

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В РАДИОЛОКАЦИИ – КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД

К. Папилов, к. т. н.¹

УДК 621.396.96
БАК 05.11.00

Радиолокационные станции (РЛС) составляют основу противовоздушной обороны любой страны. Поддержание в работоспособном состоянии действующих РЛС и создание новых, обладающих улучшенными характеристиками – всегда актуальные задачи. Развитие технологий малозаметности подвижных объектов, рост их скоростей предъявляют к радиолокаторам повышенные требования по точности и дальности. Для разработки таких РЛС важно иметь измерительную систему, позволяющую тестировать целый комплекс их параметров и обладающую хорошей эргономикой. Подобные системы разрабатывают специалисты группы компаний Остек.

Эффект отражения радиоволн от твердых тел впервые обнаружил немецкий физик Генрих Герц в 1886 году. Однако лишь с активным развитием авиации в 30-х годах прошлого века радиолокация стала рассматриваться как полноценная научная отрасль.

Двадцать лет тому назад радиолокация подошла к рубежу, когда были исчерпаны резервы по мощности излучаемых сигналов, диапазону используемых частот, размерам апертуры антенн. И тогда еще более актуальными стали проблемы повышения информативности РЛС и их помехозащищенности, которые способствовали развитию оптимальных методов обработки радиолокационной информации. Начали внедрять радиолокационные системы с фазированными антенными решетками (ФАР). Сегодня ФАР используются в антенных системах практически всех современных радиолокаторов.

В общем случае ФАР состоит из полотна излучателей и системы распределения фаз и амплитуд. Разработка антенной решетки – трудоемкий процесс, который обычно реализуется математическими методами. После построения математической модели и изготовления на ее основе макета необходимо измерить параметры решетки или ее фрагмента. Чтобы подать на каждый антенный элемент сигнал с точно заданным распределением фазы и амплитуды, требуется система питания с фазовращателями. Однако на этапе макетирования антенной решетки можно воспользоваться многоканальным фазокогерентным генератором, который позволит с высокой точностью установить необходимые значения фазы и амплитуды в каждом канале для формирования диаграммы направленности решетки и управления ею. Благодаря возможности подобрать амплитуду и фазу для каждого канала можно точно скорректировать параметры системы питания антенной решетки с учетом реальных измерений.

Многоканальные фазокогерентные системы приема и генерации представляют собой сложные комплексы,

¹ ООО "Остек-Электро" (Группа компаний Остек), ведущий инженер отдела КИП, ostecelectro@ostec-group.ru.

включающие как необходимый набор прецизионной измерительной аппаратуры, так и соответствующее программное обеспечение. Подбор подобной аппаратуры, написание программного обеспечения (ПО), а зачастую и создание уникальной технологической оснастки – сложная комплексная задача.

Рассмотрим в качестве примера систему, выполненную специалистами компании Остек для одного из предприятий, которое занимается созданием систем и средств государственного опознавания. Для разработки и отладки ФАР была реализована фазокогерентная система многоканального приема и генерации сигналов, построенная на базе оборудования формата PXI. Необходимое программное обеспечение для управления системой и анализа данных было написано в среде графического программирования LabVIEW. Разработанную систему разместили в двух стандартных 19-дюймовых шкафах (рис.1). В одном шкафу размещен многоканальный фазокогерентный генератор, в другом – многоканальный анализатор сигналов.

Характеристики системы фазокогерентной генерации:

- количество каналов: 4;
- частотный диапазон: от 85 МГц до 12 ГГц;
- полоса пропускания: 100 МГц;
- выходная мощность: до 10 дБм;
- фазовый шум на частоте 1 ГГц и отстройке от несущей 10 кГц: -112 Дбн/Гц.

Характеристики системы фазокогерентного анализа сигналов:

- количество каналов: 4;
- частотный диапазон: от 20 Гц до 14 ГГц;
- мгновенная полоса пропускания: 50 МГц;
- фазовый шум на частоте 1 ГГц и отстройке от несущей 10 кГц: -112 Дбн/Гц;



Рис.1. Многоканальный комплекс когерентного приема (слева) и генерации (справа) сигналов

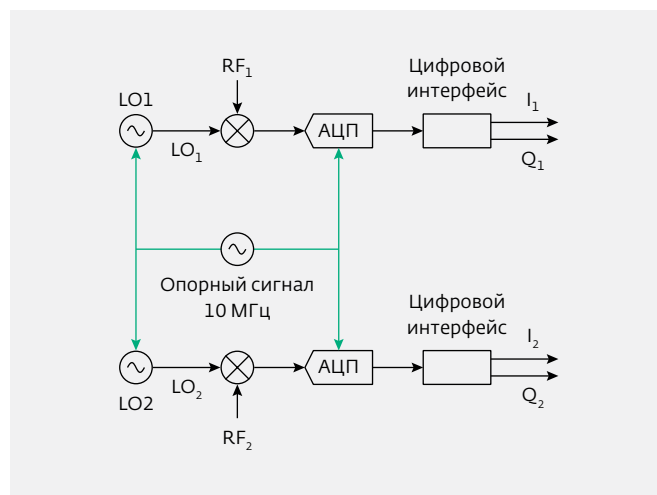


Рис.2. Схема с общей опорной частотой. LO – гетеродин, RF – высокая частота, I – синфазная составляющая сигнала, Q – квадратурная составляющая сигнала

- типовое значение среднего уровня шумов на частоте 1 ГГц: -158 дБм/Гц.

Одна из особенностей данной системы – высокая стабильность разностей фаз между каналами. В традиционных многоканальных системах общим является опорный 10-мегагерцовый сигнал, который приходит на каналные гетеродины (рис.2). В описываемой системе используется один гетеродин на все каналы (рис.3). Данный метод позволяет избежать погрешностей, обусловленных тем, что параметры гетеродинов от канала к каналу могут варьироваться.

В итоге при использовании схемы с общим гетеродином стабильность фазы составляет порядка 0,01°, тогда как в традиционной схеме с общей опорой – 0,2° (рис.4). Также при использовании схемы с общим гетеродином

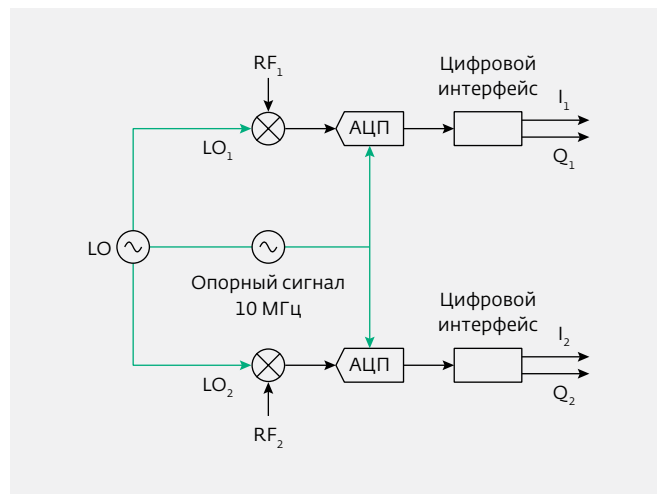


Рис.3. Схема с общим гетеродином

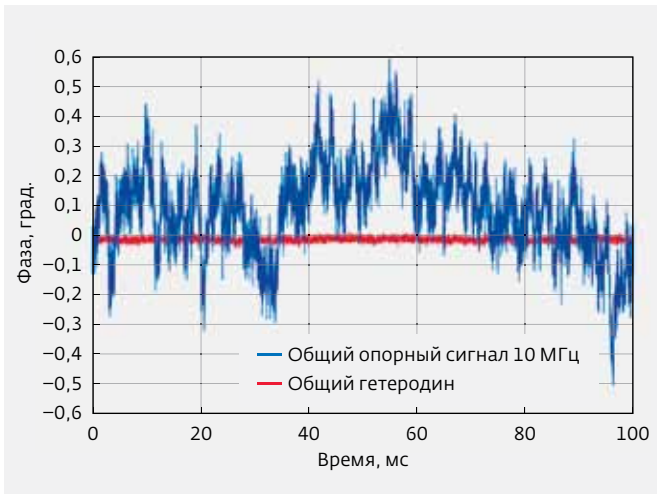


Рис.4. Зависимость стабильности фазы от схемы исполнения гетеродина на частоте 1 ГГц

удается снизить влияние фазовых шумов на стабильность системы.

Комплекс когерентного приема и генерации сигналов может использоваться в широком спектре радиолокационных приложений:

- определение характеристик и формирование диаграмм направленности ФАР и активных фазированных антенных решеток (АФАР);
- имитация фоновой радиообстановки;
- отработка алгоритмов цифровой обработки сигналов на ПЛИС.

Данный комплекс подходит и для тестирования приемно-передающих модулей (ППМ), но для проведения полноценной проверки ППМ по всем значимым параметрам лучше использовать отдельное рабочее место, оснащенное необходимыми приборами. Такое рабочее место рассмотрим ниже.

Как уже было сказано, антенная решетка состоит из множества антенных элементов, их количество может достигать десятков тысяч. Антенные элементы, в свою очередь, подсоединены к ППМ. Для обеспечения работы ППМ как на прием, так и на передачу в нем разделяют передающий и приемный каналы с помощью коммутатора либо циркулятора (рис.5).

Количество ППМ в антенной решетке также доходит до тысяч единиц. При сборке АФАР необходимо проверить каждый ППМ. Поскольку ППМ – сложное техническое устройство, то количество проверяемых параметров может быть больше десяти, а тестирова-

ние всех ППМ для одной АФАР может потребовать десятки миллионов измерений и занять несколько недель. Таким образом, проверка всех ППМ антенной решетки – рутинный и трудоемкий процесс. На базе модульного оборудования стандарта PXI и специализированного программного обеспечения можно создать автоматизированные рабочие места (АРМ) для тестирования ППМ, их применение позволит значительно снизить стоимость и время тестирования.

Рассмотрим типовой список параметров ППМ, которые проверяются согласно ТУ. Условно их можно разделить на три группы: параметры, входящие в тесты общего плана; измеряемые при тестировании приемного и передающего трактов.

Тесты общего плана:

- инициализация устройства, обмен командами по заданному протоколу;
- запись информации в EEPROM;
- считывание показаний датчика температуры, эмуляция показаний датчика в случае перегрева;
- измерение потребляемой мощности;
- проверка работы и калибровка фазовращателей.

При тестировании приемного тракта проверяют следующие параметры:

- коэффициент передачи и отражения;
- нестабильность коэффициента передачи;
- коэффициент шума;
- коэффициент усиления;
- точка интермодуляции третьего порядка;
- минимальная скважность;
- неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ);
- верхняя граница линейности АЧХ по входу.

Тестирование передающего тракта предусматривает проверку следующих характеристик:

- КПД;
- точка компрессии;
- параметры фронтов огибающей выходного импульса;

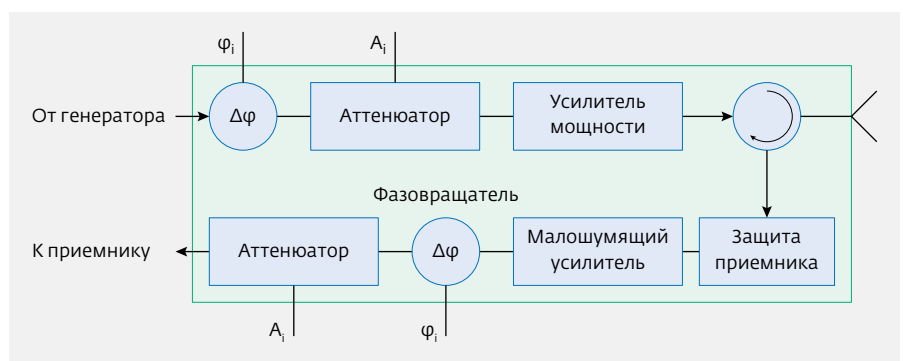


Рис.5. Структурная схема ППМ. Δφ – фазовращатель

- уровень гармоник;
- выходная импульсная мощность;
- неравномерность АЧХ;
- задержка фронта выходного импульса относительно фронта входного;
- допустимое изменение фазы выходного сигнала за промежуток времени, определяемый пользователем;
- электрическая длина;
- побочные внеполосные излучения.

На базе платформы PXI можно реализовать АРМ для тестирования ППМ по указанным выше параметрам. В общем случае АРМ включает следующий набор приборов: анализатор спектра, генератор сигналов, преусилитель, осциллограф, анализатор цепей, подсистему коммутации, сумматоры, аттенюаторы, интерфейс управления. Благодаря концепции модульной системы АРМ отличается компактным размером, а входящие в него приборы управляются единым контроллером на базе производительного ЦПУ. Все перечисленные приборы внесены в Государственный реестр средств измерения. Интерфейс взаимодействия оператора с АРМ и программа управления создаются при помощи среды графического программирования LabVIEW. Открытый код программного обеспечения

позволяет пользователям изменять и усовершенствовать ПО, а также создавать собственное.

Использование АРМ для тестирования ППМ дает такие преимущества, как:

- максимальная оптимизация времени тестирования;
- оптимизация цены, низкая стоимость владения;
- коэффициент автоматизации = 1;
- минимизация человеческого фактора;
- минимальные сроки разработки и внедрения АРМ;
- хорошая эргономика АРМ;
- оборудование и ПО от единого поставщика, возможность разработки системы "под ключ";
- техническая поддержка на русском языке.

Таким образом, модульные приборы формата PXI, а также соответствующее программное обеспечение дают возможность оснастить лаборатории и рабочие места на производстве необходимыми инструментами, позволяющими существенно повысить точность измерений и сократить время тестирования как макетов, так и готовой продукции.

Специалисты Остека и партнеры компании готовы разработать решение "под ключ", удовлетворяющее всем потребностям заказчика – полноценный автоматизированный комплекс с возможностью внесения его в Госреестр как поверенное средство измерения. ●