



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01S 7/40 (2006.01); *G01S 7/38* (2006.01); *G09B 9/40* (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018120566, 04.06.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
04.06.2018Дата регистрации:
10.01.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.06.2018

(45) Опубликовано: 10.01.2019 Бюл. № 1

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,
ЦИС

(72) Автор(ы):

Боков Александр Сергеевич (RU),
Важенин Владимир Григорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: RU 2568899 C2, 20.11.2015. RU
2486540 C1, 27.06.2013. RU 2632478 C1,
05.10.2017. US 7982664 B1, 19.07.2011. WO
1998028633 A1, 02.07.1998.

(54) МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИМИТАТОР РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ

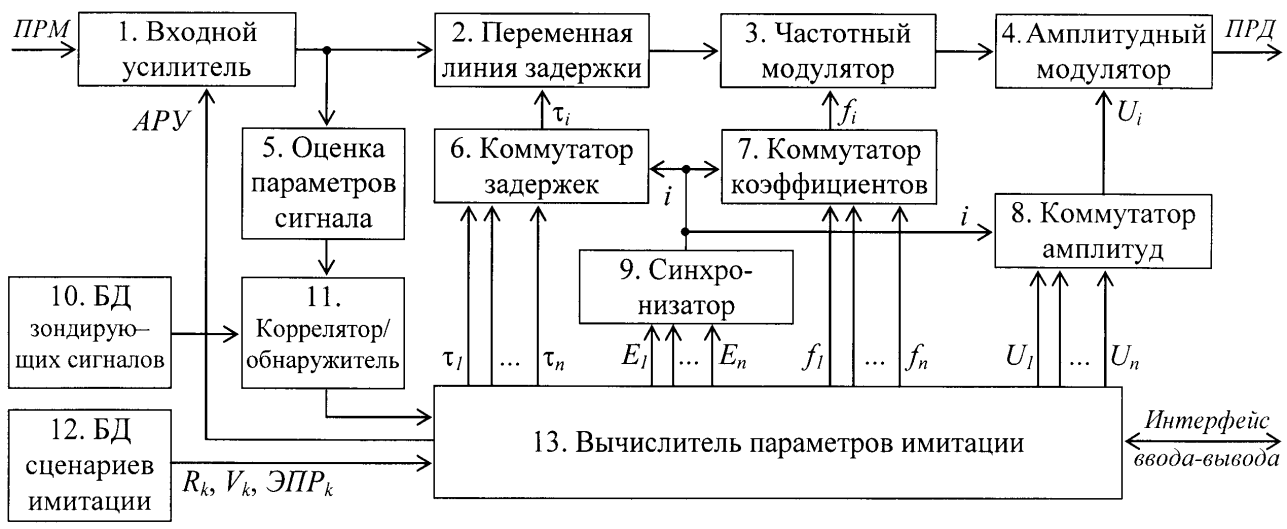
(57) Реферат:

Полезная модель относится к области радиолокационной техники, а именно к устройствам, предназначенным для имитации частотно-временной структуры радиолокационного сигнала, отраженного от подстилающей поверхности, от одной или нескольких целей, находящихся на фиксированном или переменном направлении, и может быть также использована, например, для имитации ложных целей и помех для защиты присутствующих целей, для имитации боевой работы радиолокационной системы, для имитации отраженных от подстилающей поверхности эхосигналов для радиовысотометров, а также в составе стендов полунатурного и имитационного моделирования при проверке и отработке взаимодействия с другим бортовым оборудованием летательных аппаратов. Технической задачей предлагаемой полезной модели является расширение функциональности для имитации различных типов целей в различных

сценариях имитации для различных поддерживаемых типов сигналов радиолокаторов, включая непрерывное и импульсное излучение, с ЛЧМ или другим видом модуляции с возможностью автоматической подстройки параметров имитации к типам сканирования и параметрам сигналов радиолокаторов. Технический результат достигается за счет учета математической модели отраженного радиолокационного сигнала, непрерывного слежения за характеристиками зондирующего сигнала, выбора наиболее вероятной гипотезы о структуре и параметрах зондирующего сигнала, формирования параметров имитации, физической реализации имитации частотно-временной структуры отраженного сигнала, учитывая особенности построения, функционирования и применения радиолокаторов, с полным техническим воплощением реалистичного радиолокационного портрета цели (целей). 1 ил.

RU 186130 U1

RU 186130 U1



Полезная модель относится к области радиолокационной техники, а именно к устройствам, предназначенным для имитации частотно-временной структуры радиолокационного сигнала, отраженного от подстилающей поверхности, от одной или нескольких целей, находящихся на фиксированном или переменном направлении, и может быть также использовано, например, для имитации ложных целей и помех для защиты присутствующих целей, для имитации боевой работы радиолокационной системы (РЛС), для имитации отраженных от подстилающей поверхности эхо-сигналов для радиовысотометров (РВ) - измерителей высоты полета, а также в составе стендов полунатурного и имитационного моделирования при проверке и отработке взаимодействия с другим бортовым оборудованием летательных аппаратов.

Общей проблемой создания имитаторов радиолокационных целей является многообразие типов РЛС и сканирования (импульсное, непрерывное, с различными видами модуляции и пр.). В настоящее время для каждого конкретного типа РЛС применяется также конкретный имитатор. Это приводит к их большому типуажу, что приводит к увеличению общей стоимости и неудобству эксплуатации имитаторов при производстве, настройке и тестировании радиолокаторов.

В зависимости от типа сигнала и способов сканирования РЛС оптимальными будут различные методы и алгоритмы формирования имитирующего сигнала. В современных радиолокаторах для повышения точности и/или защиты от помех, а также для получения дополнительной информации о целях, используют длительные сигналы с переменными параметрами: периодом и полосой модуляции, длительностью и видом зондирующего сигнала. Например, для РЛС импульсного излучения форма зондирующего импульса может быть постоянна, но может быть переменной (случайной или псевдослучайной) начальная фаза, частота, внутриимпульсная модуляция. Аналогично, в большинстве РВ с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) в настоящее время реализуется следящий прием отраженного сигнала со стабилизацией дальномерной частоты за счет изменения параметров модуляции. При этом длительность периода и крутизна перестройки частоты зондирующего сигнала зависят от текущей высоты полета, значений скорости и угловых эволюций летательного аппарата, типа облучаемой поверхности, рельефа и др. Кроме того каждый образец РЛС и РВ может иметь индивидуальные отклонения, обусловленные неточностью настройки и нестабильностью параметров радиоэлементов. Этот факт исключает возможность предварительного расчета отраженного сигнала даже в случае детерминированной траектории движения и имитируемого рельефа подстилающей поверхности. Поэтому расчет отраженного сигнала и последующее его воспроизведение необходимо выполнять в реальном масштабе времени на основе принимаемой реализации сигнала, сохраняя возможность последующей когерентной обработки в радиолокаторе.

Это приводит к необходимости прямой имитации отраженного сигнала как суммы сигналов, отраженных различными достаточно малыми по сравнению с облучаемой площадью участками поверхности или эквивалентными блестящими точками.

Известно устройство для имитации радиолокационных портретов реальных целей [Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием - М.: «Радиотехника», 2008, стр. 134-135, рис. 5.2], в котором зондирующий импульс от радиолокатора, для которого создается радиолокационный портрет, поступает через приемную антенну, усилитель, устройство грубой задержки, устройство точной задержки, модуляторы набора модуляторов и сумматор на выход имитатора. Устройство грубой задержки осуществляет задержку по времени, соответствующую расстоянию до ближайшей

блестящей точки имитируемой цели. Линия задержки (ЛЗ) с отводами обеспечивает имитацию блестящих точек цели. Амплитудные и фазовые модуляции выполняются в модуляторах набора модуляторов с помощью эталонных сигналов, соответствующих характеристикам целей. С выходов модуляторов сигналы, имитирующие
5 соответствующие блестящие точки, поступают на сумматор и далее в передающую антенну. Наличие ЦАП для управления модуляторами набора модуляторов в виде отдельных блоков является особенностью конкретного аппаратного решения и не принципиально для описания работы и устройства имитатора.

Описанное устройство имитатора по структуре и принципу функционирования
10 соответствует системе увеличения радиочастотного отклика (Патент US 2008/018525. Radio frequency signature augmentation system. Дата публикации: 23.09.1986, фиг. 22), устройству генератора электромагнитной цели (Патент US 5892479. Electromagnetic target generator. Дата публикации: 06.04.1999), методу обмана сонара или радиолокатора и ложной цели применяющей этот метод (Патент FR 2596164. Method for deceiving a sonar
15 or radar detector, and a decoy for implementing the method. Дата публикации: 25.09.1987), методу электронного увеличения радиолокационных целей (Патент US 4613863. Electronic augmentation of radar targets. Дата публикации: 23.09.1986), и радиолокационной техники (Патент GB 2134740. Electronic augmentation of radar techniques. Дата публикации:
15.08.1984).

Для повышения качества имитации формирование сигнала целесообразно выполнять
20 в цифровом виде, с преобразованием сигнала в форме квадратурных составляющих, на промежуточной частоте, с рядом других особенностей. В частности, при этом возникает необходимость использования сложных в реализации набора модуляторов и цифрового многовходового сумматора при имитации многоточечных портретов
25 целей.

В патенте RU 2568899 «Имитатор радиолокационной цели при зондировании преимущественно длительными сигналами» для исключения многовходового сумматора предложена конструкция имитатора радиолокационной цели, в которой вместо сумматора и умножителей применены более простые синхронизатор, коммутатор. При
30 этом не уделено внимание необходимости реализации одновременной имитации различных типов целей в различных сценариях имитации для различных типов радиолокаторов.

Используем далее устройство имитатора радиолокационной цели (RU 2568899) в качестве прототипа, как наиболее близкое по конструкции и принципу работы к
35 заявляемому устройству.

Технической задачей предлагаемой полезной модели является расширение функциональности для имитации различных типов целей в различных сценариях имитации для различных поддерживаемых типов сигналов радиолокаторов, включая непрерывное и импульсное излучение, с ЛЧМ или другим видом модуляции, с
40 возможностью автоматической подстройки параметров имитации к типам сканирования и параметрам сигналов радиолокаторов.

Технический результат достигается за счет учета математической модели отраженного радиолокационного сигнала, непрерывного слежения за характеристиками зондирующего сигнала, выбора наиболее вероятной гипотезы о структуре и параметрах зондирующего сигнала, формирования параметров имитации, физической реализации имитации частотно-временной структуры отраженного сигнала, учитывая особенности построения, функционирования и применения радиолокаторов, с полным техническим воплощением реалистичного радиолокационного портрета цели (целей).

Для решения поставленной задачи предлагается дополнительно снабдить имитатор блоком оценки параметров зондирующего сигнала (для детектирования амплитуды, частоты или фазы сигнала), коррелятором (обнаружителем), базой данных зондирующих сигналов, базой данных сценариев имитации и вычислителем параметров имитации для реализации возможностей автоматической регулировки усиления (АРУ) во входном регулируемом усилителе, установки параметров имитации («мгновенных» значений задержки, сдвига частоты и амплитуды) формируемого отраженного сигнала.

На фиг. показана структурная схема имитатора, на которой изображены:

- 1 - входной регулируемый усилитель;
- 10 2 - переменная линия задержки;
- 3 - первый модулятор (частотный);
- 4 - второй модулятор (амплитудный);
- 5 - блок оценки параметров сигнала;
- 6 - первый коммутатор (задержек);
- 15 7 - второй коммутатор (коэффициентов);
- 8 - третий коммутатор (амплитуд);
- 9 - синхронизатор;
- 10 - первая база данных зондирующих сигналов;
- 11 - коррелятор/обнаружитель;
- 20 12 - вторая база данных сценариев имитации;
- 13 - вычислитель параметров имитации;

ПРМ - связь с приемной антенной имитатора или непосредственно с выходом передающей антенны РЛС (при стационарных лабораторных испытаниях) или, например, с выхода дополнительного согласующего устройства имитатора, выполненного на основе преобразователя частоты и/или типа сигнала в цифровую форму;

ПРД - связь с передающей антенной имитатора или непосредственно с входом приемной антенны РЛС или (аналогично входу ПРМ) с входом дополнительного согласующего устройства имитатора, используемого для преобразования (восстановления) частоты и/или типа сигнала в аналоговую форму;

Интерфейс ввода-вывода - двунаправленный шинный интерфейс для связи с внешним задатчиком, который может быть использован для:

- ввода дополнительных параметров имитации, например, априорной информации о ракурсе целей, параметрах и положении лучей диаграммы направленности антенны РЛС;

- вывода контрольной и диагностической информации для проверки качества работы блоков имитатора;

- ввода управляющих сигналов смены режима работы имитатора: инициализация, пуск, пауза и др.

Устройство работает следующим образом: зондирующий сигнал от радиолокатора, для которого создается радиолокационный портрет цели, со входа ПРМ имитатора поступает через входной регулируемый усилитель 1, переменную линию задержки 2, первый модулятор 3, второй модулятор 4 на выход ПРД имитатора. Величина задержки, частотные и амплитудные и модуляции выполняются с помощью соответствующих значений параметров, формируемых на выходах трех соответствующих коммутаторов 6, 7 и 8. На сигнальные входы коммутаторов поступают наборы-массивы по n параметров, соответствующих параметрам n блестящих точек целей (протяженной поверхности цели и/или земли). А именно: значения задержек $\tau_1 \dots \tau_n$ поступают на

коммутатор задержек 6, коэффициенты частотной (или фазовой) модуляции $f_1 \dots f_n$ поступают на коммутатор коэффициентов 7, коэффициенты амплитудной модуляции U_1-U_n поступают на коммутатор амплитуд 8. При этом номер активного входа i , поступающий на управляющий вход каждого коммутатора для выбора текущего параметра из массива параметров, поступает с выхода синхронизатора 9. Таким образом, синхронизатор 9 обеспечивает одновременное присутствие заданных параметров i -ой блестящей точки на входах ЛЗ и модуляторов. Для работы синхронизатора 9 на его вход поступают «коэффициенты микширования» E_1-E_n с помощью которых можно регулировать длительность присутствия параметров i -й блестящей точки на входах ЛЗ и модуляторов.

Возможный принцип работы синхронизатора описан в прототипе, он заключается в последовательном и циклическом наращивании на «+1» его выходного значения i , в диапазоне от 1 до n , причем длительность присутствия значения i пропорциональна соответствующему значению E_i на входе синхронизатора. Поэтому, согласно RU 2568899, амплитудные коэффициенты можно сделать равными, но при этом управлять «яркостью» каждой блестящей точкой задавая соответствующие значения коэффициентов микширования E_1-E_n .

В другом частном случае, если $E_i=0$, то i -я блестящая точка не моделируется. Поэтому в предлагаемом имитаторе также имеется возможность выбирать число имитируемых точек целей, для более качественного представления протяженной поверхности цели и/или поверхности земли в формируемом сигнале для радиолокатора.

Частота смены значения i определяет частоту «микширования» (коммутации) параметров основного сигнала в имитаторе; целесообразно выбрать эту частоту в несколько раз ниже несущей частоты и вне полосы «полезных» частот модуляции сигнала. Известно, что во всех радиолокационных приемниках имеются ограничивающие частотные фильтры сигнала, тогда, при обработке в РЛС, результирующий сигнал при наличии «микширования» в рабочей (обычно низкочастотной) области по спектральному составу будет эквивалентен сигналу образованному обычным суммированием сигналов.

Вычислитель параметров имитации 13 обеспечивает расчет параметров n блестящих точек целей. Для этого может использоваться база данных сценариев имитации 12, из которой для предварительно выбранной фоноцелевой обстановки, ракурсов и траекторий движения целей (и носителя РЛС) могут поступать параметры k блестящих точек целей: дальности, скорости сближения, эффективные площади рассеяния (ЭПР), которые пересчитываются в задержки, доплеровские сдвиги частот, коэффициенты затухания (амплитудные коэффициенты). В значения параметров также могут быть внесены дополнительные искажения, которые можно использовать для имитации шумов (флуктуации частоты и амплитуды), для более качественной имитации заданного сценария имитации. Если $k > n$, то для длительных зондирующих сигналов РЛС возможно чередование массивов параметров, выдаваемых на входы коммутаторов, иначе возможно сокращение числа блестящих точек путем отбрасывания точек с низкой ЭПР, отстоящих далеко по положению/частоте от основной цели, объединения некоторых близких по параметрам точек и т.п. Например, в RU 2386143 (Способ имитации радиосигнала, отраженного от пространственно распределенной динамической радиофизической сцены, в реальном времени) приведен способ расчета параметров имитации пространственно распределенной динамической радиофизической сцены, в которой сокращение числа имитируемых блестящих точек достигается путем объединения близких по параметрам отражателей и их сортировкой по дальности.

Нарушение мгновенных спектров не скажется на работе типового радиолокатора, т.к. поиск/захват/сопровождение целей выполняются с усреднением в несколько элементов разрешения и, как правило, в несколько периодов модуляции и сканирования. В радиолокаторах высокого разрешения с построением изображения фоно-целевой обстановки и распознавания типов целей также выполняется математическое усреднение в несколько периодов модуляции и сканирования. Возможность когерентной обработки сохраняется, т.к. фаза формируемого (имитирующего отражение от точки цели) сигнала определяется дальностью (задержкой) и исходной фазой зондирующего сигнала, т.е. также как и при работе РЛС в обычных условиях.

При короткоимпульсном методе работы радиолокатора или большом числе имитируемых точек микширование (коммутация) параметров основного сигнала в имитаторе приведет к мерцанию (флуктуации по амплитуде) отдельных точек цели. Поэтому, для учета особенностей построения, функционирования и применения радиолокатора, предлагаемое устройство также содержит блок оценки параметров сигнала 5, который может позволить определить момент начала импульса или смены типа модуляции, амплитуду и форму огибающей сигнала и, возможно другие параметры, в зависимости от ассортимента видов сигналов радиолокатора. Результаты оценки параметров сигнала используются в корреляторе (обнаружителе) 11, который выбирает наиболее вероятную гипотезу о структуре (параметрах) зондирующего сигнала путем сопоставления полученных оценок параметров сигнала с данными из базы данных зондирующих сигналов 10.

Таким образом, из коррелятора (обнаружителя) 11 на вход вычислителя параметров имитации 13 поступает информация о наиболее вероятном типе сигнала и его текущих параметрах, что позволяет организовать работу имитатора синхронно с различными зондирующими сигналами. Знание крутизны частотной модуляции и момента смены знака ЛЧМ позволяет выполнить имитацию смещенной дальности за счет использования дополнительного сдвига частоты (см. для примера RU 2625567 «Устройство для имитации ложной радиолокационной цели при зондировании сигналами с линейной частотной модуляцией»).

Для стабилизации среднего уровня сигнала на выходе входного регулируемого усилителя 1 на его управляющий вход подается сигнал АРУ с выхода вычислителя параметров имитации 13. Это позволяет улучшить характеристики имитатора за счет выбора оптимального уровня основного формируемого сигнала в последующих ЛЗ и модуляторах, особенно при использовании цифровых способов реализации указанных блоков.

В качестве схемы цифровой обработки сигнала, для аппаратной и программной реализации блоков ЦОС (оцифровка квадратурных составляющих, программируемая задержка, сдвиг частоты, добавление шума и обратное цифро-аналоговое преобразование) может быть использована система на кристалле СБИС 1879ВМ3(DSM) разработки ЗАО НТЦ «Модуль», в которой путем аппаратно-программного управления возможно манипулирование 1-8 «сигнальными каналами» с независимыми параметрами. Программный контроллер СБИС работает по командам из памяти программ, может быть запрограммирован для выполнения функции синхронизатора путем поочередного выбора номера канала для управления коммутатором задержек и коммутатором коэффициентов с учетом параметров сигналов блестящих точек (интервалы смены выбранного канала пропорциональны $E_1 \dots E_n$) размещенных в памяти программ. С помощью соответствующих команд, выполняемых программным контроллером СБИС, осуществляется динамическое изменение параметров имитируемых блестящих точек

цели (см. RU 2568899). При этом СБИС работает в циклическом режиме с воспроизведением на выходе задержанного и преобразованного входного сигнала сколь угодно большой длительности без разрывов, что дает возможность имитировать сигнал, отраженный от цели, при произвольном законе модуляции зондирующего сигнала без дополнительных синхронизирующих связей между имитатором и радиолокатором.

Дополнительные усилители, аттенюаторы для согласования уровней и возможные смесители, например, с сигналом гетеродина для согласования рабочей полосы частот блоков обработки сигналов не показаны, но могут быть использованы и рассчитаны, например, в соответствии с RU 2412449 (Имитатор радиолокационной цели. Дата приоритета: 26.12.2008).

Пример аппаратно-программной реализации подобного имитатора на базе отдельных программно управляемых аттенюаторов, блоков АЦП, ПАП, ПЛИС, а также преимущества синхронизации работы имитатора с различными зондирующими сигналами приведены в статье «Учет переменных параметров линейной частотной модуляции в имитаторе отраженных сигналов для радиовысотометров» (А.С. Боков [и др.] Надежность и качество сложных систем. Пенза: ПТУ, 2017. №3 (19). С. 60-67).

(57) Формула полезной модели

Многофункциональный имитатор радиолокационных целей, характеризующийся тем, что содержит входной регулируемый усилитель, блок переменной линии задержки, частотный модулятор, амплитудный модулятор, первую базу данных зондирующих сигналов, вторую базу данных сценариев имитации, блок оценки параметров сигнала, коррелятор, первый коммутатор задержек, второй коммутатор коэффициентов, третий коммутатор амплитуд, синхронизатор и вычислитель параметров имитации со следующими соединениями: выход входного регулируемого усилителя через блок переменной линии задержки соединен с первым входом частотного модулятора, а через блок оценки параметров сигнала с первым входом коррелятора со вторым входом которого соединен выход первой базы данных зондирующих сигналов, выход коррелятора соединен с первым входом вычислителя параметров имитации, со вторым входом которого соединен выход второй базы данных сценариев имитации, выход частотного модулятора соединен с первым входом амплитудного модулятора, со вторым входом которого соединен выход третьего коммутатора амплитуд, с третьим входом вычислителя параметров имитации соединен интерфейс ввода-вывода, выходы вычислителя $\tau_1 \dots \tau_n$ через первый коммутатор задержек соединены со вторым входом блока переменной линии задержки, выходы вычислителя $E_1 \dots E_n$ через синхронизатор соединены с управляющими входами первого коммутатора задержек, второго коммутатора коэффициентов и третьего коммутатора амплитуд, выходы вычислителя $f_1 \dots f_n$ через второй коммутатор коэффициентов соединены со вторым входом частотного модулятора, с управляющим входом входного регулируемого усилителя соединен выход АРУ вычислителя параметров имитации, также выходы вычислителя параметров имитации величинами амплитуд $U_1 \dots U_n$ соединены с сигнальными входами третьего коммутатора амплитуд, при этом вычислитель параметров имитации имеет вводы-выводы для дополнительных параметров, контрольных и управляющих сигналов.

Многофункциональный имитатор
радиолокационных целей

