

Комплексный подход в создании измерительных комплексов для применения в радиолокации



Текст: Константин Папилов



Радиолокация – одно из основных направлений военно-промышленного комплекса. Радиолокационные станции (РЛС) составляют основу противовоздушной обороны любой страны, поэтому поддержание в работоспособном состоянии действующих РЛС и создание новых, обладающих улучшенными характеристиками, представляет собой важную задачу. Развитие технологий малозаметности подвижных объектов, а также рост их скоростей предъявляют к радиолокаторам повышенные требования по точности и дальности.

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 развиваться как полноценная научная отрасль.

Двадцать лет тому назад радиолокация подошла к рубежу, когда практически 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. Практически все антенные системы современных радиолокаторов – это фазированная антенная решетка (ФАР). В общем случае ФАР состоит из полотна излучателей и системы распределения фаз и амплитуд. Разработка антенной решетки является трудоемким процессом, который обычно проводится математическими методами. После расчета математической модели и изготовления на ее основе макета, необходимо провести измерения 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 на каждом канале для формирования диаграммы направленности решетки и управления ею. Благодаря возможности подобрать амплитуду и фазу по каждому каналу можно точно скорректировать параметры системы питания антенной решетки с учетом реальных измерений.

Многоканальные фазокогерентные системы приема и генерации представляют собой сложные комплексы, включающие как необходимый набор прецизионной измерительной аппаратуры, так и соответствующее программное обеспечение. Подбор подобной аппаратуры, написание программного обеспечения, а, зачастую, и создание уникальной технологической оснастки – сложная комплексная задача.

В статье мы рассмотрим пример реализации подобного решения, выполненного специалистами Остека для одного из предприятий, которое является разработчиком систем и средств государственного опознавания. Была реализована фазокогерентная система многоканального приема и генерации сигналов, построенная на базе оборудования в формате PXI. Все 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).



1

Многоканальный комплекс когерентного приема и генерации сигналов

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.

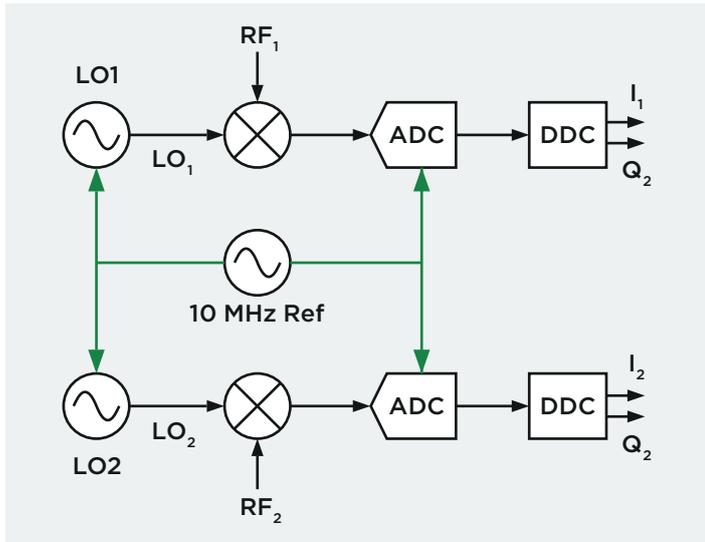
Характеристики системы фазокогерентного анализа сигналов:

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

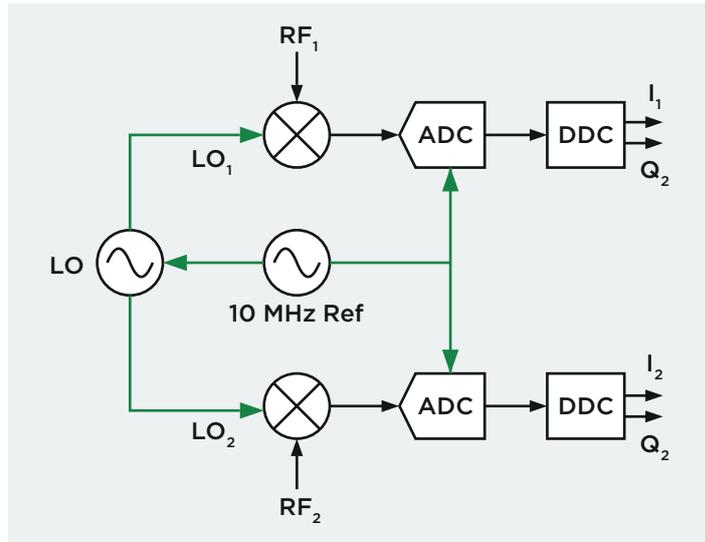
Одной из особенностей данной системы является высокая стабильность разностей фаз между каналами. В традиционных многоканальных системах общим является опорный 10-мегагерцовый сигнал, который приходит на каналные гетеродины (рис. 2).

В описываемой системе используется один гетеродин на все каналы (рис. 3). Данный метод позволяет избежать погрешностей, связанных с тем, что параметры гетеродинов от канала к каналу могут варьироваться.

В итоге, при использовании схемы с общим гетеродином, стабильность фазы составляет порядка $0,01^\circ$, тогда как в традиционной схеме с общей опорой – $0,2^\circ$ (рис. 4). Также при использовании схемы с общим гетеродином удастся снизить влияние фазовых шумов на фазовую стабильность системы.



2
Схема с общей опорной частотой



3
Схема с общей опорной частотой

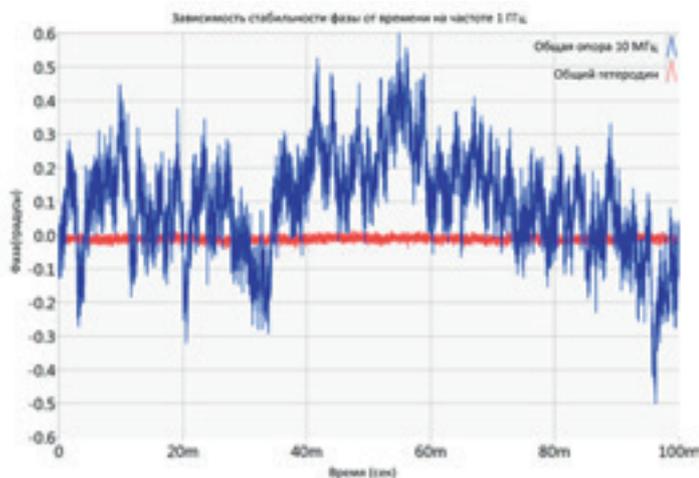
Комплекс когерентного приема и генерации сигналов может использоваться в широком спектре радиолокационных приложений:

- характеристика ФАР/АФАР, формирование диаграмм направленности антенных решеток;
- имитация фоновой радиобстановки;
- отработка алгоритмов цифровой обработки сигналов на ПЛИС;
- тестирование ППМ.

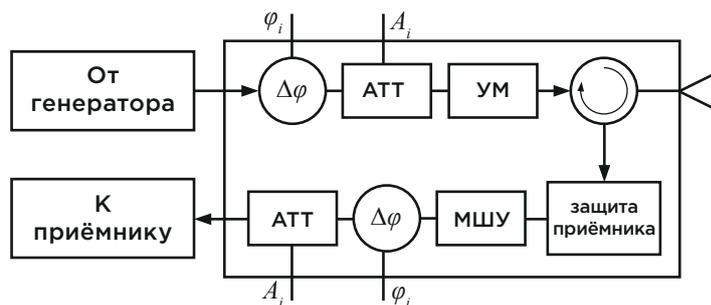
Как уже было сказано, антенная решетка состоит из множества антенных элементов, их количество может достигать десятков тысяч. Антенные элементы, в свою очередь, подсоединены к приемо-передающим модулям (ППМ). Приёмопередающий модуль — это основа пространственного канала обработки сигнала в АФАР, в его состав входит активный элемент — усилитель, который делает это устройство электродинамически невзаим-

ным. Поэтому для обеспечения работы устройства как на приём, так и на передачу, в нём разделяют передающий и приёмный каналы. Разделение осуществляется либо коммутатором, либо циркулятором (рис. 5).

Количество ППМ в антенной решетке также доходит до тысяч единиц. При сборке всей АФАР необходимо проверить каждый ППМ. Так как ППМ является сложным техническим устройством, количество проверяемых параметров может быть свыше десятка, а тестирование всех ППМ для одной АФАР может потребовать десятки миллионов измерений и несколько недель тестового времени. Таким образом, проверка всех ППМ антенной решетки – рутинный и трудоемкий процесс. На базе оборудования и программного обеспечения НИ можно создать автоматизированные рабочие места (АРМ) для тестирования ППМ, их применение позволит значительно снизить стоимость и время тестирования.



4
Зависимость стабильности фазы от схемы исполнения гетеродина



5
Структурная схема ППМ

Рассмотрим типовой список параметров ППМ, которые проверяются согласно ТУ. Условно их можно разделить на три группы: тесты общего плана, тестирование приемного тракта и тестирование передающего тракта. 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.
1. Тестирование приемного тракта:
 - 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.
 2. Тестирование передающего тракта:
 - КПД;
 - точка компрессии;
 - параметры фронтов огибающей выходного импульса;
 - уровень гармоник;
 - выходная импульсная мощность;
 - неравномерность АЧХ;
 - задержка фронта выходного импульса относительно фронта входного;
 - допустимое изменение фазы выходного сигнала за промежуток времени;
 - 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, предусилитель, осциллограф, анализатор цепей, подсистему коммутации, сумматоры, аттенюаторы, интерфейс управления. Благодаря концепции модульной системы АРМ имеет компактный размер, а входящие в него приборы управляются единым контроллером на базе производительного ЦПУ. Все перечисленные выше приборы внесены в Государственный реестр средств измерения. Интерфейс взаимодействия оператора с АРМ и программа управления создаются при помощи среды графического программирования LabVIEW. Созданное в данной среде программное обеспечение имеет открытый код, что позволяет пользователям изменять и усовершенствовать ПО, а также создавать собственное.

Преимущества использования АРМ для тестирования ППМ:

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

Применение модульных приборов формата PXI, а также соответствующее программное обеспечение дают возможность оснастить лаборатории разработчиков и рабочие места на производстве всеми 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.