

Проблемы и пути решения унификации и импортозамещения современных распределенных систем электропитания радиоэлектронной аппаратуры

В.Ф. Дмитриков¹, Д.В. Шушпанов¹,
А.В. Куненвич², Л.Е. Фрид², В.А. Лакисов³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
191186, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
наб. р. Мойки, 61

² ОАО «Северозападная лаборатория»
196084, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
ул. Варшавская, 5а

³ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
197046, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
ул. Малая Посадская, 30

На основе анализа и систематизации требований, предъявляемых к агрегированным системам электропитания радиоэлектронной аппаратуры, анализа известных технических решений предложена концепция построения унифицируемых агрегируемых архитектур, модулей и приборов, базонесущих конструкций, необходимых для построения распределенных систем электропитания морской аппаратуры, включающей различные виды техники: радионавигацию, радиолокацию, радиосвязь, гидроакустику, системы управления, телекоммуникации и т. д.

Ключевые слова: КПД, архитектура, топология, унификация, импортозамещение, распределенная система электропитания, устойчивость.

Введение

Современная функциональная аппаратура (ФА), работая по прямому назначению, потребляет электрическую энергию необходимого качества. В тоже время, электропитание ФА непосредственно от доступных первичных источников, как правило, не возможно. В этой связи неизбежно возникает необходимость в дополнительных специализированных технических средствах, обеспечивающих ФА электрической энергией необходимого качества и в необходимом количестве. В простых случаях (малое число отдельных потребителей, простые сервисные функции и т. п.) описанная потребность реализуется использованием модулей источников вторичного электропитания (ИВЭП). Для более сложных задач, когда число независимых потребителей достаточно велико, требуется контроль состояния всех каналов передачи энергии, управление включением (отключением) отдельных каналов и т. п., говорят о системах вторичного электропитания (СВЭП).

Большое многообразие возможных вариантов построения СВЭП, существование различ-

ных подходов в практике проектирования систем электропитания позволяют предприятиям-проектировщикам видов вооружений кораблей ВМФ адаптировать аппаратуру СВЭП под «свои» (частные) требования. Очевидно, однако, что сложившаяся практика приводит в целом для отрасли, к увеличению номенклатуры оборудования (приборов и модулей питания), увеличению ЗИПа, усложнению ремонта и восстановления систем электропитания на современных и перспективных заказах. Важно также подчеркнуть, что отсутствие для отрасли общих технических решений по проблематике СВЭП снижает серийность рассматриваемых изделий, затрудняет создание их специализированного производства.

На основе анализа и систематизации требований, предъявленных к СВЭП в отрасли, анализа и систематизации известных технических решений может быть предложена общая концепция построения унифицированных агрегируемых приборов и модулей, необходимых для построения СВЭП различных видов вооружений кораблей ВМФ.

На основе предложенной концепции сформулированы общие требования к архитектуре, приборам и модулям, базонесущим конструкциям (БНК), определяющие облик предлагаемых СВЭП и их составных частей.

Представленный в статье анализ СВЭП радиоэлектронного вооружения (РЭВ) выполнен с целью выявления общих для судостроительной отрасли (включающей различные разделы науки и техники: радионавигация, радиолокация, гидроакустика, радиосвязь, телекоммуникации, системы управления и т. д.) практики проектирования корабельных СВЭП, которые необходимо учитывать при выработке концепции построения унифицированной аппаратуры.

Анализ выполнен на основе материалов, представленных в литературе, в материалах проектов СВЭП, выполненных предприятиями – разработчиками различных типов РЭВ: ОАО «Концерн «НПО «Аврора», ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», ОАО «Концерн «Океанприбор», ОАО «СУП».

В части общих для отрасли технических требований представленный анализ опирается на следующие основные стандарты:

– ГОСТ РВ 20.39.309-98. «Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Конструктивно-технические требования»;

– ГОСТ РВ 20.39.304-98 «Требования стойкости к внешним воздействиям»;

– ГОСТ 14254-96 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками»;

– ГОСТ В 23 394-78, ГОСТ В 23 396-78, ГОСТ В 23 875-88, ГОСТ В 23 653-79 «Качество электроэнергии, термины и определения»;

– ГОСТ В 25 803-91 «Радиопомехи промышленные от оборудования и объектов военного назначения. Нормы и методы испытаний»;

– ГОСТ 23 945.0-80 «Унификация изделий. Основные положения»;

– ГОСТ 26632-98 «Уровни разукрупнения РЭС по функционально-конструктивной сложности».

Результаты анализа, отражающие современное состояние практики проектирования корабельных СВЭП и оказывающие существенное влияние на решения в части унификации аппаратуры приведены в следующих разделах:

– организация первичного электропитания функциональной радиоэлектронной аппаратуры;

– номенклатура и характеристики вторичных напряжений электропитания функциональной аппаратуры;

– размещение аппаратуры корабельных систем вторичного электропитания;

– обеспечение электромагнитной совместимости;

– типовые функции и алгоритмы унифицированных модулей и приборов.

1. Организация первичного электропитания функциональной радиоэлектронной аппаратуры

На современных и перспективных заказах в соответствии с типом используемых на них электроэнергетических систем (ЭЭС) могут быть предусмотрены два основных типа первичных сетей, доступных для нужд РЭВ:

– сеть постоянного тока напряжением 175... 320 В;

– трехфазная сеть переменного тока частотой 50 Гц и линейным напряжением 380 В.

На ряде заказов для нужд отдельных РЭВ в составе используемых электроэнергетических систем (ЭЭС) могут быть предусмотрены динамические или статические преобразователи частоты 50 Гц в 400 Гц. В данном случае для соответствующих РЭВ доступной становится первичная трехфазная сеть переменного тока частотой 400 Гц и линейным напряжением 220 В.

Возможны также варианты установки на заказах в составе ЭЭС понижающих корабельных трансформаторов типа ТСВМ. В этом случае электропитание РЭВ может быть организовано от трехфазной сети переменного тока частотой 50 Гц и линейным напряжением 220 В.

Таким образом, при проектировании унифицированной СВЭП для перспективных заказов необходимо исходить из того, что возможны все четыре рассмотренных варианта: два «основных», наиболее часто реализуемых на практике и два «дополнительных».

На современном уровне развития преобразовательной техники теоретически возможно построение преобразователей инвариантных к частоте питающей сети. В этом случае может быть реализована СВЭП единая для всех вариантов первичного питания, однако подобный подход приведет к определенной избыточности оборудования, усложнит его эксплуатацию. С учетом изложенного, более предпочтительным пред-

ставляется вариант с реализацией модификаций СВЭП под каждый тип первичной питающей сети.

При организации электропитания СВЭП должны обеспечиваться требования стандартов по электромагнитной совместимости, в том числе:

- требования по уровням кондуктивных помех, распространяемых по цепям первичного электропитания (ГОСТ В 25803-91);
- нормы эмиссии гармонических составляющих потребляемого тока ГОСТ Р51317.3.2-99 (IEC 61000-3-2).

Изложенный материал описывает общее состояние вопроса организации первичного электропитания РЭВ кораблей ВМФ. Выше затронуты основные аспекты, которые так или иначе, могут повлиять на стратегию унификации СВЭП. Общая ситуация может быть оценена как «стабильная», характерная для всех видов РЭВ. В перспективе можно ожидать следующих тенденций ее развития:

- постепенно будет осуществляться переход на электропитание РЭВ только от «основных» типов первичных систем; преобразователи частоты 400 Гц и понижающие трансформаторы из состава ЭЭС кораблей будут исключаться;
- требования к аппаратуре СВЭП по электромагнитной совместимости будут ужесточаться;
- энергия импульсов импульсно-коммутационных помех (ИКП), от которых должна быть защищена аппаратура СВЭП будет возрастать.

Отмеченные тенденции должны быть учтены при проектировании перспективной аппаратуры СВЭП.

2. Номенклатура и характеристики вторичных напряжений электропитания функциональной аппаратуры

По определению конечным функциональным назначением любой СВЭП является обеспечение ФА электроэнергией необходимого качества и в необходимом количестве. Необходимость в данном определении понимается как требование, сформулированное разработчиками ФА, которые при проектировании своих изделий, как правило, не ограничивают себя в возможностях получения тех или иных номиналов напряжения. Безусловно существует и объективная причина – огромное многообразие типов потребителей электроэнергии (нагрузок) в составе ФА различных РЭВ, требующих для своего питания элек-

троэнергию различного качества. Данные причины обусловили наличие широкой номенклатуры питающих напряжений, используемых в анализируемых СВЭП:

- постоянные +5 В, ±12 В, ±15 В, +27 В, +28,5 В, +63 В, +110 В, +220 В;
- однофазное переменное 50 Гц, 220 В;
- трехфазное переменное 50 Гц, 220 В;
- однофазное переменное 400 Гц, 220 В, 36 В, 110 В, 40 В, 90 В;
- трехфазное переменное 400 Гц, 220 В.

С учетом известных тенденций развития силовой преобразовательной техники и ФА в представленный список следует также добавить постоянные: 1,5 В, 3 В, 400 В, 600 В.

В рассмотренных СВЭП для различных видов РЭВ существует значительный разброс по необходимой мощности каналов питания:

- для каналов постоянного напряжения – от 100 Вт до 10 кВт;
- для каналов переменного напряжения – от 100 Вт до 40 кВт.

Различаются рассмотренные СВЭП и по количеству независимых гальванически развязанных каналов (в пределах от единиц до десятков). Важно также подчеркнуть, что современные системы управления техническими средствами кораблей строятся на основе аппаратно-программных комплексов (АПК). Аппаратура АПК предъявляет к средствам электропитания дополнительные специфические требования:

- недопустимость провалов пропаданий питающих напряжений;
- повышенные требования к стабильности и пульсациям напряжений;
- необходимость выработки специальных сигналов для корректной приостановки выполняемых ФА программ
- и др.

Очевидно, что представленное многообразие задач существенным образом усложняет решение проблемы унификации аппаратуры СВЭП.

Пути преодоления этих трудностей видны в создании СВЭП с двухуровневой структурой централизации выполняемых функций.

3. Размещение аппаратуры корабельных систем вторичного электропитания

Современное радиоэлектронное вооружение различных видов устанавливается проектан-

ми практически на всех типах заказов: на надводных кораблях (НК); на катерах; на подводных лодках (ПЛ).

В свою очередь размещение радиоэлектронного оборудования на тех или иных заказах осуществляется в различных помещениях: в рубках, центральных пультах управления и в жилых помещениях; в трюмах, необслуживаемых отсеках, машино-котельных помещениях и др.

В соответствии с изложенным, в зависимости от типа заказа и вида вооружений, аппаратура РЭВ должна иметь ту или иную группу исполнения по стойкости к внешним воздействующим факторам (ВВФ).

В рамках перечисленных конкретных групп исполнения к аппаратуре РЭВ предъявляются различные требования по ВВФ. В полной мере сказанное относится и к соответствующей аппаратуре СВЭП РЭВ. Очевидно, что если СВЭП строится на основе унифицированных агрегируемых модулей и приборов, предназначенных для построения СВЭП различных видов вооружений, для различных типов заказов, то требования по стойкости для них должны выбираться либо максимально «жесткими», либо потребуются дополнительные модификации оборудования.

От возможности и особенностей размещения аппаратуры корабельных СВЭП РЭВ на современных и перспективных заказах зависит также решение проблем, связанных с электромагнитной совместимостью. Так, например, к аппаратуре, размещаемой в центральном пункте управления (ЦПУ), в котором размещается оборудование связи, предъявляют более «жесткие» требования в части кондуктивных помех, распространяемым по цепям электропитания (ГОСТ В 25.803-91). И в данном случае к комплекту унифицированных аппаратных средств в целом необходимо предъявлять наиболее «жесткие» требования.

4. Обеспечение электромагнитной совместимости

Насыщенность современных кораблей ВМФ радиоэлектронными средствами различного назначения, а также устойчивая тенденция дальнейшего увеличения их количества на заказах породили для предприятий отрасли – разработчиков видов РЭВ необходимость решения важной и технически сложной задачи обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС)

аппаратуры. Для изделий, устанавливаемых на кораблях ВМФ, упомянутая задача регламентируется стандартами: ГОСТ В 25.803-91; ГОСТ Р51317.4.4-99, ГОСТ 51317.4.5-99; ГОСТ Р51317.4.11-99, ГОСТ Р51317.3.2-99.

Современная и перспективная аппаратура СВЭП строится на основе импульсных (ключевых) методов преобразования электроэнергии. Для подобных устройств особое внимание разработчикам аппаратуры приходится уделять решению задач ограничения:

- эмиссии радиопомех, распространяемых по цепям электропитания;
 - высших гармоник в спектре тока, потребляемого аппаратурой СВЭП от первичных корабельных сетей.
- В обеспечение требований ЭМС по ограничению эмиссии в современной аппаратуре СВЭП предусматриваются:
- установка сетевых помехоподавляющих фильтров [1-7];
 - защита аккумуляторных батарей от переменных составляющих напряжения;
 - дополнительные меры по экранированию устройств, создающих помехи;
 - специальные конструктивные решения в части размещения и электромонтажа составных частей СВЭП в составе БНК;
 - пассивные и активные корректоры коэффициента мощности (ККМ);
 - разработка новых типов силовых преобразовательных модулей с меньшей эмиссией электромагнитных помех.

С учетом требований ЭМС по устойчивости аппаратуры к воздействию импульсных коммутационных перенапряжений (ИКП) не менее сложной инженерной задачей, стоящей перед разработчиками аппаратуры СВЭП, является обеспечение защиты СВЭП и питаемой от них ФА от ИКП. В современной аппаратуре решение этой задачи достигается:

- установкой в составе аппаратуры СВЭП специальных фильтров, содержащих нелинейные ограничители импульсов напряжения в сочетании с LC цепями;
- установкой специальных устройств защиты в цепях аппаратуры СВЭП и ФА особо чувствительных к ИКП;
- за счет дополнительных конструктивных решений, обеспечивающих разнесение силовых и цепей управления в составе проектируемой аппаратуры.

Современные силовые преобразовательные модули являются сложными нелинейными импульсными системами с глубокой обратной связью. Важной задачей проектирования подобных устройств является обеспечение их устойчивости [8–14]. При проектировании современных СВЭП данная, и без того чрезвычайно сложная инженерная задача, дополнительно усугубляется необходимостью обеспечения устойчивости систем в целом с использованием параллельного и последовательного соединения вышеупомянутых модулей. При несоблюдении условий устойчивости в системе возникнут автоколебания, недопустимые с позиций обеспечения ЭМС, а в ряде случаев, приводящие и к отказам аппаратуры [8–14].

Следует отметить, что в настоящее время проблема обеспечения требований по ЭМС в корабельной аппаратуре решена не до конца. К сожалению, на практике имели место случаи, когда приходилось дорабатывать спроектированные изделия в части ЭМС по результатам испытаний, на что требовались дополнительные временные и финансовые ресурсы. Очевидно, что доработка унифицированных серийных изделий практически не допустима, т. к. потребует существенно больших дополнительных затрат на доработки. Поэтому, упомянутым в настоящем разделе задачам обеспечения ЭМС и методам их решения при разработке унифицированной аппаратуры следует уделить особое внимание, как в части решения дополнительных функциональных задач (фильтрация и защита), так и в части дополнительных конструктивных решений (экранирование, монтаж, заземление).

Для полного решения задачи обеспечения требований ЭМС аппаратуры СВЭП должна быть разработана эффективная технология проектирования ЭМС, включающая в общем пакете следующие основные направления работ:

- нормирование требований,
- схемотехника,
- конструктивные решения,
- проведение испытаний,
- разработка инженерной методики проектирования сетевых фильтров радиопомех с минимальными массогабаритными характеристиками,
- разработка методики проектирования агрегируемых силовых преобразовательных модулей.

5. Структура типовых каналов СВЭП. Номенклатура унифицированных модулей и приборов

При построении современной аппаратуры СВЭП кораблей ВМФ широкое распространение получил модульный принцип проектирования, заключающийся в том, что: а) разрабатываемая аппаратура, выполняющая те или иные функции СВЭП, разбивается на функционально законченные, конструктивно объединенные части – модули; б) модули затем агрегируются, образуя типовые каналы преобразования электрической энергии СВЭП в составе соответствующих приборов.

Способы разделения СВЭП на составные части и их последующего агрегатирования определяются разработчиками аппаратуры. В свою очередь, выбранные способы декомпозиции и агрегатирования, а также требования, описанные выше, определяют структуру типовых каналов преобразования СВЭП.

В корабельной аппаратуре для питания тех или иных потребителей распространение получили следующие структуры типовых каналов:

- централизованная,
- распределенная,
- смешанная.

Каждая из определенных выше структур имеет свои достоинства и недостатки. Поэтому для конкретных проектов со своими особенностями и акцентами предпочтительной может оказаться любая из них. В подобной ситуации, при проектировании унифицированных средств для построения СВЭП предпочтение следует отдать таким способам декомпозиции и агрегатирования, при которых обеспечивается «необходимая свобода» в формировании структуры типового канала преобразования СВЭП.

Одним из таких способов является т. н. «шинный подход» в проектировании. Сущность данного подхода состоит в том, что в структуре СВЭП формируются (выделяются) промежуточные шины, обеспечивающие своих потребителей электроэнергией определенного качества. Аппаратуре, обеспечивающей работу выделенной промежуточной шины, придаются, также, определенные, связанные с ней сервисные функции. Описанный выше «шинный подход» построения СВЭП в настоящее время получил распространение в строительстве жилых и офис-

ных зданий, в организации электропитания промышленных объектов, телекоммуникационных систем и т. д.

За выделенными шинами закрепляются определенные ФМ с необходимыми функциональными возможностями. В целом, как показывает практика, «шинный подход» позволяет реализовать СВЭП с любым набором требуемых для конкретного проекта функций.

Для питания различных потребителей могут потребоваться также различные напряжения, формируемые на шине бесперебойного питания. При определении базовой номенклатуры «РСЭП» считаем целесообразным ограничиться тремя напряжениями:

- для питания ФА – постоянное 27 В или 220 В;
- для питания инверторов – постоянное 350 В ... 400 В;
- для питания реле и исполнительных органов – постоянное 27 В.

С учетом необходимости формирования на ШБП различных напряжений (в рассматриваемом нами случае трех: 27В, 220В, 350В), требуется три модификации модулей, отличающиеся напряжениями, формируемыми на шинах. Для решения более простых функциональных задач отдельные модули и приборы могут не использоваться, а соответствующая система электропитания может быть упрощена.

6. Конструкция модулей и приборов

При проектировании унифицированной аппаратуры специфика вопросов конструирования изделий состоит в том, что необходимо одновременно обеспечивать следующие достаточно «жесткие» требования:

- максимальная рабочая температура среды +55°C;
- охлаждение естественное воздушное;
- степень защищенности изделий – не ниже IP 55.

Высокая рабочая температура среды с одной стороны и ограничения по допустимой температуре современной элементной базы с другой, обуславливают ограничение на допустимый локальный перегрев аппаратуры величиной не более 15...20°C.

Указанные выше факторы оказывают определяющее влияние на конструктивное исполнение аппаратуры рассматриваемого типа и, в первую очередь, на унифицированные изделия.

7. Обеспечение тепловых режимов

В соответствии с изложенным в предыдущих разделах отвод теплоты от унифицированных модулей и приборов СВЭП должен быть естественным воздушным без применения активных средств охлаждения БНК со степенью защищенности не ниже IP 55 для всех модулей. Данные требования для унифицированной корабельной аппаратуры технически обоснованы, однако, они обуславливают необходимость применения специализированных унифицированных БНК с повышенной допустимой мощностью тепловыделений.

По оценкам специалистов на современном уровне развития элементной базы и схемотехники максимально достижимым КПД одной «ступени» преобразования – не более 0,97. Ожидаемое число ступеней преобразований в каждом канале преобразования – 2, тогда общий КПД системы составит 0,94. При допустимой мощности рассеивания БНК не более 120 Вт/этаж получим, что максимальная мощность не должна превышать 2,3 кВт на этаж. Если это значение превысит, то локальный перегрев пропорционально увеличится, а аппаратура – перегреется, снизятся ее надежность и ресурсные характеристики.

Если для решения каких-либо задач требуется существенно большая мощность, снимаемая с этажа конструкции, то естественный воздушный способ отвода теплоты не пригоден – требуется использовать другие более эффективные способы. В рамках же предлагаемой концепции для построения СВЭП с повышенной мощностью предусматривается возможность параллельной работы нескольких АЦП на общую нагрузку.

Суммируя изложенное, важно подчеркнуть, что основной путь в решении задачи обеспечения тепловых режимов корабельной аппаратуры СВЭП с естественным способом охлаждения, повышения ее надежности и ресурсных характеристик состоит в повышении к. п. д. преобразовательных устройств. Данное обстоятельство необходимо учитывать при выборе схемотехники построения МШБП, элементной базы, конструкции силовых и точечных изделий.

8. Унификация и агрегатирование

На основе базового комплекта унифицированных модулей и приборов могут быть построены различные по своим функциональным возможностям корабельные СВЭП.

Номинальная (максимальная) мощность силовых модулей выбрана равной 1,5 кВт. Для построения типовых каналов с большей номинальной мощностью на основе предлагаемых унифицированных модулей необходимо обеспечить возможность их параллельной работы. Используются структуры с каскадным и параллельным выключением модулей.

Для того, чтобы реализовать подобные возможности агрегатирования унифицированных модулей, требуется выполнить определенные условия их совместимости:

- конструктивной;
- тепловой;
- электромагнитной;
- функциональной.

Безусловно, что данные условия должны быть учтены при проектировании. В частности:

- для обеспечения возможности каскадных соединений модулей (например, фильтров и силовых модулей) необходимо согласовывать их входные и выходные сопротивления (в противном случае, в системе могут возникнуть автоколебания);

- для обеспечения параллельной работы нескольких каналов на общую нагрузку в унифицированных модулях необходимо вводить дополнительные запасы устойчивости, без которых система с параллельными каналами также может самовозбудиться;

- для обеспечения конструктивной, тепловой и электромагнитной совместимости требуются специализированные БНК.

9. Обеспечение надежности и ресурсных характеристик

Трудно переоценить важность обеспечения высоких надежных и ресурсных характеристик современной РЭА.

Соответственно вопросы обеспечения надежности и ресурсных характеристик унифицированной аппаратуры СВЭП должны рассматриваться на трех уровнях: на уровне модулей, на уровне приборов, на уровне СВЭП.

На уровне модулей обеспечение высоких надежных характеристик достигается за счет тщательного выбора необходимой элементной базы, обеспечением облегченных режимов работы комплектующих изделий. Характерной особенностью современной силовой преобразовательной техники является использование им-

пульсных режимов работы силовых элементов: транзисторов, диодов, моточных изделий.

В импульсных режимах силовые элементы в моменты переключений испытывают значительные электрические и тепловые перегрузки, являющиеся основными причинами процессов деградирования изделий, а в ряде случаев и отказов. Предлагается при построении силовых модулей использовать схемотехнику, минимизирующую потери в силовых элементах при переключениях. Важно подчеркнуть, что использование предлагаемой в докладе схемотехники позволяет, также, снижать тепловые потери модулей, уменьшать уровень создаваемых ими радиопомех.

С учетом изложенного полагаем, что использование данной схемотехники для построения унифицированных модулей является принципиально необходимым.

На уровне приборов обеспечение надежности достигается за счет снижения локальных перегревов аппаратуры, обеспечиваемого конструкцией предлагаемых БНК.

На уровне СВЭП, в целом, обеспечение надежных, ресурсных характеристик и живучести достигается за счет:

- резервирования независимых первичных источников;
- резервирования модулей и приборов;
- организации контроля состояния СВЭП и ее элементов.

Вопросы обеспечения надежности на уровне системы тесно связаны с вопросами организации агрегатирования. Технические решения в части обеспечения надежных характеристик являются принципиальными в предлагаемой концепции построения СВЭП.

Заключение

Основные положения предлагаемой концепции в следующем:

1. Современные и перспективные системы электропитания РЭВ кораблей ВМФ могут быть построены на основе предлагаемого унифицированного комплекта агрегируемой аппаратуры: приборов и модулей.

2. Степень защиты по ГОСТ 14254-96:

- IP-44 – для аппаратуры, содержащей аккумуляторные батареи;
- IP-55 – для аппаратуры не содержащей аккумуляторные батареи.

3. Для реализации перечисленных в п.п. 1...6 функциональных возможностей и требований принципиальными в рамках предлагаемой концепции являются:

- необходимость построения силовых модулей с максимально возможным к. п. д.;
- необходимость использования специализированных БНК приборов и модулей с высокой допустимой удельной мощностью рассеивания (не менее 150 Вт/этаж);
- применение схемотехнических решений, минимизирующих потери на переключения, и уровни создаваемых электромагнитных помех;
- применение технических решений, обеспечивающих необходимые запасы устойчивости агрегируемых модулей и приборов.

4. На основе предлагаемой концепции может быть достигнут важный (актуальный) коммерческий результат – создан новый продукт: набор (базовый комплект) унифицированных агрегируемых средств, имеющий хорошую перспективу широкого применения в отрасли.

Список литературы

1. Расчет сетевого фильтра радиопомех для источника бесперебойного питания / В.Ф. Дмитриков [и др.] // Практическая силовая электроника. 2011. № 2. Вып. 42. С. 23–36.
2. Расчет входных фильтров с потерями в устойчивой системе электропитания / Д.В. Шушпанов [и др.] // Практическая силовая электроника. 2011. № 4. Вып. 44. С. 12–18.
3. Расчет сетевого фильтра радиопомех для источника бесперебойного электропитания / В.Ф. Дмитриков [и др.] // X Международная научно-техническая конференции «Физика и технические приложения волновых процессов»: материалы. Самара, 2011. С. 235–237.
4. Исследование условий обеспечения устойчивости ИВЭП при высоком затухании входного фильтра / В.Ф. Дмитриков [и др.] // Практическая силовая электроника. 2012. № 4. Вып. 48. С. 10–17.
5. Шушпанов Д.В., Павлов А.В., Куприянов А.А. Особенности расчета входных фильтров систем электропитания с учетом устойчивости их работы // X Международная научно-техническая конференции «Физика и технические приложения волновых процессов»: материалы. Самара, 2011. С. 243–246.
6. Дмитриков В.Ф., Шушпанов Д.В., Кушнерев Д.Н. Входные сетевые фильтры радиопомех с компенсацией тока утечки // Труды XI международной научно-технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов». Екатеринбург, 2012. С. 261–263.
7. Сетевой фильтр радиопомех с устройством компенсации токов утечки / В.Ф. Дмитриков [и др.] // Всероссийская научно-техническая конференция «Электропитание – 2013». Сборник трудов. Часть I: Самара, 2013. С. 78–86.
8. Дмитриков В.Ф., Сергеев В.В., Самылин И.Н. Повышение эффективности преобразовательных и радиотехнических устройств. М.: Радио и связь, 2005. 423 с.
9. Шушпанов Д.В. Высокоэффективные импульсные преобразователи напряжения с ШИМ и распределенные системы электропитания на их основе. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность: 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». СПб., 2005. 244 с.
10. Самылин И.Н. Развитие теории, принципов построения транзисторных преобразователей напряжения и распределенных систем электропитания на их основе. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Специальность: 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». СПб., 2006. 434 с.
11. Смирнов В.С. Эквивалентные частотные характеристики транзисторных ключевых устройств с отрицательной обратной связью. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность: 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». СПб., 2007. 261 с.
12. Дмитриков В.Ф., Коржавин О.А., Шушпанов Д.В. Устойчивость распределенной системы электропитания с учетом промежуточных фильтров // Практическая силовая электроника. 2010. № 4. Вып. 40. С. 28–35.
13. Wildrick C.M. Stability of distributed power supply systems // Master's thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. 1993. № 6.
14. Mitchell D.M. Power line filter design considerations for DC-DC converters // IEEE Industry Applications Magazine. November/December. 1999. P. 16–26.

Problems and ways of solution of unitization and import substitution in modern distributed power supply system for electronic devices

V.F. Dmitrikov, D.V. Shushpanov, A.V. Kunevich, L.E. Frid, V.A. Lakisov

The management concept for unitized architectures, modules and devices, hardware boxes needed for marine distributed power system (including radio navigation, radiolocation, radio link, communication, hydro acoustics, control systems and so on) building is proposed based on analysis and requirements arrangement imposed to unitized power systems for electronic equipments, well-known technology analysis.

Keywords: efficiency, architecture, topology, unitization, import substitution, distributed power-supply system, stability.