

Светличный Ю.А., Дегтярев П.А., Негодяев П.А.

ООО «ЛЭМЗ-Т», г. Томск, tomsk@lemz.ru

СХЕМЫ И КОМПОНЕНТЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЦИФРОВЫМИ ФАЗИРОВАННЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ.

Эпоха перспективного поколения антенн связана с развитием новых высокопроизводительных интеллектуальных адаптивных алгоритмов и методов получения и обработки информации, преимущественно – без или с минимально-необходимым участием человека, использованием новых элементов и материалов (многофункциональных аналоговых СВЧ и цифровых вычислительных микросхем, композиционных материалов с не встречающимися в природе характеристиками - метаматериалов), стиранием границ между СВЧ и оптическими диапазонами (применением оптических устройств совместно с электромагнитными - использованием радиофотонных технологий).

Сформулированные в недалеком прошлом направления развития техники получили практическую реализацию в наши дни. Характерной тенденцией развития современных многофункциональных радиолокационных систем является переход к цифровым фазированным антенным решеткам (ФАР) [1, с. 5]. Радиолокационные и радиоинформационные системы будущего должны создаваться на основе интеллектуальных ФАР с более эффективными техническими и экономическими характеристиками, обладающими следующими преимуществами:

замена громоздкой, тяжелой, нестабильной аналоговой диаграммообразующей схемы с аналоговыми фазовращателями на высокоточные цифровые диаграммообразующие схемы...;

возможность электрически ... осуществлять быстрое управление амплитудно-фазовым распределением (АФР) в раскрыве как приемной, так и передающей ФАР;

повышение точности угловых измерений, возможность адаптивно и гибко формировать нужное число лучей системы с низким уровнем боковых лепестков

(УБЛ), а также осуществлять формирование «нулей» диаграммы направленности (ДН)...

использование входов и выходов АЦП и ЦАП для полной цифровой обработки и формирования сложных широкополосных сигналов (фильтрация, модуляция, демодуляция, кодирование, декодирование, маршрутизация информационных потоков) [2, с. 65].

В последние годы актуальными становятся тенденции перехода от классических электромагнитных систем к оптическим. Оправданный перспективными возможностями интерес к оптоэлектронным и оптическим технологиям в СВЧ-технике обусловил появление нового научного направления - радиофотоники, находящегося на стыке научных дисциплин, таких как волоконная, интегральная и нелинейная оптика, лазерная физика, опто- и микроэлектроника. Радиофотоника позволяет создавать устройства и системы СВЧ-диапазона с параметрами, недостижимыми традиционными электронными средствами, в связи с чем радиофотонные устройства и системы (волоконно-оптические линии передачи и задержки СВЧ-сигналов, оптоэлектронные генераторы СВЧ, волоконно-оптические системы распределения СВЧ-сигналов и оптоэлектронные системы обработки СВЧ-сигналов) находят применение в радиолокации, радиоэлектронной разведке и радиоэлектронном противодействии. Основные преимущества устройств и систем радиофотоники связаны со свойствами оптического волокна: сверхнизкие потери (менее 0.4 дБ/км) и дисперсия (для СВЧ-сигнала), сверхширокополосность (ограничена полосой частот современных фотодиодов и электрооптических модуляторов, которая достигает 100 ГГц и выше), невосприимчивость к электромагнитным помехам, полная гальваническая развязка, механическая гибкость, малая масса и размеры [3].

В соответствии с мировыми тенденциями развития отрасли в АО «НПО «ЛЭМЗ» (г. Москва) совместно с центром исследований и разработок ООО «ЛЭМЗ-Т» (г. Томск) разработана технология построения вычислительных систем цифровых активных фазированных антенных решеток (ЦАФАР), позволяющая реализовывать перспективные РЛК различного назначения с высокими тактико-техническими характеристиками с использованием блочно-модульного принципа.

Характерными особенностями технологии являются: блочно-модульная архитектура (возможности различного исполнения по конструкции, функциональности, частотному диапазону), полностью цифровое диаграммообразование на прием и передачу (АЦП и ЦАП в каждом канале), использование технологий радиофотоники и оптических интерфейсов для передачи сигналов и потоков данных, адаптивные алгоритмы обработки сигналов и обзора пространства, значительный процент использования отдельных высокотехнологичных отечественных комплектующих и материалов.

Основным программно-аппаратным элементом технологии является периферийное вычислительное устройство (ПВУ), реализующее алгоритмы обработки каналов ЦАФАР. Функциональная схема ПВУ в составе цифровой подрешетки ЦАФАР приведена на рисунке 1.

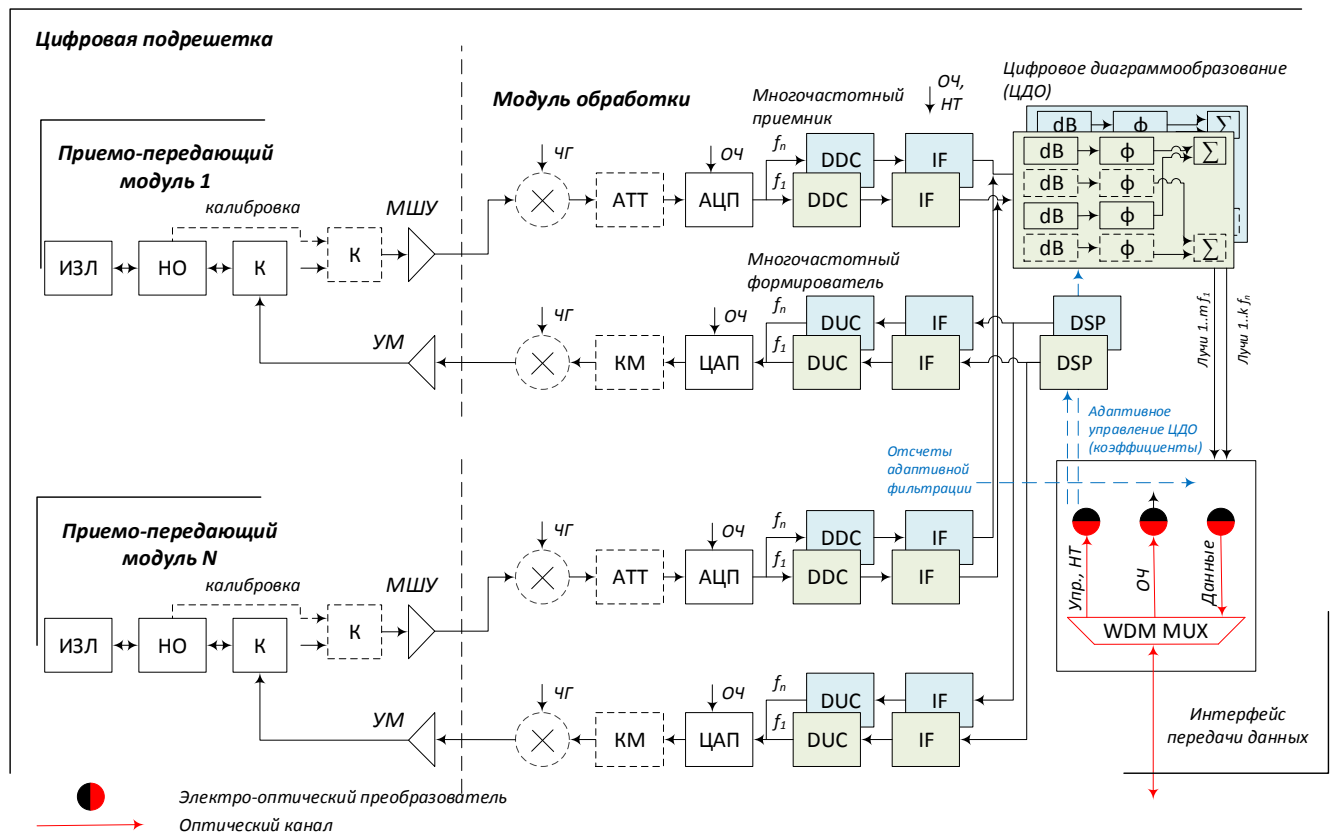


Рисунок 1 – Функциональная схема цифровой подрешетки вычислительной системы ЦАФАР

ПВУ обеспечивает возможность адаптивного формирования и обработки радиолокационных сигналов произвольной формы, в том числе – в многочастотном режиме, путем прямого преобразования или с переносом частоты аналоговым

способом в зависимости от частотного диапазона ЦАФАР. Возможность подключения различных приемопередающих модулей (ППМ), объединения практически неограниченного количества каналов ЦАФАР - от нескольких единиц до нескольких тысяч - позволяет строить антенные системы с ЦАФАР любого назначения и любого масштаба – от малогабаритных встраиваемых в обшивку бортовых комплексов наземных и воздушных, в том числе роботизированных средств, до сложнейших многоканальных стационарных или мобильных радиолокационных комплексов.

Интеграция цифровых подрешеток в антенную систему осуществляется с помощью оптических интерфейсов, обеспечивающих достаточную пропускную способность каналов передачи данных для возможности использования высокопроизводительных адаптивных алгоритмов. Объединяющим элементом является центральное вычислительное устройство (ЦВУ), выполняющее интеграцию информации цифровых подрешеток и реализацию алгоритмов локации. Схема объединения цифровых подрешеток ЦАФАР при размещении ПВУ и ЦВУ на стационарной несущей платформе приведена на рисунке 2. При необходимости ПВУ может быть размещено на вращающейся части антенного поста, а центральное вычислительное устройство – в неподвижном кузове-контейнере; в этом случае используется схема с применением оптического поворотного устройства и мультиплексированием оптических каналов, приведенная на рисунке 3.

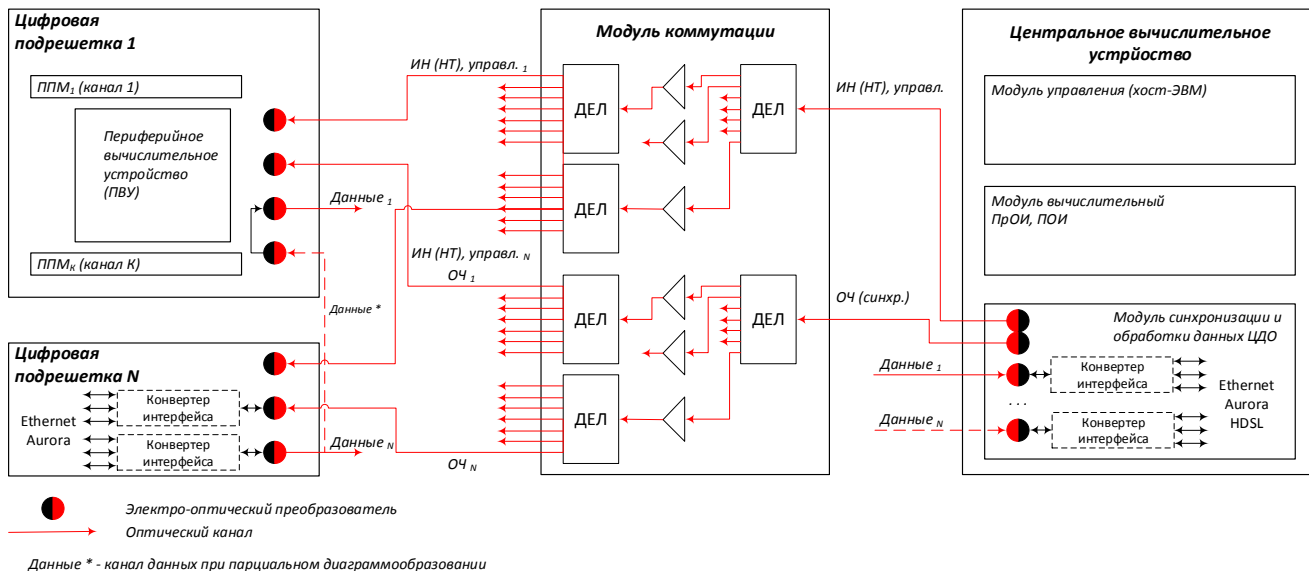


Рисунок 2 - Схема объединения цифровых подрешеток ЦАФАР при размещении ПВУ и ЦВУ на стационарной несущей платформе

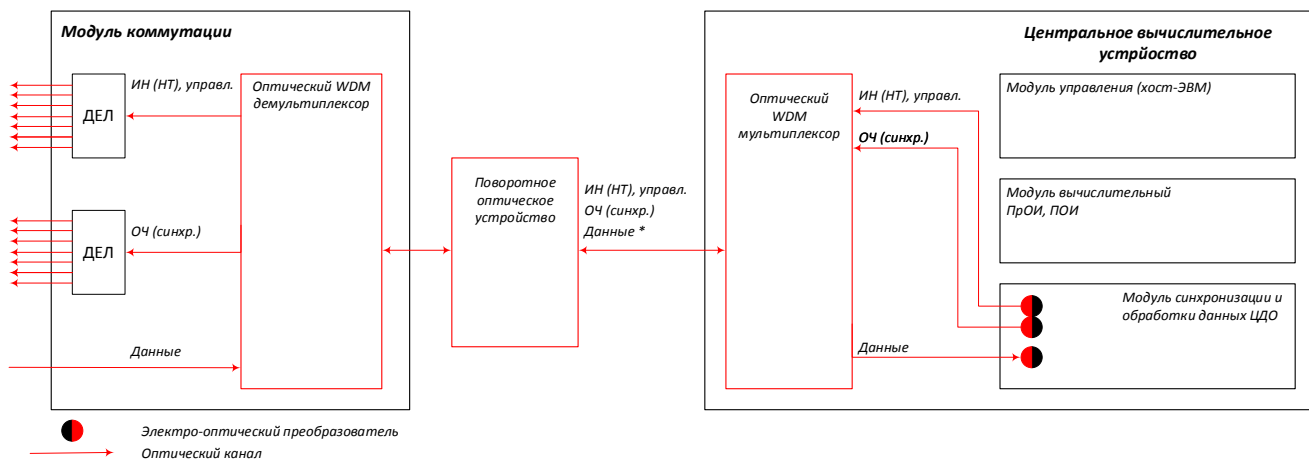


Рисунок 3 - Схема объединения цифровых подрешеток ЦАФАР при размещении ПВУ и ЦВУ на вращающейся части антенного поста и в неподвижном кузове-контейнере

Эффективность представленных схем подтверждена практическими экспериментами при построении ЦАФАР различных масштабов и частотных диапазонов. Выявлено, что современные адаптивные алгоритмы требуют значительной пропускной способности каналов передачи данных ПВУ-ЦВУ (в настоящее время – порядка 10 Гбит/с), что необходимо учитывать при проектировании систем с ЦАФАР. Следующий этап развития технологии – радиотонные тракты передачи сигналов, усовершенствованные адаптивные алгоритмы обзора пространства и борьбы с помехами.

Разработанная вычислительная система за счет использования блочно-модульного принципа позволяет в течение короткого срока создавать унифицированные ЦАФАР радиотехнических систем различного назначения. Использование оптических технологий позволяет обеспечить стабильную синхронизацию и необходимую пропускную способность каналов передачи данных. Полностью цифровое диаграммообразование на прием и передачу позволяет исключить из приемо-передающих модулей аттенюаторы и фазовращатели, чем значительно повысить точность и надежность системы диаграммообразования без увеличения стоимости. Возможность управления каналами ФАР цифровым способом позволяет реализовывать адаптивные алгоритмы пространственно-временной обработки. Возможность рассмотрения разработанной вычислительной системы ЦАФАР в виде распределенного вычислителя закладывает ее способность быть примененной в более сложных многопозиционных комплексах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев Л. Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. М. – Радиотехника, 2010. – 144 с.
2. Братчиков А. Н. Активные фазированные антенные решетки. / Д. И. Воскресенский, А. И. Канащенков. – М.: – Радиотехника, 2004. – 488 с
3. Малышев А. С. Волоконно-оптические лазерные и фотодиодные модули СВЧ-диапазона и системы радиофотоники на их основе. http://mwelectronics.ru/2015/Papers/O00_01_Malyshev_Volokno-opticheskie_lazery.pdf
4. Белоус А. И. СВЧ-электроника в системах связи и радиолокации. Техническая энциклопедия. В 2-х книгах. Книга 2. / А. И. Белоус, М. К. Мерданов, С. В. Шведов. – М.: Техносфера, 2016. – 728 с.