

Сверхкороткоимпульсные зондирующие сигналы в системах ближней локации

А. Иванцов¹, М. Фабричный, к.т.н.², А. Федоров, к.т.н.³

УДК 621.396.96 | ВАК 2.2.2

Системы ближней радиолокации широко применяются как в гражданских (системы контроля доступа, парковки, охраны, освещения и др.), так и в военных областях (неконтактные датчики цели различного типа и назначения). Применение в лоаторах (радаров и лидаров) сверхкороткоимпульсных (СКИ) зондирующих сигналов позволяет значительно повысить разрешающую способность по сравнению с традиционными решениями и снизить заметность работы системы ближней локации. Тем самым повышается помехозащищенность таких систем от естественных, промышленных и организованных помех (например, сигналоподобных активных помех). В статье сравниваются три схемы сверхкороткоимпульсных радаров для систем ближней локации, обсуждаются их преимущества, недостатки и возможные применения.

Одна из относительно недорогих систем ближней радиолокации (СБРЛ) с низким энергопотреблением – радиолокатор с генератором видеозондирующих импульсов на основе дрейфовых диодов с резким восстановлением запирающих свойств (ДДРВ) [1]. Эта система отличается простой электрической схемой, не требующей сложных подстроек. Схема генератора содержит всего два основных активных элемента – запускающий транзистор и ДДРВ, позволяет формировать импульсы длительностью 100–150 пс с частотой повторения до 30 МГц и амплитудой до 30 В.

Разработка видео СКИ-локатора на основе ДДРВ стала возможной с созданием специализированной БИС I354XK7, реализующей функции управления генератором СКИ зондирующих импульсов и обработки отраженных от объекта локации сигналов. БИС, содержащая дельта-сигма АЦП, способна выполнять измерение амплитуды сверхкороткого отраженного сигнала путем обработки нескольких последовательно пришедших отраженных импульсов с временным разрешением не хуже 50 пс. Последовательный преобразователь с накопителем и усреднением результата позволяет значительно снизить энергопотребление системы при обработке сверхкоротких импульсов.

Большая ширина полосы СКИ-излучаемого видеосигнала, заметная часть энергии которого лежит в относительно

низкочастотной области спектра, не позволяет значительно уменьшить габариты антенной системы. Апертура оптимальной антенны должна быть сравнима со значением ct (c – скорость света, t – длительность импульса), что требуется для малогабаритных СБРЛ. Диаметр оптимальной плоской антенны (модифицированная антенна типа «Бабочка» [1]) составляет 80–100 мм при длительности импульса 100–200 пс.

Уменьшение габаритов антенны при использовании в радаре СКИ видеосигнала вызывает паразитные переотражения – звоны, сравнимые с уровнем полезного отраженного сигнала (рис. 1а). Это вызывает необходимость применять специальные технические решения для их компенсации: полосовую фильтрацию и вычитающие цифровые алгоритмы, которые могут быть реализованы с использованием БИС I354XK7, оснащенной дельта-сигма АЦП и процессорной системой.

В зависимости от применяемой антенной системы и схемы обработки видео СКИ-локатор обеспечивает высоты локации среднеотражающей поверхности (вспаханная земля, земля с травой, влажные малоотражающие поверхности (песок, гравий)) от 3 до 4–5 м [1]. Данная оценка высоты локации выполнена с помощью радиолокационных формул [2], скорректированных применительно к СКИ СБРЛ и идентифицированных путем сравнения с результатами экспериментальных измерений отраженных от поверхности сигналов [1]. Коррекция радиолокационных формул производилась путем суммирования спектральных составляющих СКИ-сигнала с учетом зависимости отраженной мощности и эффективной поверхности рассеяния от длины волны.

Области применения СКИ-радаров для СБРЛ расширяются при использовании СКИ-радара, работающего

¹ АО «НПО «Поиск», Московский филиал, начальник отдела.

² АО «НПО «Поиск», Московский филиал, старший научный сотрудник, FabrichniyMG@msc.npo-poisk.ru.

³ АО «НПО «Поиск», Московский филиал, директор.

на несущей частоте (радиочастотные и оптические системы ближней локации – радары и лидары). Переход к СКИ-радару, работающему на несущей частоте, позволяет оснастить локатор эффективной антенной с заданной диаграммой направленности, уменьшить, по сравнению с видео СКИ-радаром, паразитные звоны за счет лучшего согласования антенны в СВЧ-тракте.

СКИ-радар для СБРЛ с совмещенной антенной, работающей на передачу и прием, и приемником прямого усиления включает в себя традиционные блоки, но содержит СВЧ-генератор, модулируемый уже сверхкороткими импульсами, и приемный канал либо с быстродействующим переключателем «прием-передача», либо с делительными устройствами (прием-передача) на основе ферритового циркулятора, усилительным и детектирующим устройством.

Что касается выбора несущей частоты, то следует заметить, что заданная диаграмма направленности определяет коэффициент усиления антенны, а, исходя из радиолокационной формулы, уровень приходящего в приемную антенну сигнала при равных коэффициентах усиления на одной и другой частоте обратно пропорционален квадрату частоты и, таким образом, уменьшается с ростом частоты. С другой стороны, отраженный сигнал, определяемый удельной ЭПР, растет согласно [4] пропорционально десятичному логарифму частоты для частот выше 3 ГГц. Расчеты показывают, что при увеличении несущей частоты с 4 до 10 ГГц при одинаковых коэффициентах усиления антенны, равных четырем, для подстилающих поверхностей типа почвы с редкой травой, уровень отраженного сигнала уменьшается в 3,6 раза. Таким образом, необходимо выбирать более низкие несущие

частоты. Однако при этом может значительно вырасти размеры (апертура) антенны.

Ограничения на выбор той или иной несущей частоты накладываются возможностями элементной базы и, следовательно, возможностями предприятия-разработчика. Последнее обстоятельство зачастую является решающим при выборе несущей частоты.

Несущая частота сантиметрового диапазона макета радио СКИ-локатора (10 ГГц) выбрана исходя из имеющейся элементной базы разработчика приемно-передающей части – АО «Светлана-Электроприбор».

Для анализа предельных возможностей радио СКИ-радары были выполнены измерения ЭПР характерных поверхностей (земля с редкой травой, перекопанные участки земли, участки земли, закрытые упавшими ветками кустарника, асфальт), поскольку все известные в литературных источниках данные получены в условиях больших дальностей и относительно длинных импульсов (десятки нс и единицы мкс). Макет радио СКИ-радары содержал передатчик с импульсной мощностью 0,5 Вт и длительностью импульса 1 нс. В приемном канале использованы маломощный усилитель MSLA-20180-4.0 и блок обработки на основе широкополосного осциллографа типа MSO 71254C. Измерения ЭПР проводились локатором с разделенной передающей и приемной антенной (рупор с раскрытием 115x80 мм и длиной 170 мм). В результате получено, что измеренные значения ЭПР хорошо согласуются со значениями, приводимыми в известных источниках по традиционной радиолокации.

При использовании дискоконусной антенны (рис. 2, 3) в макете локатора с совмещенными каналами приема

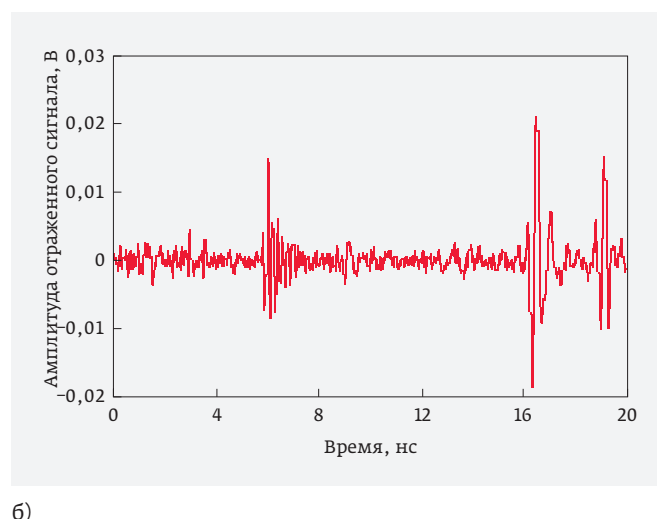
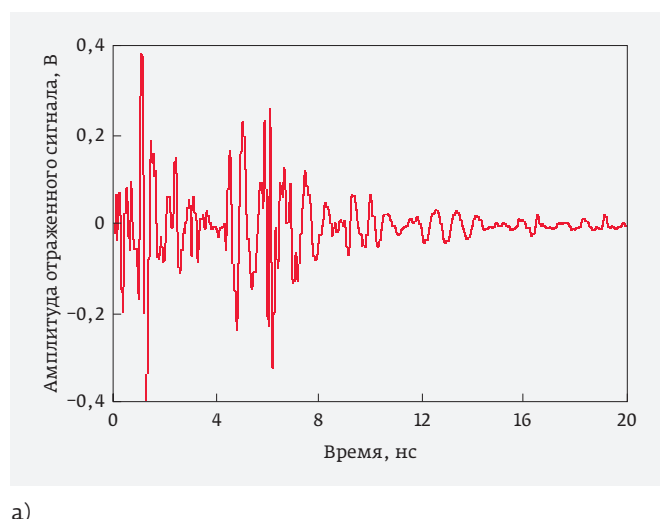


Рис. 1. Осциллограммы отраженного сигнала, измеренные на макете СКИ-радары высотомера: а – исходный принятый отраженный сигнал; б – сигнал после обработки вычитающим компенсатором (на осциллограммах импульс отраженного сигнала возникает в момент времени 16 нс)



Рис. 2. Специализированная дискокonusная антенна

и передачи с коэффициентом усиления в полосе частот излучаемого импульса, равным четырем, радар способен обнаружить облучаемые наземные поверхности на дальности от 3 м (подсохшая земля) до более 10 м (вскопанная земля, земля с ветками, недавно положенный асфальт) при отношении сигнал/шум по напряжению, равному трем-четырем.

При применении данного локатора в системах неконтактных датчиков цели [5], имеющих, например, воронкообразные диаграммы направленности, использующих щелевые волноводные антенны для локации воздушных целей, можно обеспечить дальности фиксации цели, как показывают расчеты, до 15 м даже с ЭПР порядка 1 м^2 [6].

Эксперименты, проведенные на макете локатора с использованием совмещенных каналов передатчика

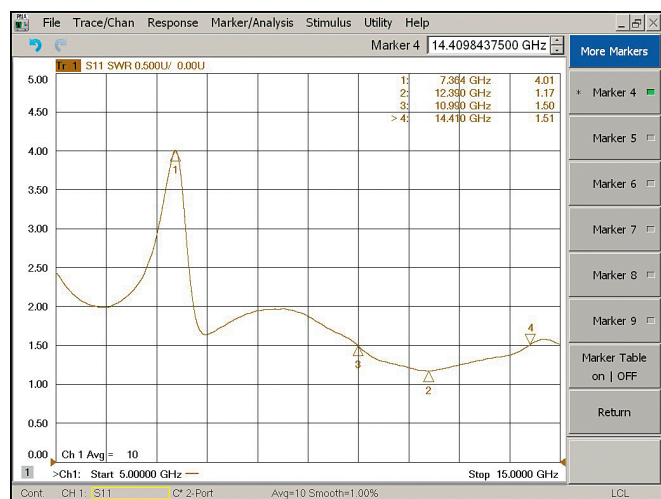
и приемника, делителя на основе СВЧ-циркулятора ФКЦН2-132Б (9–18 ГГц) разработки АО «Ферроприбор» и канала обработки на БИС 1354ХК7 и микропроцессоре СУ8С5267, подтвердили его возможности по лоцированию подстилающих поверхностей.

Радиочастотный СКИ-локатор содержит дорогостоящие СВЧ-узлы, его габариты могут быть уменьшены только при создании специализированных СВЧ-микросхем, например, с использованием гибридно-интегральной технологии. В современных условиях это реализуемо, однако требует постановки специализированных НИР и ОКР, оптимального выбора области применения и заказчика, а также соответствующего технико-экономического обоснования эффективности затрат. Следует отметить, что одна из возможных сфер применения таких систем в гражданском секторе – создание охранных зон для элитных жилищных построек, а в военном секторе – высокоточные неконтактные датчики целей.

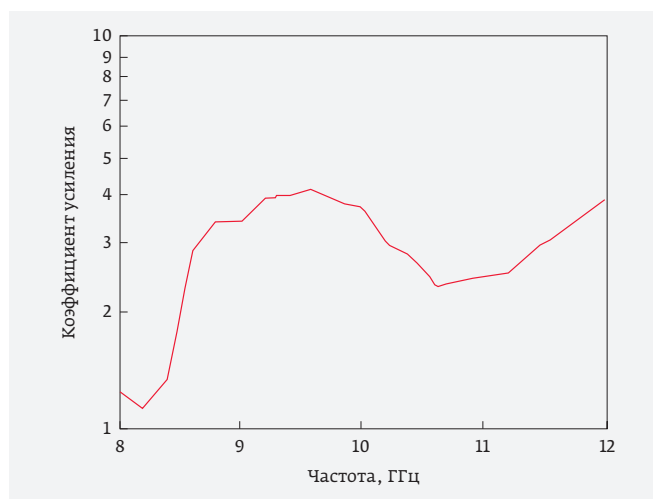
В заключение рассмотрим еще одну возможную структурную схему СКИ СБРЛ с зондирующим сигналом на несущей частоте, позволяющим упростить технические решения таких систем.

В настоящее время СКИ-локатор может быть построен с использованием оптической несущей – это так называемый СКИ-лидар. В ФТИ им. А.Ф. Иоффе были разработаны отечественные полупроводниковые лазерные генераторы пикосекундного диапазона. Один из вариантов лазера работает на длине волны 0,85...0,9 мкм, длительность импульса составляет 0,2 нс, мощность в импульсе – 10 Вт, потребляемый ток – 10 мА.

Для построения приемных устройств СКИ-лидаров компанией «АИБИ» при ФТИ им. А.Ф. Иоффе созданы оте-



а)



б)

Рис. 3. Характеристики дискокonusной антенны: а – зависимость КСВ от частоты; б – зависимость коэффициента усиления антенны от частоты

чественные сверхбыстродействующие фотоприемники, которые характеризуются следующими параметрами: пороговая чувствительность 10^{-10} Вт/(см·Гц^{1/2}), коэффициент преобразования до 1 А/Вт, полоса пропускания до 3...5 ГГц, чувствительная площадка 50 мкм, спектральная чувствительность в полосе 1,2...2,4 мкм.

При использовании вышеупомянутой БИС 1354ХК7 для обработки СКИ отраженного оптического импульсного сигнала появляется возможность построения компактного лидара.

Габариты СКИ-лидара определяются во многом оптическим объективом. Требуемый радиус входного зрачка объектива СКИ-локатора может быть оценен по методикам работ [8, 9] с использованием данных по отражательным характеристикам природных объектов [7] и вышеприведенных параметров лазерного генератора и быстродействующего фотоприемника.

На рис. 4 приведены графики высот обнаружения поверхностей в зависимости от радиуса входного зрачка. Графики построены при двух значениях обнаружительной способности фотоприемника лидара – $W_{\phi n} = 10^{-10}$ Вт/(см·Гц^{1/2}) и $W_{\phi n} = 10^{-11}$ Вт/(см·Гц^{1/2}).

Как показывают расчеты, уровень отраженного сигнала на выходе фотоприемного устройства (радиус входного зрачка 10 мм) на дальностях до 4 м при локации поверхностей со средним альбедо (0,5) составляет 1,5 мВ. Такой сигнал уверенно обнаруживается БИС 1354ХК7.

Достаточно компактное устройство оптического канала лидара СБРЛ, совмещающее передающий лазерный канал и приемный канал с фотоприемником, можно построить с использованием делительного кубика (рис. 5). При этом объектив оптической системы располагается на одной из граней кубика, приемный канал на противоположной грани, а лазерный генератор на перпендикулярной грани.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены три возможные схемы систем ближней локации двойного применения (системы доступа, парковки, охраны в гражданском секторе и неконтактных датчиков цели в военной сфере) с использованием СКИ зондирующего сигнала.

Первая схема использует принципы видео СКИ-радиолокации на основе задающего генератора с ДДРВ.

Вторая строится по традиционной схеме импульсного радиолокатора с несущей частотой с совмещенной приемо-передающей антенной и использованием узлов, настроенных на обработку СКИ-сигнала.

Третья схема использует оптическую несущую.

Все схемы ориентированы на обработку отраженного СКИ-сигнала с помощью БИС, оснащенной дельта-сигма АЦП.

Наиболее простая и отработанная, первая схема с генератором на основе ДДРВ, обеспечивает высоты

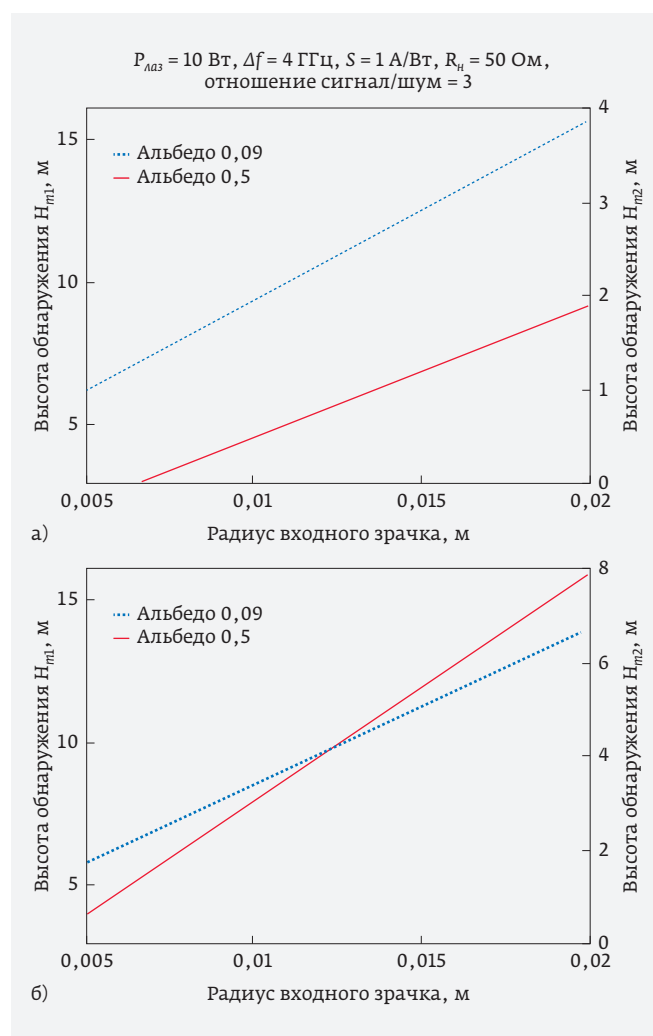


Рис. 4. Графики зависимости высот обнаружения от радиуса входного зрачка для двух значений альбедо (0,5 и 0,09): а – при $W_{\phi n} = 10^{-10}$ Вт/(см·Гц^{1/2}); б – при $W_{\phi n} = 10^{-11}$ Вт/(см·Гц^{1/2})

обнаружения поверхностей до 4–5 м. Погрешность фиксации высоты, определяемая СКИ-импульсом и схемой обработки на основе БИС 1354ХК7, составляет 20–30 см.

Одно из возможных применений более сложной, второй схемы, использующей радиоимпульсный СКИ зондирующий сигнал, – устройства охранных зон для элитных жилищных построек или неконтактные датчики цели. Последнее применение может обеспечить дальность фиксации цели до 15 м.

Промежуточное положение по конструктивной сложности занимает третья схема СКИ-локатора с оптической несущей. В настоящее время есть все предпосылки для создания относительно недорогого лидара приемлемых габаритов для использования в системах ближней локации с дальностями фиксации поверхностей до 3–4 м и погрешностью определения дальности до 10–20 см.

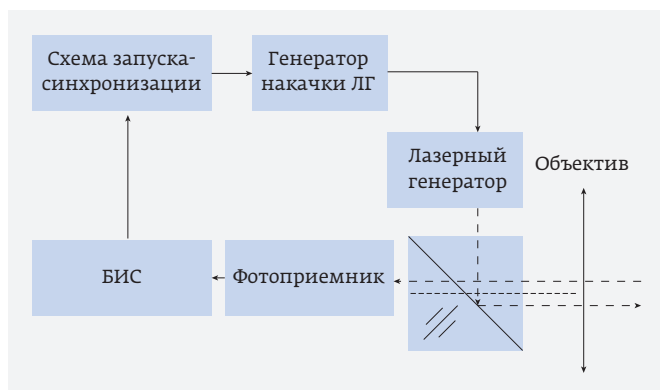


Рис. 5. Структурная схема СКИ оптического дальномера – лидара с совмещенными передающим и приемным каналами

ЛИТЕРАТУРА

1. **Андрюшин О.Ф., Иванцов А.А., Фабричный М.Г.** Отличительные особенности построения сверхширокополосных видеоимпульсных радаров // Боеприпасы. 2018. №12.
2. **Дулевич В.Е.** Теоретические основы радиолокации. М.: Сов. Радио, 1964.
3. **Мельник Ю.А.** Радиолокационные методы исследования Земли. М.: Сов. Радио, 1980.
4. **Кулемин Г.П., Горошко Е.А., Тарнавский Е.В.** Пространственно-временные характеристики обратного рассеяния от земной поверхности // Успехи современной радиоэлектроники. 2004. №12.
5. **Перунов Ю.М., Мацукевич В.В., Васильев А.А.** Зарубежные радиоэлектронные средства. М.: Радиотехника, 2010. Кн. 1–4.
6. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / Под. ред. Сухаревского О.И. Харьков: ХУВС, 2009.
7. **Чапурский Л.И.** Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400...2500 нм. М.: Министерство обороны СССР, 1986.
8. Сигналы и помехи в лазерной локации / Под ред. Зуева В.Е. Радио и Связь, 1985.
9. **Белов М.Л., Городничев В.А., Алехин В.А.** Мощность лазерного локационного сигнала, отраженного от неровной земной поверхности в условиях замутненной атмосферы // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, серия Приборостроение. 2017. №3.

IF/RF & Microwave Design

advantex UNO-2XM 100 кГц – 21 ГГц

Малошумящий синтезатор частот

Уровень фазового шума: -140 дБн/Гц
при отстройке 10 кГц @1 ГГц

Время перестройки: < 60 мкс

Шаг перестройки: 0.0001 ГГц

Мощность выходного сигнала:
-10..+15 дБм, шаг 0,5 дБ

Опорный сигнал: 1-250 МГц

Выход опорной частоты: 10/100 МГц

Рабочий диапазон: -40...+60 °С

Габаритные размеры:
30,5 × 87,5 × 195,0 мм



Электронный каталог

www.advantex.ru/docs/adx_catalog_ru.pdf
 Разработано и
 произведено в России!
www.advantex.ru

www.monolit.by

Монолит

ВИТЕБСКИЙ ЗАВОД РАДИОДЕТАЛЕЙ

**МНОГОСЛОЙНЫЕ
КЕРАМИЧЕСКИЕ
КОНДЕНСАТОРЫ**

**ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ
ПРОДУКЦИЯ**

для высоконадежной аппаратуры

ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ

с положительным температурным
коэффициентом сопротивления

**РЕГИСТРЫ
НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ**

Республика Беларусь, 210101,
г. Витебск, ул. М. Горького, д. 145
Телефон: +375 (212) 36-45-05 (приемная)
Факс: +375 (212) 36-44-07
E-mail: info@monolit.by

Конструкторско-технический отдел:
Телефон: +375 (212) 36-44-21
E-mail: kto@monolit.by

Отдел маркетинга и сбыта
Маркетинг:
Телефон: +375 (212) 36-44-52
E-mail: marketing@monolit.by
Сбыт:
Телефон: +375 (212) 36-45-34;
+375 (212) 36-45-42
E-mail: sales@monolit.by

www.monolit.by