

Электродинамика и антенные системы

DOI 10.24412/2221-2574-2021-444-57-66

УДК 621.396

ВЫБОР КОНСТРУКТИВНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ БОРТОВЫХ СВЧ УСТРОЙСТВ КОМПЛЕКСА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

Маклашов Владимир Анатольевич

аспирант кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва¹; начальник отделения АО «НИИ «Экран»², главный конструктор изделия.
E-mail: mg37@rambler.ru

Пиганов Михаил Николаевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва¹.
E-mail: kipres@ssau.ru

¹Адрес: 443086, Российская Федерация, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34.

²Адрес: 443022, Российская Федерация, г. Самара, пр-т Кирова, д. 24.

Аннотация: Бортовая радиоэлектронная аппаратура должна обладать высокой надёжностью. В первую очередь это касается бортовых радиоэлектронных систем летательных аппаратов нового поколения, в том числе комплексов радиоэлектронной борьбы. Целью работы является разработка метода конструкторского проектирования аппаратуры радиоэлектронной борьбы, обеспечивающего требуемый уровень её надёжности. Проведён выбор конструктивной реализации бортовых СВЧ устройств комплекса радиоэлектронной борьбы. Предложен модульный вариант выполнения радиоэлектронных устройств для комплексов радиоэлектронной борьбы. Было признано, что наиболее прогрессивным направлением развития бортовой СВЧ техники для станций комплекса радиоэлектронной борьбы является объединение разнородных устройств на единой многослойной печатной плате. Такое объединение СВЧ и цифровой техники потребовало нового подхода к созданию комплексированных аналого-цифровых СВЧ модулей с использованием самых современных технических решений и элементной базы как в области СВЧ, цифровой техники, так и программного обеспечения. Описаны составы модульной платформы и комплекта комплексированных модулей. Рассмотрены варианты построения модульного комплекса. Дано краткое описание комплекса. Рассмотрены особенности стандарта VPX. Приведена оценка надёжности комплекса по результатам испытаний.

Ключевые слова: конструкция, СВЧ устройство, модульный вариант, состав модульной платформы, бортовой комплекс, радиоэлектронная борьба.

Введение

К числу основных требований, предъявляемых к бортовой аппаратуре, относится требование высокой надёжности. Для такой аппаратуры характерны высокие темпы роста функциональной и конструктивно-технологической сложности. Это усугубляет проблему оценки и обеспечения её надёжности.

Наиболее важной и требующей особого внимания группой факторов надёжности бор-

товых радиоэлектронных средств (БРЭС) являются конструктивные факторы, поскольку исправление ошибок конструирования, приводящих к отказам аппаратуры, как правило, оказывается самым дорогостоящим, так как требует последующих изменений в технической подготовке производства и доработки или списания задела продукции. Большой проблемой является получение достоверной статистики для оценки принятых

конструктивных решений по каждой конкретной разработке в условиях эксплуатации [1].

В первую очередь это касается бортовых радиоэлектронных систем (БРЭС) летательных аппаратов (ЛА) нового поколения: радиолокационных систем (станций) (РЛС), навигационных систем, средств управления оружием, систем связи и др. При формировании облика таких БРЭС требуется не только количественное улучшение показателей эффективности, но и принятие новых конструктивных решений. Для систем пятого поколения характерным должно стать создание интегрированных БРЭС, в частности, БРЛС на основе принципа проектирования «сверху-вниз» [2–7]. В полной мере это относится и к бортовым комплексам обороны [8], средствам радиоэлектронной борьбы (РЭБ) [9] и входящим в их состав системам радиотехнической разведки (РТР) [10–12], радиоэлектронного противодействия [13, 14], радиоэлектронного подавления (РЭП) [15–17] и, в частности, станциям активных помех (САП) [18, 19]. В этом случае важным является также решение задач одновременного увеличения точности [20, 21], быстродействия, эффективности [22], помехоустойчивости [23, 24], непрерывного сопровождения целей [3]. Решение таких сложных задач, стоящих перед разработчиками современных БРЛС и комплексов РЭБ, невозможно без создания нового поколения изделий электронной СВЧ-техники, модулей и комплексированных устройств, рассматриваемых как завершённое функциональное изделие, оптимизации их структуры, сопряжения допусков на параметры, сокращения до минимума различных соединений [25].

Целью работы является разработка метода конструкторского проектирования аппаратуры радиоэлектронной борьбы, обеспечивающего требуемый уровень её надёжности. В данной статье рассматриваются только бортовые СВЧ устройства, входящие в состав комплекса РЭБ.

Модульная платформа средств РЭБ

В настоящее время появилась устойчивая тенденция расширения функций СВЧ устройств путём объединения в одном корпусе разнородных функций, таких, как преобразование, усиление, фильтрация, декодирование и др. Такое объединение помимо уменьшения габаритов зачастую приводит к ухудшению технических характеристик за счёт увеличения взаимного влияния различных СВЧ узлов друг на друга, ухудшению технологичности.

В то же время круг задач, решаемых средствами цифровой обработки, существенно расширился и уже захватывает область СВЧ. Вместе с тем, сами по себе средства цифровой обработки стали существенно сложнее, как функционально, так и конструктивно. Было признано, что наиболее прогрессивным направлением развития СВЧ техники для комплексов РЭБ является объединение разнородных устройств на единой многослойной печатной плате [26]. Такое объединение СВЧ и цифровой техники требует нового подхода к созданию комплексированных аналого-цифровых СВЧ модулей с использованием самых современных технических решений и элементной базы как в области СВЧ, цифровой техники, так и программного обеспечения (ПО).

С развитием новой элементной базы конструкторы радиоэлектронной аппаратуры сталкиваются с возросшими требованиями при разработке устройств. Совершенствование технологических процессов, появление новых технологий и средств САПР позволило существенно уменьшить размеры устройств. Значительно выросли тактовые частоты и скорости передачи данных, повысилась степень интеграции, увеличилось число выводов, уменьшились межвыводные расстояния корпусов микросхем. Таким образом, проектирование современных смешанных аналого-цифровых СВЧ печатных плат стало весьма непростой задачей, требующей тщательного электромагнитного и теплового анализа конструкции.

Многие разработчики предпочитают создавать собственные платформы, ориентированные непосредственно на их конкретные задачи. Од-

ной из предпосылок к этому является отсутствие на отечественном рынке широкой номенклатуры современных средств комплексированных СВЧ модулей в приемлемом исполнении.

С учётом опыта выполнения ряда конструкторских работ в течение последних лет и взаимодействия с предприятиями отрасли был определён состав требований к комплексированным СВЧ модулям приёма, преобразования, обработки, синтеза и усиления радиосигналов и намечен облик универсальной платформы для применения в средствах радиотехнической разведки и РЭП. При этом разработчики конечных систем получают набор унифицированных аппаратных средств и сосредотачиваются на системной интеграции и разработке функционального программного обеспечения. Такой подход позволит сократить стоимость и сроки разработки, снизить риски и повысит надёжность аппаратуры, а разработка «собственных» решений под частные применения становится обоснованной лишь в особых случаях.

Состав требований был определён на стадии эскизного проектирования после изготовления действующих образцов и проведения их испытаний. После завершения стадии технического проекта автономных испытаний доработанных образцов было принято окончательное решение о конструкции аппаратуры.

Состав модульной платформы

В составе модульной платформы комплекса РЭБ предлагается использовать шесть основных компонентов:

- 1) комплексированные СВЧ модули;
- 2) переключающие СВЧ матрицы;
- 3) антенны;
- 4) унифицированные цифровые модули (процессоры, коммутаторы, ПЛИС и т.п.);
- 5) объединительные кросс-платы (бэкплейны);
- 6) базовые несущие конструктивы, включающие корпуса с системами электропитания, охлаждения и виброгашения.

Их состав был определён на основе функционально-стоимостного анализа конструктивно-технологических вариантов изделий и требуюмо-

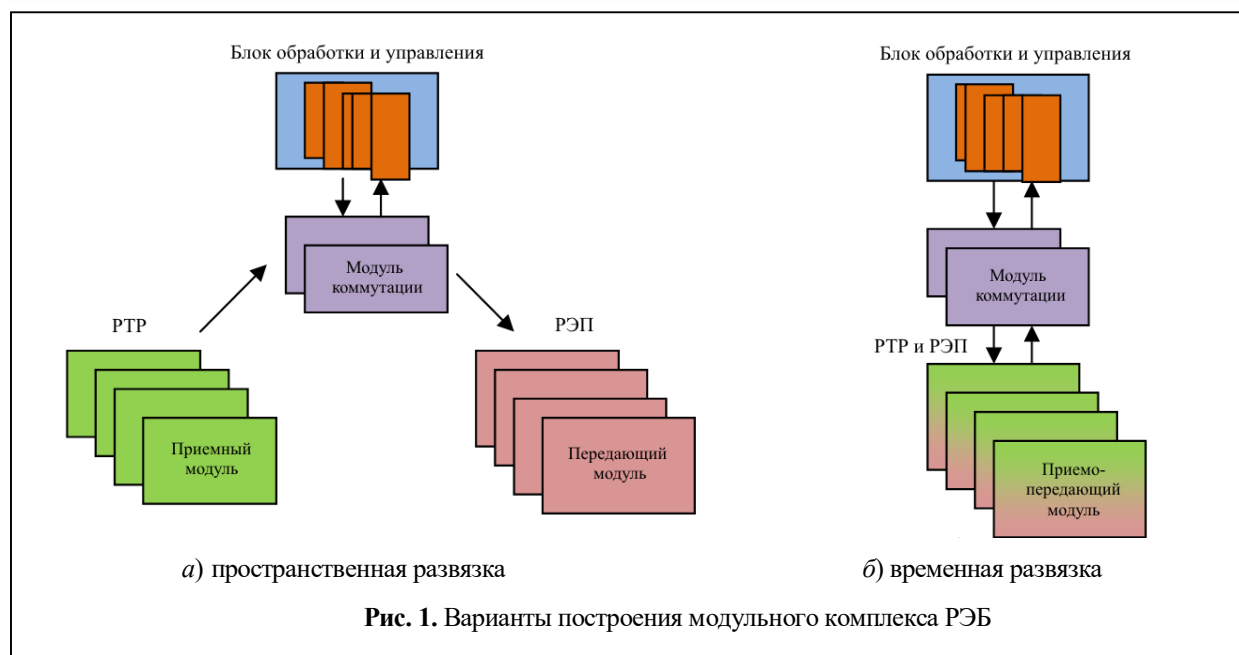
го уровня их унификации. Это было подтверждено на этапе исследовательских испытаний.

Набор унифицированных модулей определяет функциональный состав системы. Объединительные платы создают среду передачи информационных сигналов и заданную структуру соединений между отдельными модулями. Несущие конструктивы (блоки) служат механической основой системы, обеспечивают требуемую защиту от внешних воздействий и поддержание температурного режима. Каждый из этих шести компонентов может разрабатываться самостоятельно и оптимизироваться под конкретное применение. Основная предпосылка заключается в том, что в большинстве проектов не требуется разрабатывать все шесть компонентов. При достаточной взаимозаменяемости между изделиями, обеспечиваемой общей спецификацией, возможен выбор и применение изделий других производителей.

Концепция построения модульного комплекса подразумевает использование в различных сочетаниях трёх основных модулей: блока обработки и управления (БОУ), пеленгационного модуля (ПМ) и приёмо-передающего антенного модуля (ППАМ). В зависимости от возможности обеспечения развязки на объекте размещения между приёмными и передающими антеннами возможно два варианта построения комплекса – с пространственной или с временной развязкой приёмных и передающих трактов. Количество модулей может меняться в зависимости от назначения (рис. 1).

Комплекс предназначен для осуществления РТР с возможностью определения местоположения излучающих радиоэлектронных средств (РЭС) и индивидуальной защиты ЛА от средств ПВО наземного, морского и воздушного базирования и их подавления путём формирования эффективных высокопотенциальных помех с помощью САП на основе активных фазированных антенных решёток (АФАР).

Таким образом, модульная платформа РЭБ — это совокупность основных модулей, типовых конструктивных, программных и технологических решений для разработки конструкции ра-



диотехнических комплексов радиотехнической разведки и радиоэлектронного подавления.

Образцы устройств были представлены на межведомственные испытания. Проведённые испытания основных устройств комплекса РЭБ показали, что выбранная конструктивная реализация позволила увеличить время наработки на отказ в 1,6 раза по сравнению с предыдущей разработкой.

Краткое описание работы комплекса

Радиосигнал, излучаемый средствами ПВО (РЭС), принимается пеленгационными модулями ПМ, которые обеспечивают всеракурсную пеленгацию источников излучения. Сигналы с пеленгационных модулей поступают в блок обработки и управления. В блоке обработки и управления производится радиочастотное преобразование и цифровая обработка принятых радиосигналов, измерение их параметров и анализ. По параметрам радиосигнала производится определение местоположения, идентификация типа и режима работы РЭС на основании базы их данных, определяется степень их опасности. Из всех обнаруженных РЭС выбираются наиболее опасные, которым формируется наиболее эффективная помеха для данного типа и режима работы РЭС. Сигнал помехи из блока обработки и

управления БОУ поступает в один из ПШАМ (в зависимости от направления на РЭС), усиливается по мощности полупроводниковыми усилителями в составе передающих модулей ПШАМ и излучается в направлении на подавляемое РЭС путём формирования соответствующей диаграммы направленности АФАР.

Блок обработки и управления БОУ осуществляет регистрацию данных о работе комплекса во встроенной системе объективного контроля (СОК). Данные СОК могут быть использованы после полета для анализа. Обмен навигационными данными и командами управления с БРЭС также осуществляется блоком обработки и управления.

Состав комплекта комплексированных модулей

Для построения различных по функциональности малогабаритных средств РЭБ комплект комплексированных СВЧ модулей должен состоять из следующих унифицированных модулей:

- модуля понижающего преобразователя частоты;
- модуля повышающего преобразователя частоты;
- модуля обработки сигналов стандарта;

- модуля формирования сигналов стандарта;
- пеленгационного модуля;
- приёмо-передающего модуля.

В качестве базового стандарта для построения модульной платформы был выбран стандарт VITA 46/48 (VPX/VPX REDI) — новая архитектура встраиваемых систем для жёстких условий применения, основанная на современных высокоскоростных последовательных межсоединениях [27].

Особенности стандарта VPX

Возникший разрыв в технологии передачи данных между современными чипами и модулями специального назначения внутри крейтов был учтён при разработке стандартов VPX, VPX REDI и OpenVPX. Требуемая скорость передачи данных в стандарте VPX обеспечивается, в первую очередь, применением разъёмов, специально рассчитанных на передачу высокоскоростных дифференциальных сигналов, которые используются для связи между ячейками устройства с объединительной платой (так называемый бэкплейн). Такие разъёмы пред-

ставляют собой набор небольших угловых печатных плат (так называемые вафли), объединённых в стек с помощью пластикового держателя (рис. 2).

Сигнальные разъёмы стандарта VPX имеют гарантированное волновое сопротивление (100 или 50 Ом), что обеспечивается соответствующей конфигурацией проводников и печатной платы разъёма. Это позволяет соблюсти условия целостности сигнала при его прохождении от ячейки к ячейке через две пары межсоединений. Силовые разъёмы VPX выполняются по технологии изготовления печатных плат из заготовок с толстыми плёнками меди (от 75 мкм), что обеспечивает токовую нагрузку до 36 А на разъём, содержащий три силовых «вафли». Таким образом, в устройствах стандарта VPX достигается поддержка энергетически ёмких быстродействующих цифровых и цифро-аналоговых схем.

Следует также отметить, что обладая хорошими электрическими характеристиками, разъёмы VPX имеют высокий уровень виброустойчивости и достаточную механическую прочность. Данный стандарт дал хорошие результаты в более ранних разработках средств РЭБ [28, 29].

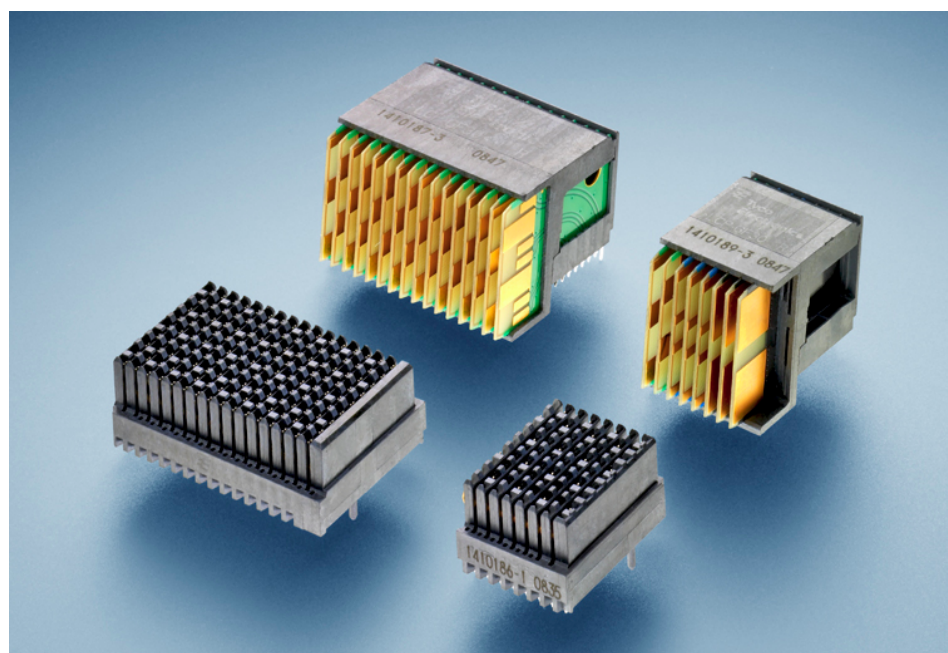


Рис. 2. Высокоскоростной разъем MultiGig RT2 (фирма Тусо, США), применяемый в изделиях стандарта VPX

Не менее значимым фактором в обеспечении скоростных соединений между модулями имеют характеристики объединительной платы. Стандарты VPX предполагают организацию модульных межсоединений по бэкплейну с помощью высокоскоростных последовательных линий. Существует три типа организации линий передачи данных: одиночные каналы UTP (Ultra-thin Pipe), сдвоенные («тонкие») каналы TP (Thin Pipe) и счетверённые («толстые») каналы FP (Fat Pipe). Каждый канал предусматривает работу как в дуплексном, так и в полудуплексном режимах. Максимальная битовая скорость передачи данных по каждой проводной паре, предусмотренная стандартом, составляет 6 Гбит/с.

Конфигурация высокоскоростных межсоединений на объединительной плате в стандарте VPX VITA 46 жёстко не определена. Разработчику системы предоставляется возможность проектировать бэкплейн с учетом требований конкретного приложения. Для некоторого ограничения разнообразия с целью унификации оборудования был разработан стандарт OpenVPX VITA 65, определяющий различные варианты конфигураций интерфейсов (профили) для объединительных плат, модулей, а также для модульных слотов объединительных плат.

Стандарт VPX VITA 46/48 (VPX REDI) хорошо зарекомендовал себя в компании Schroff (Германия) при разработке и производстве бортовых вычислительных комплексов [30].

Выбор типоразмера

Стандарт VPX VITA 46 предусматривает два формата модулей — 3U и 6U (рис. 3).

Плата 3U в два раза меньше платы 6U. Действительно, 3U передняя панель имеет длину 132 мм, в то время как 6U передняя панель имеет длину 265 мм, и оба модуля имеют одинаковую ширину. Исходя из этого, вполне логично предположить, что плата 3U может содержать 50 процентов функциональности платы 6U.

Однако, необходимо учитывать и факторы надёжности, связанные с отводом тепла. В нашем случае важна возможность для кондуктивного охлаждения через клинья на вертикальных краях платы. Многие приложения VPX, такие как БПЛА, действительно требуют кондуктивного охлаждения. Также необходимо учесть глубину, требуемую для установки разъёмов VPX, которые занимают значительное количество пространства платы.

Ранее было показано, что системы 3U требуют на 50 % больше объёма, чем эквивалентная система с той же функциональностью, выполненная в формате 6U. Это является весомым аргументом в пользу выбора формата 6U.

Однако, несмотря на проигрыш в использовании свободного пространства формат 3U является лучшим в следующих применениях:

- компактные системы, состоящие из шести плат и менее. Общий размер и вес системы с менее чем шестью 3U платами с учётом корпуса и объединительной платы меньше эквивалентной системы 6U;

- «прочные» системы, которые подвергаются ударам и вибрации: 3U платы имеют меньшую площадь, а значит являются более «прочными»;

- системы с кондуктивным охлаждением: 3U платы имеют более короткие пути теплопереноса

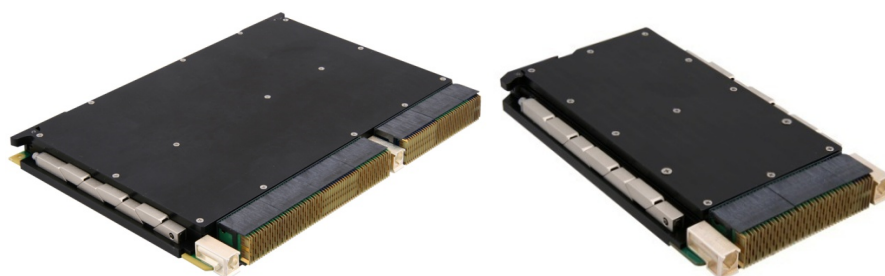


Рис. 3. Модули 6U и 3U с кондуктивным охлаждением

са, что делает более эффективным теплоотвод от платы к холодной плите, чем с 6U платы;

– более гибкая функциональность. Например, если в приложении требуется один канал интерфейса, то нет оснований для использования платы 6U с тремя каналами интерфейса, если имеются платы 3U с одним каналом интерфейса.

Принимая во внимание, что создаваемые модули СВЧ устройств для малогабаритной аппаратуры РЭБ нового поколения будут размещаться на воздушных носителях, в том числе на БПЛА, на которых возможна организация кондуктивного охлаждения, выбор формата 3U является более предпочтительным. При этом количество модулей в блоке не должно превышать шести-восьми. Для реализации аппаратуры по выбранному стандарту была рекомендована унифицированная архитектура средств РЭБ [31].

Заключение

Для конструктивной реализации бортовых СВЧ устройств аппаратуры РЭБ выбрана модульная платформа на основе стандарта VITA и технологии VPRX. В состав платформы должны входить следующие основные модули: комплексированные СВЧ модули; переключающие СВЧ матрицы; антенны, унифицированные цифровые модули (процессоры, коммутаторы, ПЛИС и др.); объединительные кросс-платы; базовые несущие конструктивы. В качестве базового формата модулей рекомендован формат 3U, который обеспечивает лучший теплоотвод. Методика конструкторского проектирования прошла апробацию в АО «НИИ «Экран». Образцы устройств были представлены на межведомственные испытания. Проведённые испытания основных устройств комплекса РЭБ показали, что выбранная конструктивная реализация позволила увеличить время наработки на отказ в 1,6 раза по сравнению с предыдущей разработкой.

Литература

1. Фролов С.И., Данилова Е.А., Таньков Г.В., И.И. Кочегаров, Григорьев А.В. Разработка методики определения резонансных частот тонкостенных цилиндрических конструкций бортовых радио-

электронных средств // Надёжность и качество сложных систем. 2021. №1 (33). С. 102–113.

2. Канащенков А.И., Новиков С.В. Основные методологические принципы проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов нового поколения // Надёжность и качество сложных систем. 2018. №3 (23). С. 71–84.

3. Канащенков А.И., Гаврилов К.Ю., Новиков С.В. К вопросу формирования облика средств управления вооружением нового поколения // Вопросы обороны техники. Серия 16. 2018. №5–6. С. 118–122.

4. Канащенков А.И., Гаврилов К.Ю., Новиков С.В. К вопросу формирования облика авиационных радиолокационных систем управления оружием // Вопросы оборонной техники. Серия 16. 2018. № 7–8. С. 91–96.

5. Канащенков А.И. Основные научно-технические направления снижения стоимости жизненного цикла радиолокационных систем управления летательных аппаратов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. 2018. № 9–10 (123–124). С. 120–126.

6. Канащенков А.И., Матвеев А.М., Новиков С.В. Возможности применения малогабаритного цифрового радара в самолетной авиации [Электронный ресурс] // Труды МАИ. 2016. №89. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=73354> (дата доступа 10.10.2021).

7. Канащенков А.И., Матвеев А.М., Минаев Э.С., Новиков С.В. Малогабаритные интегрированные радиолокационные системы нового поколения для летательных аппаратов // Известия вузов. Авиационная техника. 2017. №4. С. 153–157.

8. Леньшин А.В., Зибров Г.В., Виноградов А.Д. Бортовые комплексы обороны воздушных судов: учебное пособие / под ред. А.В. Леньшина. – Воронеж: Научная книга. 2013. 309 с.

9. Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиоэлектронной борьбы: учебное пособие. Ч.1. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1998. 434 с.

10. Радзиевский В.Г., Сирота А.А. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. М.: Радиотехника. 2004. 432 с.

11. Михайлов Р.Л., Поляков С.Л. Состав и задачи перспективной автоматизированной системы управления средствами технической разведки и радиоэлектронной борьбы // Журнал i-methods. 2019. Т. 11. №2. URL: <http://intech-spb.com/wp-content/uploads/archive/2019/2/Mikhailov-1.pdf> (дата доступа 10.10.2021).

12. Леньшин А.В., Кравцов Е.В. Функциональный метод обобщенных параметров для оперативной оценки возможностей технических средств разведки // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2021. №3. С. 23–32.

13. Абрамов П.Б., Леньшин А.В. Средства радиоэлектронного противодействия летательных аппа-

ратов как систем массового обслуживания // Вестник Воронежского института МВД России. 2014. №2. С. 122–131.

14. *Леньшин А.В., Кравцов, Е.В.* Методика адаптивного распределения сил и средств комплексного технического контроля по объектам защиты в различных физических полях разнесённого приёма // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2020. №4. С. 15–22.

15. The International Countermeasures Handbook. EW Communications, Inc., 1979–1980. Pp. 349–354.

16. *Salzmann A.R.* Whether Support Jamming? Defence Electronics, 1986. V. 18. No 1. Pp. 65–70.

17. *Костров В.В.* Когерентно-некогерентная обработка сигнала преамбулы с учётом свойств канала распространения // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2020. №3. С. 37–47.

18. *Маклашов В.А., Пиганов М.Н.* Математическая модель функционирования станции активных помех // Труды МАИ. 2020. №113. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=118081> (дата доступа 10.10.2021).

19. *Norten E.* Strategic ECM // Journal of Electronic Defense. 1989. No 6. Pp. 34–38.

20. *Маклашов В.А., Мирзоев Р.М.* Алгоритм вычисления пеленга на источник радиоизлучения // Надёжность и качество сложных систем. 2021. №1 (33). С. 66–75.

21. *Кошелев В.И., Паришин А.Ю.* Алгоритм обнаружения движущегося фрактального объекта на радиолокационном изображении // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2015. №3. С. 45–52.

22. *Леньшин А.Д.* Авиационные системы радиоэлектронного противодействия. Воронеж: ИПЦ ВГУ. 2012. 284 с.

23. *Rassel D.M.* Tactical jamming aircraft increase power and frequency coverage. Defence Electronics. 1983. V. 15. No 4. Pp. 78–86.

24. *Josefson L.* A broad band, circularly polarized, phase steered array. Military Electronics Defence Expo'79. Pp. 273–284.

25. *Канащенков А.И. Копылов В.В., Рогов В.Я.* Электронные СВЧ-компоненты – база настоящих и будущих радиоэлектронных систем // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2003. №7. С. 26–29.

26. *Maklashov V.A., Piganov M.N.* Simulation of ultrawideband embedded multilayer RF filters embedded in a printed circuit board // Journal of Physics: Conference Series. Electronic edition. IV International Conference on Information Technology and Nanotechnology, ITNT-2018. 2018. Ser. 1096. 012182. Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1096/1/012182/pdf> (дата доступа 10.10.2021).

27. ANSI/VITA 65-2010 (R2012) OpenVPX System Specification // National Information Standards Organisation: Baltimore, MD, 2012.

28. *Маклашов В.А.* Модульная технология VPX в технике РЭБ // Радиотехника. 2016. №1. С. 28–31.

29. *Шерстнёв Д.В., Маклашов В.А., Мазуров Ю.В., Тезейкин В.К.* Малогабаритный модульный комплекс РТР и РЭП индивидуальной защиты летательных аппаратов // Радиоэлектронная борьба в Вооруженных силах Российской Федерации. 2017. №1. С. 172–173.

30. *Гарсия В.* Бортовые вычислительные комплексы с кондуктивным теплоотводом: пример: конструктивной реализации на основе спецификации VPX REDI // Современные технологии автоматизации. 2013. №1. С. 34–40.

31. *Маклашов В.А., Пиганов М.Н.* Методика унификации средств радиоэлектронной борьбы // Надёжность и качество сложных систем. 2019. № 3(27). С. 26–32.

Поступила 11 октября 2021 г.

English

SELECTION OF STRUCTURAL DESIGN FOR ELECTRONIC WARFARE SYSTEM

Vladimir Anatolyevich Maklashov — Postgraduate Student, Department of Design and Technology of Electronic Systems and Devices, Samara National Research University¹; Head of Department, JSC "Research Institute "Screen"², Chief designer of Product.

E-mail: mg37@rambler.ru

Vladimir Anatolyevich Maklashov — Grand Dr. in Engineering, Professor, Department of Design and Technology of Electronic Systems, Samara National Research University¹.

E-mail: ankislyakov@mail.ru

¹Address: 443086, Russian Federation, Samara, Moscovskoye Shosse St., 34.

²Address: 443022, Russian Federation, Samara, Kirov Avenue, 24.

Abstract: Avionics should be of high reliability. First, it is the case of new generation aircraft avionics including electronic warfare systems. Structural aspects are the most important and require particular attention

concerning reliability of avionics. The aim of the work is to develop a method of design of electronic warfare system, providing the required level of its reliability. Selection of structural design for on-board microwave devices was done. Modular option to implement electronics for electronic warfare systems was proposed. Integration of miscellaneous devices in a single multilayer printed circuit board was admitted as the most advanced trend to develop on-board microwave equipment for facilities of electronic warfare system. Such an integration of microwave and digital equipment demanded a new approach to making interconnected analog-to-digital microwave modules using the most advanced technical solutions and hardware components in both microwave, digital systems and software. Composition of modular platform and unit of interconnected modules is described. Construction options for interconnected modules are considered. A brief description of the unit is given. Features of VPX standard are reviewed. 3U format is recommended as basic unit format providing the best heat sink. Uniform architecture for EW systems was recommended to implement the equipment as per selected standard. The unit reliability evaluation is presented as per test results. Conducted tests of key devices for ECM facility testified that selected structural design made it possible to increase time before failure by 1.6 times compared with the previous project.

Keywords: design, microwave device, modular option, composition of modular platform, on-board system.

1. Frolov S.I., Danilova E.A., Tankov G.V., Kochegarov I.I., Grigoriev A.V. Development of a technique for determining resonant frequencies of thin-walled cylindrical structures of onboard radio-electronic means. *Nadyozhnost' i kachestvo slozhnyh sistem*. 2021. No.1 (33). Pp. 102–113.

2. Kanashchenkov A.I., Novikov S.V. Basic methodological principles of designing radioelectronic systems of new generation aircraft. *Nadyozhnost' i kachestvo slozhnyh sistem*. 2018. No.3 (23). Pp. 71–84.

3. Kanashchenkov A.I., Gavrilov K.Yu., Novikov S.V. On the issue of formation of the appearance of new generation weapons controls. *Voprosy oboronoy tekhniki*. Series 16. 2018. No.5–6. Pp. 118–122.

4. Kanashchenkov A.I. Gavrilov K.Yu., Novikov S.V. On the formation of the appearance of aviation radio-location weapon control systems. *Voprosy oboronoy tekhniki*. Series 16. 2018. No. 7-8. Pp. 91–96.

5. Kanashchenkov A.I. The main scientific and technical directions of reducing the cost of the life cycle of radar control systems of aircraft. *Voprosy oboronoy tekhniki*. Series 16. 2018. № 9–10 (123–124). Pp. 120–126.

6. Kanashchenkov A.I. Matveev A.M., Novikov S.V. Possibilities of using small-sized digital radar in aircraft aviation [Electronic source]. *Trudy MAI*. 2016. No.89. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=73354> (accessed 10.10.2021).

7. Kanashchenkov A.I., Matveev A.M., Minaev E.S., Novikov S.V. Small-sized integrated radio-location systems of a new generation for aircraft. *Izvestiya vuzov. Aviacionnaya tekhnika*. 2017. No. 4. Pp. 153–157.

8. Lenshin A.V., Zibrov G.V., Vinogradov A.D. Airborne aircraft defense complexes: a textbook. Voronezh: Scientific Book. 2013. 309 p

9. Vakin S.A., Shustov L.N. Fundamentals of electronic warfare: textbook. Part 1. Moscow: VVIA named after prof. N.E. Zhukovsky, 1998. 434 p.

10. Radzievsky V.G., Sirota A.A. Theoretical foundations of electronic intelligence. Moscow: Radiotekhnika. 2004. 432 p.

11. Mikhailov R.L., Polyakov S.L. Composition and tasks of a promising automated control system for technical intelligence and electronic warfare. *Journal of i-methods*. 2019. Vol. 11. No. 2. URL: <http://intech-spб.com/wp-content/uploads/archive/2019/2/Mikhailov-1.pdf> (accessed 10.10.2021).

12. Lenshin A.V., Kravtsov E.V. Functional method of generalized parameters for operational assessment of capabilities of technical means of reconnaissance. *Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnyye sistemy*, 2021. No. 3. Pp. 23–32.

13. Abramov P.B. Lenshin A.V. Means of electronic countermeasures of aircraft as queuing systems. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2014. No. 2. Pp. 122–131.

14. Lenshin A.V., Kravtsov, E.V. Methodology of adaptive distribution of forces and means of complex technical control over protection objects in various physical fields of spaced reception. *Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnyye sistemy*, 2020. No. 4. Pp. 15–22.

15. The International Countermeasures Handbook. EW Communications, Inc., 1979–1980. Pp. 349–354.

16. Salzmann A.R. Whether Support Jamming? *Defence Electronics*, 1986. V. 18. No 1. Pp. 65–70.

17. Kostrov, V. V. Coherent-incoherent signal processing of the preamble based on the properties of the propagation channel. *Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnyye sistemy*, 2020. No. 3. Pp. 37–47.

18. Maklakov V. A., Piganov M. N. A mathematical model of the functioning of the jammer. *Trudy MAI*. 2020. No. 113. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=118081> (Access date 10.10.2021).

19. Norten E. Strategic ECM. *Journal of Electronic Defense*. 1989. No 6. Pp. 34–38.

20. *Maklashov V.A., Mirzoev R.M.* Algorithm for calculating the bearing on a radio source. *Nadyozhnost' i kachestvo slozhnyh sistem.* 2021. No.1 (33). Pp. 66–75.
21. *Koshelev V.I., Parshin A.Yu.* Algorithm for detecting a moving fractal object on a radar image. *Radio-tekhnicheskie i telekommunikacionnye sistemy,* 2015. No. 3. Pp. 45–52.
22. *Lenshin A.D.* Aviation systems of electronic countermeasures. Voronezh: CPI VSU. 2012. 284 p.
23. *Rassel D.M.* Tactical jamming aircraft increase power and frequency coverage. *Defence Electronics.* 1983. V. 15. No 4. Pp. 78–86.
24. *Josefson L.* A broad band, circularly polarized, phase steered array. *Military Electronics Defense Expo'79.* Pp. 273–284.
25. *Kanashchenkov A.I. Kopylov V.V., Rogov V.Ya.* Electronic microwave components - the base of real and future radio-electronic systems. *ELEKTRONIKA: Nauka, Tekhnologiya, Biznes.* 2003. No. 7. Pp. 26–29.
26. *Maklashov V.A., Piganov M.N.* Simulation of ultrawideband embedded multilayer RF filters embedded in a printed circuit board. *Journal of Physics: Conference Series. Electronic edition. IV International Conference on Information Technology and Nanotechnology, ITNT-2018.* 2018. Ser. 1096. 012182. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1096/1/012182/pdf> (Access date 10.10.2021).
27. ANSI/VITA 65-2010 (R2012) OpenVPX System Specification. National Information Standards Organisation: Baltimore, MD, 2012.
28. *Maklashov V.A.* Modular VPX technology in electronic warfare technology. *Radiotekhnika.* 2016. No. 1. Pp. 28–31.
29. *Sherstnev D.V., Maklashov V.A., Mazurov Yu.V., Tezeikin V.K.* Small-sized modular complex of RTR and REP individual protection of aircraft. *Radioelektronnaya bor'ba v Vooruzhennyh silah Rossijskoj Federacii.* 2017. No. 1. Pp. 172–173.
30. *Garcia V.* Onboard computing systems with conductive heat sink: example: constructive implementation based on the VPX REDI specification. *Sovremennye tekhnologii avtomatizacii.* 2013. No. 1. Pp. 34–40.
31. *Maklashov V.A., Piganov M.N.* Methodology of unification of electronic warfare means. *Nadyozhnost' i kachestvo slozhnyh sistem.* 2019. No. 3(27). Pp. 26–32.