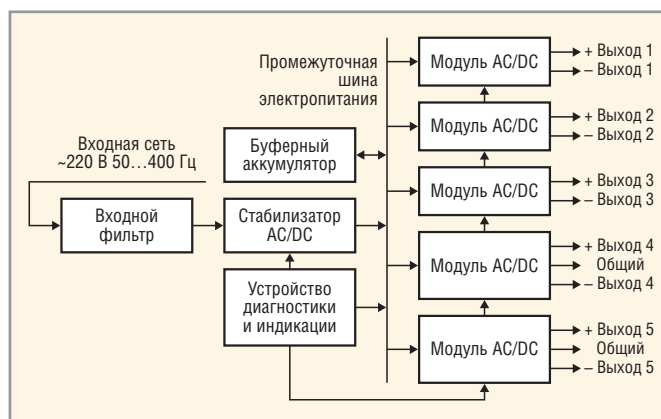


Рис. 2. Распределённая система электропитания с промежуточной шиной

Вторая структурная схема имеет большую гибкость и неограниченные функциональные возможности. Например, можно дистанционно управлять отдельными модулями DC/DC, производить их резервирование, повышая тем самым надёжность всей системы, обеспечивать многократную развязку от сетевого напряжения, что в ряде случаев является определяющим – например, при решении сложных задач электромагнитной совместимости или электробезопасности (медицинская аппаратура). Только в такой структуре можно максимально приблизить преобразователи к электронным устройствам – потребителям.

Легко заметить, что КПД такой системы ниже однокаскадной и равен произведению КПД преобразователей, включённых последовательно. Кроме этого, для обеспечения большой мощности централизованного стабилизатора во время пуска приходится выбирать его с выходной мощностью, в 1,5...2 раза превышающей мощность системы в установившемся режиме, что также приводит к снижению КПД.

Для построения систем электропитания по любому из рассмотренных вариантов разработчикам современной

аппаратуры, в том числе и специально-го назначения, необходимы AC/DC-преобразователи различной мощности, обладающие следующими конструктивными и электрическими свойствами:

- преобразователь должен быть малогабаритным и занимать как можно меньший объём; лучшие AC/DC-преобразователи имеют энергетическую плотность несколько сотен ватт на кубический дециметр;
- преобразователь должен быть низкопрофильным, поскольку, во-первых, это улучшает его конструктивную совместимость с другими функциональными узлами аппаратуры, имеющими плоскую форму, во-вторых, плоская конструкция преобразователя увеличивает площадь его теплоотводящей поверхности, что особенно важно для мощных преобразователей с высокой удельной энергетической плотностью;
- конструкция преобразователя должна быть надёжно защищена от механических и климатических воздействий;
- корпус преобразователя должен обеспечивать эффективное экранирование излучаемых помех;
- преобразователь должен иметь возможность подключения к аппаратуре

с помощью клеммного соединения гибких выводов, пайки к штыревым выводам или гибкими монтажными выводами;

- преобразователь должен иметь возможность работы в широком температурном диапазоне, обеспечивать хороший отвод тепла и выдерживать длительные тепловые перегрузки;
- преобразователь должен содержать все необходимые виды защит – от перенапряжения на выходе, от короткого замыкания и перегрузки выхода, тепловую защиту;
- для двух- и трёхканальных преобразователей необходимо иметь гальваническую развязку выходов между собой, что значительно расширяет функциональные возможности применения модуля в аппаратуре.

На рынке широко представлены модульные преобразователи AC/DC, в основном азиатских производителей, которые практически не имеют конкуренции по цене. Однако эти дешёвые устройства имеют много особенностей, затрудняющих их применение в промышленной и специальной технике, т.к. совокупность вышеперечисленных свойств обычно не достигается.

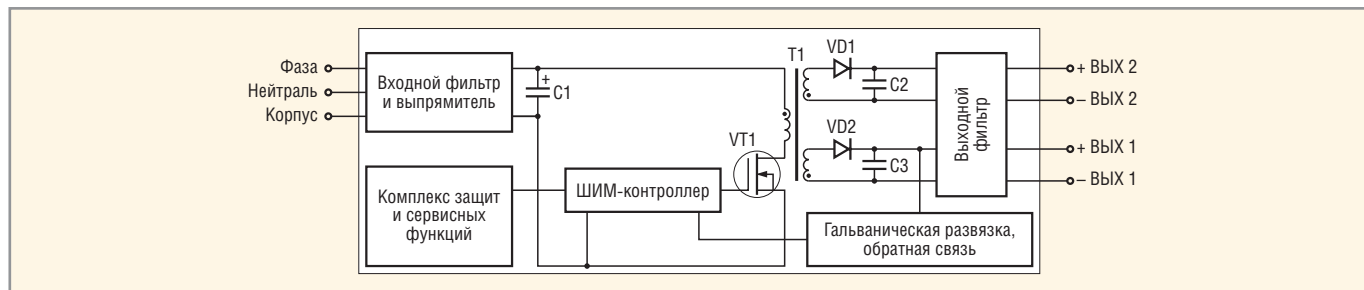


Рис. 3. Структурная схема модулей с выходной мощностью до 200 Вт включительно

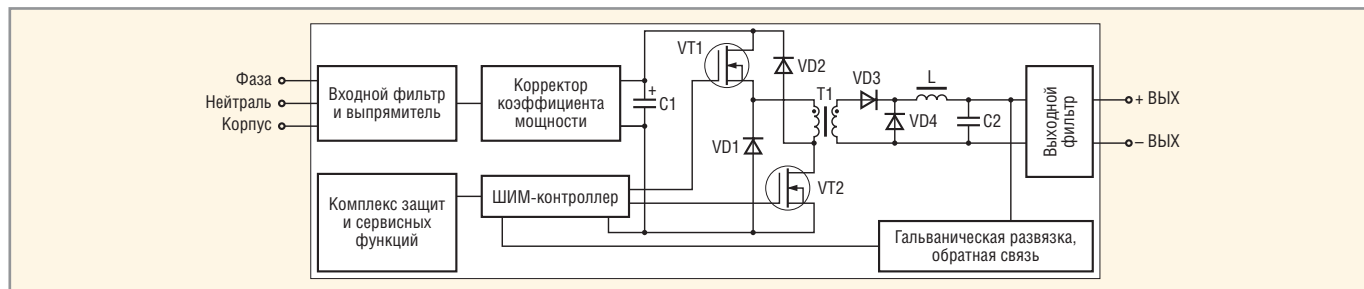


Рис. 4. Структурная схема модулей с выходной мощностью свыше 200 Вт

Во-первых, такие модули, как правило, имеют конструкцию, в которой отношение высоты модуля к его длине составляет неприемлемо большую величину. Это вызывает большие неудобства при размещении таких модулей в непосредственной близости от питаемых (низкопрофильных) функциональных узлов.

Во-вторых, несколько выходов одного модуля обычно связаны гальванически, что затрудняет построение высокоэффективных систем электропитания и организацию «чистых» земель.

В-третьих, большинство предлагаемых модулей AC/DC выполнены на основе печатных плат с локальными радиаторами охлаждения, не рассчитанными на эффективный отвод тепла на общий плоский радиатор. Примером может служить конструкция «компьютерного» источника питания стандарта ATX.

В результате в большинстве случаев конвекционного охлаждения и в ряде случаев воздушного обдува конструкторам аппаратуры приходится предусматривать недопустимо большие воздушные

промежутки с боков каждого модуля и особенно сверху. Наличие вентилятора в конструкции модуля обычно приводит к увеличению его высоты, к снижению надёжности в условиях пыли и песка и к увеличению уровня шума и вибрации.

В компактных AC/DC-модульных преобразователях [1–4] производства группы компаний «Александр Электрик» достигаются практически все вышеперечисленные свойства. В таблице 1 приведены массогабаритные показатели модулей, их энергетическая плотность и сервисные функции.

Типовая линейка AC/DC-преобразователей группы компаний «Александр Электрик» представлена категориями Standard, Industrial и Military.

Недорогие AC/DC-преобразователи категории Standard предназначены для питания разнообразной промышленной аппаратуры общего назначения. Они выполнены на стандартной элементной базе, поставляются без герметизирующей заливки и работают в диапазоне температуры –10...70°C. Оптимальная для большинства сфер

применения конфигурация преобразователей снижает расходы при создании системы электропитания общего назначения.

Преобразователи категории Industrial с диапазоном рабочей температуры –40...85°C предназначены для питания промышленной аппаратуры различного климатического исполнения. Устройства выполнены на элементной базе, тестируемой в расширенном диапазоне температур, и залиты теплопроводящим компаундом, защищающим элементы от неблагоприятных внешних воздействий. Для надёжной эксплуатации в аппаратуре модули проходят специальные температурные испытания и электротермотренировку.

Преобразователи AC/DC категории Military имеют диапазон рабочей температуры –50...85°C и выполнены на заказной элементной базе. Они имеют герметизирующую заливку полимерным теплопроводящим компаундом и предназначены для питания промышленной и специальной аппаратуры в самых жёстких климатических усло-

Таблица 1. Состав, основные характеристики и сервисные функции AC/DC-модулей группы компаний «Александр Электрик»

Выходная мощность модуля, Вт	Количество выходов	Масса, кг	Габариты, мм	Энергетическая плотность, Вт/дм ³	Температурный диапазон, °С	Входное напряжение, В		Развязка вход-выход, -кВ	Дистанционное выключение	Развязка выходов	Подстройка выходного напряжения	Выносная ОС	Параллельная работа	Корректор коэффициента мощности	Выход питания вентилятора	Стандарт ЭМС EN55022		Крепление на DIN-рейку		
						~100...264, ~80...140, ~176...264	трехфазное ~305...457									класс B	класс A			
30	1, 2, 3	0,16	98 × 50 × 16	382	–50...85; –40...85; –10...70	+		3		+							+	+		
60...75		0,22	108 × 60 × 20	578		+				+								+	+	
150...200		0,5	130 × 83 × 32	579		+	+			+	+	+		+				*	+	+
400...500	1, 2	1	171 × 92 × 34	940		+	+			+	+	+	+	+	+	+		*	+	+
800...1000		1,82	205 × 116 × 40	1099		+	+			+	+	+	+	+	+	+		*	+	+
1200...1500		2,21	244 × 139 × 40	1143		+	+			+	+	+	+	+	+	+		*	+	+

* В разработке

виях. Модули проходят специальные виды температурных и предельных испытаний, в том числе электротермотренировку с экстремальными режимами включения и выключения.

АС/DC-преобразователи разрабатывались для использования в различных конфигурациях систем электропитания. Так, например, модули мощностью до 200 Вт включительно оптимальны в качестве источников в системе электропитания без промежуточных преобразований (см. рис. 1). Они могут иметь до трёх выходных каналов и построены на основе обратных преобразователей напряжения с гальванической развязкой между входом и выходом (см. рис. 3).

Модули мощностью свыше 200 Вт обычно имеют один выходной канал и могут быть использованы в качестве централизованного стабилизатора в структуре, показанной на рисунке 2. Они представляют собой прямоходовую структуру так называемого косоугольного полумоста с гальванической развязкой между входом и выходом, схематично показанную на рисунке 4.

Модульные преобразователи не только имеют высокие удельные энергетические показатели, но и обладают специальной конструкцией, рассчитанной на общее теплоотводящее основание, снижающее требуемый для системы электропитания объём.

На рисунке 5 схематично показана конструкция модулей в разрезе. В основе модуля лежит алюминиевый корпус, на который отводится тепло от всех теплонагруженных элементов схемы – силовых транзисторов, диодов, трансформаторов, дросселей. В результате корпус модуля одновременно является радиатором, имеющим хорошую теплоотдачу. Так, преобразователи KS500A-230WS24-SCN без дополнительного теплоотвода в нормальных климатических условиях способны отдавать в нагрузку мощность около 200 Вт,

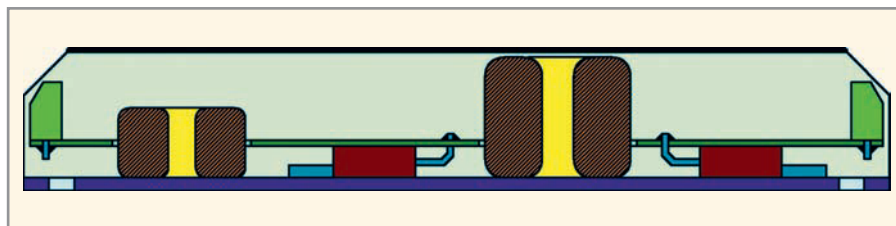


Рис. 5. Схематичная конструкция модулей в разрезе

а с радиатором и принудительным охлаждением – до 500 Вт вплоть до температуры окружающей среды 85°C.

В корпусе имеются крепёжные отверстия для установки модулей на теплоотвод; также существует исполнение для крепления на DIN-рейку. От механических и климатических воздействий печатная плата модуля защищается крышечкой-кожухом из тонкостенной стали. Такая конструкция корпуса, с четырёх сторон закрывающая элементы преобразователя, дополнительно улучшает его электромагнитную совместимость с окружающей аппаратурой. Для более надёжной защиты от внешних факторов в аппаратуре промышленного и специального назначения предусмотрено исполнение преобразователей с полимерной герметизирующей теплопроводящей заливкой, которая исключает повреждение преобразователя, вызванное вибрацией или попаданием грязи, влаги или соляного тумана.

На печатной плате модуля имеются входные и выходные винтовые клеммные колодки; также возможна модификация со штыревыми выводами под распайку или гибкими монтажными выводами.

Описанная реализация технических решений позволила АС/DC-преобразователям группы компаний «Александр Электрик» уверенно конкурировать с аналогичной продукцией других производителей. В качестве примера в таблице 2 приведены некоторые технические характеристики преобразователя KS500 мощностью 500 Вт группы

компаний «Александр Электрик» в сравнении с характеристиками модулей других производителей.

Анализ современного рынка АС/DC-преобразователей показывает, что продукция группы компаний «Александр Электрик» обладает всем комплексом качеств, необходимых для изделий промышленного и специального назначения. Высокое качество АС/DC-преобразователей достигнуто за счёт использования современной элементной базы, а также схемотехнических, конструктивных и технологических решений, защищённых патентами и авторскими свидетельствами [5–9].

Таким образом, на сегодняшний день АС/DC-модули группы компаний «Александр Электрик» соответствуют требованиям, предъявляемым к системам электропитания современной компактной аппаратуры промышленного и специального назначения, и отражают современный уровень высокотехнологичной продукции производителя, успешно сочетающего новейшие технологии и ресурсосбережение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Номенклатура АС/DC-преобразователей. www.aeps-group.ru.
2. Группа компаний «Александр Электрик», каталог продукции, 2010.
3. Источники вторичного электропитания унифицированные в модульном исполнении. Модули серии «Н-А». Технические условия БКЯЮ.436610.010ТУ.
4. Источники вторичного электропитания унифицированные в модульном исполнении. Модули серии «МАА». Технические условия Главного конструктора БКЯЮ.436610.015ТУ ГК.
5. Гончаров А.Ю. Патент на полезную модель №19247.
6. Гончаров А.Ю. Патент на полезную модель №19440.
7. Гончаров А.Ю. Патент на полезную модель №21702.
8. Гончаров А.Ю. Патент на полезную модель №53835.
9. Гончаров А.Ю. Патент на изобретение №2265977.

Таблица 2. Сравнительные характеристики преобразователя KS500 и модулей других производителей

Наименование модуля	Модуль KS500 группы компаний «Александр Электрик»	Модуль А, США	Модуль Б, Великобритания	Модуль В, Тайвань
Выходная мощность, Вт	500			
Габариты, мм	длина	170	278	233
	ширина	92	129	108
	высота	34	63,5	63,5
Температурный диапазон, °С	-50...85	-10...60	0...70	-10...50
Энергетическая плотность, Вт/дм ³	с кондуктивным теплоотводом	940	220	312
	без дополнительного теплоотвода при 25°C	249	220	312
Значения выходного напряжения, В	От 5 до 60	От 5 до 48	От 12 до 54	От 12 до 48
Количество выходных каналов	1, 2	1	1	1
Масса, кг	1	2,6	1,5	1,9