

Кремниевая и арсенид-галлий-алюминиевая технология

Часть 12. Оптоэлектронный многоканальный коммутатор стандарта SpaceWire и концепция ФЭ ИВС ЦИФАР

Валерий Сведе-Швец (0000es@mail.ru), Владислав Сведе-Швец, Максим Зиновьев (Москва)

В двенадцатой части статьи будут представлены оптоэлектронный многоканальный коммутатор стандарта SpaceWire и концепция ФЭ информационно-вычислительной системы для ЦИФАР с цифровым диаграммообразованием, а также разработка ЦИФАР для радиотехнических систем с учётом современных достижений науки и техники на базе технологии радиофотоники и построение оптоэлектронной цифровой интеллектуальной 3D М ФЭФ М ЦИФАР.

Оптоэлектронный многоканальный коммутатор стандарта SpaceWire

Разработанный оптоэлектронный многоканальный коммутатор стандарта SpaceWire предназначен для построения базовых и абонентских узлов многоканальной связи в бортовых и внутриобъектовых системах и позволяет реализовывать перспективные изделия в составе интеллектуальных сетей и информационно-вычислительных систем с высокой степенью связности, а также в радиолокационных комплексах с адаптивными фазированными решётками.

Применение оптоэлектронного многоканального коммутатора стандарта SpaceWire

Применение оптоэлектронного многоканального коммутатора стандарта



Рис. 98. Внешний вид процессорного модуля оптоэлектронного коммутатора интерфейса SpaceWire на плате форм-фактора 3U

SpaceWire во внутриобъектовых и бортовых системах позволяет получить преимущество за счёт:

- реализации интегрального кремниевого кристалла по технологии КМОП и КНИ;
- реализации интегрального кристалла оптического излучателя с использованием технологии гетероструктур AlGaInP/GaInP/GaAs;
- высокой скорости передачи информации;
- компактности;
- малого веса;
- высокой надёжности и возможности использования резервных каналов;
- защищённости приборов от ЭМИ за счёт применения оптических линий связи;
- большой функциональной ёмкости маршрутизатора;
- иерархической наращиваемости числа коммутируемых каналов.

Эти преимущества могут быть успешно реализованы в составе многофункциональных, многодатчиковых, информационно-вычислительных и управляющих систем в авиационном приборостроении, в приборостроении военно-морского флота, в ракетостроении, а также во всех наземных прикладных системах широкого сбора информационных данных, работающих в реальном масштабе времени.

Разработанные конструкторско-технологические решения построения многоканального оптоэлектронного модуля позволяют создавать встраиваемые информационно конфигу-

рируемые коммуникационные среды для различных отраслей промышленности.

Технические характеристики оптоэлектронного многоканального коммутатора стандарта SpaceWire:

- количество независимых дуплексных оптических каналов – 32;
- количество независимых дуплексных электрических каналов – 2;
- вид модуляции сигнала – DS кодирование;
- скорость ввода-вывода сигнала – до 400 МГц;
- тип волокна – многомодовое;
- длина оптической линии связи – до 100 м;
- длина электрической линии связи – до 10 м.

Разработан процессорный модуль оптоэлектронного коммутатора интерфейса SpaceWire на плате форм-фактора 3U в составе оптоэлектронного многоканального коммутатора стандарта SpaceWire и двух модулей с процессорами TMS320C6455 платформы MityDSP-PRO производительностью $2 \times 9 \times 10^9$ операций в секунду. Общий вид процессорного модуля представлен на рисунке 98.

Технические характеристики процессорного модуля оптоэлектронного коммутатора

Технические характеристики процессорного модуля оптоэлектронного коммутатора:

- материнская плата форм-фактора 3U для систем стандарта µTCA;
- модуль оптоэлектронного коммутатора с многоканальными волоконно-оптическими линиями связи;
- 2 мезонинные платы с процессором TMS320C6455 платформы MityDSP-PRO;
- 64 оптических дуплексных полнодуплексных коммутируемых SpaceWire-канала со скоростью ввода-вывода сигнала до 400 МГц, тип модуляции

сигналов – DS-кодирование; тип волокна – многомодовое; длина оптической линии связи до 100 м;

- многоканальный разъём с волоконно-оптическими патч-кордами;
- 4 электрических дуплексных коммутируемых SpaceWire-канала со скоростью ввода-вывода сигнала до 400 МГц, тип модуляции сигналов – DS-кодирование; длина электрической линии связи до 10 м;
- 4 электрических дуплексных коммутируемых канала Serial RapidIO со скоростью ввода-вывода сигнала до 3 ГГц, тип модуляции сигналов – 8B10B-кодирование; длина электрической линии связи до 10 м;
- электрический канал Gigabit Ethernet;
- интерфейс UART.

На рисунке 99 представлена архитектура коммутационной системы с применением технологии SpaceWire/SpaceFibre.

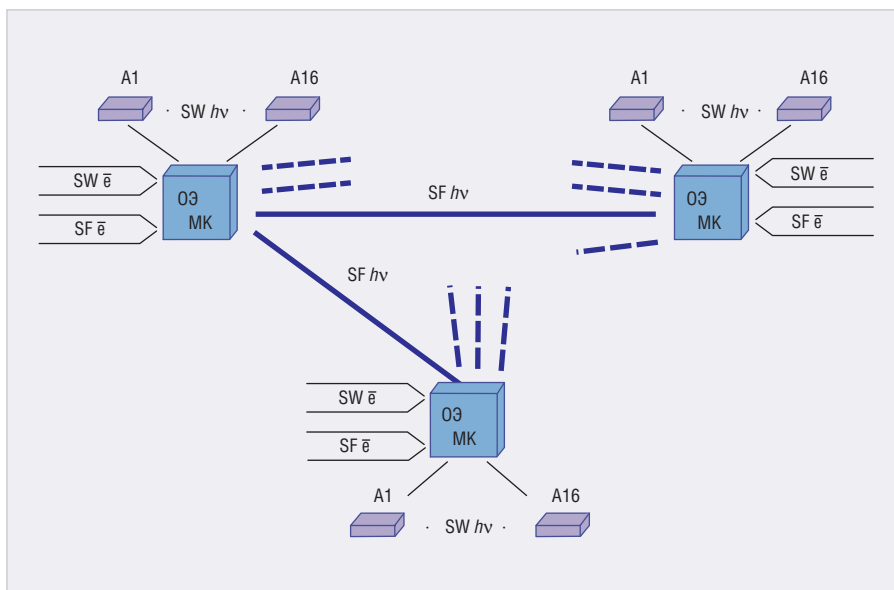


Рис. 99. Архитектура коммуникационной системы с применением технологии SpaceWire/SpaceFibre

Концепция ФЭ информационно-вычислительной системы для ЦИФАР с цифровым диаграммообразованием

Система позволяет подключаться к твердотельным СВЧ-приёмопередатчикам с помощью 3D М ФЭФ М АС-Х1, расположенных на раскрыве антенной решётки, и передавать модулированную информацию по волоконно-оптическим каналам в оптоэлектронный вычислительный блок обработки и диаграммообразования центра управления.

На рисунке 100 представлена архитектура приёмной антенной решётки.

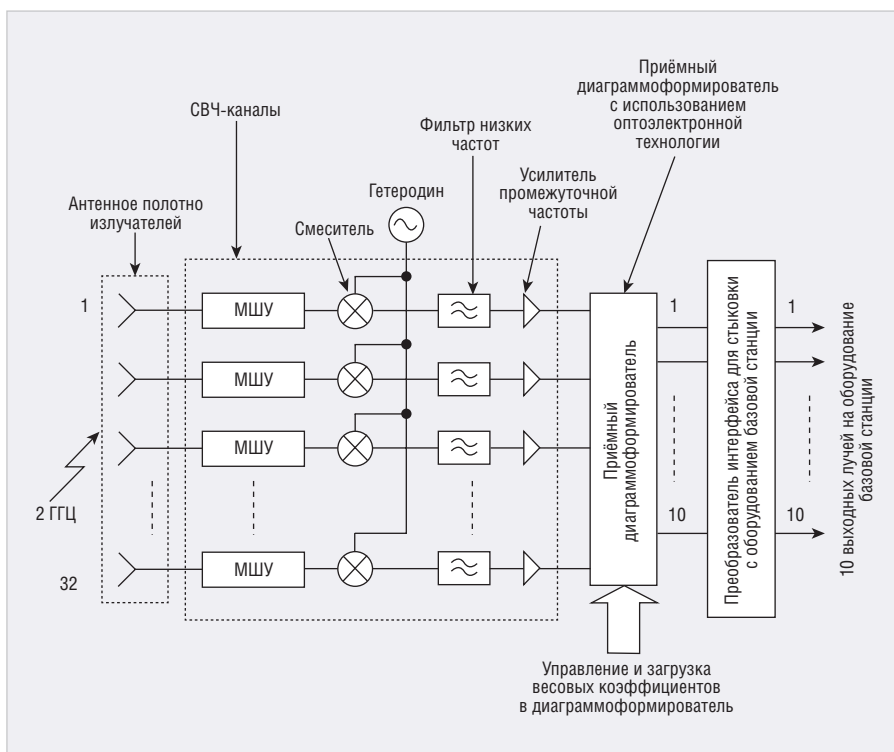


Рис. 100. Архитектура приёмной антенной решётки

Разработка ЦИФАР для радиотехнических систем на базе технологии радиофоники

Развитие средств воздушного нападения требует использования высокопотенциальных радиолокационных комплексов (РЛК), основанных на применении активных фазированных решёток. Наряду с повышением энергетического потенциала за счёт совершенствования элементной базы современные АФАР развиваются в направлении создания активных решёток с многоканальной пространственной обработкой принимаемых сигналов. В решении задачи улучшения ЕЕХ РЛК с АФАР ведущую роль играет применение современных технологий,

включая развивающееся направление радиофоники.

Применение в антенных устройствах с АФАР технологий радиофоники позволит повысить рабочую полосу частот, стабильность основных параметров, помехозащищённость и улучшить массогабаритные характеристики антенных устройств с приёмопередающими АФАР, в том числе:

- снизить потери в линиях передачи сигналов;
- повысить стабильность и повторяемость АФЧХ от канала к каналу в диапазоне рабочих частот и температур;

- повысить характеристики ЭМС/помехозащищённости каналов;
- повысить пропускную способность цифровых каналов передачи информации систем управления и контроля;
- уплотнить сигналы – снизить число линий передачи распределённых систем с АФАР;
- осуществить аналого-цифровое преобразование принимаемых СВЧ-сигналов на несущей частоте (в перспективе);
- улучшить массогабаритные характеристики передачи, приёма, распре-

ления, съёма сигнала и устройства диаграммообразования АФАР (особенно актуально для мобильных РЛС).

В связи с этим приобретает актуальность разработка перспективных АФАР с использованием технологий распределённых систем возбуждения и приёма, разводки и съёма сигналов, аналого-цифровых преобразователей и устройств диаграммообразования на базе радиофотоники. Предложены оптические схемы, основанные на акустических цепях в интегрально-оптическом исполнении, методах Фурье-оптики и Бреговских волоконных решёток.

Необходима разработка элементов, функциональных узлов и составных частей подсистем АФАР на основе оптико-электронных и электронно-оптических преобразователей, фотопередатчиков, фотоприёмников, усилителей, линий задержки, волоконно-оптических линий, сумматоров, делителей, разъёмов, удовлетворяющих техническим требованиям, предъявляемым к соответствующим подсистемам АФАР.

В России внедрение РЛС с твердотельными АФАР идёт с запозданием, обусловленным отставанием российской электронной промышленности.

Недостаточность количественных и качественных преимуществ «классических», т.е. аналоговых АФАР перед пассивными ФАР поставила перед разработчиками вопрос о необходимости пересмотра самого подхода к проектированию радиотехнических систем.

Принципиально новым, эволюционным скачком в развитии техники антенн, позволяющим преодолеть наметившийся кризис, стал переход от классических к цифровым АФАР – ЦАФАР. Отличительной особенностью ЦАФАР является аналого-цифровое преобразование сигнала в каждом приёмном канале и цифроаналоговое преобразование в каждом передающем канале. Формирование диаграмм направленности реализуется путём обработки потоков цифровой информации, а антенное устройство, за исключением оконечных СВЧ-элементов, представляет собой сетевое вычислительное устройство.

В радиотехнических системах, построенных с использованием данной технологии, реализуется пространственно-временная обработка сигналов, когда пространственная обработ-

ка отвечает за формирование диаграммы направленности, а временная – за фильтрацию и обнаружение полезных сигналов.

Реализация пространственно-временной обработки цифровыми методами предоставляет ряд принципиально новых возможностей РЛС с ЦАФАР, а именно:

- цифровое управление амплитудой, фазой и задержкой сигналов, которое обеспечивает адаптивное формирование диаграмм направленности на передачу и приём – это свойство ЦАФАР позволяет работать с широкополосными сигналами во всём спектре сканирования при больших размерах апертур антенны;
 - возможность одновременного приёма сигналов с произвольных угловых направлений в секторе сканирования за счёт цифрового формирования ДН – в РЛС дальнего действия это снимает проблему работы на кратных развёртках дальности; особенно эффективно данное преимущество может быть использовано в РЛС непрерывного излучения с разнесёнными приёмными и передающими постами;
 - возможность одновременного излучения в произвольных угловых направлениях с управляемыми поляризационными характеристиками в каждом луче – в этом случае обеспечивается оптимальное распределение энергии РЛС как в режимах барьерного обнаружения, так и трассового сопровождения;
 - обеспечение возможности управляемого поляризационного базиса на передачу и согласованного поляризационного приёма сигналов в случае работы РЛС на двух ортогональных поляризациях – работа в полном поляризационном базисе обеспечивает поляризационную селекцию целей, а также поляризационную отстройку от активных помех;
 - цифровое формирование диаграмм направленности, которое обеспечивает возможность адаптивной пространственной фильтрации на приём и передачу независимо в каждом из обслуживаемых угловых направлений, что позволяет повысить эффективность защиты от помех и скрытности РЛС.
- В настоящее время работы по развитию ЦАФАР ведутся по трём основным направлениям:

- тематическая проработка системы с ЦАФАР;
- разработка приёмо-передающих модулей;
- разработка системы пространственно-временной обработки.

На этапе тематической проработки должны быть определены диапазон рабочих частот, поляризация, количество каналов антенной решётки, сектор электронного сканирования, количество одновременно обслуживаемых угловых направлений, алгоритм обзора пространства, типы сигналов и т.д.

Особенности работ следующего этапа – разработки приёмо-передающего модуля – напрямую зависят от диапазона частот и периода решётки. Очевидно, что чем больше период, тем больше свободного места для аппаратуры. Однако сложность модуля ЦАФАР намного выше, чем модуля классической аналоговой АФАР, поскольку в нём, наряду с традиционными, нужно разместить устройства аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования (АЦП и ЦАП). В настоящее время АЦП и ЦАП с приемлемым для радиотехнических систем динамическим диапазоном могут работать на частотах до 100...200 МГц. Частоты большинства радиолокационных диапазонов выше этих значений, что приводит к необходимости установки в приёмо-передающем модуле преобразователей частоты, т.к. дискретизация сигналов на несущей невозможна. Таким образом, приёмо-передающий модуль становится сложным изделием, в котором должны быть объединены усилители мощности, МШУ, преобразователи частоты, АЦП и ЦАП, устройства управления и электропитания. При разработке модуля с таким большим количеством устройств необходимо учитывать их взаимное влияние друг на друга.

Что касается системы цифровой обработки сигналов или системы пространственно-временной обработки, то она должна выполнять следующие функции:

- собирать цифровую сигнальную информацию с приёмо-передающих модулей;
- формировать диаграммы направленности в различных угловых направлениях;
- производить полосовую и согласованную фильтрации сигналов;

- осуществлять пороговое обнаружение и формирование единичных замеров.

Осуществление этих функций в крупноапертурных многофункциональных РЛС с ЦАФАР требует наличия у системы пространственно-временной обработки существующих вычислительных ресурсов, а также возможности поддержки большого количества высокоскоростных интерфейсов передачи данных. Так, скорость передачи данных между узлами РЛС с ЦАФАР может достигать десятков и сотен Гбит/с, а количество операций, которые должна выполнять система пространственно-временной обработки, может доходить до десятков терафлоп/с.

Дальнейшее развитие технологий ЦАФАР будет идти по нескольким направлениям. Прежде всего, это развитие элементной базы. Повышение рабочих частот АЦП ЦАП, создание специализированных интегральных микросхем, комбинирующих СВЧ-узлы с элементами управления и обработки, а также развитие алгоритмов и аппаратуры пространственно-временной обработки – всё это приведёт к расширению границ использования технологии ЦАФАР и сделает её более доступной по цене.

ПОСТРОЕНИЕ ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ 3D М ФЭФ М ЦИФАР

АФАР состоит из активных элементов, модулей, в которые входят излучатели, фазовращатели, усилители, преобразователи частот, аналого-цифровые преобразователи и другие устройства предварительной пространственно-временной обработки сигнала. Активные элементы в

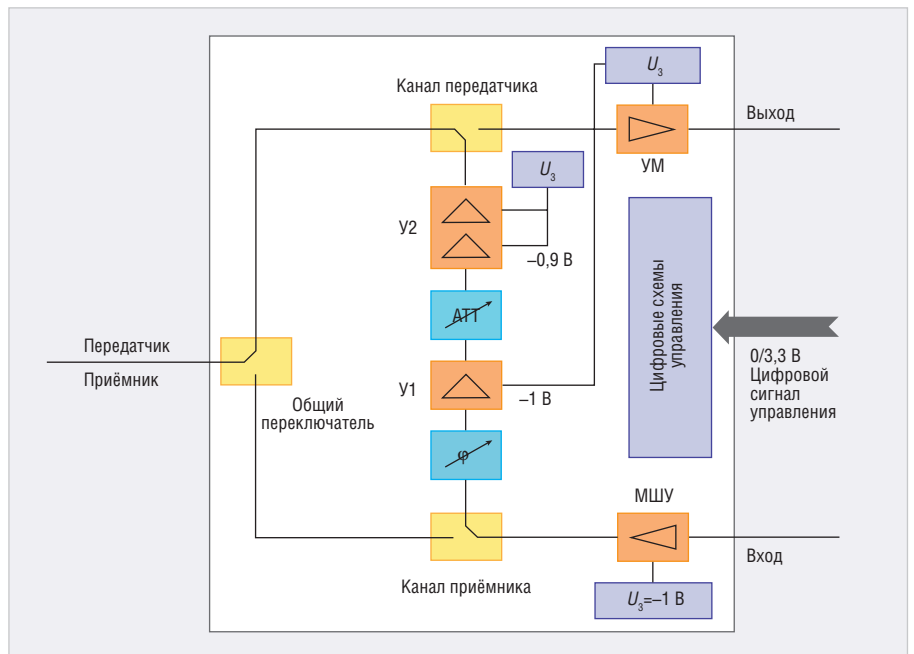



Рис. 101. Структурная схема приёмо-передающего модуля

тракте СВЧ ФАР позволяют устранить потери и существенно изменить систему возбуждения, формирования луча и его управления. Все элементы каждого канала АФАР выстроены в цепочку и имеют последовательную конвейерную обработку информации. Самым перспективным направлением в АФАР является создание цифровых интеллектуальных фазированных антенных решёток (ЦИФАР). На рисунке 101 представлена структурная схема приёмо-передающего модуля.

ЦИФАР представляет собой антенную систему, состоящую из многоэлементной антенной решётки с приёмо-передающими модулями (ППМ), многоканальными линиями связи и работающего в реальном масштабе времени многопроцессорного вычислительного устройства, осуществляющего цифровое формирование и

автоматическую подстройку диаграммы направленности. Антенная решётка играет роль многоканального датчика информации, а процессор определяет основные характеристики системы.


В ЦИФАР каждый элемент антенной решётки подстраивается независимо на основе принятой информации о сигналах. Выходные сигналы каждого элемента антенной решётки по многоканальным трактам поступают в диаграммообразующую схему многопроцессорного вычислителя, где они перемножаются на комплексные весовые коэффициенты (с учетом амплитуды и фазы), суммируются и образуют выходной сигнал антенной решётки, позволяющий без априорной информации о помеховой ситуации автоматически обнаруживать присутствие источников помех



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

РОССИЙСКИЙ РАЗРАБОТЧИК И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ

- Разработка герметичных DC/DC-преобразователей для ответственных применений
- Разработка и производство мощных источников питания для авиационной аппаратуры
- Разработка заказных силовых и ВЧ/СВЧ-модулей
- Производство дискретных силовых компонентов в керамических корпусах
- Разработка и проведение испытаний изделий и компонентов силовой электроники



POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИЛЕР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

(495) 232-2522 • INFO@PROCHIP.RU • WWW.PROCHIP.RU

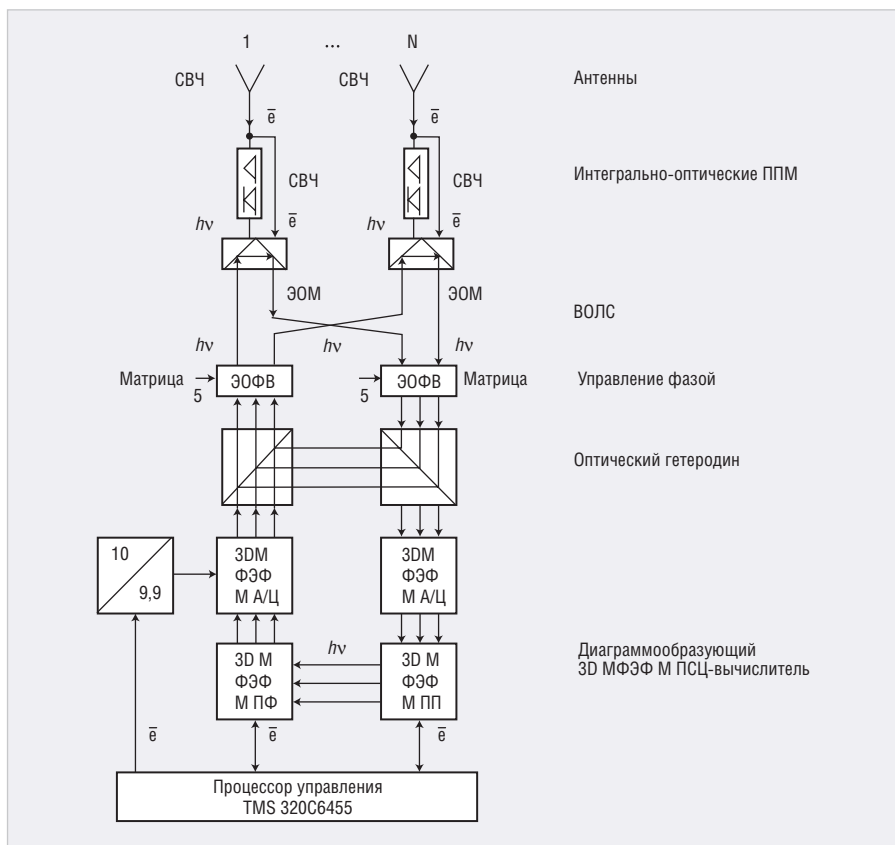
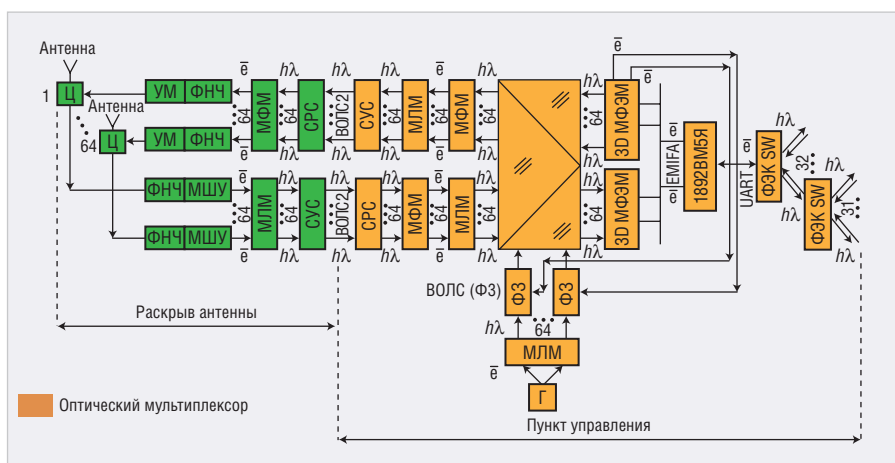


Рис. 102. Схема перспективной 3D M ФЭФ М ЦИФАР



Примечание: Ц – циркулятор; ФНЧ – фильтр низких частот; МШУ – маломощный усилитель; УМ – усилитель мощности; МФМ – многоканальный фотоприёмный модуль; 3D M ФЭФ М – 3D-матричный фотон-электронный модуль; МЛМ – многоканальный лазерный модуль; СУС – спектральный уплотнитель; СРС – спектральный разуплотнитель; ВОЛС – волоконно-оптические линии связи; ФЗ – электрическая фазовая задержка; Г – генератор; 1892BM5Я – процессор (ЭЛВИС); ФЭК SW – фотон-электронный маршрутизатор SpaceWire

Рис. 103. Структурная схема перспективной ЦАФАР с оптическим гетеродином

и подавлять их сигналы на выходе, улучшая тем самым приём полезного сигнала.

Эта исключительная способность подавления помех, а также возможность создания многолучевых структур является основным преимуществом ЦИФАР перед другими РЛС.

Архитектурно-алгоритмическое построение ЦИФАР в части преобра-

зования сигнала СВЧ в оптический сигнал, передачи по ВОЛС, АЦП/ЦАП, хранения и сигнальной процессорной обработки полностью реализуется многоканальной ФЭ элементной базой ряда 3D M ФЭФ М.

Построение ЦИФАР с использованием 3D M ФЭФ М позволит создать новый перспективный класс 3D M ФЭФ М ЦИФАР со значительно луч-

шими функциональными, массогабаритными, энергетическими характеристиками, чем при электронной реализации, т.к. в каждом 3D M ФЭФ М функционального ряда осуществляется многоканальная обработка сигнальной информации сразу в массиве из N каналов.

В 3D M ФЭФ М ЦИФАР по ВОЛС после электронного гетеродинного преобразования частоты в ППМ циркулируют видеосигналы с полосой $F=5...20$ МГц и цифровые управляющие сигналы объёмом $10...20$ бит со скоростью в несколько Мбит/с. Аналоговые оптические сигналы поступают для преобразования в 3D M ФЭФ М АЦП/ЦАП и далее на цифровую обработку в функциональные 3D M ФЭФ М диаграммообразующей 3D M ФЭФ М ПСЦ вычислительной платформы В 3D M ФЭФ М ЦИФАР.

Схема перспективной 3D M ФЭФ М ЦИФАР с многоканальными интегрально-оптическими ППМ, оптического гетеродинного преобразования входного СВЧ-видеосигнала, 3D M ФЭФ М АЦП/ЦАП, 3D M ФЭФ М ПФ и 3D M ФЭ ГИМС М ПП, объединённых в 3D M ФЭФ М ПСЦ обработки многоканальной информации диаграммообразования и управления фазой, приведена на рисунке 102.

В перспективной 3D M ФЭФ М ЦИФАР с интегрально-оптическими ППМ по ВОЛС циркулируют СВЧ-видеосигналы, оптическое гетеродинное преобразование СВЧ-видеосигнала, АЦП и формирование сигналов управления производится непосредственно в функциональных 3D M ФЭФ М, а обработка многоканальной информации диаграммообразования – в 3D M ФЭФ М ПСЦ вычислительной платформы.

В 3D M ФЭФ М ЦИФАР масштабируемого 3D M ФЭФ М ПСЦ вычислительного комплекса обработки радиолокационной информации имеется до 16 384 каналов и более.

На рисунке 103 приведена структурная схема перспективной ЦАФАР с оптическим гетеродином.

В заключительной части статьи будет представлена информационно-вычислительная система на функциональных модулях ОЭС с фотон-электрон-фотонными многоканальными связями, а также пойдёт речь о встраиваемой вычислительной платформе ФЭФ ВВП и построении устройств на базе 3D M ФЭФ М и платформы MicroTSA OM.



ТЕСТПРИБОР

ИСПЫТАНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБОВ

ИСПЫТАНИЯ ПРОВОДЯТСЯ В СООТВЕТСТВИИ
С ГОСТ 9.048, ГОСТ 20.57.416 И ГОСТ 20.57.305

■ **ИСПЫТАНИЯ** проводятся с целью определения способности электронной компонентной базы, а также радиоэлектронной аппаратуры или их отдельных сборочных единиц и деталей противостоять росту грибов.

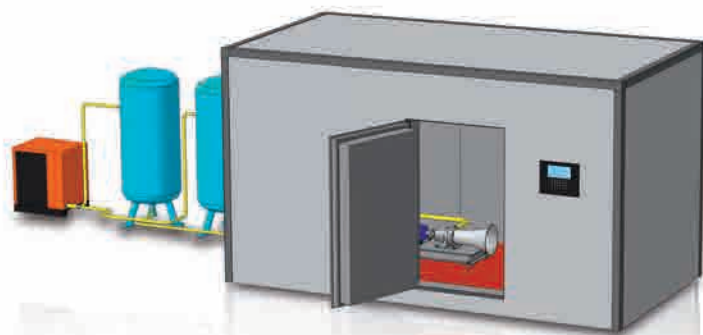
■ **СУЩНОСТЬ ИСПЫТАНИЯ** заключается в том, что образцы, очищенные от внешних загрязнений, заражают водной суспензией спор грибов и выдерживают в условиях, оптимальных для их развития.



ИСПЫТАНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА

ИСПЫТАНИЯ ПРОВОДЯТСЯ В СООТВЕТСТВИИ
С ГОСТ 20.57.416 И ГОСТ 20.57.305

ТЕСТПРИБОР



- Диапазон частот 50 – 10000 Гц
- Максимальный уровень звукового давления – 160 дБ

■ **ИСПЫТАНИЯ** проводятся с целью определения способности аппаратуры и электронной компонентной базы выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах норм в условиях воздействия акустически наводимой вибрации.

■ **УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЙ** аппаратуры характеризуются средним уровнем звукового давления вокруг испытываемого объекта, уровнем звукового давления в октавных полосах частот в одной из контрольных точек, разницей суммарных уровней в контрольных точках и длительностью испытаний.