

Источники электропитания нового поколения Nemic-Lambda:

сочетание высокой мощности и эффективности

В данной статье представлены 1000-ваттные ИВЭП серии FPS1000, разработанные специалистами фирмы Nemic-Lambda (www.nemic.co.il), силовая схема и топология которых базируется на технических решениях, опробованных в интеллектуальных ИВЭП серии Genesys [1].

Виктор Жданкин

victor@prosoft.ru

Рост пропускной способности оборудования телекоммуникаций, передачи данных, беспроводной связи, серверов, коммутаторов и систем хранения данных увеличивает энергоемкость и сопровождается ростом требований к качеству и надежности питающей энергии. Это приводит к ужесточению и расширению перечня требований к средствам силовой электроники, входящим в состав электронной аппаратуры, и вынуждает разработчиков непрерывно совершенствовать схемотехнику высокочастотных преобразователей напряжения, использовать новейшие методы и инструментарию расчета, моделирования и оптимизации силовой электроники, применять современную элементную базу (полупроводниковые приборы, магнитные и диэлектрические материалы).

Из всего многообразия схемотехнических решений транзисторных преобразователей электроэнергии специалистами Nemic-Lambda была выбрана структура на основе двух однотактных прямоходовых преобразователей с поочередным включением (interleaved forward converter). Эта структура позволяет применять проверенную и хорошо исследованную топологию и обеспечивает те же преимущества, что и двухтактная структура. Впервые структура на основе двух однотактных прямоходовых преобразователей с поочередным включением была предложена в 1976 году и в настоящее время остается все еще популярной, претерпев модернизацию [2].

В прямоходовом двоярном преобразователе с поочередным включением два прямоходовых преобразователя работают со сдвигом по фазе 180° (рис.1). Основным преимуществом этой структуры по сравнению со стандартным прямоходовым преобразователем являются пониженные пульсации тока входных и выходных конденсаторов. Графики на рис. 2 показывают токи пульсаций входного фильтрующего конденсатора (C_{IN}) при коэффициенте заполнения импульсов 50%.

Входной конденсатор C_{IN} должен отфильтровывать переменную составляющую входного тока. Ток входного конденсатора (I_{CIN}) является постоянной составляющей входного тока I_{IN} , который мень-

ше токов, протекающих через силовые трансформаторы ($I_{T1}+I_{T2}$). Как только коэффициент заполнения импульсов достигнет 50%, сумма токов нагрузки трансформатора достигнет постоянной составляющей входного тока. Входной конденсатор должен только фильтровать отраженный ток выходного дросселя и ток намагничивания трансформатора.

Выходной конденсатор C_{OUT} должен фильтровать переменную составляющую токов дросселей. Выходной ток (I_{OUT}) в преобразователе с поочередной работой двух прямоходовых каскадов равен сумме токов дросселей (I_1+I_2) минус ток, протекающий через конденсатор выходного фильтра (I_{COUT}). При коэффициенте заполнения импульсов, равном 50%, токи дросселей сдвинуты по фазе на 180° и являются симметричными. Сумма этих двух токов является постоянной составляющей тока, и конденсатор фильтра в идеале не будет фильтровать какие-либо токи дросселя.

Токи пульсаций входных и выходных конденсаторов изменяются с изменением коэффициента заполнения импульсов. При отклонении коэффициента заполнения от 50% входной ток становится более прерывистым из-за изменения нагрузки трансформатора. Токи выходных дросселей (L_1 и L_2) также становятся менее симметричными, по мере того как коэффициент заполнения импульсов отклоняется от 50%, и токи пульсаций дросселей не компенсируются. При разработке преобразователя с поочередным включением каскадов разработчик должен хорошо представлять режимы этих токов для выбора входных и выходных фильтрующих конденсаторов. Поочередное включение преобразователей значительно уменьшает требуемую емкость входного конденсатора (в блоке питания FPS1000-24 на входе установлено два параллельно включенных конденсатора фирмы NIPPON CHEMI-COM 330 мкФ, 420 В).

На протяжении многих лет КПД источников вторичного электропитания практически не изменялся. Единственным параметром ИВЭП, который непрерывно прогрессирует, является удельная мощность. Необходимо заметить, что многие фирмы непрерывно увеличивают удельную мощность модулей, но ни-

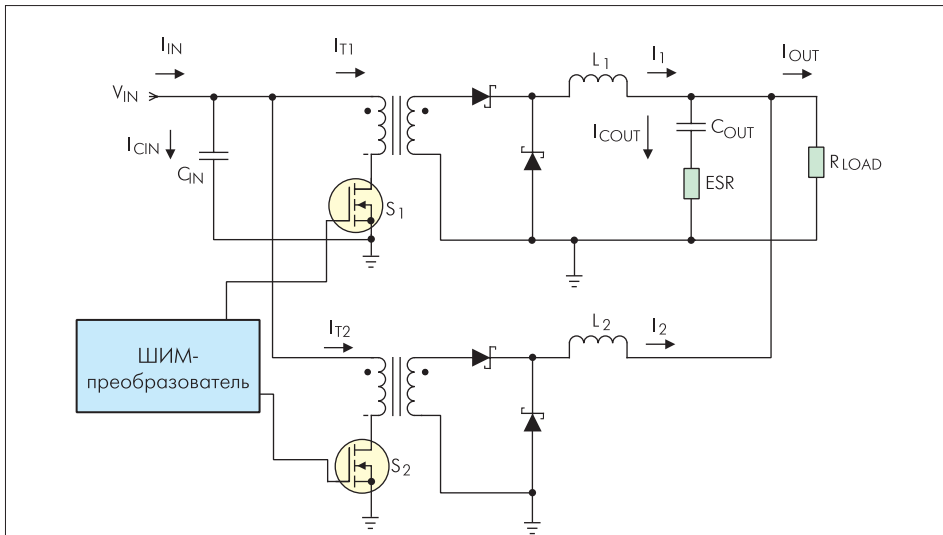


Рис. 1. Прямоходовый сдвоенный преобразователь с поочередным включением содержит два прямоходовых преобразователя, работающих со сдвигом по фазе 180°

как не могут изменить удельную мощность блоков питания. Удельная мощность модулей достигает 5000 Вт/дм^3 , а характеристики блоков питания тех же фирм многие годы остаются на уровне $300\text{--}400 \text{ Вт/дм}^3$. Объясняется это тем, что уменьшение объемов модулей достигается путем совершенствования элементной базы и технологии производства, а уменьшение объемов блоков питания ограничено условиями теплообмена, которые изменить невозможно. Реальный объем ИВЭП в конечном счете всегда определяется условиями теплообмена [3]. ИВЭП серии FPS1000 характеризуются высокой удельной мощностью 671 Вт/дм^3 и прекрасными массогабаритными показателями (табл.). Для обеспечения нормального теплового режима мощные транзисторы MOSFET и диоды установлены на теплоотводы, в качестве которых используются стенки П-образного корпуса. Два встроенных вентилятора обеспечивают принудительный обдув компонентов конструкции. Вентилятор — это механический компонент, что не является идеальным решением с точки зрения надежности. В блоках питания серии FPS1000 применяются коллекторные 2-выводные вентиляторы по-

стоянного тока San Ace 40 (109P0412B301) японской фирмы Sanyo Denki. Эти модели характеризуются высоким сроком службы. На рис. 3 показана зависимость ожидаемого ресурса вентилятора модели 10930412B301 от температуры среды. При температуре среды $+40^\circ\text{C}$ значение ресурса равно примерно 80 000 часов. Управление скоростью вращения вентилятора увеличивает его надежность, а также способствует снижению энергопотребления и акустических шумов. Для изменения скорости вращения вентилятора в зависимости от тока нагрузки в блоках питания FPS1000 применяется линейное управление: напряжение, поданное на вентилятор, изменяется в пределах от 9 до 12 В. Принципиальное преимущество линейного управления по сравнению с другими методами — это отсутствие помех при таком методе [4].

Внешний вид блока питания FPS1000-24 показан на рис. 4. Блоки выпускаются с расположением входа питающей сети на передней или задней панели. На передней панели установлены светодиодные индикаторы:

- AC OK — светодиодный индикатор зеленого цвета: светится при напряжении входной

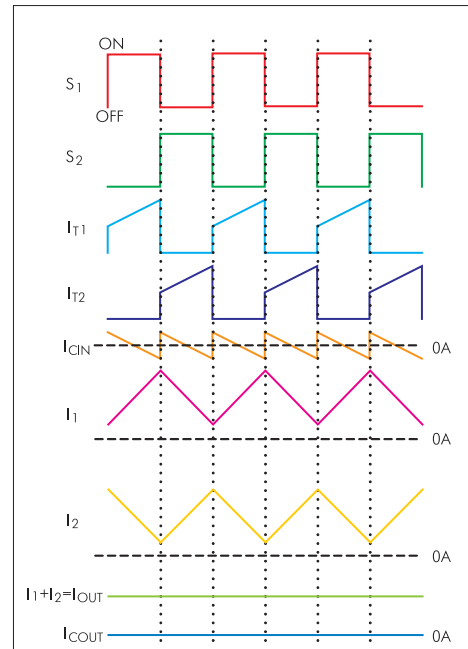


Рис. 2. Снижение действующих значений токов через входные и выходные фильтрующие конденсаторы приводит к значительному снижению емкости конденсаторов

сети $\geq 85 \text{ В}$, выключен в случае, когда входное напряжение $< 85 \text{ В}$;

- DC OK — светодиодный индикатор зеленого цвета: светится в случае, когда выходное напряжение больше $80\% \pm 5\%$ от номинального значения, выключается в случае, когда выходное напряжение меньше этого значения;
- DC FAIL — светодиодный индикатор красного цвета: светится в случае, когда выходное напряжение ниже $80\% \pm 5\%$, выключается в случае, когда выходное напряжение больше этого значения.

Факторами, определяющими надежность ИВЭП, являются: надежность элементной базы, правильный выбор электрических режимов компонентов, щадящие температурные режимы компонентов, хорошие условия производства и уровень техпроцесса, использова-

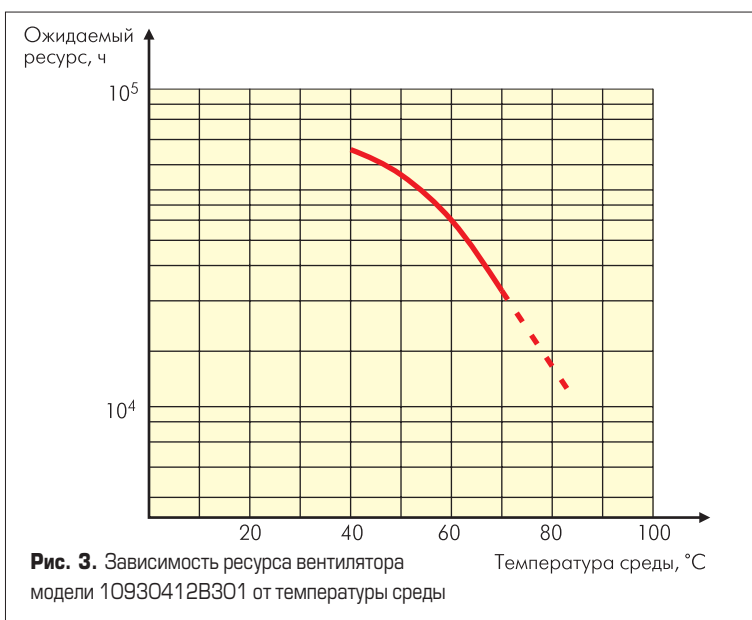


Рис. 3. Зависимость ресурса вентилятора модели 10930412B301 от температуры среды



Рис. 4. Внешний вид низкопрофильного (1U) блока питания FPS1000-24 (защитная крышка снята)

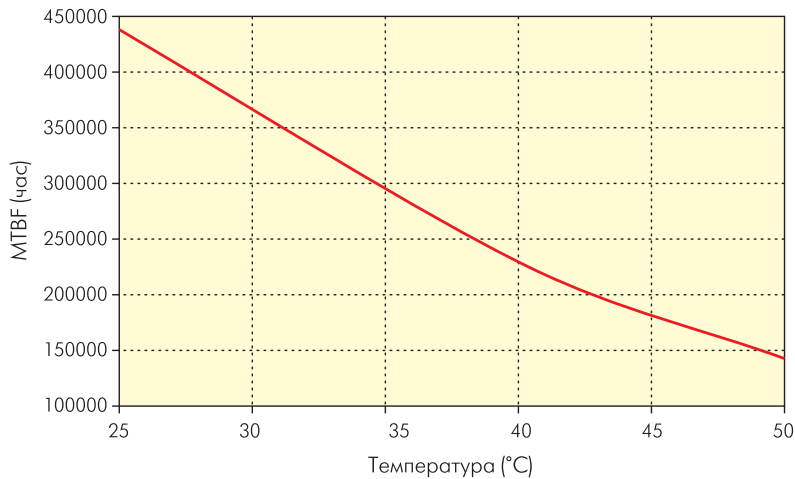


Рис. 5. Зависимость среднего времени безотказной работы от температуры для блока питания FPS1000-48

ние унифицированных конструкций. Применение высококачественных комплектующих известных производителей обеспечивает высокие показатели надежности блоков питания серии FPS1000: применяются изделия известных японских фирм NEC, Toshiba, Omron, причем в группе компаний Lambda существует жесткая система согласования замены компонентов.

Значение среднего времени безотказной работы (Mean Time Between Failure — MTBF) для блока питания FPS1000-48, рассчитанное по методу JEITA (RCR-9102), основанному на стандарте MIL-HDBK-217F Military Handbook Reliability Prediction of Electronic Equipment, составляет 79 395 часов; для FPS1000-48/S — 76 223 часа. Среднее время безотказной работы блоков питания серии FPS1000, вычисленное

по стандарту расчета надежности BELLCORE, имеет следующие значения:

- FPS1000-48 — 437 304 часа;
- FPS1000-48/S — 402 718 часов.

Зависимость значения MTBF от температуры для блока питания FPS1000-48 показана на рис. 5.

Для повышения надежности системы вторичного электропитания блоки питания FPS1000 можно включать параллельно (до 8 блоков), при этом возможна замена под напряжением благодаря встроенным блокирующим диодам. На рис. 6 показана схема параллельного включения блоков питания FPS1000 с использованием функции равномерного распределения тока нагрузки (current share) и выносной обратной связи (remote sensing).

Для монтажа трех блоков питания поставляются 19-дюймовые каркасы (рис. 7) высотой 1U (43,6 мм), обеспечивающие внутреннее запараллеливание выходов и параллельное подключение конструктивов с 8 установленными блоками. Применение каркаса FPSS1U обеспечивает выходную мощность 3 кВт (2 кВт + 1 кВт «горячего» резерва).

Схема дистанционного управления несколькими блоками представлена на рис. 8. Для лучшей точности и симметрии токов выходное напряжение каждого блока должно быть установлено отдельно посредством подключе-

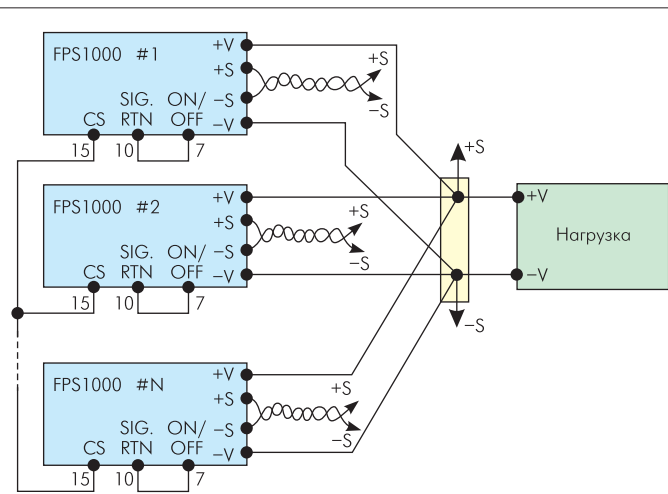


Рис. 6. Параллельное включение нескольких блоков питания FPS1000. Для обеспечения равномерного распределения тока нагрузки между блоками выходы CS должны быть соединены между собой. Провода выносной обратной связи должны быть выполнены в виде скрученной пары. Если выносная обратная связь не используется, выходы \pm Sense должны быть соединены с выводами \pm V блока FPS1000

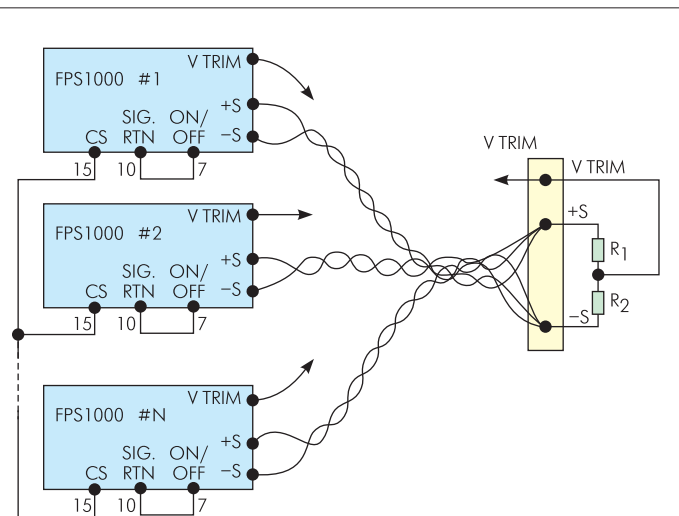


Рис. 8. Регулировка выходного напряжения нескольких параллельно включенных блоков питания FPS1000 подключением внешнего потенциометра



Рис. 7. Внешний вид 19-дюймового каркаса FPSS1U с установленным блоком питания FPS1000-48. Отсутствие вентиляционных отверстий в крышке и дне конструкции дополнительно обеспечивает надежное функционирование модулей в промышленных условиях эксплуатации

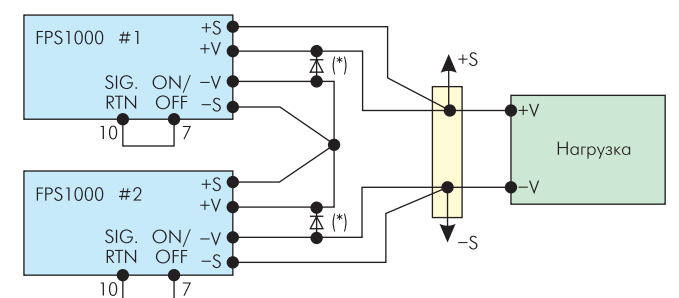


Рис. 9. Последовательное соединение двух блоков питания FPS1000 (* диоды устанавливаются пользователем)

Таблица. Технические характеристики блоков питания серии FPS1000

Параметр	FPS1000-24	FPS1000-48
Диапазон выходных напряжений	21,5...29 В	43...58 В
Ток нагрузки	40 А	21 А
Нестабильность по напряжению	<0,4%	<0,4%
Нестабильность по току	<0,8%	<0,8%
Пulsация выходного напряжения (от пика до пика)	200 мВ	300 мВ
Защита от перенапряжения ¹⁾	31...33 В	62...66 В
Защита по току	105...125% (ограничивает ток нагрузки на постоянном уровне)	
Распределение тока нагрузки	Однопроводная схема распределения; параллельное подключение до 8 блоков	
Выносная обратная связь	Компенсирует падение напряжения до 1 В на соединительных линиях питания	
Программирование по шине I ² C	По заказу	
Сигнализация (гальванически изолированные)	DC OK (состояние выходного напряжения), AC Fail (состояние входной сети), предупреждение о перегреве (высокий уровень при аварии)	
Дистанционное включение-выключение	Вкл.: 0...0,6 В или закороченный вход; выкл.: 2...15 В или разомкнутый вход	
Дистанционная регулировка выходного напряжения	Через контакт потенциометра на выходном соединителе	
Вспомогательный выходной канал	12 В/0,25 А (изолирован от основного выходного канала)	
Диапазон изменения сетевого напряжения/ пределы изменения частоты питающей сети	85...265 В / 47...63 Гц	
Ток утечки на землю	< 1,1 мА при значении входного напряжения 230 В	
Пусковой ток	< 40 А	
Время поддержания выходного напряжения	16 мс (тип.), при значении входного напряжения 100 В	
КПД (тип.) при входном напряжении 100/200 В и номинальной нагрузке	85/88%	
Коррекция коэффициента мощности	EN61000-3-2 class A (ГОСТ Р 51317.3.2-99) (нагрузка 20...100%) КМ > 0,98 при полной нагрузке	
Устойчивость к импульсным помехам	EN61000-4-2 (ГОСТ Р 51317.4.2-99), EN61000-4-3 (ГОСТ Р 51317.4.3-99), EN61000-4-4 (ГОСТ Р 51317.4.4-99), EN61000-4-5 (ГОСТ Р 51317.4.5-99), EN61000-4-6, EN61000-4-11 (ГОСТ Р 51317.4.11-99)	
ЭМС (кондуктивные помехи и помехи излучения)	EN55022, level B, FCC part 15-J-B, VCCI-B (ГОСТ Р 51318.22-99)	
Диапазон рабочих температур	0...+50 °С, запуск при -10 °С	
Диапазон температур хранения	-40...+85 °С	
Охлаждение	Два встроенных вентилятора, поток воздуха от передней панели к задней (регулируемая скорость вращения)	
Влажность	При работе: 10...90% относительная; при хранении: 10...95% относительная (без конденсации влаги)	
Механический удар и вибрация	Механический удар, 30 г, 11 мс, полусинусоида по три ударных воздействия по трем осям; синусоидальная вибрация в диапазоне частот 5...500 Гц, 1,5 г — испытания проводились по трем осям. Три блока установлены в каркас FPS-S1U	
Испытательное напряжение электрической прочности	Первичная и вторичная цепь: 3000 В (действующее значение) в течение 1 минуты; первичная цепь и корпус: 2000 В (действующее значение) в течение 1 минуты; между вторичной цепью и корпусом: 500 В (действующее значение) в течение 1 минуты	
Сопротивление изоляции	Более 100 МОм при 25 °С и относительной влажности 70%; напряжение между вторичной цепью и корпусом 500 В постоянного тока	
Сертификация на безопасность	UL60950, EN60950, ГОСТ Р 50377-92, маркировка CE	
Соединитель вход/выход	Postronic PCB24W9M400A1 (ответная часть #PCB24W9F400A1)	
Индикаторы на передней панели	AC OK, DC OK, DC Fail	
Габаритные размеры (Д×Ш×В)	Блок: 41×127×290 мм; каркас: 43,6×400×351 мм	
Масса	1950 г	
Гарантийный срок	Два года	

¹⁾ Преобразователь выключается при перенапряжении. Переход в номинальный режим работы осуществляется переключением входного напряжения или сигналом дистанционного включения-выключения (On/Off).

ния внешнего потенциометра, но выходное напряжение параллельно включенных блоков может регулироваться одним потенциометром, как показано на рис. 8.

Для увеличения выходного напряжения два блока питания могут соединяться последовательно, при этом рекомендуется устанавливать параллельно выходным каналам каждого блока диоды для защиты от обратного напряжения (рис. 9). Номинальные параметры каждого диода должны выбираться, по меньшей мере, в соответствии с выходным напряжением

и током нагрузки. Необходимо отметить, что блоки питания, оснащенные интерфейсом I²C, не могут соединяться последовательно.

I²C — стандартный недорогой интерфейс последовательного типа, разработанный в начале 80-х годов фирмой Philips, включает в себя средства контролирования параметров блоков питания [5]. Параметры, если требуется, далее передаются в управляющий компьютер через стандартную шину I²C. Контролируются следующие параметры отдельных блоков, подключенных через шину I²C:

- 1) статус блока: неисправность входа, выхода, вентилятора, предупреждение о перегреве;
- 2) фактические значения выходного напряжения с точностью $\pm 2\%$ и разрешением 8 бит; выходного тока с точностью $\pm 10\%$ и разрешением 8 бит; температуры внутри блока;
- 3) информация изготовителя: дата выпуска, порядковый номер, номер модели.

Три линии адреса (A0, A1, A2) позволяют назначить адреса 8 блокам питания FPS1000. Адресные линии внутри нагружены резисторами к шине +5 В. Адресация блока осуществляется аппаратным соединением линии адреса к выводу «Sense» (установка ее в нулевое состояние) или оставлением линии адреса разомкнутой (установка ее в «1»).

Эта линия синхронизируется процессором, который управляет шиной I²C. Она должна быть подключенной к шине +5 В через нагрузочный резистор с номиналом 2 кОм. Интерфейс I²C синхронизируется последовательностью тактовых импульсов с частотой 100 кГц. Линия данных является двунаправленной и подключается к шине +5 В через нагрузочный резистор 2 кОм. Более подробно с работой и функциями интерфейса I²C в блоках питания FPS1000 можно ознакомиться в руководстве по применению [6]. Основные технические характеристики блоков питания FPS1000-24 и FPS1000-48 приведены в таблице.

В заключение необходимо подчеркнуть, что блоки вторичного электропитания серии FPS1000, выполненные с применением современных схемотехнических решений и элементной базы, характеризуются высокими массогабаритными показателями, надежностью и высокой удельной мощностью, помогут сэкономить пространство при монтаже в стойки аппаратуры связи и передачи данных. Широкий набор сервисных функций обеспечивает ряд требований при функционировании блоков питания в составе комплексов аппаратуры. Возможность заказа блоков с интерфейсом I²C обеспечивает контроль основных параметров блоков питания устройствами управления в пределах стойки и оперативную замену блоков в процессе работы при обнаружении неисправностей.

Литература

1. Жданкин В. К. Программируемые низкопрофильные (1U) источники электропитания Nemic-Lambda: достижение в технологии изготовления ИВЭП // Силовая электроника. 2005. № 1.
2. Lilienstein, Miller. The Biased Transformer DC-to-DC Converter. IEEE PESC proceedings. June 1976.
3. Конев Ю. И. Устройства и системы энергетической электроники / Тез. докл. науч.-техн. конф. М.: НТФ ЭНЭЛ, 2002.
4. Берк М. Управление скоростью охлаждающего вентилятора: как и зачем это делается // Компоненты и технологии. 2005. № 3.
5. The I²C — Bus Specification, Version 2.1 (Document Order Number: 9398 393 40011). January 2000.
6. FPS1000 Instruction Manual. IA599-04-01 AD0305. Densei-Lambda. 2005.