

# Модульные блоки питания

Игорь Твердов, Илья Плоткин, Сергей Затулов,  
Дмитрий Шашолка, Алексей Морозов (Москва)

В статье рассмотрены основные технические и эксплуатационные характеристики ряда отечественных блоков питания.

Предприятия РФ и ближнего зарубежья всё шире применяют в своих разработках стандартные модули питания [1–6]. В последнее время заказчиком часто требуется не модуль, а законченный блок питания (БП). Для этих организаций разработан целый ряд БП класса AC/DC в диапазоне мощностей от 50 до 6000 Вт (см. рисунки 1, 2).

В предлагаемой статье рассмотрены основные технические и эксплуатационные характеристики блоков питания. Особое внимание при разработке БП было уделено вопросам электромагнитной совместимости [1, 2], коррекции коэффициента мощности [4] и эффективности отвода тепла [3].

В серийной радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) в основном используются БП, которые созданы самими производителями. Такие БП обладают параметрами, оптимальными для электронного средства как системы. При комплексировании на основе стандартных модулей БП, как правило, получаются больше по массе, объёму и стоимости. До 1991 г. на крупных предприятиях – изготовителях РЭА в СССР имелись специальные подразделения, занятые разработкой БП для собственных нужд. Блоки питания

обычно разрабатывались под конкретную аппаратуру, проектировались на базовых конструкциях и обеспечивали оптимальные параметры для РЭА; затем они выпускались отраслевыми заводами.

В настоящее время можно ожидать более широкого применения модульных БП взамен специализированных. Это связано с тем, что на всех крупных предприятиях, выпускающих РЭА, после 1991 г. произошло резкое сокращение штатов подразделений, занятых разработкой БП. При этом наиболее квалифицированные специалисты покинули эти объединения. Из-за сокращения штата разработчиков НПО вынуждены использовать в новых разработках серийные модули питания отечественных и зарубежных предприятий.

В блоках питания применены серийные модули К-А и МАА [2] класса AC/DC. В модулях используется принцип высокочастотного преобразования электрической энергии с одновременной стабилизацией выходного напряжения на основе ШИМ. Подавление высокочастотных помех на входе и на выходе осуществляется встроенными фильтрами. Высокие надёжность и КПД, малые габариты и масса модулей

определяют эффективность БП на их основе.

Блоки питания представляют собой конструктивно законченные изделия со встроенной активной или конвекционной системой охлаждения. БП имеет металлический корпус и резьбовые опоры для крепления. Входное напряжение подаётся на защищённый входной разъём, выходные напряжения выведены на винтовую клеммную колодку, имеется защита от короткого замыкания (КЗ), перенапряжения и перегрева. Индикация обеспечивает удобство эксплуатации. Основные параметры выпускаемых БП представлены в таблице 1.

При мощности от 20 до 60 Вт модули базируются на однотактном прямоходовом преобразователе, работающем на частоте 100 кГц (см. рис. 3), при мощности от 100 до 1200 Вт – на полумостовом преобразователе с частотой 50 кГц (см. рис. 4).

Мощностной ряд представлен БП от 50 до 6000 Вт; блоки мощностью от 50 до 400 Вт снабжены радиаторами для охлаждения. При мощности 400 Вт и более БП содержат как радиаторы, так и вентиляторы. Использование смешанного вида охлаждения позволяет уменьшить габариты БП более чем в три раза. Например, объём блока VB400 с радиатором превышает объём блока DN400 (со смешанным видом охлаждения) в 3,9 раза (см. рис. 5).



Рис. 1. Блок питания VN50A мощностью 50 Вт



Рис. 2. Блок питания DB1200A мощностью 1200 Вт

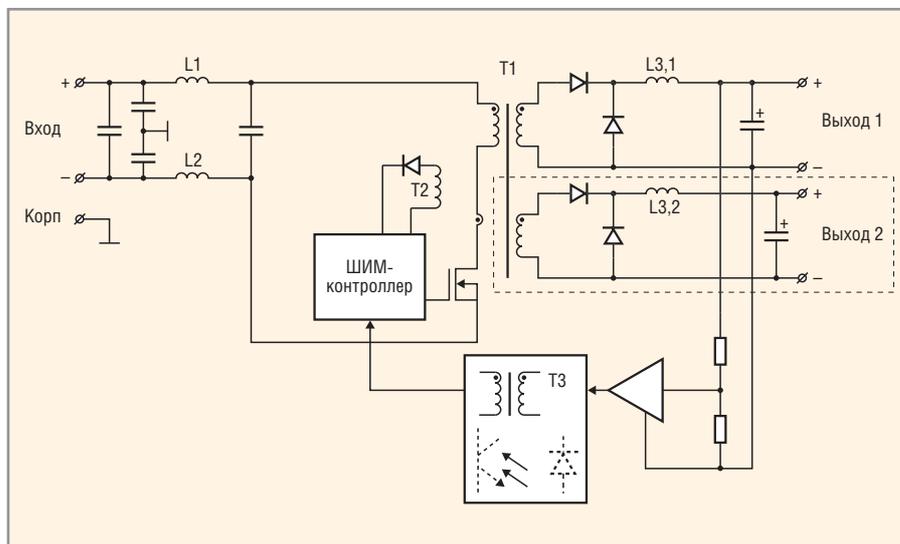


Рис. 3. Структурная схема модулей серии К-А, МАА мощностью от 20 до 60 Вт

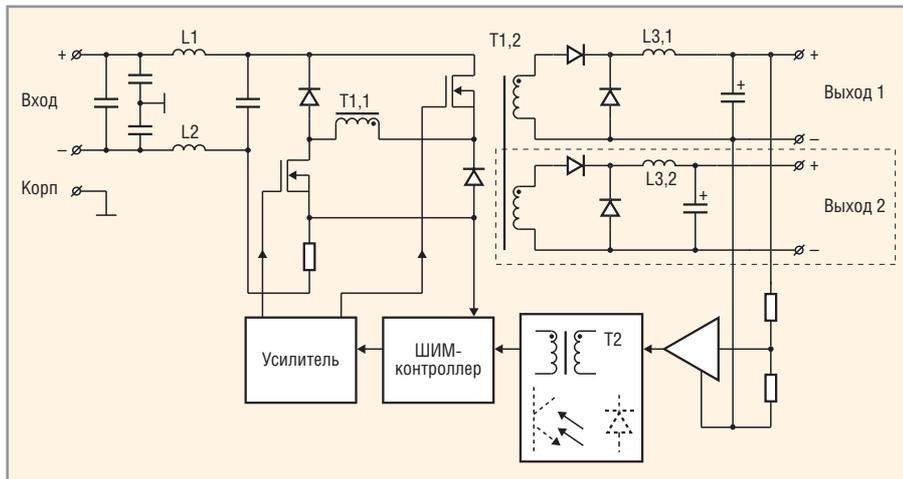


Рис. 4. Структурная схема модулей К-А мощностью 100...1200 Вт

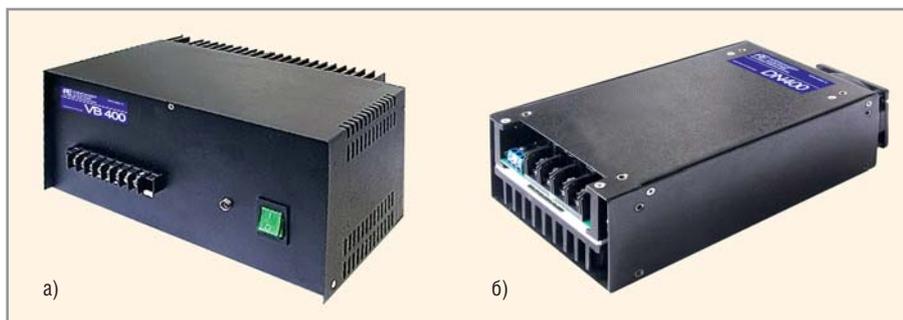


Рис. 5. Фото БП мощностью 400 Вт с конвекционным (а) и смешанным (б) охлаждением

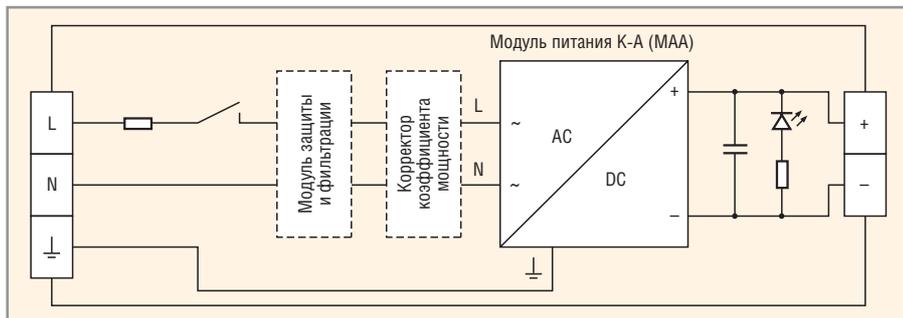


Рис. 6. Структурная схема блока питания

Все блоки снабжены функцией дистанционного включения/выключения, имеют гальваническую развязку 1500 В

между входом, выходом и между выходными каналами, оснащены защитой от перегрузки, КЗ, перегрева, пре-

Таблица 1. Основные параметры блоков питания

Наименование	Мощность, Вт	$U_{вх}$ , В	$U_{вых}$ , В*	$I_{вых.макс.}$ , А	Количество выходных каналов	Габариты, мм	Масса, кг
VN50A	50	115, 220	5, 12, 24	8	1, 2	60 × 27 × 188	0,7
VR100A	100		20			95 × 43 × 193	1
VS300A*	300		25			240 × 106 × 190	3
VB400A*	400		12, 24, 48, 60	33		280 × 133 × 200	4
DN400A	400				1, 2, 3	116 × 74 × 245	2,5
DG800A	800	115, 220, 380		40	1, 2	152 × 80 × 305	3
VZ1200A*	1200		12, 24, 48			383 × 130 × 365	10
DB1200A	1200					342 × 153 × 90	5
BR2000A*	2000			80		382 × 230 × 210	12
БА2	1500		24, 48, 60	125	1	540 × 485 × 185	30
БА6	6000		250	1	715 × 489 × 235	75	

\* По заказу могут поставляться блоки с нестандартными выходными напряжениями от 5 до 60 В с выходным током не более  $I_{вых.макс.}$

вышения выходного напряжения (всё защиты – самовосстанавливающиеся).

Такие дополнительные функции, как выносная обратная связь, регулировка выходного напряжения и парал-

лельная работа, используются в блоках питания мощностью 800 Вт и более. В блоки VB400, DG800, VZ1200, BR2000 по требованию заказчика могут быть встроены модули защиты от

перенапряжения и фильтрации радиопомех и корректор коэффициента мощности (на рисунке 6 показаны пунктиром).

Как видно из структурной схемы БП, к основному элементу (модулю питания) добавлены необходимые принадлежности: разъёмы, предохранитель, выключатель, индикаторы. В комплект входит сетевой шнур. Технические характеристики БП мощностью от 50 до 2000 Вт приведены в таблице 2.

Для производства БП специального назначения с приёмкой «5» открыта ОКР «Разработка ряда блоков электропитания мощностью до 20 кВт с шифром «Прорыв».

Блоки питания БА2 состоят из трёх модулей МАА900, БА6 – из восьми. Модули МАА выпускаются для использования в жёстких условиях эксплуатации, защищены полимерным компаундом, элементная база аттестована для работы в расширенном диапазоне температур.

Кроме модулей МАА в состав БП входят устройства защиты и коммутации, автоматика управления. Индикаторы на передней панели обеспечивают возможность контроля и определения неисправности. БП питаются от трёхфазного генератора с напряжением 380 В с нейтралью и включены в состав автономных электростанций, монтируемых на колёсных и гусеничных шасси. Технические характеристики БА2 и БА6 приведены в таблице 3.

До 2010 г. выпускались только однофазные модули питания (МП), и для подключения к трёхфазной сети приходилось использовать нейтральный провод (см. рис. 7а). При нагрузках с низким коэффициентом мощности высшие гармоники тока складываются, и нейтральный провод перегружается. Также приходилось решать задачи симметрирования однофазных нагрузок, искажения формы кривой напряжения питающей сети и другие [2]. Все эти проблемы решаются, если модуль имеет трёхфазный вход (рисунок 7б) и входной трёхфазный мост напрямую подключается к линейным проводам сети.

Предприятием разработаны две серии трёхфазных модулей мощностью 900 и 1500 Вт, серии МАА для специальных применений и серии К-А для промышленных (см. рисунки 8, 9). Модули рассчитаны на трёхфазные сети 380 В, 50 Гц и 220 В, 400 Гц с качеством электроэнергии в соответствии с груп-

Таблица 2. Технические характеристики блоков питания

Входные характеристики		
Диапазон входного напряжения	~ 115 В, 400 Гц	~ 220 В, 50 и 400 Гц
Установившееся отклонение	~ 80 ± 138 В	~ 187 ± 264 В
Переходное отклонение	~ 80 ± 150 В	~ 176 ± 280 В
Длительность переходного отклонения	1 с	1 с
Выходные характеристики		
Регулировка выходного напряжения		±10%
Подстройка выходного напряжения		±5%
Суммарная нестабильность выходного напряжения: • для одноканального исполнения ( $I_{НОМ}$ 10...100%) • для многоканального исполнения ( $I_{НОМ}$ 30...100%)		±4% ±4% для выхода 1, ±13% для выхода 2
Размах пульсаций (пик-пик)		<2% $U_{ВЫХ.НОМ}$
Уровень срабатывания защиты от перегрузки		>110% $U_{ВЫХ.НОМ}$
Защита от короткого замыкания	>150% $U_{ВЫХ.НОМ}$	автоматическое восстановление
Уровень срабатывания защиты от перенапряжения		>115% $U_{ВЫХ.НОМ}$
Уровень срабатывания тепловой защиты		>60...70°C
Общие характеристики		
Температура: • окружающей среды • хранения		-10...+50°C -60...+85°C
КПД		80% тип.
Частота преобразования		50 кГц тип.
Прочность изоляции: • напряжение: – вх/вых – вх/корпус – вых/корпус: • сопротивление @500 В постоянного тока		~1500 В ~1500 В ~500 В 20 МОм
Стойкость к внешним воздействующим факторам: • повышенная влажность • повышенная влажность		95% @ 25°C 20...25 Гц/2 г
Наработка на отказ		>1 200 000 ч @25°C

Примечание: Все характеристики приведены для НКУ,  $U_{ВХ.НОМ}$ ,  $I_{ВЫХ.НОМ}$ , если не указано другое

Таблица 3. Технические характеристики БА2 и БА6

Входные характеристики	
Входная сеть	
Трёхфазная сеть	~380 В, 50 Гц
Однофазная сеть	~220 В, 50 Гц
Выходные характеристики	
Суммарная нестабильность выходного напряжения	( $I_{НОМ}$ 10...100%) ± 4%
Размах пульсаций (пик-пик)	<8% $U_{ВЫХ.НОМ}$
Уровень срабатывания защиты от перегрузки	>1,2% $U_{ВЫХ.НОМ}$
Защита от короткого замыкания	>1,3...1,8 $I_{ВЫХ.НОМ}$ , автоматическое восстановление
Уровень срабатывания защиты от перенапряжения	>1,2 $U_{ВЫХ.НОМ}$
Уровень срабатывания тепловой защиты	>70°C
Общие характеристики	
Температур: • окружающей среды • хранения	-50...+60°C -60...+70°C
КПД	90% тип.
Частота преобразования	50 кГц тип.
Прочность изоляции: • Напряжение: – вх/вых – вх/корпус – вых./корпус • Сопротивление @500 В пост. тока	~1500 В ~1500 В ~500 В 20 МОм
Стойкость к внешним воздействующим факторам: • повышенная влажность • многократные механические удары • синусоидальная вибрация	98% @ 35°C 15г/2...15 мс 1...150 Гц/5г
Наработка на отказ	>100 000 ч @35°C
Материал корпуса	Металл

Примечание: Все характеристики приведены для НКУ,  $U_{ВХ.НОМ}$ ,  $I_{ВЫХ.НОМ}$ , если не указано другое

пой Г по ГОСТ В 24425; выходное напряжение – от 24 до 70 В, суммарная нестабильность  $\pm 3\%$ , амплитуда пульсаций 1%; КПД модуля составляет 92%. Остальные характеристики такие же, как и у БП на основе однофазных модулей (см. таблицу 2).

Трёхфазные модули базируются на полумостовом преобразователе, работающем на частоте 50 кГц с ШИМ-стабилизацией выходного напряжения (см. рис. 10). Модули имеют полный комплекс защит – от перегрузки, КЗ, перегрева, превышения выходного напряжения (все виды защит – самовосстанавливающиеся). Модули снабжены функцией дистанционного включения-выключения, имеют возможность параллельного соединения, компенсацию выходного напряжения в зависимости от нагрузки (выносную ОС), регулировку выходного напряжения, дополнительный выход питания вентилятора охлаждения.

Во входной части модуля для защиты от высоковольтных импульсов с амплитудой 1000 В между линейными проводами установлены варисторы R1 – R3 (см. рис. 10), ограничивающие напряжение на уровне 800 В, чем обеспечивается безопасная работа транзисторов преобразователя.

Важность обеспечения оптимального теплового режима видна из графика зависимости минимальной наработки основного элемента БП – модуля – от температуры корпуса (см. рис. 11). Минимальная наработка на отказ модулей К-А и МАА при температуре корпуса 70°C составляет соответственно 50 и 100 тыс. ч. Оценить надёжность модуля питания для других температур можно по следующему критерию: интенсивность отказов снижается примерно в два раза при понижении температуры на 15°C.

В блоках питания используются радиаторы собственного изготовления, для которых экспериментальным путём определены полные коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_0$  и рассчитаны значения теплового сопротивления  $\theta = 1/\alpha_0 S$  [5]. На основании известных значений  $\theta$ ,  $\eta$ , где  $\eta$  – КПД, определяется перегрев  $\Delta t$  модуля при номинальной мощности  $P_{ном}$  [3]:  $\Delta t = \theta P_{ном} (1/\eta - 1)$ .

Как уже отмечалось, для БП мощностью 400 Вт и более применено вентиляторное охлаждение, что позволило примерно в три раза снизить значение  $\theta$  и использовать радиаторы меньшей площади. В качестве примера

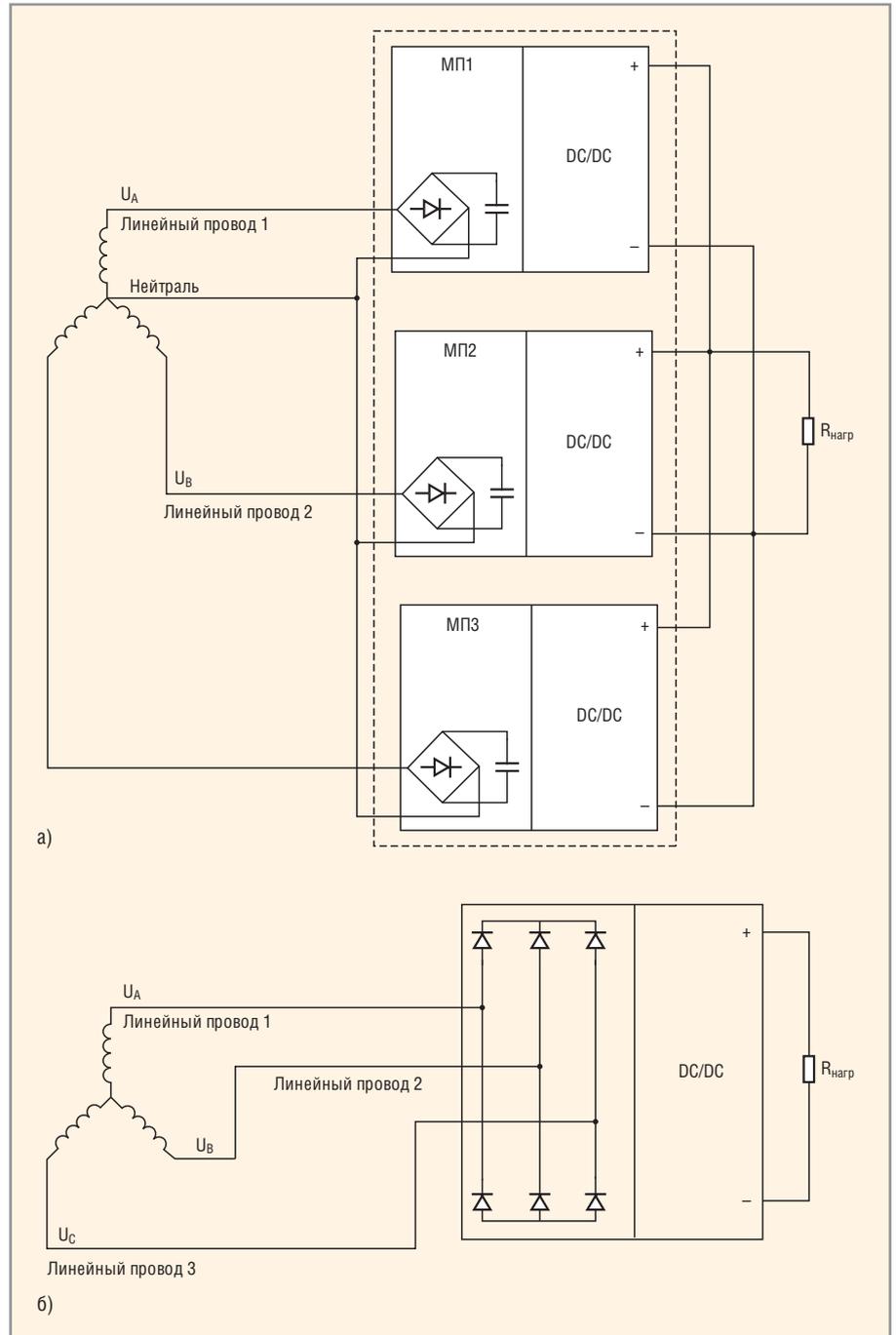


Рис. 7. Подключение модулей к трёхфазной сети переменного тока



Рис. 8. Модуль МАА1500



Рис. 9. Модуль К-А1500

на рисунке 12 показано, как снижается тепловое сопротивление модуля KL400 со стандартным радиатором в зависимости от скорости охлаждающего воздуха [3].

В блоках питания применены серийные модули, ЭМС которых с питающей сетью и РЭА обеспечивается экранированием и фильтрацией радиопомех [1]. Для компаний, выпуска-

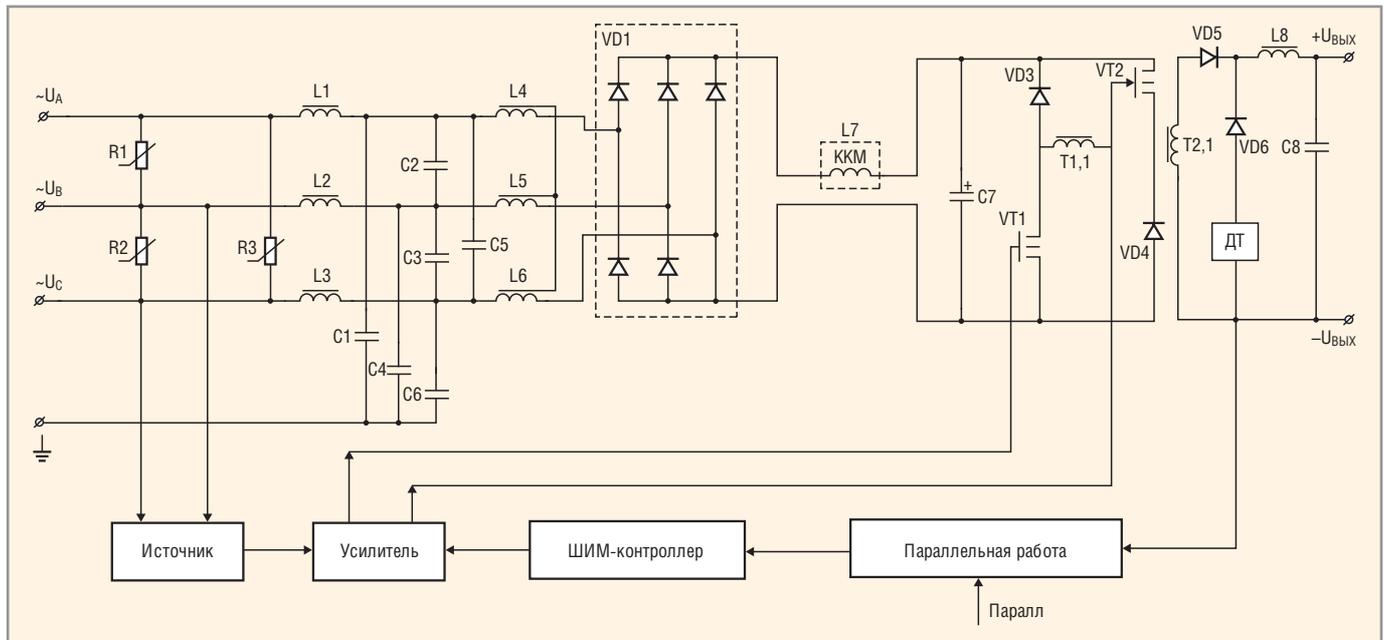


Рис. 10. Структурная схема модуля

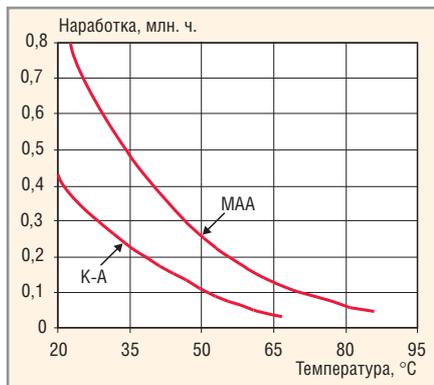


Рис. 11. График зависимости времени наработки на отказ от окружающей температуры

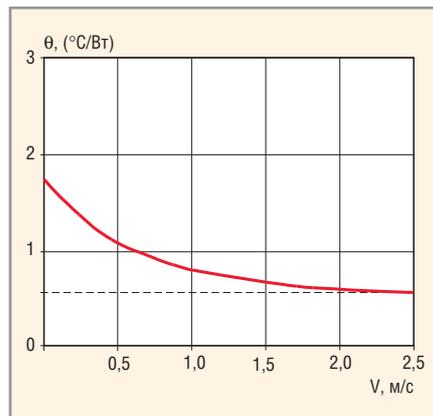


Рис. 12. Тепловые импедансы модуля



Рис. 13. Зависимости уровня радиопомех от частоты:

1 – кривая 1 Норм; 2 – кривая 2 Норм; 3 – кривая 3 Норм; 4 – AC/DC-модуль питания KN50A мощностью 50 Вт; 5 – AC/DC-модуль питания KV100A мощностью 100 Вт; 6 – AC/DC-модуль питания KV100A с фильтром MPP2

ющих универсальные модули питания, экономически невыгодно встраивать фильтр радиопомех (ФРП) с большим коэффициентом ослабления, так как требования потребителей к уровню помех различны. В качестве примера на рисунке 13 приведены графики напряжения радиопомех на входе модулей питания класса AC/DC серии KN50A (кривая 4) и серии KV100A (кривая 5). Там же показаны нормированные значения напряжений радиопомех по ГОСТ В 25803-91 в диапазоне частот от 150 кГц до 30 МГц (кривые 1, 2, 3).

Анализ графических зависимостей (см. рис. 13) показывает, что уровни радиопомех на некоторых частотах превышают нормы, хотя модули имеют на входе и выходе встроенные фильтры [1]. В случае, когда для нормальной работы РЭА подавления радиопомех за счёт встроенных фильтров недостаточно, в БП используются внешние ФРП.

В конце 1990-х годов разработаны фильтры для подавления радиопомех в модульном исполнении для питающих цепей переменного и постоянного тока. В настоящее время проведена модернизация фильтров, в которых использованы новые технические решения, материалы и элементная база, что позволило повысить коэффициент подавления помех и уменьшить габариты.

Унифицированный ряд фильтров представлен модулями на токи от 1 до 20 А. В модулях одновременно с фильтрами размещены варисторы для защиты РЭА от выбросов напряжения в сетевых проводах. Совместные испытания системы «модуль фильтрации/модуль питания» показали, что помехи на входе не превышают значений, определяемых графиком 2 Норм (см. рис. 13).

Выполненная модернизация позволила использовать в БП модуль KD1200A мощностью 1200 Вт без до-

полнительного фильтра. В KD1200A встроен высокоэффективный ФРП, разработанный для модуля защиты и фильтрации MPP3-C7,5AMU. Фильтр состоит из двух Г-образных LC-звеньев, в которых одно звено подавляет помехи по симметричному пути, другое – по несимметричному. Подобные фильтры более 20 лет используются в технике специальной связи для подавления помех в сетях переменного тока и при заданном коэффициенте подавления радиопомех обеспечивают минимальные токи утечки на корпус. Изменённый уровень подавления помех на входе модуля питания с ФРП показан на рисунке 14, кривая 2. Помехи на входе модуля питания не превышают значений, определяемых графиком 2 Норм (рисунок 14, кривая 1).



Рис. 14. График напряжения радиопомех

Модули МАА1500 и К-А1500 используются в БП, работающих от трёхфазной сети 380 В, 50 Гц и 220 В, 400 Гц. Модуль КD1200А является основообразующим в БП типа VZ1200А, DB1200А и BR2000А.

В большинстве случаев модули питания выпускаются без корректоров коэффициента мощности и потребляю от сети импульсный ток. При таком токе резко возрастает мощность искажений. Коэффициент мощности импульсных модулей не превышает значений от 0,5 до 0,7. При этом от сети потребляется и дополнительная мощность, которая соизмерима с активной.

Это вызывает искажение формы питающего напряжения, нагрев и дополнительные потери в трансформаторах и электрических машинах и приводит к необходимости увеличивать мощность силового ввода или генераторов. По этим причинам стандарт Р 51317-99 требует обязательной коррекции коэффициента мощности для потребителей мощностью более 600 Вт. Чтобы обеспечить синусоидальную форму потребляемого тока, на входе модуля устанавливают активные и пассивные корректоры коэффициента мощности.

В блоках питания, которые построены на серийных модулях, активная коррекция невозможна, так как активный корректор закладывается в модуль питания при проектировании.

Полученные результаты исследований, разработки и внедрения модульных БП могут быть использованы в аппаратуре подвижных и стационарных объектов. Такие БП наиболее перспективны для систем, требующих быстрого создания или модернизации. Например, система электропитания многоканальной радиорелейной станции на основе мо-

дульных БП была разработана и установлена всего за три месяца. Наибольшее количество оперативных задач приходится решать при создании военной техники и вооружения, поэтому начиная с 2011 г. поставка модульных БП ведётся с приёмкой «5».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Твердов И., Мартиросов А., Затулов С. Модернизация сетевых фильтров на предприятии АЭИЭП. Электронные компоненты. 2005. № 8.
2. Производство источников электропитания промышленного и специального назначения. АЭИЭП, 2006.
3. Твердов И. Охлаждение универсальных модулей питания. Электронные компоненты. 2008. № 8.
4. Твердов И. Пассивные корректоры коэффициента мощности для однофазных и трёхфазных модулей питания. Компоненты и технологии. 2009. № 4.
5. Карих А. Построение ячеек питания в формате 6U. Современная электроника. 2010. № 2.
6. Твердов И. Модули электропитания в бортовых системах электропитания. Сб. «Электропитание», 2005.

