

Аппаратно-программный комплекс экспериментальной отработки для имитации, регистрации и анализа сигналов радиоэлектронных средств

Т.А. Лепёхина, В.И. Николаев, А.М. Тарасенко

Акционерное общество «Концерн радиостроения «Вега», г. Москва,

asianna@list.ru

Аннотация — Разработан и изготовлен аппаратно-программный комплекс для отработки и испытаний радиотехнических систем различного назначения, генерирующих и принимающих широкополосные сигналы на несущих частотах в диапазоне от 200 МГц до 10 ГГц, с возможностью расширения диапазона до 40 ГГц, с шириной спектра до 1 ГГц с возможностью цифрового преобразования в режиме реального времени. Комплекс применяется для имитации радиолокационных, связанных и других радиоэлектронных средств с различными видами модуляции сигналов. Имеется возможность воспроизведения модельных сигналов разрабатываемых перспективных, а также ранее записанных сигналов существующих радиоэлектронных средств, цифровой обработки и анализа этих сигналов и создания их библиотек.

Ключевые слова — цифровая обработка широкополосных сигналов, моделирование сигналов радиоэлектронных средств, модуляция зондирующих сигналов, радиолокация, радиотехническая разведка, радиосвязь.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое распространение получили сложные радиотехнические системы авиационного базирования [1], представляющие собой комплексы радиоэлектронных средств, таких как активный и вторичный радиолокаторы, системы радиотехнической разведки и связи, информационно-управляющие системы. Интенсивно разрабатываются радиоэлектронные средства, использующие новые сложные виды модуляции зондирующих сигналов [2], в том числе широкополосных, комбинированные виды модуляции, модуляцию с программно изменяемыми параметрами, зондирующие сигналы с межпериодным расширением спектра [3, 4] и шумоподобные сигналы [5]. В связи с этим возникает насущная потребность в комплексной отработке, тестировании и подтверждении характеристик таких систем.

Для отработки и проверок двунаправленных систем, каковыми являются радиолокаторы и станции связи, при заводских и стендовых испытаниях, где трудно или невозможно воспроизвести условия распространения и получить отражения реальных радиосигналов, создаются аппаратно-программные средства

полунатурного моделирования для преобразования сигналов с требуемыми характеристиками. С этой целью разрабатываются различные генераторы и ретрансляторы, формирующие испытательные сигналы, в том числе для имитации сложных фоно-целевых обстановок с учётом движения носителя [6]. Как правило, схемотехническая реализация таких устройств не позволяет сделать их универсальными. Если сложная радиотехническая система содержит множество подсистем различного назначения, то для её испытаний приходится предусматривать целый парк специализированных имитаторов условий распространения сигналов и ответных частей этих подсистем [7].

Одной из задач создания аппаратно-программного комплекса экспериментальной отработки (АПКЭО) из состава многофункционального измерительно-испытательного комплекса (МИИК) являлось сосредоточение функций множества испытательных средств в одном универсальном комплексе аппаратуры, реконфигурируемом с помощью программного обеспечения. Первоначальным же и основным назначением МИИК являлось создание на его базе активного имитатора радиомишеней с калиброванными характеристиками для испытаний космических и авиационных радиолокаторов с синтезированной апертурой [8].

АПКЭО способен обеспечить оценку и измерение технических характеристик сложных современных и перспективных радиотехнических комплексов, а также их отдельных подсистем на различных этапах их жизненного цикла, включая разработку, отладку и проведение испытаний. Отличительной особенностью данного комплекса является его универсальность, которая позволяет с помощью одного комплекта аппаратуры проверять различные подсистемы сложных радиотехнических систем, в том числе в широком диапазоне рабочих частот.

Использование единых методик для определения технических характеристик на различных этапах жизненного цикла изделия, а также единых критериев оценки результатов даёт возможность доказать адекватность моделей сравнением результатов, полученных при реальных экспериментах, в том числе лётных, с результатами моделирования для подтверждения

характеристик радиотехнической системы и её подсистем при бесполётных испытаниях.

II. СОСТАВ И СТРУКТУРА АПКЭО

Комплекс экспериментальной отработки содержит комплект антенн, переносчики частот, цифровой приёмопередатчик и специализированный сигнальный процессор, а также накопитель цифровой информации – твердотельный RAID-массив. Опытный образец АПКЭО оснащён комплектом печатных антенн двух типов: низкочастотные, обеспечивающие приём и передачу в диапазоне от 400 до 4000 МГц (P, L, S-диапазоны), и высокочастотные для работы в X-диапазоне (до 10 ГГц).

Приём и генерация сигналов с произвольной формой модуляции и шириной спектра до 1 ГГц осуществляется средствами цифрового векторного приёмопередатчика. Каналы приёма и передачи имеют сходную структуру и содержат, соответственно, пары аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей синфазного и квадратурного каналов, квадратурный детектор и векторный модулятор, а также синтезаторы опорных частот, поддерживающие независимую программную настройку.

Входные и выходные данные преобразуемых сигналов при максимальной ширине спектра поступают в виде потока парных двухбайтных отсчётов с частотой 1,25 Гвыб/с. Схема комплекса приведена на рис. 1.

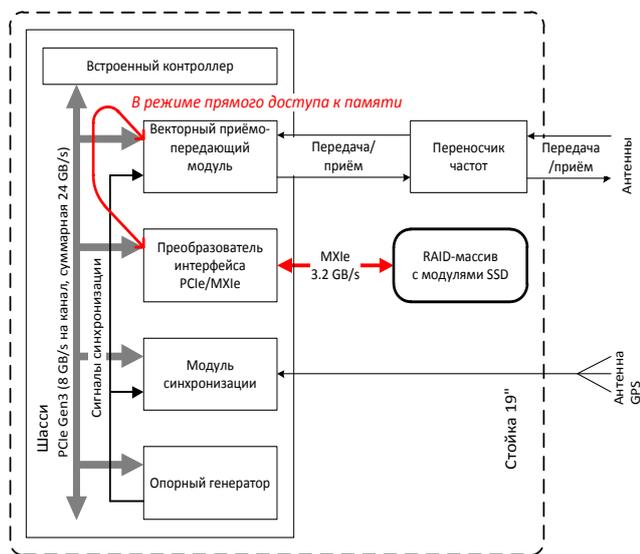


Рис. 1. Структурная схема АПКЭО

Векторный приёмопередатчик обеспечивает приём и генерацию сигналов в нижних поддиапазонах частот. Для работы в верхних поддиапазонах разработан широкополосный переносчик частот, выполненный по схеме с верхней настройкой гетеродина. Для преобразования частоты «вверх» используется схема с двойным переносом, что обеспечивает подавление зеркального и побочных каналов свыше 50 дБ. Для преобразования «вниз» применена схема с однократным переносом частоты.

Для синхронизации и формирования сетки опорных и тактовых частот приёмопередатчика используется термостатированный кварцевый генератор с номинальной частотой сигнала 10 МГц, обеспечивающий относительную нестабильность частоты в пределах 10^{-8} за год эксплуатации. В составе переносчика частот используется независимый кварцевый генератор с номинальной частотой 100 МГц, что обеспечивает низкий уровень фазовых шумов в сигналах синтетизированных частот.

Строблирующие сигналы, обеспечивающие запуск зондирующих импульсов и формирование циклограммы работы в импульсном режиме, генерируются модулем программируемого таймера. Модуль также обеспечивает возможность синхронизации сигналами от спутниковых навигационных систем и внешними импульсными сигналами, что может быть использовано для синхронизации АПКЭО с проверяемой радиотехнической системой.

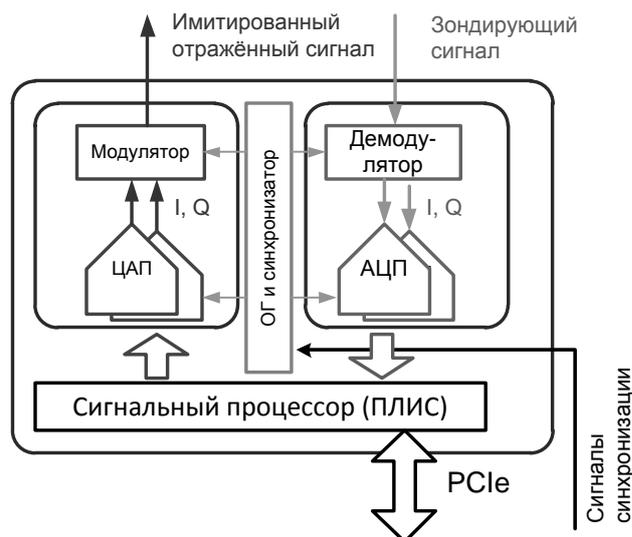


Рис. 2. Структурная схема цифрового векторного приёмопередатчика

III. РЕЖИМЫ РАБОТЫ АПКЭО

В комплексе реализованы три основных режима приёма и передачи сигналов: непрерывный, импульсный и ретрансляция с обработкой. Эти режимы организуются аппаратными и программными средствами комплекса.

В непрерывном режиме запись сигналов осуществляется следующим образом. При работе в верхнем поддиапазоне частот сигнал поступает на гетеродинный смеситель переносчика частот и далее на вход демодулятора. В соответствии с установленным в программе значением несущей частоты, если оно находится в верхнем поддиапазоне, программа устанавливает управляющий код синтезатора частоты гетеродина переносчика частот, необходимый для переноса спектра входного сигнала на промежуточную частоту, и управляющий код синтезатора частоты опорного сигнала демодулятора, соответствующий этой же частоте.

При работе в нижнем поддиапазоне частот входной сигнал поступает на вход демодулятора. Управляющий код синтезатора частоты опорного сигнала демодулятора формируется в соответствии с установленным в программе значением несущей частоты сигнала.

Синфазный и квадратурный видеосигналы с двух выходов демодулятора преобразуются в поток пар 14-разрядных двоичных отсчётов с частотой дискретизации 1250 МГц, временно сохраняемых в оперативной памяти модуля. В ПЛИС модуля приёмопередатчика выполняется преобразование данных к частоте дискретизации, указанной в программе. По мере накопления информации в оперативной памяти под управлением программы выполняется считывание данных фрагмента сигнала и их перезапись на накопитель таким образом, чтобы освободить участок оперативной памяти для записи следующего фрагмента сигнала. Таким образом обеспечивается непрерывная запись сигнала с сохранением данных на накопителе в течение более 30 минут. Остановка записи и закрытие файла происходит при достижении размером файла предельного значения, указанного в программе, или при ручной остановке записи.

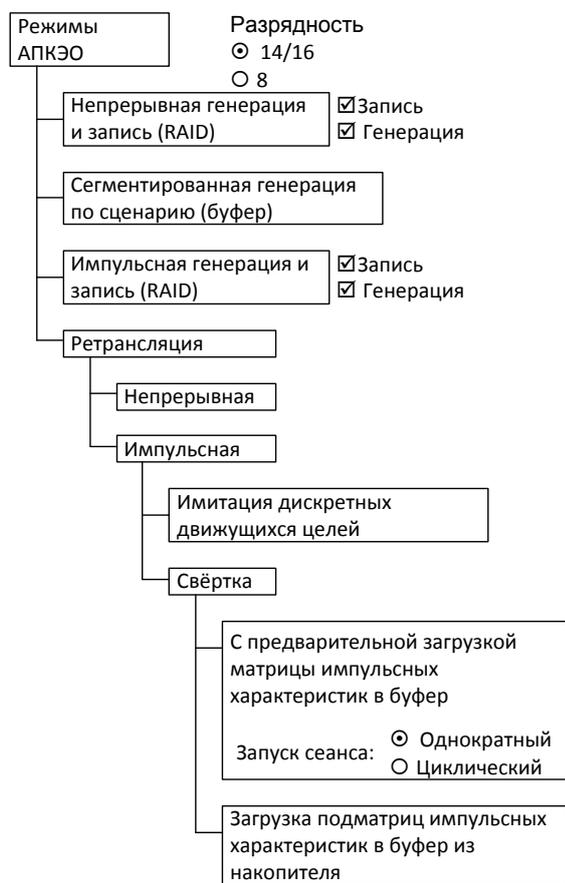


Рис. 3. Режимы работы АПКЭО

Для воспроизведения данные предварительно записанного сигнала или его цифровой модели из файла считываются блоками размера, указанного в поле окна программы, и передаются в оперативную память модуля приёмопередатчика. Последовательность 16-

разрядных двоичных отсчётов из частоты дискретизации, указанной в программе, преобразуется к частоте 1250 МГц и поступает на пару ЦАП, воспроизводящих видеосигналы синфазного и квадратурного каналов, которые подаются на управляющие входы векторного модулятора. Частота опорного синусоидального сигнала, подаваемого на модулятор, задаётся синтезатором в соответствии с установленным в программе значением несущей частоты сигнала: промежуточная частота, если требуется передача на частоте в верхнем поддиапазоне, в противном случае синтезируется несущая частота сигнала.

При работе в нижнем поддиапазоне частот сигнал подаётся на антенну непосредственно с выхода модуля приёмопередатчика через высокочастотный коммутатор, минуя переносчик частот. Для работы в верхнем поддиапазоне модуляция сигнала в приёмопередатчике выполняется на промежуточной частоте. Модулированный сигнал поступает на вход промежуточной частоты переносчика, осуществляющего перенос спектра на частоту, указанную в программе. Для этого синтезатор по управляющему коду, поступающему из программы, формирует сигнал гетеродина на соответствующей частоте.

Импульсный режим предназначен для воспроизведения и записи импульсных сигналов, характерных для радиолокационных станций и имеющих, как правило, большую скважность.

Данные для генерации сигнала в импульсном режиме формируются в виде массива, разделённого на упорядоченные порции (сегменты). Воспроизведение сигнала из каждого сегмента выполняется в заданный момент времени, определяемый по предварительно составленному сценарию. По окончании воспроизведения фрагмента передающий канал выключается до момента начала воспроизведения следующего сегмента. Сценарий представляет собой таблицу, определяющую последовательность воспроизведения сегментов с привязкой каждого сегмента к расчётному моменту времени. В соответствии с расчётным моментом начала воспроизведения программой задаётся временной интервал, Запуск воспроизведения очередного сегмента осуществляется по аппаратной или программной метке времени (триггеру), поступающей в течение заданного интервала. Меткой времени может служить импульсный сигнал от модуля синхронизации или от сопрягаемой аппаратуры, обрабатываемой совместно с макетом, а также программный триггер.

Приём сигналов в импульсном режиме выполняется в течение интервалов времени предварительно заданной длительности. Начало записи каждого окна задаётся таким же способом, как и для воспроизведения. Данные записываются в порядке следования окон, при этом в массиве выходной информации устанавливаются служебные отметки, указывающие длину сегментов и позволяющие определять их границы. Как правило, временные метки окон приёма синхронизируются с метками запуска передачи, но имеют заданное программно опережение или запаздывание.

Примером сценария для формирования радиосигналов в импульсном режиме является имитация импульсных зондирующих сигналов пеленгуемых радиолокационных станций, излучаемых короткими сериями с заданным интервалом между импульсами в сериях и заданным периодом между сериями. Файл данных, выбираемый для генерации, содержит вектор комплексных чисел, задающий модулирующую функцию. Если закон модуляции изменяется от импульса к импульсу, то файл содержит матрицу, каждая строка которой представляет собой комплексную модулирующую функцию очередного импульса. После воспроизведения импульса, если его длительность меньше интервала в серии, программа генерирует паузу требуемой длительности. Такие серии импульсов повторяются с периодом, значительно превышающим длительность серии. Центральная частота и уровень мощности сигнала на выходе задаются в соответствующих окнах программы. Интервал между импульсами и количество импульсов в серии, а также период генерации серий задаются в соответствующих полях окна программы и в совокупности составляют сценарий формирования сигнала в сегментированном режиме.

Учитывая, что, в общем случае, требуемое значение интервала между импульсами выражается дробным числом тактов, для генерации таких сигналов с использованием дискретной модели одиночного импульса программа выполняет формирование огибающей каждого импульса в серии с применением передискретизации. В частности, это существенно при моделировании коротких импульсов и пауз.

В режиме ретрансляции принимаемый сигнал преобразуется в поток цифровых данных, передаваемый по информационной шине внутри модуля векторного приёмо-передатчика с выхода приёмного на вход передающего канала. При этом осуществляется временное хранение отсчётов сигнала в буферном запоминающем устройстве, где организуется стек типа FIFO. Синхронизация аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования осуществляется от одного источника тактового сигнала, при этом задержка от момента записи отсчёта входного сигнала до момента воспроизведения этого отсчёта (время нахождения данных в буфере) задаётся программно. Вид окна управляющей программы приведен на рис. 4.

Предусмотрены непрерывный и импульсный под-режимы ретрансляции. В непрерывном режиме единственным программируемым параметром преобразования является задержка, которая является постоянной в течение всего сеанса. В импульсном режиме ретрансляция осуществляется по такой же циклограмме, как в сегментированном режиме записи и воспроизведения, с синхронизацией циклов по программируемому триггеру от модуля таймера или по внешнему импульсному сигналу. Принятый импульс зондирующего сигнала, ограниченный «окном» приёма, преобразуется сигнальным процессором в соответствии с параметрами преобразования, обновляемыми в каждом цикле [10]. Импульсный режим ретрансляции является основным режимом работы АПКЭО при активной ими-

тации сценариев внешней обстановки в режиме кругового обзора и фоно-целевых обстановок в режиме с синтезированной апертурой.

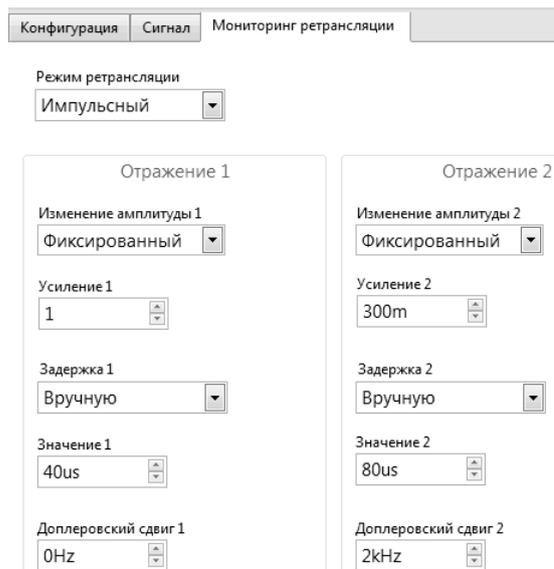


Рис. 4. Окно управляющей программы

IV. ТЕСТИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ СРЕДСТВАМИ АПКЭО

Описанные выше режимы работы АПКЭО позволяют при проведении исследований и испытаний использовать его в двух основных вариантах: 1) эмулятор радиолокационной станции и 2) активный имитатор радиолокационных целей и фоно-целевых обстановок.

Эмуляция радиолокационной станции осуществляется в импульсном режиме параллельной генерации и записи. Цифровая модель комплексной огибающей зондирующего сигнала, представляющего собой серию модулированных импульсов, в форме матрицы записывается на твердотельный накопитель или, при небольшом объёме, в буферное ОЗУ приёмопередатчика. Воспроизведение зондирующих импульсов осуществляется с аппаратной синхронизацией от стробирующих импульсов, генерируемых модулем программируемого таймера с заданным периодом. С этим же периодом, но с программируемой задержкой и с длительностью, превышающей длительность зондирующего импульса на расчётный диапазон задержек отражённых сигналов, генерируются стробирующие импульсы для включения приёмного канала (рис. 5). Оцифрованный принятый сигнал записывается на накопитель или в буфер также в форме матрицы комплексных чисел – цифровой радиоголограммы, где строка соответствует фрагменту сигнала, ограниченному стробом.

Важной аппаратной характеристикой устройства, определяющей возможность последующего синтеза качественного изображения из полученной радиоголограммы, является временная и фазовая когерентность передачи и приёма. Критерием когерентности является идентичность записей импульсов сигнала, подаваемого с выхода канала передачи на вход канала приёма по кабельно-аттенуаторному шлейфу со стабильными

характеристиками (электрической длиной). В качестве методики контроля применяется синтез радиолокационного изображения (аппаратной функции отклика) из полученной таким способом радиоголограммы.

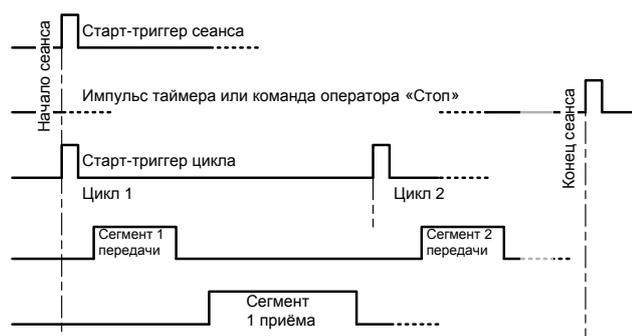


Рис. 5. Циклограмма работы АПКЭО в импульсном режиме

Факторами, ухудшающими когерентность вплоть до полной непригодности аппаратуры для использования в АПКЭО, могут быть неидентичность источников опорных сигналов модулятора и демодулятора, приводящая к нестабильности начальной фазы отражённого сигнала, и тактовых сигналов, управляющих формированием выборок. На этапе выработки требований к аппаратуре для построения комплекса были проведены эксперименты по описанной выше методике, но с использованием модифицированного тестового сигнала, сформированного следующим образом. Модель зондирующего сигнала, составленного из 512...2048 модулированных импульсов (размер матрицы, обрабатываемой 32-разрядной версией Матлаб), записывается в форме матрицы комплексных огибающих. В частности, для ЛЧМ сигнала все строки матрицы одинаковы. Далее строится модель отражённого сигнала, соответствующая этому же зондирующему сигналу и модели квадратной 9-точечной миры для определения пространственного разрешения. Модель тестового сигнала строится как составная из этих двух матриц построчно: вначале следует огибающая неискажённого зондирующего импульса, затем, через фиксированную паузу, огибающая модели отражённого импульса (рис. 6). Результат двумерного сжатия радиоголограммы, в качестве которой используется построенная таким образом составная матрица, должны быть функция отклика на одиночную точечную цель на нулевой координате по азимуту в левой части изображения и изображение многоточечной миры, составленной из таких же функций отклика меньшей амплитуды, в правой части (рис. 7). Изображение, полученное при сжатии модели тестового сигнала, используется в качестве эталонного, а результат сжатия радиоголограммы сигнала, записанного через шлейф – как контрольное.

В качестве количественного критерия для определения стабильности комплексного коэффициента передачи сквозного тракта, включая цифровой, также можно использовать комплексную матрицу одномерных функций отклика.

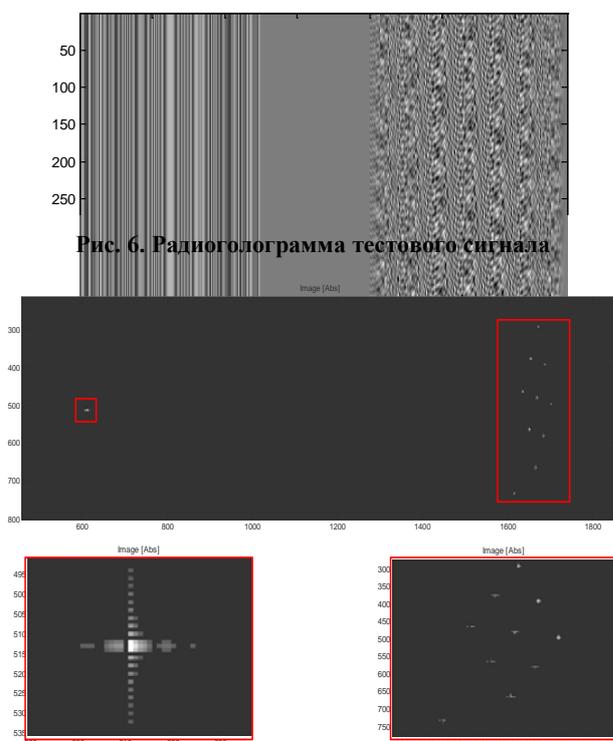


Рис. 6. Радиоголограмма тестового сигнала

Рис. 7. Радиолокационное изображение, полученное двумерным сжатием радиоголограммы тестового сигнала

Из этой матрицы выбирается столбец, содержащий максимумы, и строится годограф их векторных значений (рис. 8). Размеры области разброса, выраженные в полярных координатах, при удовлетворительном качестве передачи сигнала не должны превышать 10^{-2} . На рис. 8 (на пустом поле координатной плоскости приведен наложенный рисунок области векторных значений) видно, что размеры области разброса по амплитуде не более $7 \cdot 10^{-4}$, по фазе не более $6 \cdot 10^{-4}$.

Результаты тестирования обусловлены схмотехнической реализацией блока: приёмный и передающий каналы построены по симметричным схемам, используют общие источники опорных и тактовых сигналов (рис. 2).

Другой основной функцией АПКЭО является активная имитация радиомишеней и фоно-целевых обстановок с моделируемыми характеристиками, обеспечиваемая в режиме ретрансляции принимаемых сигналов с цифровой обработкой в режиме реального времени. Эта задача возникла в ходе разработки методик экспериментального определения радиометрической разрешающей способности космических радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), для реализации которых требуется съёмка градиционной миры – ряда однородных поверхностно-распределённых целей с калиброванным перепадом удельной эффективной площади рассеяния. Ниже рассмотрены примеры радиомишеней и фоно-целевых обстановок, моделируемых для решения практических задач при испытаниях радиолокаторов, и способы аппаратно-программной реализации моделирования средствами АПКЭО.

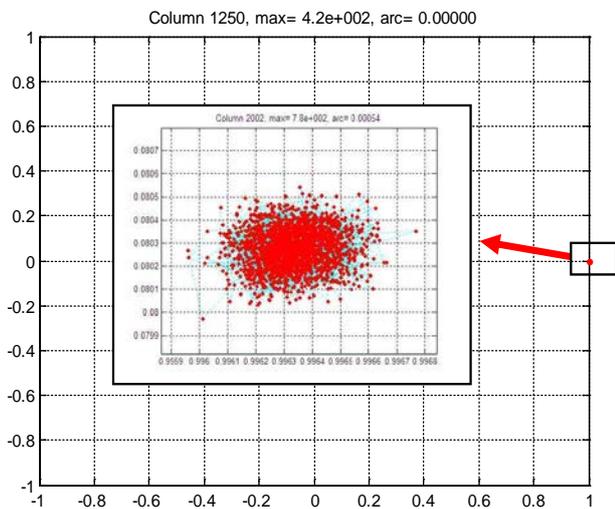


Рис. 8. Годограф максимума одномерной функции отклика цифрового приёмопередатчика

Одиночная точечная цель моделируется путём воспроизведения поступающего на вход зондирующего сигнала, записываемого в цифровой буфер и считываемого с фиксированной задержкой в режиме FIFO. Кажущаяся наклонная дальность определяется программно заданной задержкой, коэффициент обратного рассеяния – сквозным коэффициентом усиления аналогового и цифрового тракта приёмопередатчика. Когерентность принимаемого и ретранслированного сигналов обеспечивается теми же средствами, которые описаны выше как необходимые для работы в режиме эмуляции радиолокационной станции (РЛС). Для моделирования смещения по азимуту при цифровой ретрансляции в запись каждого импульса вносится дополнительный фазовый сдвиг по линейному закону.

Для моделирования группы точечных целей записанная огибающая импульса зондирующего сигнала преобразуются в суперпозицию таких же комплексных огибающих с добавлением задержек, начальных фаз и соответствующими коэффициентами по амплитуде.

Моделирование произвольных фоно-целевых обстановок осуществляется также путём аппаратно-программного преобразования принимаемого зондирующего сигнала в суперпозицию его имитированных отражений от всех элементов моделируемой радиолокационной цели. При этом формирование суперпозиции описывается как свёртка исходной комплексной огибающей с некоторой импульсной характеристикой, индивидуально рассчитываемой для каждого импульса в сеансе. Полный набор таких импульсных характеристик представляется в форме матрицы комплексных чисел с количеством строк, равным количеству импульсов в сеансе, и рассчитывается путём применения к модели фоно-целевой обстановки преобразования, обратного операции сжатия по азимуту для заданного закона движения носителя. Моделирование сюжета и расчёт импульсных характеристик выполняется заблаговременно перед началом сеанса, а свёртка – в режи-

ме реального времени после приёма и записи очередного импульса.

Предусмотрены ограниченный и полномасштабный режимы свёртки с импульсными характеристиками, моделирующими произвольные фоно-целевые обстановки. Ограниченный режим имеет более простую программную реализацию и предназначен для проведения сеансов небольшой длительности (менее 10 тысяч импульсов). В этом режиме матрица импульсных характеристик с количеством строк, равным расчётному количеству импульсов в сеансе, полностью загружается в буферную память приёмопередатчика перед началом сеанса. Очередной принятый импульс зондирующего сигнала демодулируется и выполняется свёртка его комплексной огибающей с соответствующей строкой матрицы импульсных характеристик. Результат свёртки может почленно умножаться на весовую функцию и суммироваться с аддитивной имитацией шума, помех (последнее предполагается использовать при наземных испытаниях). Имитированный отражённый сигнал воспроизводится после программно заданной задержки (рис. 9).

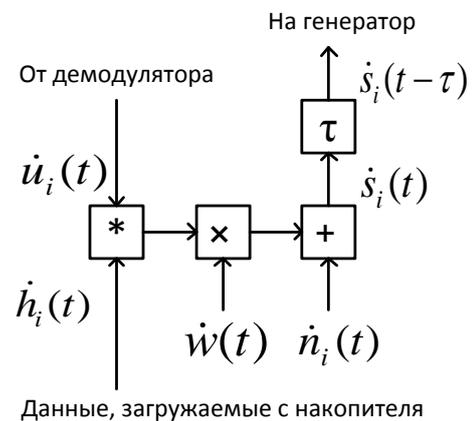


Рис. 9. Организация обмена данными при имитации в режиме реального времени

В полномасштабном режиме матрица импульсных характеристик хранится на твердотельном накопителе и при выполнении сеанса обработки загружается в буферную память трансивера, в которой для этого выделяются две области, частями, не превышающими по размеру выделенной области буфера. Загрузка следующей подматрицы выполняется во время использования ранее загруженной. Таким образом может быть реализовано полунатурное моделирование для обработки длительных сеансов съёмки (десятки минут).

V. АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ РЛС СРЕДСТВАМИ АПКЭО

Описанная выше методика может быть использована на этапах проектирования и усовершенствования радиолокационных станций для анализа достижимых характеристик системы, где предполагается применить вновь разработанные модулирующие функции и сигнально-кодовые конструкции, с учётом реальных характеристик имеющейся аппаратуры. Вначале прово-

дится полунатурное моделирование анализируемой системы средствами АПКЭО, при этом известные или расчётные характеристики отсутствующих элементов приёмо-передающего тракта имитируются цифровыми фильтрами. Сконфигурированная аппаратно-программная модель проходит тестирование по этой же методике с использованием зондирующего сигнала с известными характеристиками (например, ЛЧМ). Затем такая же проверка проводится с загрузкой цифровой модели экспериментального зондирующего сигнала. Полученные в обоих случаях функции отклика анализируются с помощью программы, определяющей их требуемые характеристики (ширину главного лепестка, максимальный и интегральный относительные уровни боковых лепестков) в координатах дальность-азимут (для РСА) или дальность-скорость (для импульсно-доплеровских радиолокаторов) [8]. Учитывая, что вид боковых лепестков может зависеть от расположения имитируемой цели, имеется возможность имитации одиночных целей с различными координатами либо группы целей (рис. 7), изображение каждой из которых может быть рассмотрено как отдельная функция отклика.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный аппаратно-программный комплекс осуществляет имитацию, регистрацию и анализ широкополосных сигналов с произвольной модуляцией в Р, L, S, X диапазонах. Применение быстродействующего твердотельного накопителя данных и цифрового интерфейса с пропускной способностью 3,2 ГБ/с позволяет организовать длительные сеансы измерений с имитацией и записью сигналов с шириной спектра до 600 МГц в непрерывном режиме и до 1 ГГц в импульсном режиме.

АПКЭО имеет возможность имитировать работу широкого ряда радиоэлектронных средств, используя различные виды модуляции излучаемых сигналов как на промежуточных, так и на несущих частотах, при этом сигналы могут быть как записанными заранее сигналами существующих РЭС, так и моделями сигналов перспективных радиотехнических систем. Большой объём быстродействующего твердотельного накопителя данных позволяет выполнять запись и воспроизведение сигналов в течение длительных сеансов испытаний. Образцы сигналов существующих РЭС, а также цифровые модели перспективных сигналов могут храниться в библиотеке данных и при испытаниях использоваться для воспроизведения и излучения на несущей частоте, что требуется для отработки и тестирования перспективных станций радиотехнической разведки и связи. Возможно наложение на модель или образец сигнала шумов и помех для имитации реальной радиоэлектронной обстановки.

Реализованный в комплексе режим ретрансляции позволяет имитировать отражённые сигналы от 4 движущихся точек для проверки импульсно-доплеровских радиолокаторов при работе в дозорных режимах. Реализация ретрансляции зондирующих сигналов с применением их свёртки в режиме реального времени с

моделями импульсных характеристик позволит использовать комплекс экспериментальной отработки в качестве активного имитатора произвольных фоновых обстановок и радиомишеней с калиброванными характеристиками при испытаниях радиолокаторов с синтезированной апертурой для подтверждения выполнения требований по пространственной и радиометрической разрешающей способности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Верба В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования. Монография. М.: Радиотехника, 2014. 528 с.
- [2] Тарасенко А.М., Цветков О.Е. Исследование внутриимпульсной модуляции зондирующих сигналов различными модулирующими функциями для расширения возможностей РСА // VII Всероссийские Арmandовские чтения Муром: Журнал «Радиотехнические и телекоммуникационные системы» – 466 с. ISSN 2304-0297 (CD-ROM), с.339-344, 2017.
- [3] Карпов О.А., Луканидин А.М., Нечаев В.М., Овчинников А.А., Орлов М.С., Толстов Е.Ф., Яковлев А.М. Экспериментальная проверка алгоритмов межпериодного расширения спектра в РСА – Сб. науч. статей под ред. Е.Ф. Толстова. — МО РФ, Смоленск, 2005. С. 226-230.
- [4] Гусейнов М.Я., Лепехина Т.А., Николаев В.И., Тарасенко А.М. Улучшение разрешающей способности по дальности дозорной РЛС в режимах РСА методом межпериодного расширения спектра // Успехи современной радиоэлектроники – 2015 – с. 6-12.
- [5] Lukin K.A. The Principles of Noise Radar Technology Proc. of NRTW-2002. – Yalta, 2002. – pp. 13 – 22.
- [6] Wen L., Tao Z. Design and Implementation of Real-time SAR Echo Simulator for Natural Scene // Proc. of 8th European Conference on Synthetic Aperture Radar Conference EUSAR 2010 (Aachen, Germany, 2010). P. 657-660.
- [7] Шеин А.В. Программно-аппаратные средства формирования управляемой радиоэлектронной обстановки // URL: <http://www.ntc-reb.ru/article15.html> (дата обращения: 12.04.2018).
- [8] Лепёхина Т.А., Николаев В.И. Аппаратно-программная имитация и обработка цифровых радиоголограмм при наземных испытаниях космических радиолокаторов с синтезированной апертурой // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем - 2012. Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемповского. М.: ИППМ РАН, 2012. С. 569-574.
- [9] Лепёхина Т.А., Николаев В.И. Вопросы синхронизации активного имитатора радиомишеней для испытаний радиолокаторов с синтезированной апертурой // Материалы VII Всероссийской научно-технической конф. «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем» (МЭС-2016). М.: ИППМ РАН, 2016.
- [10] Лепёхина Т.А., Николаев В.И. Алгоритм цифровой имитации траекторных сигналов для испытаний радиолокаторов с синтезированной апертурой высокого разрешения // 15-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2013». М.: РНТОРЭС им. А.С.Попова, 2013. С.418-422.

A Hardware and Software Complex of Experimental Tryout for Radio-electronic Facility Signal Simulation, Registration and Analysis

T.A. Lepekhina, V.I. Nikolaev, A.M. Tarasenko

Joint-Stock Company «Radio Engineering Corporation «Vega», asianna@list.ru

Abstract — Intensive development of radioelectronic facilities using new complex modulation types, including combined modulation, software-controlled modulation, radars with interperiod spread spectrum and stochastic signals, entails the necessity of new system tryout, testing and characteristic verification.

The majority of existing hardware-in-the-loop signal simulators are dedicated and operate in specific frequency range.

The introduced test facility consists of a digital transceiver, a frequency converter, a set of antennas for P, L, S, X bands, a controller and a solid-state data storage with fast interface. The complex provides wideband signal generation, registration and analysis. The 3.2 Gbps data interface between the transceiver and the storage allows long test sessions with signal simulation and registration in bandwidths up to 600 MHz in continuous mode and up to 1 GHz in pulsed mode.

The experimental tryout complex can simulate operation of wide range of radio facilities using various modulation types of irradiated signals, the signals may be either existing station signals recorded beforehand or perspective signal digital simulations. Both kinds of signal patterns can be stored in signal pattern library, then played back and irradiated at carrier frequency, that is required for perspective radio intelligence and communication stations tryout and tests. The signal pattern can be mixed with interfering signals and noises to simulate real electronic environment. The retransmission mode implemented in the complex allows to simulate echo signals of 4 moving points for pulse-doppler radar tests. The implementation of sounding signal retransmission performing real time convolution with previously simulated impulse responses is to provide using the experimental tryout complex as an active simulator of arbitrary radar sceneries and calibrated radar targets for SAR spatial and radiometric resolution verification.

Keywords — digital wideband signal processing, radioelectronic facility signal simulation, sounding signal modulation, radiolocation, radio intelligence, radiocommunication.

REFERENCES

- [1] Verba V.S. Aviatzionnye komplekсы radiolokatsionnogo dozora i navedeniya. Printsipy postroeniya, problemy razrabotki i osobennosti funkcionirovaniya. Monografiya (Aircraft radar patrol and guidance. Principles, problems of development and peculiarities of functioning. Monograph). M.: Radiotekhnika, 2014. 528 s (in Russian).
- [2] Tarasenko A.M., Tsvetkov O.E. Issledovanie vntriimpul'snoj modulyatsii zondiruyushchih signalov razlichnymi moduliruyushchimi funktsiyami dlya rasshireniya vozmozhnostej RSA (Investigation of sounding signal in-pulse modulation by various modulating functions for extension of SAR capabilities) // VII Vserossijskie Armandovskie chteniya Murom: ZHurnal «Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy—466 s. ISSN 2304-0297 (CD-ROM), s.339-344, 2017 (in Russian).
- [3] Karpov O.A., Lukanidin A.M., Nechaev V.M., Ovchinnikov A.A., Orlov M.S., Tolstov E.F., Yakovlev A.M. Eksperimental'naya proverka algoritmov mezhpriodnogo rasshireniya spektra v RSA (Experimental test of interperiod spread spectrum algorithms in SAR) // Sb. nauch. statej pod red. E.F. Tolstova. — MO RF, Smolensk, 2005. S. 226-230 (in Russian).
- [4] Gusejnov M.Ya., Lepekhina T.A., Nikolaev V.I., Tarasenko A.M. Uluchshenie razreshayushchej sposobnosti po dal'nosti dozornoj RLS v rezhimah RSA metodom mezhpriodnogo rasshireniya spektra (Warning radar range resolution improvement in SAR modes using Interperiod Spread Spectrum method) // Uspehi sovremennoj radioelektroniki – 2015 – s. 6-12 (in Russian).
- [5] Lukin K.A. The Principles of Noise Radar Technology Proc. of NRTW-2002. – Yalta, 2002. – pp. 13 – 22.
- [6] Wen L., Tao Z. Design and Implementation of Real-time SAR Echo Simulator for Natural Scene // Proc. of 8th European Conference on Synthetic Aperture Radar Conference EUSAR 2010. P. 657-660.
- [7] Shein A.V. Programmno-apparatnye sredstva formirovaniya upravlyajemyj radioelektronnoj obstanovki (Hardware-in-the-loop means for generation of controlled radioelectronic situation) // URL: <http://www.ntc-reb.ru/article15.html> (access date: 12.04.2018) (in Russian).
- [8] Lepekhina T.A., Nikolaev V.I. Apparato-programmnaya imitatsiya i obrabotka tsifrovih radiologogramm pri nazemnyh ispytaniyah kosmicheskikh radiolokatorov s sintezirovannoj aperturoj (Digital radiohologram hardware-in-the-loop simulation and processing for spaceborne SAR ground tests) // Problemy razrabotki perspektivnyh mikro- i nanoelektronnyh sistem - 2012. Sbornik trudov / pod obshch. red. akademika RAN A.L. Stempkovskogo. M.: IPPM RAN, 2012. S. 569-574 (in Russian).
- [9] Lepekhina T.A., Nikolaev V.I. Voprosy sinhronizatsii aktivnogo imitatora radiomishenej dlya ispytaniy radiolokatorov s sintezirovannoj aperturoj (Synchronization of active radar target simulator for SAR tests) // Materialy VII Vserossijskoj nauchno-tekhnikeskoy konf. «Problemy razrabotki perspektivnyh mikro- i nanoelektronnyh sistem» (MES-2016). M.: IPPM RAN, 2016 (in Russian).
- [10] Lepekhina T.A., Nikolaev V.I. Algoritm tsifrovih imitatsii traektornyh signalov dlya ispytaniy radiolokatorov s sintezirovannoj aperturoj vysokogo razresheniya (Echo signal digital simulation algorithm for high-resolution SAR tests) // 15-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya «TSifrovaya obrabotka signalov i ee primenenie – DSPA-2013». M.: RNTORES im. A.S.Popova, 2013. S.418-422 (in Russian).