

Модульные блоки питания

ИГОРЬ ТВЕРДОВ, научный консультант, ООО «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания» («АЭИЭП») **ИЛЬЯ ПЛОТКИН**, директор по развитию, «АЭИЭП»
СЕРГЕЙ ЗАТУЛОВ, менеджер направления, «АЭИЭП»
ДМИТРИЙ ШАШОЛКА, директор по маркетингу, «АЭИЭП»
АЛЕКСЕЙ МОРОЗОВ, 16 ЦНИИИ

В статье рассмотрены основные технические и эксплуатационные характеристики блоков питания (БП), производимых компанией «АЭИЭП». При их разработке особое внимание уделялось вопросам электромагнитной совместимости, коррекции коэффициента мощности, эффективности отвода тепла.

Предприятия России и ближнего зарубежья все шире применяют в своих разработках стандартные модули питания, производимые ООО «АЭИЭП». «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания» выпускает несколько тысяч модулей в год в интересах более 600 предприятий. В последнее время возросло число запросов, когда требуется не модуль, а законченный блок питания. Для этих целей разработан целый ряд БП класса AC/DC в диапазоне мощностей 50...6000 Вт (см. рис. 1, 2). В серийной электронной аппаратуре (ЭА) используются, в основном, БП, которые созданы самими производителями. Такие БП характеризуются параметрами, оптимальными для электронного средства как системы.

При комплексовании на основе стандартных модулей БП, как правило, получаются больше по массе, объему, стоимости. До 1991 г. на крупных предприятиях-изготовителях ЭА в СССР имелись специальные подразделения, занятые разработкой БП для собственных нужд. Обычно они разрабатывались под конкретную аппаратуру, проектировались на их базовых конструкциях и выпускались отраслевыми заводами. Можно сказать, что до недавнего времени практически все БП были разработаны на этих принципах. Но после того как на крупных предприятиях, выпускающих ЭА, произошло резкое сокращение подразделений и высококвалифицированных специалистов, занятых разработкой БП, они оказались вынуждены использовать в новых разработках серийные модули питания отечественных и зарубежных предприятий.

В БП «АЭИЭП» применены серийные модули К-А и МАА [2] класса AC/DC. В них 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 надежность и КПД, малые габариты и масса модулей определяют эффективность БП на их основе.

БП представляют собой конструктивно законченное изделие со встроенной вентиляторной или конвекционной системой охлаждения. БП имеет металлический корпус и резьбовые опоры для автономного крепления или крепления в составе аппаратуры. Входное напряжение подается на защищенный входной разъем, выходные напряжения выведены на винтовую клеммную колодку, имеется комплекс защит: от короткого замыкания (КЗ), перенапряжения и перегрева. Индикация обеспечивает удобство эксплуатации.

Основные параметры выпускаемых БП представлены в таблице 1. При мощности 20...60 Вт модули базируются на однотактном прямоходовом преобразователе, работающем на частоте 100 кГц (см. рис. 3), при мощности 100...1200 Вт — на полумостовом преобразователе с частотой 50 кГц (см. рис. 4).



Рис. 1. Блок питания VN 50 А мощностью 50 Вт



Рис. 2. Блок питания DB 1200 А мощностью 1200 Вт

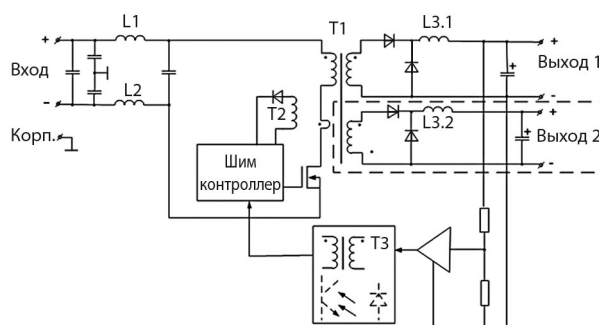


Рис. 3. Структурная схема модулей серии К-А, МАА мощностью 20...60 Вт

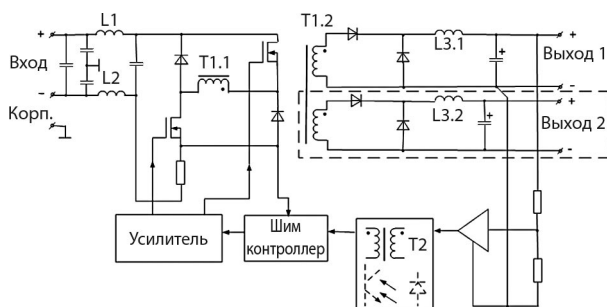


Рис. 4. Структурная схема модулей К-А мощностью 100...1200 Вт



а)



б)

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

Таблица 1. Основные параметры БП

Наименование	Мощность, Вт	$U_{вх}$, В	$U_{вых}$, В*	$I_{вых.макс.}$, А	Кол-во 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	1, 2, 3	280×133×200	4
DN400A	400					116×74×245	2,5
DG800A	800	115, 220, 380	12, 24, 48	40	1, 2	152×80×305	3
VZ1200A*	1200					383×130×365	10
DB1200A	1200					342×153×90	5
BR2000A*	2000		24, 48, 60	125	1	382×230×210	12
БА2	1500					540×485×185	30
БА6	6000	250	1	715×489×235	75		

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

Мощность производимых БП варьируется в диапазоне: 50...6000 Вт. БП мощностью 50...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, объем блока VB400 с радиатором превышает объем блока DN400 (со смешанным видом охлаждения) в 3,9 раза (см. рис. 5).

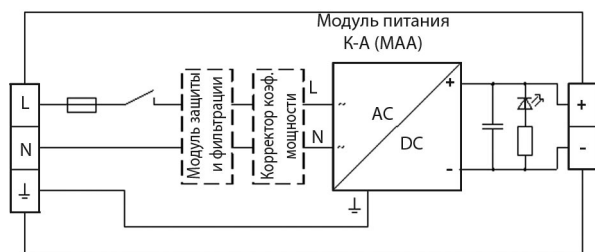


Рис. 6. Структурная схема блока питания

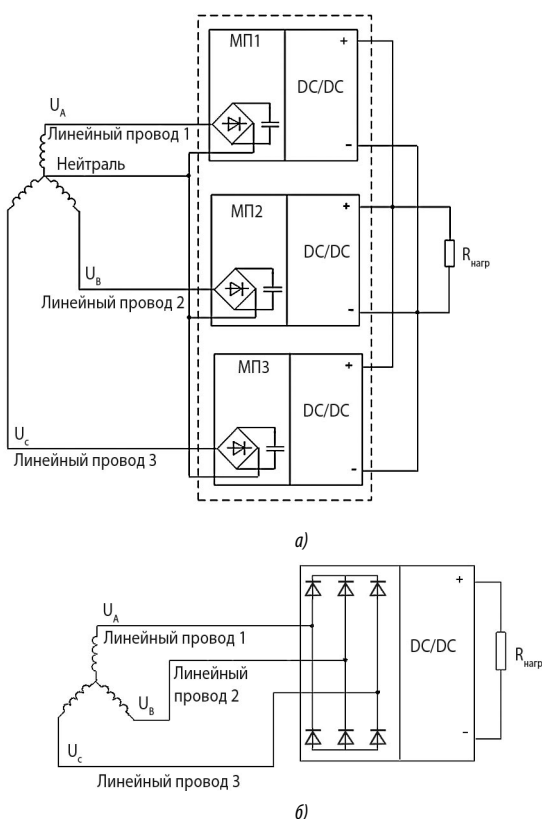


Рис. 7. Подключение модулей к трехфазной сети

Все блоки снабжены функцией дистанционного включения-выключения, имеют гальваническую развязку 1500 В между входом, выходом и между выходными каналами, полный комплекс защит — от перегрузки, КЗ, перегрева, превышения выходного напряжения (все защиты самовосстанавливающиеся). Такие дополнительные функции как выносная обратная связь, регулировка выходного напряжения и параллельная работа имеют БП мощностью 800 Вт и более. В БП 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 аксессуары: разъемы, предохранитель, выключатель, индикаторы. В комплектацию входит также сетевой шнур.

Технические характеристики БП мощностью 50...2000 Вт приведены в таблице 2. Для производства БП специального назначения с приемкой «5» открыта и ведется ОКР «Разработка ряда блоков электропитания мощностью до 20 кВт с шифром «Прорыв».

Блоки питания БА2 состоят из трех модулей ММА900, БА6 — из восьми. Модули ММА выпускаются для жестких условий эксплуатации, защищены полимерным компаундом, и используемая в них элементная база предназначена для работы в расширенном диапазоне температур.

Кроме модулей ММА в состав БП входят устройства защиты и коммутации, автоматика управления. Индикаторы на передней панели обеспечивают возможность контроля и определения неисправности. БП питаются от трехфазного генератора с напряжением 380 В с нейтралью и включены в состав автономных электростанций, монтируемых на колесных 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 трехфазной сети приходилось использовать нейтральный провод (см. рис. 7а). При нагрузках с низким коэффициентом мощности высшие гармоники тока складываются, нейтральный провод перегружается. Вместе с тем приходилось решать задачи симметрирования однофазных нагрузок, искажения формы кривой напряжения питающей сети и т.д. [2]. Все эти проблемы решаются, если модуль имеет трехфазный вход (см. рис. 7б), и входной трехфазный мост напрямую подключается к линейным проводам сети.

В «АЭИЭП» разработаны две серии трехфазных модулей мощностью 900 и 1500 Вт, серии ММА для специальных применений и серии К-А для промышленных (см. рис. 8, 9). МП рассчитаны на трехфазные сети 380 В, 50 Гц и 220 В, 400 Гц с качеством электроэнергии в соответствии с группой Г по ГОСТ В 24425.

Модули выпускаются с выходным напряжением 24...70 В, суммарная нестабильность которого $\pm 3\%$,

амплитуда пульсаций 1%, КПД модуля 92%. Остальные характеристики такие же, как и у БП на основе однофазных модулей (см. табл. 2).

МП базируются на полумостовом преобразователе, работающем на частоте 50 кГц с ШИМ-стабилизирующей выходного напряжения (см. рис. 10), 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, компенсации выходного напряжения в зависимости от нагрузки (выносную ОС), регулировки выходного напряжения, а также дополнительный выход питания вентилятора охлаждения.

ОТВОД ТЕПЛА

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 надежность модуля питания для других температур можно по следующему критерию: интенсивность отказов снижается примерно в 2 раза при понижении температуры на 15°C.

В БП используются радиаторы собственного изготовления, для которых экспериментальным путем определены полные коэффициенты теплоотдачи α_0 и рассчитаны значения теплового сопротивления $\Theta = 1/\alpha_0 S$ [5]. На основании известных значений Θ , η , где η — КПД, определяется перегрев Δt модуля при номинальной мощности $P_{ном}$ [3]:

$$\Delta t = \Theta P_{ном} (1/\eta - 1).$$

Таблица 2. Технические характеристики БП

Входные характеристики		
Диапазон входного напряжения	~ 115 В, 400 Гц	~ 220 В, 50 и 400 Гц
– установившееся отклонение	~ 80 ч, 138 В	~ 187 ч, 264 В
– переходное отклонение	~ 80 ч, 150 В	~ 176 ч, 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%)	± 4%	
– для многоканального исполнения ($I_{ном}$ 30% – 100%)	± 4% для выхода 1 ± 13% для выхода 2	
Размах пульсаций (пик-пик)	< 2% $U_{вых.ном.}$	
Уровень срабатывания защиты от перегрузки	> 110% $I_{вых.ном.}$	
Защита от короткого замыкания	> 150% $I_{вых.ном.}$, автоматическое восстановление	
Уровень срабатывания защиты от перенапряжения	> 115% $U_{вых.ном.}$	
Уровень срабатывания тепловой защиты	> 60—70°C	
Общие характеристики		
Температура	– окружающей среды	–10...50°C
	– хранения	–60...85°C
КПД	80% тип.	
Частота преобразования	50 кГц тип.	
Прочность изоляции	– напряжение вх/вых:	~ 1 500 В
	– вх/корпус:	~ 1 500 В
	– вых/корпус:	~ 500 В
	– сопротивление при 500 В пост.тока	20 МОм
Стойкость к внешним воздействующим факторам		
– повышенная влажность	95% при 25°C	
– синусоидальная вибрация (прочность)	20...25 Гц 2 g	
Наработка на отказ	> 1 200 тыс. ч при 25°C	

Примечание: все характеристики приведены для НКУ, $U_{вых.ном.}$, $I_{вых.ном.}$ если не указано иначе.



Рис. 8. Модуль MAA1500



Рис. 9. Модуль K-A1500

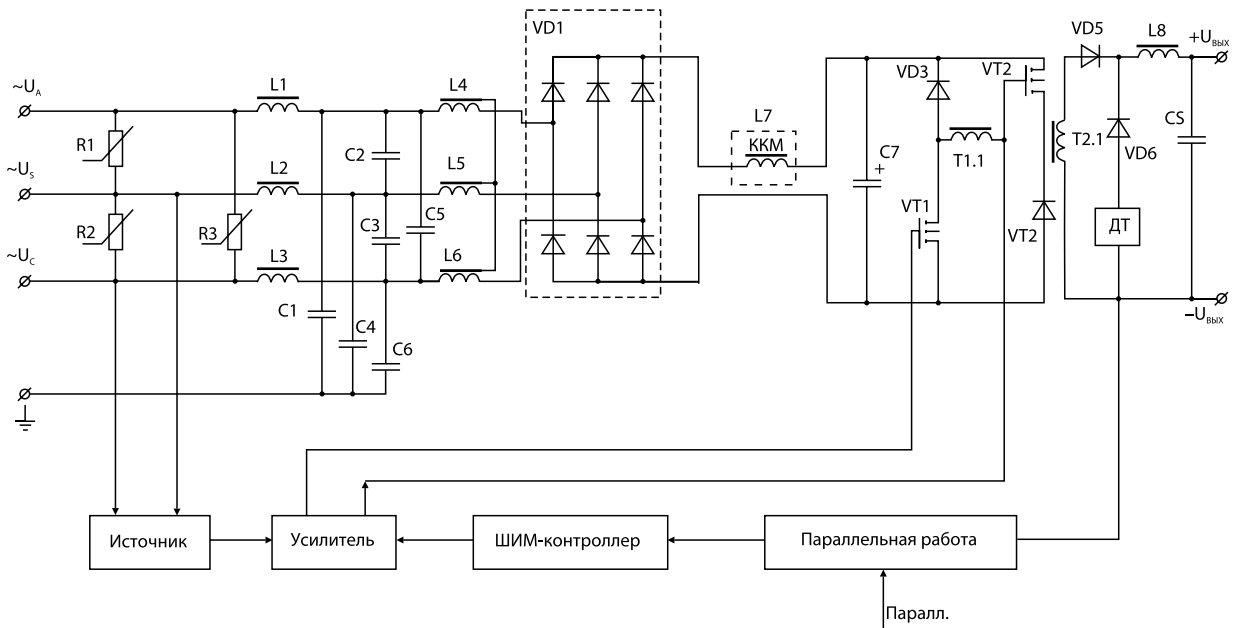


Рис. 10. Структурная схема модуля

Таблица 3. Технические характеристики БА2, БА6

Входные характеристики		
Входная сеть		трехфазная сеть ~ 380 В, 50 Гц, однофазная сеть ~ 220 В, 50 Гц
Выходные характеристики		
Суммарная нестабильность выходного напряжения ($I_{НОМ}$ 10—100%) $\pm 4\%$		
Размах пульсаций (пик-пик)		$< 8\% U_{ВЫХ.НОМ.}$
Уровень срабатывания защиты от перегрузки		$> 1,2 I_{ВЫХ.НОМ.}$
Защита от короткого замыкания		$> 1,3 \dots 1,8 I_{ВЫХ.НОМ.}$, автоматическое восстановление
Уровень срабатывания защиты от перенапряжения		$> 1,2 U_{ВЫХ.НОМ.}$
Уровень срабатывания тепловой защиты		$> 70^\circ\text{C}$
Общие характеристики		
Температура	— окружающей среды	$-50 \dots 60^\circ\text{C}$
	— хранения	$-60 \dots 70^\circ\text{C}$
КПД		90% тип.
Частота преобразования		50 кГц тип.
Прочность изоляции	— напряжение вх/вых:	~ 1500 В
	— напряжение вх/корпус:	~ 1500 В
	— напряжение вых/корпус:	~ 500 В
	— сопротивление при 500 В пост.тока	20 МОм
Стойкость к внешним воздействующим факторам		группа 1.3 ГОСТ РВ 20.39.304-98
	- повышенная влажность	98% при 35°C
	- многократные механические удары	15g, 2...15мс
	- синусоидальная вибрация	1...150 Гц 5g
Наработка на отказ		> 100 тыс. ч при 35°C
Материал корпуса		металл

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

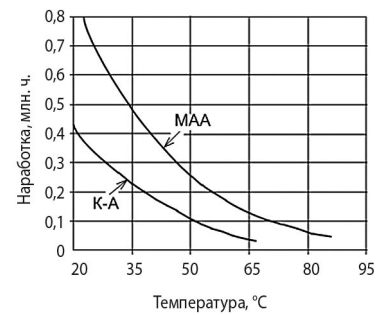


Рис. 11. График зависимости наработки на отказ от температуры

Как уже отмечалось, для БП мощностью 400 Вт и более применено вентиляторное охлаждение, что позволило примерно в три раза снизить значение Θ и использовать радиаторы меньшей площади. В качестве примера на рисунке 12 показано, как снижается тепловое сопротивление модуля KL400 со стандартным радиатором в зависимости от скорости охлаждающего воздуха [3].

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ (ЭМС)

В БП применены серийные модули, ЭМС которых с питающей сетью и ЭА обеспечивается экранированием и фильтрацией радиопомех [1]. Для компаний, выпускающих универсальные МП, экономически невыгодно встраивать фильтры радиопомех (ФРП) с большим коэффициентом ослабления, т.к. 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 150 кГц...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 ЭА недостаточно подавления радиопомех за счет встроенных фильтров, в БП используются внешние ФРП.

В конце 90-х гг. «АЭИЭП» совместно с 16 ЦНИИИ разработали фильтры для подавления радиопомех в модульном исполнении для питающих цепей переменного и постоянного тока. В настоящее время проведена модернизация фильтров, для чего были использованы новые технические решения, материалы и элементная база, что позволило повысить коэффициент подавления помех и уменьшить габариты.

Унифицированный ряд фильтров представлен модулями на токи 1...20 А. Одновременно с фильтрами в модулях размещены варисторы для защиты ЭА от выбросов напряжения в сетевых проводах. Совместные испытания системы «модуль фильтрации–модуль питания» показали, что помехи на входе не превышают значений, определяемых графиком 2 на рисунке 13.

Выполненная модернизация позволила использовать в БП модуль KD1200A мощностью 1200 Вт без дополнительного фильтра. В KD1200A встроен высокоэффективный ФРП, разработанный для модуля защиты и фильтрации MPP3-C7,5AMU. В ФРП использованы новые материалы и элементная база, что позволило повысить коэффициент подавления радиопомех и уменьшить габариты.

ФРП состоит из двух Г-образных LC-звеньев, в которых одно звено подавляет помехи по симметричному пути, другое — по несимметричному. Фильтр по такой схеме более 20 лет используется в технике специальной связи для подавления помех в сетях переменного тока, и при заданном коэффициенте подавления радиопомех обеспечивает минимальные токи утечки на корпусе. Измененный уровень подавления помех на входе модуля питания с ФРП показан на рисунке 14 (кривая 2). Помехи на выходе модуля питания не превышают значений, определяемых графиком 2 Норм (см. рис. 14, кривая 1).

Модули МАА1500 и К-А1500 используются в БП, работающих от трехфазной сети 380 В 50 Гц, 220 В 400 Гц. Модуль KD1200A является основообразующим в БП VZ1200A, DB1200A, BR2000A.

КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

В большинстве случаев модули питания выпускаются без корректоров коэффициента мощности и потребляют от сети импульсный ток, при котором резко возрастает мощность искажений. Коэффициент мощности импульсных МП не превышает значений 0,5—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 увеличения мощности силового ввода или генераторов. По перечисленным причинам стандарт Р 51317-99 требует обязательную коррекцию коэффициента мощности, для МП мощностью свыше 600 Вт. Чтобы обеспечить синусоидальную форму потребляемого тока, на входе модуля устанавливают активные и пассивные корректоры коэффициента мощности. В БП, которые построены на серийных модулях, активная коррекция невозможна, т.к. активный корректор закладывается в МП при проектировании.

Полученные в «АЭИЭП» результаты исследований разработки и внедрения модульных БП могут быть использованы при создании подвижных и стационарных объектов.

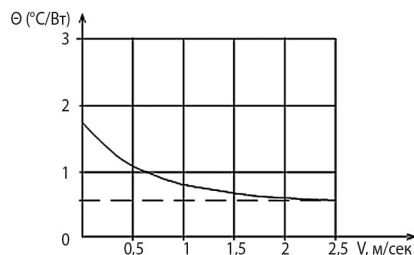


Рис. 12. Тепловые импедансы модуля

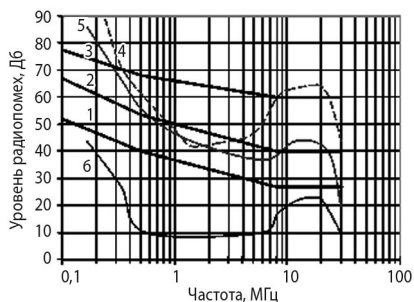


Рис. 13. Графики напряжения радиопомех на входе модулей питания класса AC/DC серии KN50A (кривая 4) и серии KV100A (кривая 5). 1 — кривая 1 (норм); 2 — кривая 2 (норм); 3 — кривая 3 (норм); 4 — AC/DC-модуль питания KN50A мощностью 50 Вт; 5 — AC/DC модуль питания KV100A мощностью 100 Вт; 6 — AC/DC модуль питания KV100A с фильтром MPP2

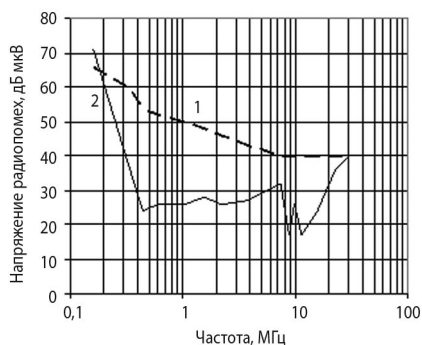


Рис. 14. График напряжения радиопомех

Такие БП наиболее перспективны для систем, требующих быстрого создания или модернизации. Например, система электропитания многоканальной радиорелейной станции на основе модульных БП была разработана и установлена всего за три месяца. Большое количество подобных оперативных задач приходится решать при создании военной техники и вооружения, поэтому, начиная с 2011 г. поставка модульных БП «АЭИЭП» ведется с приемкой «5».

ЛИТЕРАТУРА:

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