

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 676 469** ⁽¹³⁾ **C1**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК

[G01S 7/40 \(2006.01\)](#)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 17.01.2019)

(21)(22) Заявка: [2018100467](#), 09.01.2018(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.01.2018Дата регистрации:
29.12.2018Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 09.01.2018(45) Опубликовано: [29.12.2018](#) Бюл. № [1](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: [RU 2625567 C1](#), 17.07.2017. [RU 2486540 C1](#), 27.06.2013. [RU 2504799 C2](#), 20.01.2014. [RU 2632478 C1](#), 05.10.2017. [JP 2011094998 A](#), 12.05.2011. [US 7782250 B2](#), 24.08.2010. [JP 2009236628 A](#), 15.10.2009.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)****(54) ИМИТАТОР РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЦЕЛИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике, а именно к радиолокации, и может быть использовано для настройки технических параметров радиолокационных станций (РЛС) на заводе-изготовителе и их проверки при регламентных работах в течение всего срока эксплуатации. Наиболее предпочтительно его использование в имитаторах для вертолетных и самолетных радиовысотомеров, бортовых радиолокационных систем различной дальности, в которых используются частотно-временные структуры радиолокационного сигнала. Достижимый технический результат - расширение возможностей поддерживаемых типов сигналов, включая импульсные, с возможностью имитации ложных целей, в том числе расположенных ближе носителя РЛС. Технический результат достигается за счет учета математической модели отраженного радиолокационного сигнала, непрерывного слежения за характеристиками зондирующего сигнала, выбора наиболее вероятной гипотезы о структуре (параметрах) зондирующего сигнала, формирования параметров имитации, физической реализации имитации частотно-временной структуры отраженного сигнала, учитывая особенности построения, функционирования и применения РЛС с полным техническим воплощением реалистичного



Фиг. 1

Изобретение относится к радиотехнике, а именно к радиолокации, и может быть использовано для настройки технических параметров РЛС на заводе изготовителе и их проверки при регламентных работах в течение всего срока эксплуатации. Наиболее предпочтительно его использование в имитаторах для вертолетных и самолетных радиовысотомеров (РВ), бортовых радиолокационных систем (РЛС) различной дальности, в которых используются частотно-временные структуры радиолокационного сигнала.

Общей проблемой создания таких имитаторов является необходимость точного расчета и изменения параметров отраженного сигнала и последующего его воспроизведения в реальном масштабе времени на основе принимаемой реализации сигнала, сохраняя полную возможность последующей обработки в РЛС.

В зависимости от типа сигнала и способов сканирования РЛС оптимальными будут различные методы и алгоритмы формирования имитирующего сигнала. Для РЛС импульсного излучения форма зондирующего сигнала, как правило, постоянна и точно известна, поэтому отраженный сигнал может быть заранее подготовлен в сигнальной памяти с учетом параметров моделирования и выдан на вход РЛС по сигналу пикового детектора, обнаруживающего начало зондирующего импульса. В современных РЛС для повышения помехоустойчивости, а также для получения дополнительной информации о целях, можно использовать частотную модуляцию с переменными параметрами. 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 РЛС.

Аналогично, в большинстве РВ с 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 (ЛА), 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 для качественной имитации частотно-временной структуры отраженного радиолокационного сигнала применяются методы формирования 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 [1, 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, набор модуляторов и сумматор на выход имитатора. Устройство грубой задержки осуществляет задержку по времени, соответствующую расстоянию до ближайшей блестящей точки имитируемой цели. Линия задержки с отводами обеспечивает имитацию блестящих точек цели. Амплитудные и фазовые модуляции выполняются с помощью эталонных сигналов, соответствующих характеристикам целей. С выхода

модулятора сигналы, имитирующие соответствующие блестящие точки, поступают на сумматор и далее в передающую антенну.

Описанное устройство имитатора по структуре и принципу функционирования соответствует системе увеличения радиочастотного отклика [2], устройству генератора электромагнитной цели [3], методу обмана сонара или радиолокатора и ложной цели применяющей этот метод [4], методу электронного увеличения радиолокационных целей (техники) [5, 6]. Типовое для данной задачи устройство для имитации радиолокационных целей с высоким разрешением приведено в [6].

При практическом применении описанных методов и устройств имитации радиолокационных портретов при переменных параметрах модуляции возникает проблема имитации целей с дальностью меньше дальности носителя, защищаемого от работающей РЛС. Аналогичные сложности возникают при использовании имитаторов сигнала для исследования характеристик радиовысотометров при полунатурном моделировании работы в лабораторных условиях: невозможно обеспечить имитацию сигнала с задержкой менее длительности прохождения сигнала в трактах обработки и формирования имитирующего сигнала.

На сегодняшний день даже в лучших известных схемах цифровой сигнальной памяти минимальная задержка составляет 40 нс, что соответствует дальности 6 м. С учетом использования в реальных имитаторах усилителей, фильтров, аттенуаторов, соединительных кабелей, многоканальных трактов имитации портретов целей соответствующая минимальная имитируемая дальность (от момента начала входного сигнала) составляет 14-60 м и более, что ограничивает как возможности скрытия истинного положения носителя, защищаемого от РЛС высокого разрешения, так и возможность имитации малых высот при проверке радиовысотометров.

Известно, что и доплеровский сдвиг и временная задержка отраженного ЛЧМ сигнала при несимметричной модуляции могут имитироваться соответствующим смещением его несущей частоты [10, 11]. Поэтому для снижения минимальной имитируемой высоты и компенсации собственной задержки в любой аппаратной реализации возможно использование определенного сдвига частоты: например, РВ с несимметричной ЛЧМ (НЛЧМ) будет регистрировать эквивалентную малую высоту, если при формировании сигнала выполнить дополнительный частотный сдвиг Δf в сторону «сближающую» на измерительном участке графики $f_{\text{излуч}}(t)$ и $f_{\text{форм}}(t)$ - см. фиг. 2.

На фиг. 2 f_0 - средняя частота сигналов. Она устраняется при обработке в ЛЧМ РВ: когда находится частота преобразованного сигнала - так называемого сигнала биений на выходе смесителя, являющегося разностью частот двух сигналов излучаемого и отраженного:

$$f(t) = f_{\text{излуч}}(t) - f_{\text{форм}}(t) \approx \text{const} = Fb, \quad (1)$$

где $f_{\text{излуч}}(t)$ - зависимость частоты от времени в излучаемом РВ сигнале;

$f_{\text{форм}}(t)$ - зависимость частоты от времени в отраженном одиночной точечной целью сигнале или в соответствующем сигнале формируемом имитатором;

Fb - значение частоты сигнала биений в основной части измерительного участка (исключая участки скачкообразного изменения параметров модуляции $f_{\text{излуч}}(t)$,

$f_{\text{форм}}(t)$

Видно (см. фиг.2), что положительный сдвиг частоты Δf для сигнала, задержанного на некоторую минимальную задержку τ_{min} , приведет к уменьшению значения средней частоты биений Fb и, соответственно, к уменьшению измеряемой высоты.

Основной недостаток этого способа - зависимость требуемой величины и знака сдвига частоты Δf от направления (знака) и величины скорости (крутизны) линейного изменения частоты ЛЧМ радиолокатора. Рассмотрим этот недостаток подробнее.

Во первых, для НЛЧМ, например, с нарастанием частоты $f_{\text{излуч}}(t)$ сдвиг частоты для сигнала $f_{\text{форм}}(t)$ на величину Δf уменьшит регистрируемую радиолокатором величину частоты сигнала биений Fb (см. фиг. 2), но это уменьшение сильно зависит (в первом приближении прямо пропорционально) от скорости (крутизны) линейного изменения частоты зондирующего сигнала $f_{\text{излуч}}(t)$.

Во вторых, при симметричной ЛЧМ (СЛЧМ), например, положительный сдвиг частоты для сигнала $f_{\text{форм1}}(t)$, который задержан на τ_{min} и смещен вверх на Δf относительно $f_{\text{излуч}}(t)$ в основных частях - полупериодах измерительного участка (исключая зоны обращения) сформирует 2 значения частоты биений. Значение Fb_{min} в одном полупериоде и значение Fb_{max} во втором полупериоде - см. $f_{\text{форм1}}(t)$ на фиг. 3. Если бы вычислитель такого радиолокатора работал по переднему фронту спектра, то

задача уменьшения измеряемой дальности была бы решена. Но, на примере типового СЛЧМ РВ, если в РВ используется оценка дальности по частоте биений соответствующей центру тяжести спектра усредненного на всем периоде модуляции, то такое раздвоение основной гармоники спектра не повлияет на измеряемое значение высоты в РВ. Простая замена « $+\Delta f$ » на « $-\Delta f$ » приведет лишь к смене очередности полупериодов с $F_{b_{\min}}$ и $F_{b_{\max}}$ - см. $f_{\text{форм}2}(t)$ на фиг. 3.

Для случая с СЛЧМ в [7] предложено формировать отраженный сигнал из суммы двух смещенных по частоте копий зондирующего сигнала - см. фиг.4. Смещение по частоте выполняется на одну и ту же величину « Δf », но с противоположными знаками: « $+\Delta f$ » и « $-\Delta f$ ». Дополнительно делается задержка исходного сигнала в регулируемой линии задержки на величину задержки « τ ». При этом « τ » определяет смещение всего портрета имитируемой цели по дальности в меньшую (при $\tau < \Delta f / V_f$, где V_f - модуль скорости линейного изменения частоты радиолокатора, Δf - параметр, выбираемый примерно равным или больше ширины избирательного фильтра захвата/сопровождения цели в радиолокаторе) или в большую сторону (при $\tau > \Delta f / V_f$).

Для упрощения аппаратной реализации вместо второго сумматора и двух устройств сдвига частоты можно использовать одно управляемое устройство сдвига частоты, причем для работы имитатора с НЛЧМ и СЛЧМ сигналами достаточно циклически менять только знак величины доплеровского сдвига Δf [15].

Пример уменьшения имитируемой дальности (высоты) при СЛЧМ путем периодической смены знака «плюс» либо «минус» для заданной величины сдвига по частоте Δf для всего сигнала сформированного ранее портрета имитируемой цели показан на фиг. 5.

Периодическая смена знака выполняется через равные интервалы времени, обозначим это значение Δt . Тогда, при непрерывном излучении выходной сигнал будет содержать равные Δt отрезки излученного сигнала со скачками фазы в моменты смены знака $\pm \Delta f$ что в частотной области приведет к тому, что к исходным гармоникам сигнала добавятся гармоники соответствующие сумме и разности частот «полезного» сигнала и частоты смены знака F_{sign} умноженной на целое число [8, 15], где $F_{\text{sign}} = 1 / (2\Delta t)$. При выборе частоты смены знака F_{sign} в несколько раз ниже средней несущей частоты f_0 , но выше полосы «полезных» частот модуляции сигнала (например, при $\Delta t \ll T_M$), с учетом фактического наличия во всех радиолокационных приемниках ограничивающих частотных фильтров сигнала, результирующий сигнал в рабочей области по спектральному составу будет эквивалентен сигналу образованному обычным суммированием сигналов.

Поэтому в результате замены сумматора на переключаемый модулятор в [15], также как и в [7], получается раздвоение спектров в каждый момент времени и в первом и во втором полупериодах. Две пары огибающих спектра (для точечной цели - только гармоники $F_{b_{\min}}$ и $F_{b_{\max}}$) в общем спектре $S(f)$ будут разнесены по оси частот на $2 \Delta f$ - см. фиг. 5. Поэтому, для случая РВ с произвольным законом ЛЧМ, при Δf больше половины ширины полосы фильтра сигнала биений, высокочастотные гармоники будут подавлены или отброшены, т.к. по имитируемой дальности находятся далеко от цели (поверхности), а измеренное значение дальности будет соответствовать центру тяжести низкочастотной огибающей спектра с меньшим значением имитируемой дальности (высоты).

Используем далее устройство для имитации на фиг. 4. [15, п. 1 формулы изобретения] в качестве прототипа, как наиболее близкое по конструкции и принципу работы к заявляемому устройству.

Технической задачей изобретения является расширение возможностей поддерживаемых типов сигналов, включая импульсные (с внутриимпульсной ЛЧМ) и ЛЧМ со скачкообразным изменением значений крутизны модуляции, с возможностью имитации ложных целей, в том числе расположенных ближе носителя РЛС.

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

Для решения поставленной задачи предлагается дополнительно снабдить имитатор детекторами амплитуды и частоты (фазы) зондирующего сигнала, анализатором

(коррелятором), блоком быстрого вычисления и установки параметров имитации (задержки, амплитуды, сдвига частоты) формируемого отраженного сигнала.

На фиг. 1 показана структурная схема имитатора.

На фиг. 2 - график влияния сдвига частоты сигнала при НЛЧМ.

На фиг. 3 - графики влияния сдвига частоты сигнала при СЛЧМ.

На фиг. 4 - структурная схема прототипа [15, п. 1 формулы изобретения].

На фиг. 5 - графики поясняющие принцип формирования параметров гармоник спектра сигнала биений при имитации малых высот для РВ с СЛЧМ.

В структурной схеме имитатора на фиг. 1 изображено:

- 1 - предварительный усилитель;
- 2 - многоотводная линия задержки;
- 3 - набор модуляторов;
- 4 - сумматор;
- 5 - переменная линия задержки;
- 6 - частотный (фазовый) детектор;
- 7 - анализатор (коррелятор);
- 9 - амплитудный (пиковый) детектор;
- 10 - блок формирования задержки;
- 11 - регулируемый усилитель;
- 12 - вычислитель параметров имитации;
- 13 - блок сдвига частоты.

Первый сигнальный вход предварительного усилителя 1 соединен с выходом приемной антенны, а его выход соединен параллельно с входами амплитудного (пикового) детектора 9, частотного (фазового) детектора 6 и многоотводной линии задержки 2, выходы которой через модуляторы 3 соединены с входами сумматора 4, на вторые входы модуляторов 3 заведены коэффициенты амплитудно-фазовой модуляции, выход сумматора через переменную линию задержки 5 соединен с сигнальным входом регулируемого усилителя 11, управляющий вход которого соединен с первым выходом вычислителя параметров имитации 12, а его выход соединен с сигнальным входом блока сдвига частоты 13, управляющий вход которого соединен со вторым выходом вычислителя параметров имитации 12, а его выход является выходом имитатора; выход амплитудного (пикового) детектора 9 соединен с первым входом анализатора-коррелятора 7 и с первым входом вычислителя параметров имитации 12, четвертый выход которого соединен с управляющим входом предварительного усилителя 1; выход частотного (фазового) детектора 6 соединен со вторым входом анализатора-коррелятора 7 и с первым входом блока формирования задержки 10, выход которого соединен с управляющим входом переменной линии задержки 5, а второй вход блока формирования задержки 10 соединен с третьим выходом вычислителя параметров имитации 12, второй вход которого соединен с выходом анализатора-коррелятора 7; вычислитель параметров имитации 12 также имеет третий вход задающих параметров имитации по дальности, скорости и эффективной площади рассеяния имитируемой цели (целей).

Имитатор на фиг. 1 работает следующим образом: зондирующий импульс от радиолокатора, для которого создается радиолокационный портрет, поступает с приемной антенны через предварительный усилитель, многоотводную линию задержки, набор модуляторов, сумматор, переменную линию задержки, регулируемый усилитель и блок сдвига частоты на выход имитатора.

Многоотводная линия задержки обеспечивает имитацию радиолокационного портрета - блестящих точек цели (целей) с индивидуальными задержками. Индивидуальные амплитудные и фазовые модуляции выполняются в наборе модуляторов с помощью соответствующих коэффициентов, формируемых, например, внешним устройством или вычислителем параметров имитации.

Выходной сигнал имитатора получается из сигнала на выходе сумматора (сформированного радиолокационного портрета цели) путем дополнительной задержки на величину τ , регулируемого усиления/ослабления на величину множителя - коэффициента A и сдвига частоты на заданную величину Δf , причем указанные параметры, поступают с блока формирования задержки и вычислителя параметров имитации.

В зависимости от значения задержки τ в переменной линии задержки выполняется имитация смещения имитируемого портрета цели по дальности относительно минимальной реализуемой дальности (соответствующей общей задержке сигнала в блоках имитатора, а также дальности носителя при работе на борту ЛА).

При этом имитация смещения выполняется:

в меньшую сторону при $\tau < \tau_0 = \Delta f / V_f$,

в большую сторону при $\tau > \tau_0$,

где τ_0 - задержка в имитаторе, при которой смещение цели по дальности отсутствует;

Δf - параметр, выбираемый примерно равным или больше ширины избирательного фильтра захвата и сопровождения цели в радиолокаторе;

V_f - модуль скорости линейного изменения частоты радиолокатора, при СЛЧМ:

$$V_f = 2W/T_M, \quad (2)$$

где W - ширина диапазона частот модуляции (см. фиг. 3);

T_M - период модуляции.

При $\tau=0$ и постоянном значении модуля скорости линейного изменения частоты РЛС или РВ положение имитируемой цели по дальности уменьшится на величину:

$$\Delta R_{\max} = \frac{c\tau_0}{2} = \frac{c\Delta f}{2V_f}, \quad (3)$$

где c - скорость света.

Для реализации определения и учета возможного изменения знака (направления) и модуля скорости линейного изменения частоты зондирующего ЛЧМ сигнала, имитатор содержит частотный или фазовый детектор и блок формирования задержки.

На выходе частотного (фазового) детектора формируется сигнал $F(t)$, с помощью которого в блоке формирования задержки находится значение скорости изменения частоты V_f , для чего можно проинтегрировать $F(t)$, и далее, по величине требуемого смещения сигнала по задержке $\Delta\tau$, в соответствии с (4) в блоке формирования задержки находится значение задержки τ для переменной линии задержки:

$$\tau = \Delta\tau + \Delta f / V_f - \tau_{\min}, \quad (4)$$

где τ_{\min} - собственная (внутренняя) задержка в цепях имитатора;

$\Delta\tau$ - требуемое смещение сигнала по задержке: при уменьшении имитируемой дальности или компенсации собственной задержки - значение со знаком минус.

Анализатор (коррелятор) выполняет непрерывный анализ сигналов, поступающих с выходов частотного (фазового) и/или амплитудного (пикового) детекторов, т.е. зависимости частоты (фазы) $F(t)$ и амплитуды $U(t)$ зондирующего сигнала на входе имитатора.

Таким образом, анализатор (коррелятор) предназначен для анализа характеристик (параметров) зондирующего сигнала радиолокатора и может работать, например, путем корреляционной обработки или сравнения параметров с ожидаемыми для выбранных типов радиолокаторов. В результате анализатор может формировать на выходе номер наиболее вероятной гипотезы о наличии (или отсутствии) на входе имитатора одного (или ни одного) из определенных сигналов. Параметры гипотез, например, могут располагаться внутри анализатора, поступать из вычислителя параметров имитации или из внешнего устройства.

В простейшем случае для непрерывной ЛЧМ с переменным знаком можно проинтегрировать $F(t)$, чтобы найти и знак и величину крутизны сигнала с ЛЧМ. Т.к. учет переменной крутизны модуляции может выполняться автоматически в блоке формирования задержки, то, в этом случае, достаточно выбора одной из двух гипотез о положительном или отрицательном знаке ЛЧМ, чтобы получить аналогичную работу имитатора как и в прототипе [15]. Но в предлагаемом имитаторе, в отличие от прототипа, возможно расширение поддерживаемых типов сигналов, включая импульсные (с внутриимпульсной ЛЧМ) и ЛЧМ со скачкообразным изменением значения крутизны модуляции.

Вычислитель параметров имитации улучшает качественные характеристики имитатора, выполняя расчет сигналов и оперативное управление работой устройств в зависимости от номера гипотезы, поступающей с выхода анализатора-коррелятора. Для расчета сигналов управления параметры имитации, например, текущие (или средние) значения дальности, относительной скорости и ЭПР имитируемой цели могут формироваться внутри блока или поступать из внешнего устройства.

При работе на борту летательного аппарата уровень полезного сигнала может меняться в больших пределах, что может привести к работе имитатора в нелинейной области уровней сигналов при аналоговой и/или цифровой обработке. В частности, при использовании цифровой обработки сигнала (ЦОС), например, в частотном, амплитудном детекторе, модуляторах, линиях задержки и др., предварительно ставятся АЦП, кроме того, разрядность последующей обработки также ограничена. И известно, что для эффективной ЦОС желательно, чтобы уровень входного сигнала

был согласован с требуемым по спецификации диапазоном уровней входного сигнала АЦП, с разрядностью цифровых сумматоров, модуляторов и т.п.

Поэтому для стабилизации среднего уровня сигнала на выходе предварительного усилителя выход амплитудного (пикового) детектора подается в вычислитель параметров имитации, который оценивает мощностные характеристики сигнала с приемной антенны и формирует сигнал обратной связи В (см. фиг. 1), подаваемый на управляющий вход предварительного усилителя. Для корректного учета сделанного таким образом усиления, необходимо скорректировать множитель - коэффициент усиления А в регулируемом усилителе. Для этого вычислитель параметров имитации соединен также с управляющим входом регулируемого усилителя.

Коэффициентом усиления А (см. фиг. 1) на входе регулируемого усилителя можно также регулировать общий уровень выходного сигнала для имитируемого портрета цели, зависящего в соответствии с известным уравнением радиолокации [1, 9, 10 и др.] от поступающих в вычислитель параметров имитации задающих параметров имитации по дальности и эффективной площади рассеяния имитируемой цели.

Таким образом, анализатор оценивает характеристики сигнала и выдает результат в вычислитель параметров имитации, который далее определяет режим работы имитатора. Например, для имитации малых задержек, при недостаточном уровне сигнала (когда детектор частоты может работать некорректно), имитатор может работать подобно прототипу [15] с периодической сменой знака сдвига частоты модуляции с равными интервалами Δt , не зависящими от выходного сигнала детекторов как показано на фиг. 5. При достаточном уровне сигнала, определяемом амплитудным детектором, детектор частоты будет работать корректно, поэтому устанавливается режим работы имитатора, при котором сдвиг частоты модуляции определяется выходным сигналом анализатора, который подобно прототипу определяет знак ЛЧМ, и выдает соответствующий номер гипотезы на вход вычислителя параметров имитации.

Для двух рассмотренных примеров слабого и сильного сигнала, подобно прототипу, возможна дополнительная компенсация - управление амплитудой А в зависимости от режима работы имитатора для большей реалистичности уровня формируемого сигнала: при наличии режима коммутации с равными интервалами Δt , уровень сигнала может быть скорректирован на +3 дБ [15].

При полном отсутствии входного сигнала с заданными/ожидаемыми параметрами, в том числе при прерывистом или импульсном зондирующем сигнале радиолокатора, для дальнейшего улучшения энергетических характеристик, на регулируемый усилитель может быть выдано значение усиления $A=0$.

Особенностью описанного решения для построения имитатора является то, что независимо от крутизны, направления и сочетания знаков скорости линейного изменения частоты РЛС, для имитации малых задержек, имитатор может имитировать две одинаковые цели, причем первая - основная цель может имитироваться на дальности меньше дальности носителя РЛС, а вторая цель будет отнесена по дальности на $2 \cdot \Delta R_{\max}$ и при соответствующем выборе значения Δf не будет мешать корректному слежению РЛС за основной целью. Значение параметра Δf выбирается примерно равным или больше ширины избирательного фильтра захвата и сопровождения цели в РЛС (высоты в РВ), однако, с соблюдением условия корректной обработки принятого сигнала в радиолокаторе: $\tau_0 \ll T_M$ и, следовательно, $\Delta f \ll T_M \cdot V f$.

Достижимый результат - имитация портрета цели с дальностью больше или меньше дальности носителя, для сигналов с различными типами модуляции, в том числе с переменными параметрами, как при аналоговой, так и при цифровой обработке сигнала, без ухудшения качества имитируемых портретов целей.

При реализации имитатора линии задержки, модуляторы и др. блоки могут быть аналоговыми или цифровыми. Для повышения качества имитации формирование сигнала лучше выполнять в цифровом виде на цифровых линиях задержки и модуляторах.

Пример структуры имитатора радиолокационной цели обеспечивающей формирование эквивалентной суммы сигналов разнесенных по дальности элементов протяженной цели (целей) с использованием СБИС 1879ВМ3(DSM) разработки ЗАО НТЦ «Модуль» [13] приведен в [14].

Дополнительные усилители, аттенюаторы для согласования уровней и возможные смесители, например, с сигналом гетеродина для согласования рабочей полосы частот блоков обработки сигналов, могут быть использованы и рассчитаны в соответствии с [9, 16].

Для исключения попадания выходного сигнала с передающей антенны на вход приемной антенны можно использовать циркулятор, стробирование работы и/или пространственное разнесение антенн [1, 16]. При стационарных испытаниях, возможно непосредственное подключение кабелей к исследуемой радиолокационной системе без использования антенн.

Литература

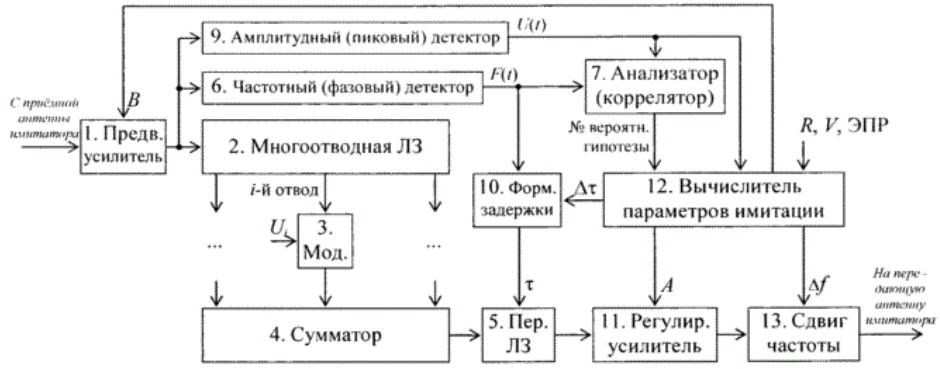
1. Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Под. Ред. Ю.М. Перунова. Изд. 2-е, испр. и дополн. - М.: «Радиотехника», 2008. - 416 с.
2. Патент US 2008/018525. Radio frequency signature augmentation system. Дата публикации: 23.09.1986.
3. Патент US 5892479. Electromagnetic target generator. Дата публикации: 06.04.1999.
4. Патент FR 2596164. Method for deceiving a sonar or radar detector, and a decoy for implementing the method. Дата публикации: 25.09.1987.
5. Патент US 4613863. Electronic augmentation of radar targets. Дата публикации: 23.09.1986.
6. Патент GB 2134740. Electronic augmentation of radar techniques. Дата публикации: 15.08.1984.
7. Патент RU 2486540. Имитатор ложной радиолокационной цели при зондировании сигналами с линейной частотной модуляцией. Дата приоритета: 05.12.2011.
8. Патент RU 2504799. Имитатор радиолокационной цели при зондировании преимущественно длительными сигналами. Дата приоритета: 05.12.2011
9. Патент RU 2412449. Имитатор радиолокационной цели. Дата приоритета: 26.12.2008.
10. Виноцкий А.С. Очерк основ радиолокации при непрерывном излучении радиоволн. М.: Сов. радио, 1961. - 496 с.
11. Саломасов В.В. Особенности имитации отраженного сигнала для РЛС с ЛЧМ / В.В. Саломасов, А.А. Щербаков // Известия вузов. Радиоэлектроника. М. 1987, т. 30. Стр. 84-86.
12. International publication WO 2013/184232 A1. Wideband low latency repeater and methods. Дата приоритета: 08.06.2012 (US).
13. Микросхема интегральная 1879ВМ3(DSM), Техническое описание, Версия 1.1, ЮФКВ 431268 001 ТО1 К, Научно-технический центр «Модуль». М. 2002.
14. Патент RU 2568899. Имитатор радиолокационной цели при зондировании преимущественно длительными сигналами. Дата приоритета: 07.03.2014
15. Патент RU 2625567. Устройство для имитации ложной радиолокационной цели при зондировании сигналами с линейной частотной модуляцией. Дата приоритета: 11.07.2016
16. Учет переменных параметров линейной частотной модуляции в имитаторе отраженных сигналов для радиовысотометров / А.С.Боков, В.Г. Важенин, А.В. Гусев, Д.Ж. Нагашибаев, А.А. Иофин // Надежность и качество сложных систем. Пенза: ПГУ, 2017. №3 (19). С. 60-67.

Формула изобретения

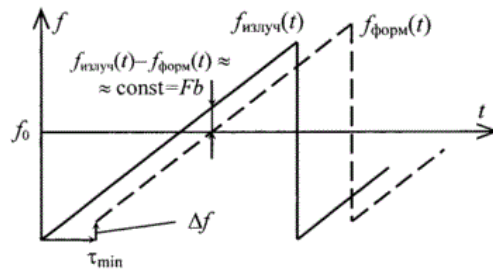
Имитатор радиолокационной цели, характеризующийся тем, что содержит предварительный усилитель, многоотводную линию задержки, набор модуляторов, сумматор; переменную линию задержки, частотный/фазовый детектор, анализатор-коррелятор, амплитудный/пиковый детектор, блок формирования задержки, регулируемый усилитель, вычислитель параметров имитации и блок сдвига частоты со следующими соединениями: первый сигнальный вход предварительного усилителя соединен с выходом приемной антенны, а его выход соединен параллельно с входами амплитудного/пикового детектора, частотного/фазового детектора и многоотводной линии задержки, выходы которой через модуляторы соединены с входами сумматора, на вторые входы модуляторов заведены коэффициенты амплитудно-фазовой модуляции, выход сумматора через переменную линию задержки соединен с сигнальным входом регулируемого усилителя, управляющий вход которого соединен с первым выходом вычислителя параметров имитации, а его выход соединен с сигнальным входом блока сдвига частоты, управляющий вход которого соединен со вторым выходом вычислителя параметров имитации, а его выход является выходом имитатора; выход амплитудного/пикового детектора соединен с первым входом анализатора-коррелятора и с первым входом вычислителя параметров имитации, четвертый выход которого соединен с управляющим входом предварительного

усилителя; выход частотного/фазового детектора соединен со вторым входом анализатора-коррелятора и с первым входом блока формирования задержки, выход которого соединен с управляющим входом переменной линии задержки, а второй вход блока формирования задержки соединен с третьим выходом вычислителя параметров имитации, второй вход которого соединен с выходом анализатора-коррелятора; вычислитель параметров имитации также имеет третий вход задающих параметров имитации по дальности, скорости и эффективной площади рассеяния имитируемой цели.

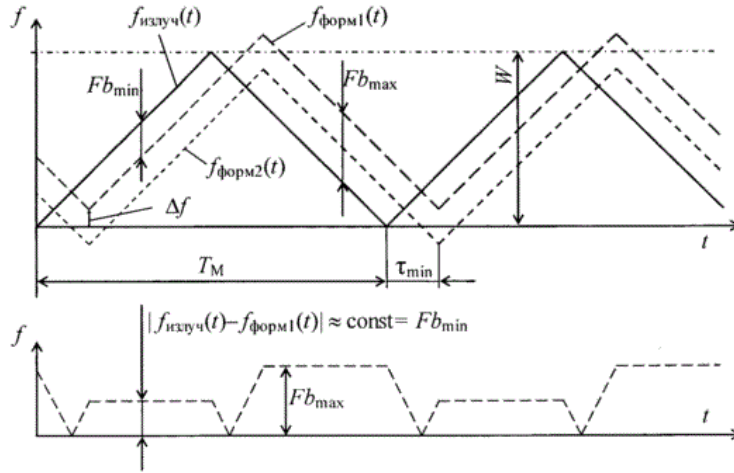
Имитатор радиолокационной цели



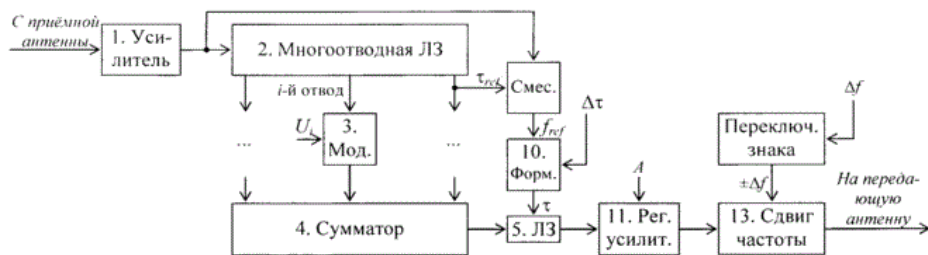
Фиг. 1.



Фиг. 2.

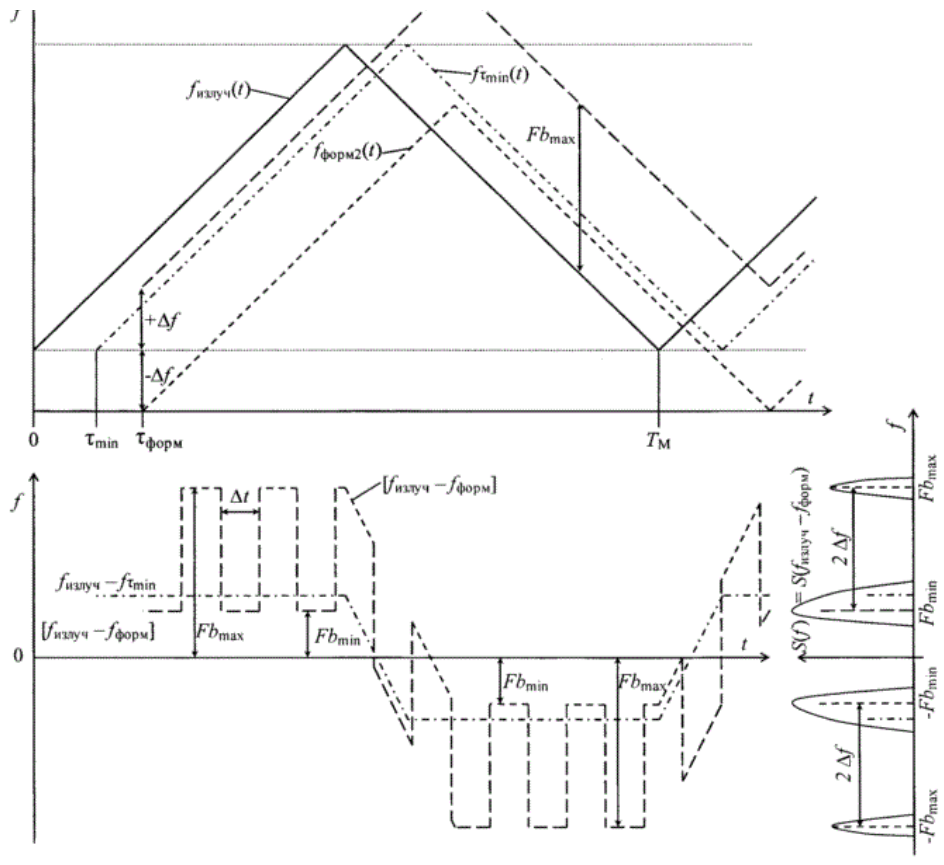


Фиг. 3.



Фиг. 4.

\uparrow $f_{\text{форм1}}(t)$



Фиг. 5.