

Распределенные системы электропитания

На мировом рынке источников питания (ИП) наблюдается увеличение объемов продаж стандартных преобразователей постоянного напряжения в постоянное (DC/DC), что во многом определяется ростом популярности распределенных систем электропитания [1]. Материалы этой статьи должны помочь российским производителям радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) правильно выбирать на рынке стандартные ИП, строить собственные распределенные системы электропитания, оценивать их эффективность, надежность, стоимость и, по возможности, застраховать себя от неудач.

В статье подробно рассматриваются принципы построения распределенных систем электропитания, отмечаются их достоинства и недостатки.

Любую систему электропитания можно построить двумя способами: либо по централизованному принципу, либо по децентрализованному, или распределенному принципу. В централизованной системе (рис.1) мощный, крупногабаритный преобразователь напряжения питает функциональную аппаратуру (ФА) всеми необходимыми номиналами напряжений и токов.

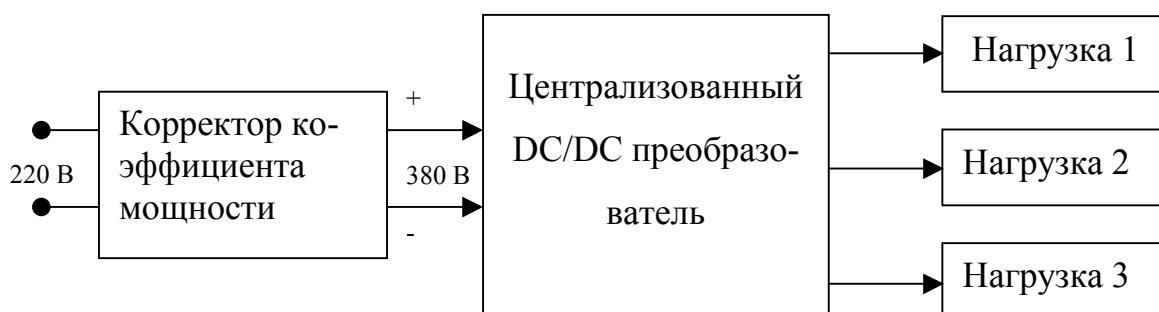
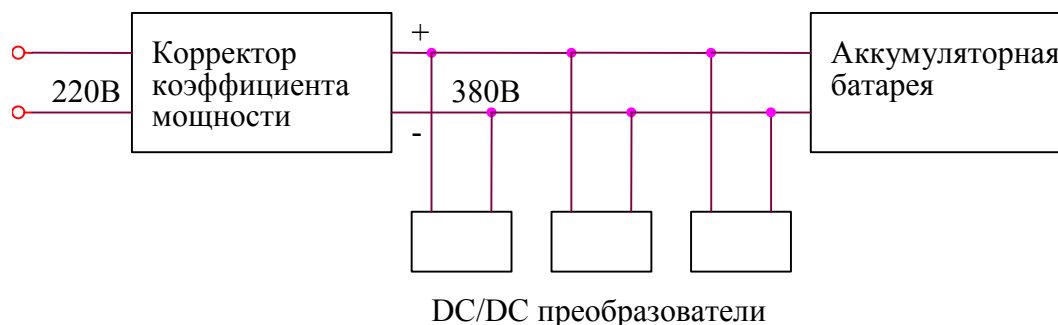
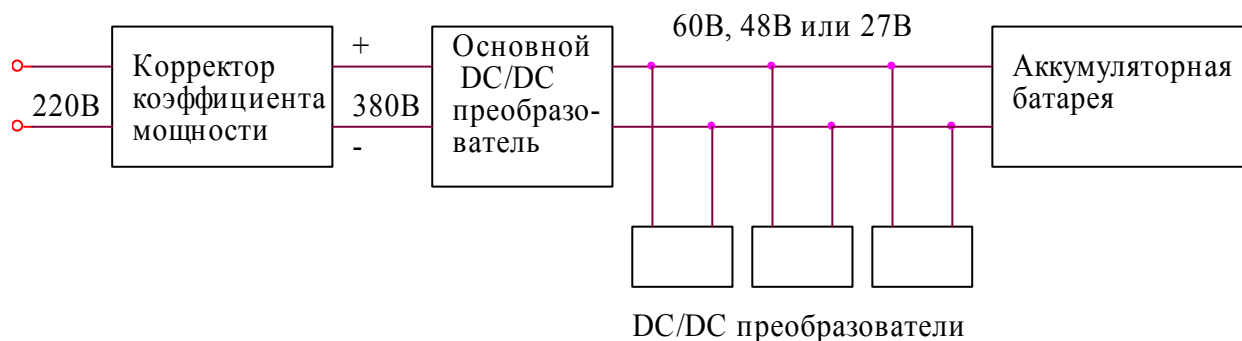


Рис.1. Централизованная система электропитания

В распределенной системе питания (рис.2) выпрямленное и отфильтрованное напряжение первичной сети либо непосредственно распределяется по питаемой системе (рис.2,а), либо преобразуется основным DC/DC преобразователем до уровня напряжения на промежуточной шине и затем распределяется по системе. В каждом функциональном узле имеется один или несколько DC/DC преобразователей, подключенных к промежуточной шине и обеспечивающих напряжения и токи, необходимые для каждой нагрузки (рис.2,б).



а)



б)

Рис.2. Распределенная система питания на стандартных DC/DC преобразователях, размещаемых на печатных платах.

При распределенном электропитании каждая печатная плата или модуль ФА имеет собственный локальный DC/DC преобразователь, размещаемый в непосредственной близости от нагрузки. Передача энергии происходит на высоких уровнях напряжений и, соответственно, при малых токах, что позволяет минимизировать потери в сети и стоимость шин, проводов, контактов и соединителей, с одной стороны и повысить надежность системы, с другой стороны [2].

Несмотря на то, что концепция распределенного электропитания известна достаточно давно, системы такого питания почти не применялись (за исключением промышленности средств связи и нескольких крупных фирм). Одна из причин заключалась в том, что DC/DC преобразователи того времени с выходной мощностью 5—50 Вт были достаточно громоздкими и тяжелыми. Только в середине 80-х годов концепция распределенного электропитания начала реально воплощаться в жизнь, когда компания Vicor Inc (США) начала широкое производство и распространение компактных преобразователей большой мощности в виде компонентов электронных схем при одновременном росте потребностей индустрии ЭВМ и рабочих станций в разработке высоко конфигурируемых изделий (рис.3).

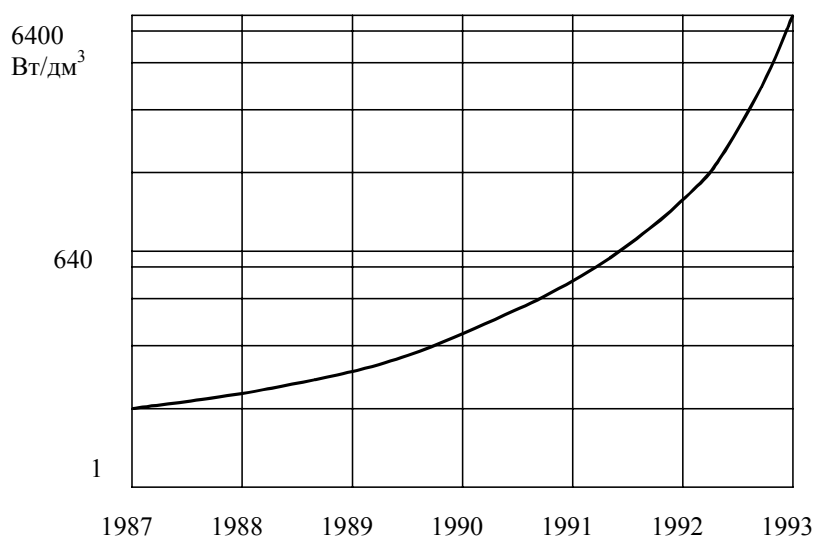


Рис.3 Изменение величины удельной мощности серийных DC/DC преобразователей по годам выпуска.

Ни одну из рассмотренных выше систем электропитания (рис.1, 2) нельзя считать абсолютно пригодной для всех случаев применений, однако распределенное электропитание имеет ряд преимуществ.

Одно из них—возможность установки DC/DC преобразователей на печатных платах точно так же, как и других электронных компонентов.

Распределенные системы имеют также значительные преимущества при использовании в самой ФА, собираемой в стойках. Вместо распределения электроэнергии на низком напряжении (3 или 5В) при больших токах основной DC/DC преобразователь снабжает печатные платы ФА электроэнергией на напряжениях 27—380В, что соответственно приводит к снижению уровней токов и уменьшению сечений медных проводников и размеров контактов соединителей.

Распределенные системы питания состоят из большого количества сборочных единиц в отличие от централизованных систем, которые имеют малое число крупногабаритных, массивных сборочных единиц. Масса сборочных единиц важна не только по условиям производства, она также определяет механическую стойкость системы при воздействии вибрации и ударов.

Разработка заказных ИП часто требуют много времени и такие ИП проектируются с большими запасами по электрическим параметрам компонентов, так как в схемах должны учитываться возможные максимальные токи нагрузки в период эксплуатации ФА, даже если впоследствии заказчик и снизит требования. Любые изменения требований влекут за собой изменения в конструкции изделия. После каждой доработки (переработки) необходимо вновь получить все необходимые сертификаты (соответствия, по безопасности, по помехам и др.) от соответствующих агентств РОСТЕСТа.

Наличие вентилятора в заказном ИП влияет на его надежность из-за относительно высокой интенсивности отказов. DC/DC преобразователи для монтажа на печатной плате с выходной мощностью от 5 до 50 Вт могут обеспечить потребности большинства нагрузок. В этом случае естественная конвекция обеспечивает охлаждение системы, и нет необходимости в использовании вентилятора. При более высоких уровнях мощностей требуется принудительная конвекция. Неэффективное охлаждение ИП приводит к уменьшению времени наработки на отказ в 2 раза на каждые 10°C температуры перегрева.

Распределенные системы позволяют уменьшить время разработки электронного оборудования, так как можно выбрать DC/DC преобразователь для каждой печатной платы во время ее разработки.

Разработка распределенной системы электропитания весьма предсказуема и может привести к снижению суммарной стоимости ФА, что может компенсировать высокие затраты на покупку DC/DC преобразователей.

Поскольку распределенные системы минимизируют связи между ИП и нагрузкой, в том числе и паразитные, то обеспечивается более высокое качество переходных процессов, чем в централизованной системе электропитания.

Перестраивание систем распределенного питания осуществляется заменой локальных DC/DC преобразователей. Расширение или перестройка централизованной системы таким же образом может оказаться физически невозможной, так как трассировка печатных плат, расположение и число компонентов могут быть недостаточными для увеличения мощности или числа номиналов выходных напряжений.

В распределенных системах питания легко решаются вопросы управления, контроля, диагностики отказов и регистрации состояния системы. Распределенные системы в большинстве случаев позволяют избежать

введения обратной связи по напряжению на нагрузке, и, соответственно, проблем, связанных с надежностью и диагностикой.

В распределенных системах питания просто реализуется возможность контроля и управления параметрами распределенной энергетической системы: выходными напряжениями, воздушным охлаждающим потоком, температурами, экономией электроэнергии во время работы системы от буферной аккумуляторной батареи (АБ) в период пропадания напряжения первичной сети и др. Возможность управления включением/выключением DC/DC преобразователей внешним сигналом малой мощности является наиболее важной и полезной. Эта функция обеспечивает необходимую последовательность в распределении электроэнергии.

При питании телекоммуникационных систем от DC/DC преобразователей, часто требуется измерять их входное напряжение, кроме того, в случае снижения напряжения ниже определенного уровня преобразователи должны отключаться с целью предохранения АБ от чрезмерного разряда. Некоторые DC/DC преобразователи позволяют программировать уровни напряжения, при которых преобразователь включается или выключается. Также есть возможность подстроить выходное напряжение DC/DC преобразователя при помощи фиксированных резисторов и аналоговых переключателей или при помощи цифро-аналогового преобразователя.

Таковы достоинства распределенных систем электропитания ФА, т.е. потребителей стандартных ИП.

С другой стороны, сам принцип распределенного питания дает возможность производителям ИП изготавливать стандартные DC/DC преобразователи на продажу, т.е. организовать индустрию ИП. Очевидно, что с ростом спроса на распределенные системы, возрастают и объемы продаж DC/DC преобразователей при развитии конкурентной борьбы на этом рынке. Это заставляет производителей ИП постоянно совершенствовать продукцию, повышать эксплуатационные характеристики, надежность и снижать стоимость. А это возможно только при использовании новых схемотехнических решений, компонентов, технологических процессов и полной автоматизации производства.

Таким образом, с распространением распределенных систем электропитания возникла и продолжает динамично развиваться индустрия ИП, как в части роста объемов производства, так и повышения их качества.

Вопросы надежности распределенных систем питания.

В распределенной системе питания легче локализовать неисправности, чем в централизованной системе. Традиционными методами можно легко реализовать "горячее" резервирование модулей, благодаря чему появляется возможность переключения всех функций одного ИП на другой в момент появления отказа.

Если в распределенной системе выходное напряжение преобразователя начнет по какой-либо причине возрастать, то это приведет к выходу из строя только одной платы. Перенапряжение на выходе централизованном ИП может вывести из строя электронные компоненты всей функциональной системы.

Требования к надежности преобразователей различаются в зависимости от того, какую систему необходимо построить: отказоустойчивую или высоконадежную. По определению, единичный отказ не может привести к выходу из строя отказоустойчивой системы. При построении отказоустойчивой системы необходимо полное дублирование конструкции устройства и его самодиагностику.

При высоконадежной системе только наиболее редкие, маловероятные отказы могут вывести ее из строя.

Наиболее очевидной потенциальной причиной катастрофы в распределенной системе является единичный отказ основного DC/DC преобразователя (рис.2). Используемый в высоконадежных системах метод снижения вероятности появления отказов заключается в $(N + 1)$ -кратном резервировании основных DC/DC преоб-

разователей (или $N + 2 \dots N + M$), где N — число преобразователей, необходимых для обеспечения заданной мощности в нагрузке. Отказоустойчивые системы должны иметь $2N$ -кратное резервирование основных DC/DC преобразователей.

В тех случаях, когда мощность нагрузки превышает установленную мощность одного DC/DC преобразователя, они соединяются параллельно. Такое соединение также может применяться и при $(N + 1)$ -кратном резервировании. При параллельном соединении преобразователи необходимо монтировать с учетом обеспечения одинаковых температурных условий их эксплуатации.

Количество компонентов в распределенных системах питания больше, чем в централизованных. Поэтому общая надежность распределенных систем меньше и производители DC/DC преобразователей для распределенных систем постоянно работают над увеличением их надежности. Например, фирма Vicor Inc. подтвердила наработку на отказ своих модулей более чем 20 млн. ч.

Рассмотрим вопросы и проблемы, которые необходимо учитывать и решать разработчикам ФА при выборе преобразователей напряжения и проектировании распределенных систем электропитания.

Напряжение на промежуточной шине

При выборе значения напряжения на промежуточной шине в первую очередь потребитель должен уделять внимание электробезопасности, а потом уже суммарной стоимости системы питания. При низком напряжении растет стоимость, что обусловлено распределением больших токов, но это может быть более приемлемым для аттестующих агентств, выдающих сертификаты по безопасности.

Каждая страна имеет несколько видов стандартов или требований, которые ограничивают уровни максимального напряжения (безопасное напряжение—БН), при котором могут работать операторы и обслуживающий персонал. Обобщающий термин для этого ограничения — "Безопасное напряжение" (БН), но не все агентства устанавливают БН на одном и том же уровне. Наиболее общий приемлемый уровень БН незначительно превышает 60 В.

В зависимости от условий заряда АБ и режима нагрузки напряжение на промежуточной шине может изменяться между максимальным и минимальным значениями. Например, для телекоммуникационной аппаратуры стандарт устанавливает напряжение 48 В постоянного тока, максимальное значение напряжения равно 60 В, что весьма близко к общепринятому уровню БН. Таким образом, напряжение 48 В является наибольшим БН промежуточной шины для распределенных систем питания (рис.2,б).

Производители компьютерных стоек выпрямляют и фильтруют сеть переменного тока, получая напряжение промежуточной шины 300 В постоянного тока (рис. 2,а). Такая структура системы питания уменьшает цену как преобразователя переменного напряжения в постоянное (AC/DC), так и распределенной сети промежуточной шины.

Для обеспечения электробезопасности высоковольтной промежуточной шины, необходимо уделять большое внимание зазорам и возможным цепям протекания токов утечки, что предотвращает получение персоналом удара электрическим током и разряда большой накопленной энергии при возникновении короткого замыкания в системе. Быстрое отключение нагрузки промежуточной шины, например, при сгорании плавкой вставки, может создать на индуктивности шины импульс напряжения с энергией до 70 Дж.

Для защиты промежуточной шины с напряжением 300 В от перенапряжений и коротких замыканий необходимы громоздкие устройства, допускающие большие пусковые токи и предотвращающие образование

электрической дуги. Кроме того, буферная АБ с напряжением 300 В имеет большее число элементов, чем АБ с напряжением 48 В, а следовательно, она более дорогая, менее распространенная и менее качественная.

Защита промежуточной шины от перегрузки по току должна быть тщательно рассчитана. Большой зарядный ток конденсаторов, подключенных к промежуточной шине, может привести к срабатыванию защиты от перегрузки по току в момент пуска, в результате чего, система может вообще не запуститься. В этом случае необходимо последовательно включать DC/DC преобразователи после достижения напряжением промежуточной шины своего номинального значения.

Уровни срабатывания защиты от перегрузки по току для локальных DC/DC преобразователей должны выбираться при условии обеспечения их запуска с учетом характера потребления нагрузкой постоянной мощности.

В настоящее время есть возможность выбора DC/DC преобразователей—с гальванической развязкой между входом и выходом или без нее. DC/DC преобразователи с гальванической развязкой более дорогие, но и более безопасные. Применение DC/DC преобразователей с гальванической развязкой позволяет решить проблемы с системными помехами, шумами, взаимодействиями между выходами и производить заземление любых клемм выходных напряжений.

В централизованных системах и в распределенных системах, использующих DC/DC преобразователи без гальванической развязки, общая силовая шина является также общей и для сигнальных цепей. В распределенных системах, построенных на DC/DC преобразователях с гальванической развязкой, силовые распределительные шины и сигнальные цепи изолированы.

Как правило, потребители не используют DC/DC преобразователи при полной установленной выходной мощности постоянно. Большинство разработчиков ФА предусматривают 15—40 % запасы. В распределенных системах очень просто определить и обеспечить запасы мощности, с которыми используются ИП.

Постоянная или переменная частота преобразования.

Рабочая частота преобразователей является важным параметром, поскольку она определяет чувствительность и скорость реакции системы питания на изменение входного напряжения и тока нагрузки.

Вопрос синхронизации рабочей частоты нескольких преобразователей необходимо решать в каждом конкретном случае применения. С одной стороны, при работе преобразователей с близкой рабочей частотой возникают биения, с другой стороны—при их синхронизации выходные пульсации и помехи складываются арифметически.

КПД преобразователей

При выборе преобразователей необходимо очень внимательно относиться к значению их КПД. Малые геометрические размеры преобразователя в совокупности с низким КПД —это низкая надежность. Высокий КПД—это высокая наработка на отказ как собственно преобразователя, так и системы в целом. Кроме того, высокий КПД преобразователей увеличивает время работы системы от буферной АБ в аварийных режимах.

Зависимости КПД от режимов работы представляют собой семейство кривых, поэтому при выборе преобразователей нужно рассматривать значения КПД при изменениях напряжения сети и тока нагрузки. Необходимо помнить и о выделяемой мощности в преобразователе в режиме короткого замыкания в нагрузку.

Преобразователи с высоким КПД позволяют использовать небольшие радиаторы и низкоскоростные вентиляторы.

Уровни удельной мощности DC/DC преобразователей, приводимые в рекламных данных, часто бывают весьма оптимистичными. Поэтому, надо принимать во внимание пометку о том, что для обеспечения рекламных характеристик преобразователь требует радиатора, а также значение температуры окружающей среды, при которой начинают снижаться характеристики преобразователя.

Вопросы охлаждения распределенных систем питания

Преобразователи распределенных систем имеют удельную мощность в 3-11 раз превышающую удельную мощность печатной платы, на которую они установлены. Это означает, что преобразователь представляет собой концентрированный источник тепла.

Конвекционное охлаждение более сложное для анализа и моделирования, чем кондуктивное. Охлаждение естественной конвекцией очень простое и надежное. Конвекционное охлаждение также не приводит к возникновению акустических шумов, необходимости обслуживания, увеличению цены и снижению надежности из-за появления вентилятора. Тем не менее, часто в системы необходимо вводить вентиляторы, так как при принудительной конвекции с одной платы можно отвести примерно в 4 раза больше рассеиваемой мощности, чем при естественной.

Проблемы с распределенными системами электропитания.

Одна из основных проблем заключается в том, что наиболее часто упоминаемая характеристика ИП— удельная мощность, является также и менее информативной. Фантастические значения удельных мощностей не могут быть использованы, так как они приводятся без учета возможностей отвода тепла корпусом ИП в реальных условиях эксплуатации. Удельные мощности DC/DC преобразователей разных производителей можно сравнивать только с учетом применения необходимых радиаторов, снижения характеристик от температуры окружающей среды и других условий проектирования. Некоторые стандартные DC/DC преобразователи с высокой удельной мощностью в заданных условиях эксплуатации становятся настолько большими и массивными, что могут разрушить печатную плату, на которую они установлены, во время транспортирования или эксплуатации.

Новый номинал напряжения 3.3В для цифровой техники нельзя реализовать простой заменой модулей преобразователей в системе питания. Выполнение предписания стандарта по обеспечению требования допуска $\pm 0,1$ В означает, что сопротивление печатного проводника связи DC/DC преобразователя с нагрузкой при токе 4 А должно быть не более 0.025 Ом, что может привести к невозможности технической реализации (рис.4).

При переключении мощных цифровых устройств или при включении низковольтных диск-драйверов в проводниках низковольтных печатных плат могут возникать значительные броски токов. Это может привести к необходимости введения в DC/DC преобразователи обратной связи с нагрузки, которую распределенные системы должны были бы устранить.

Цифровые микросхемы могут потребляют импульсные токи с достаточно большой частотой, поэтому при трассировке силовых печатных проводников необходимо принимать во внимание скин-эффект.

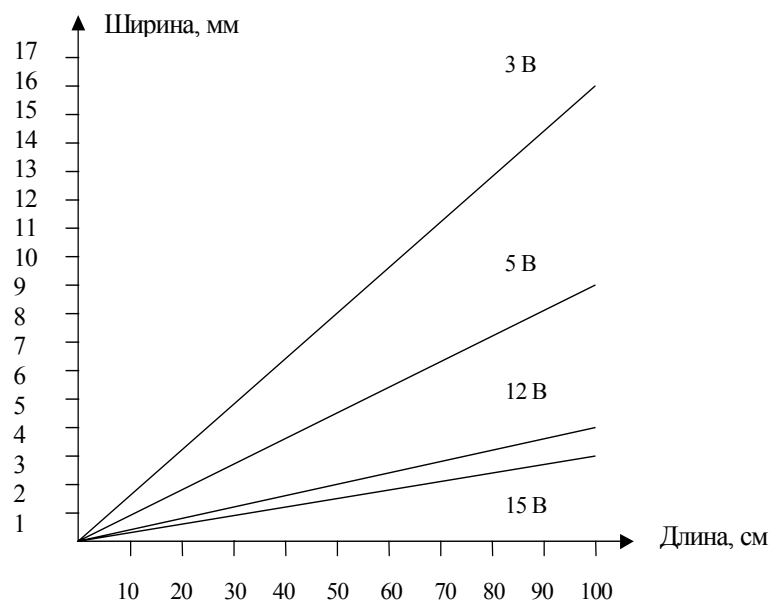


Рис.4. Зависимость ширины медных проводников печатных плат от их длины.

Несмотря на отмеченные выше проблемы, преимущества, которые дают распределенные системы электропитания, позволяют им постоянно завоевывать все новые области применения, что приводит к увеличению объемов производства стандартных ИП.

Необходимо также отметить, что малогабаритные, стандартные высоконадежные модули DC/DC преобразователей обеспечивают реализацию не только систем распределенного электропитания, но и источников вторичного электропитания, как составных компонентов системы. Один или несколько модулей с выпрямителем и фильтром образуют ИП для небольшой компактной системы, где на первом месте стоит экономия объема. Кроме того, эти модули дают возможность разработать и сконструировать сложные и, порой, экзотические заказные источники питания в течение недель, а не месяцев.

В заключение надо сказать, что при написании статьи автором использовались не только данные зарубежных источников информации, но и собственный опыт работы в АО "ММП-Ирбис".

В настоящее время на предприятии производится около 2000 блоков питания ежемесячно. Номенклатура составляет 22 типа ИП, включающие более 100 типонаименований. Такая номенклатура позволяет большинству разработчиков РЭА построить необходимые им распределенные системы электропитания. Еще ни один из покупателей, более чем 300 компаний России, пришедших в АО "ММП-Ирбис", не ушел без конкретного решения его энергетических проблем.

Подводя итоги вышеизложенному можно сказать, что:

- распределенные системы стали стратегической архитектурой, если не всеобщим решением проблемы электропитания цифровых и телекоммуникационных систем;
- с ростом популярности распределенных систем электропитания фирмы-изготовители DC/DC преобразователей прогнозируют увеличение этого сегмента рынка;

- многие специалисты предсказывают, что к DC/DC преобразователям коммерческого и промышленного назначения будут предъявляться повышенные требования в части механических и климатических воздействий с целью применения их в военной аппаратуре;

- по мере распространения распределенных систем на области медицины, контрольно-измерительной аппаратуры, технологического оборудования, систем автоматики и телемеханики, охранных систем и т.д. преимущества распределенного электропитания становятся все более очевидными.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Лукин А. Современный рынок источников питания. Новая стратегия, проблемы, парадоксы. Электронные компоненты, 1997, №5-6, с.38-41.
2. Charles H. Small. Distributed Power Takes Center Stage. EDN April 28, 1994, pp.54-64.
3. F. Goodenough. 100-W Converters Forge Practical Modular Power. Electronic Design, N2, v.38, 1990, pp.29-32.
4. T. Ormond. Distributed Power Schems Simplify System Design Tasks. EDN, N25, v.35, 1990, pp.132-136