

## Структура экспериментального образца сверхширокополосного короткоимпульсного радиолокатора

М.В. Головачев, А.В. Кочетов, О.С. Миронов, П.С. Панфилов, В.А. Сарычев, И.М. Хомяков

ОАО «НПП «Радар ммс», Санкт-Петербург, Новосельковская,37, [radar@radar-mms.com](mailto:radar@radar-mms.com).

*В докладе предлагается структурная схема сверхширокополосного короткоимпульсного радиолокатора, приводятся некоторые характеристики отдельных блоков, результаты электродинамического моделирования и испытаний.*

В настоящее время резко возрос интерес к широкополосным и сверхширокополосным сигналам типа импульсов очень короткой длительности (порядка нано- и пикосекунд). С использованием сверхширокополосных (СШП) сигналов удалось реализовать информационные технологии, которые вообще не имеют конструктивных аналогов в рамках традиционных подходов. Важность данной проблематики подчеркивает тот факт, что сегодня любая конференция по электросвязи обязательно организует секцию по использованию сверхширокополосных сигналов. То же самое можно сказать о радиолокации, электромагнитной совместимости и радиоэлектронной борьбе. Кроме того, с 2003 года проводится всероссийская научная конференция "Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике" [1, 2, 3]. Важность исследования сверхширокополосных сигналов так же подчеркивает часто цитируемое заключение американских стратегов: «Страна, первой вышедшая на широкое использование технологий сверхширокополосной короткоимпульсной электродинамики, получит качественное преимущество перед другими, особенно заметное в военной области». Ход развития радиоэлектронных средств за последние года убеждает в правоте этого утверждения.

Область применения СШП технологии поистине огромна.

В первую очередь это электросвязь [4, 5]. В последнее время электросвязь стала самой значительной и быстроразвивающейся областью радиоэлектроники. Это, конечно, связано с бурным развитием цифровой техники и с еще более бурным спросом на портативные устройства вроде мобильных телефонов, карманных компьютеров и т.д. Так же, в последнее время, на прилавках магазинов все чаще стала появляться беспроводная компьютерная периферия. Преимущества подобных систем очевидны: мобильность периферийных устройств, удобство их подключения, отсутствие проводов, занимающих место на рабочем столе. Таким образом бурный рост числа устройств, каждое из которых работает в одном, а то и в нескольких частотных диапазонах сразу, в скором времени приведет к жесткому дефициту спектральных ресурсов, который начинает ощущаться уже сейчас.

Именно здесь на передний план выходит технология СШП радиосвязи, основанная на излучении коротких импульсов в огромной диапозоне. При этом, излученный спектр практически равномерно размещен в полосе частот в несколько гигагерц и подобен «белому» шуму. Таким образом, СШП сигнал не оказывает воздействия на традиционные узкополосные системы и даже на системы с расширенным спектром. В свою очередь, сигналы традиционных систем можно рассматривать как узкополосную помеху, которая не сможет вывести из строя весь канал.

Со спектром СШП сигнала связана еще одна его особенность - возможность скрытой связи. Любое стандартное приемное устройство сможет принять лишь очень малую часть излученного сигнала, которая, как правило, будет ниже уровня естественного шума. Поэтому даже сам факт существования канала связи не может

быть обнаружен, не говоря уже о его расшифровке. Сегодня в США фирмой Time Domain Systems (TDS) продемонстрирована армейская связная система с криптозащитой, которая исключает даже теоретическое прослушивание радиоканала.

Незаменимы СШП радиосигналы и в области радиоэлектронной борьбы. Это связано с тем, что СШП импульсное излучение имеет существенно большую проникающую способность, чем любые другие типы радиосигналов. Широкий спектр сигналов повышает вероятность блокировки или уничтожения схем или их отдельных узлов вследствие эффектов резонанса. Большие уровни импульсной мощности позволяют наводить импульсные сигналы, соизмеримые с сигналами внутренней синхронизации «умных» систем, и осуществлять непосредственное воздействие на «мозг» системы, вызывая серьезные нарушения в ее работе.

Однако, все вышеперечисленные свойства прекрасно подходят для использования в сверхширокополосном радиолокаторе [6, 7, 8, 9]. В физическом смысле СШП радиолокация ничем не отличается от стандартных технологий радиолокации, применяемых сегодня. Основной особенностью этого типа радиолокации является использование нового типа СШП импульсного сигнала без несущей частоты, который и определяет все ее новые свойства. Радиолокация с использованием СШП радиосигналов удовлетворяет всем основным современным требованиям: высокое пространственное разрешение цели вплоть до получения ее радиоизображения; высокая скрытность процесса радиолокации; предельно достижимая помехозащищенность; нейтрализация новейших технологий «радионевидимости» типа «Стелс».

В данной статье приведено описание широкополосной когерентной РЛС дециметрового диапазона длин волн (ДМВ), у которой в качестве передатчика используется генератор СКИ.

Структурная схема СКИ РЛС приведена на рис. 1.

Для повышения чувствительности приемного тракта и возможности когерентной обработки принимаемых сигналов приемная часть выполнена по схеме двойного (инфрадинного) преобразования частоты. К фазе опорного генератора привязаны фазы двух гетеродинов, обеспечивающих инфрадинный перенос частот, и запуск генератора СКИ. Такая схема построения РЛС обеспечивает распределение усиления в приемном тракте - в УВЧ, УПЧ и ВУ и высокую чувствительность устройства. Обеспечивается возможность когерентной обработки принимаемых импульсов с учетом фазы отраженных эхо-сигналов.

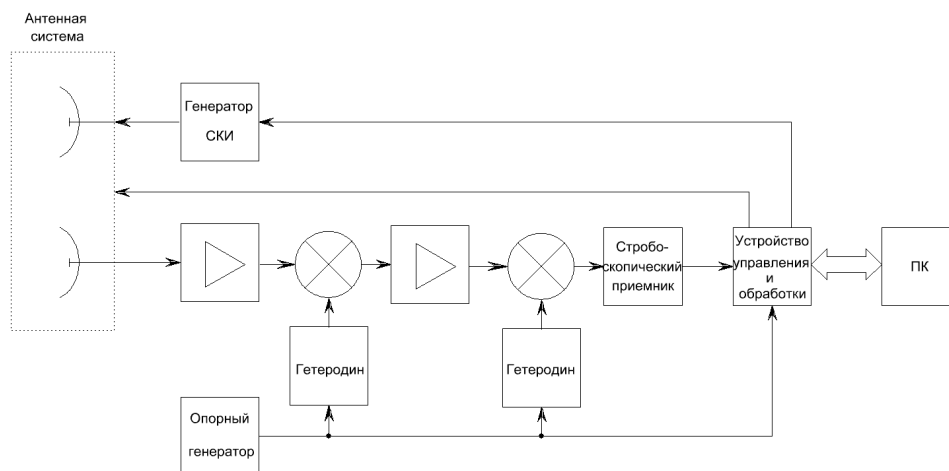


Рис. 1. Структурная схема широкополосной короткоимпульсной РЛС

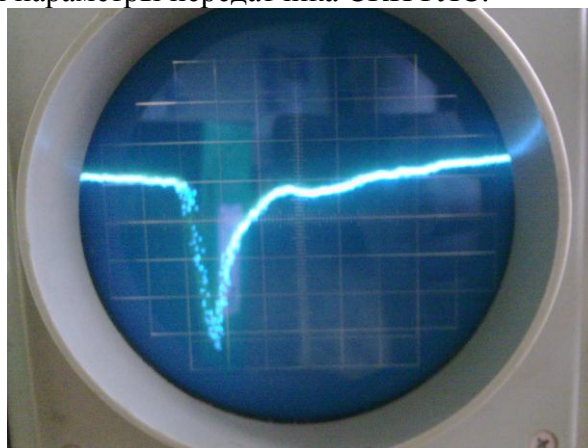
Квадратурная обработка принимаемых импульсов может быть получена либо параллельным приемом квадратурных компонент сигнала, либо последовательным приемом  $\sin / \cos$  - составляющих.

Прием и обработка РЛ сигналов производится на стробоскопический осциллограф, сопряженный с персональным компьютером.

В качестве передатчика СКИ РЛС используется генератор СКИ. Внешний вид передатчика приведен на рис.2. Форма импульса, вырабатываемая передатчиком, приведена на рис.3. В таблице 1 приведены параметры передатчика СКИ РЛС.



**Рис. 2. Внешний вид передатчика СКИ РЛС.**



**Рис. 3. Форма импульса передатчика СКИ РЛС. Сопротивление нагрузки 50 Ом**

Таблица 1. Параметры генератора СКИ

Амплитуда импульса, В	450
Длительность импульса (по уровню 0,5), нс	1,6
Длительность переднего фронта, нс	1,5
Длительность заднего фронта, нс	4
Амплитуда импульса запуска, В	5
Длительность импульса запуска, мкс	1
Напряжение питания, В	48
Частота повторения зондирующих импульсов, мгц	$\leq 1$

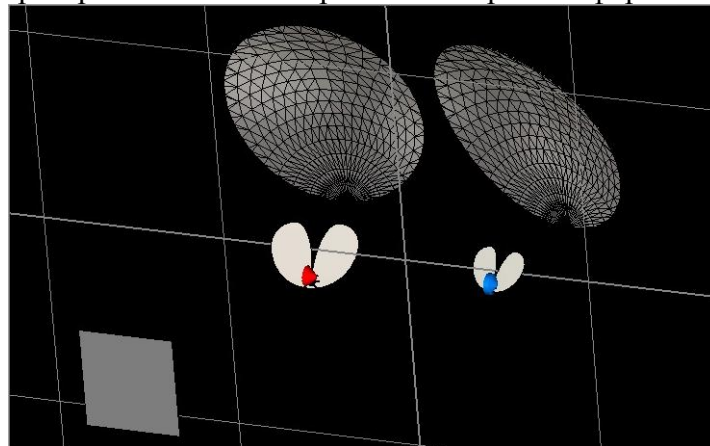
Импульсы, формируемые передатчиком СКИ РЛС, занимают широкую полосу частот. Однако в свободное пространство излучаются радиоимпульсы, формируемые антенной системой СКИ РЛС.

Для излучения СКИ сигналов в свободное пространство и приема отраженных эхосигналов разработана антенная система, представленная на рис.4.

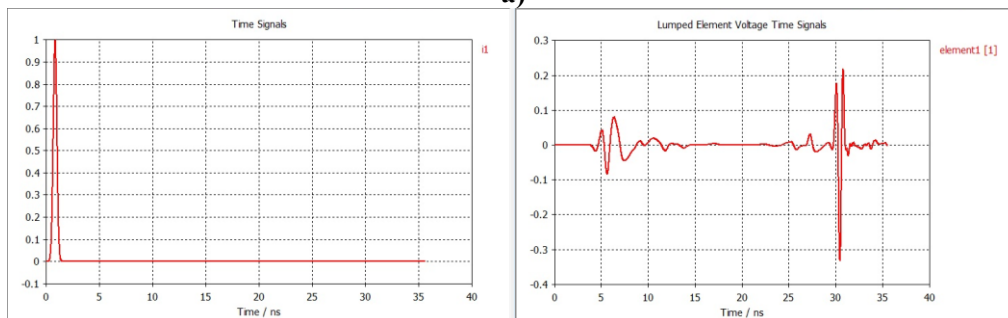


**Рис. 4. Антенная система СКИ РЛС**

Результаты машинных расчетов в пакетах программ электродинамического моделирования CST Microwave Studio и xfdtd показывают, что в процессе возбуждения и излучения электромагнитных волн антенными системами, возбуждаемыми короткими импульсами, происходит последовательное дифференцирование формы радиолокационного сигнала. На рис.5 приведены результаты расчетов сигналов, возникающих при переотражении от РЛ отражателей простой формы.



**а)**



**б)**

**Рис. 5. Численное электродинамическое моделирование работы СКИ РЛС.**  
**а) - взаимное расположение антенн и РЛ отражателя; б) - вид сигнала передатчика и вид сигнала на входе приемника**

Таким образом, в процессе излучения и последовательного дифференцирования формы переотраженного радиолокационного сигнала, на входе приемника наблюдается сигнал, центральная частота спектра которого смещается в сторону высших частот, а ширина спектра частот уменьшается [10, 11, 12]. С одной стороны это облегчает задачу последующего приема и обработки отраженного сигнала, а с другой стороны – несколько ухудшает потенциальное разрешение по дальности.

На рис. 4 видно, что на излучение используются две зеркальные антенны с облучателями, а на прием – тоже две аналогичных антенны, которые использованы в качестве облучателей зеркальных.

Поляризация излучения и приема электромагнитных волн в макете СКИ РЛС горизонтальная.

Прием и обработка РЛ информации в макете СКИ РЛС осуществляется под управлением ПК.

Программа позволяет снимать сигналы, принимаемые антенным трактом, производить их вторичную обработку и выводить их графическое отображение на экран.

Программа дает возможность установить параметры проводимого измерения, такие как шаг сканирования, количество точек дискретизации измерения по дальности и точек накопления. С ее помощью осуществляется поворот антенны в автоматическом и ручном режиме, что дает возможность проводить измерения на интересующем углу обзора и снимать полную радиолокационную картину.

В автоматическом режиме производится снятия информации впредь до окончания накопления по заранее установленным параметрам. Режим сканирования производит снятие сигналов с требуемым накоплением на определенном секторе обзора с заданным шагом поворота антенны.

Динамически изменяющийся график является отображением оцифрованного сигнала, снимаемого со стробоскопического приемника (рис. 6).

Программа позволяет отобразить сигналы по выбираемому углу в виде функций времени и частоты, подключить интересующий нас фильтр и вывести результат фильтрации на экран (рис. 7). Предоставляется выбор из фильтров нижних и верхних частот, полосового, режекторного фильтров и фильтра Габора. Фильтр Габора производит оконное преобразование сигнала гауссовским окном в частотной области.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что фильтр Габора близок к оптимальному для коротких импульсов и лишь на 3 дБ уступает согласованной фильтрации по характеристике появления ошибочных битов (BER) [13].

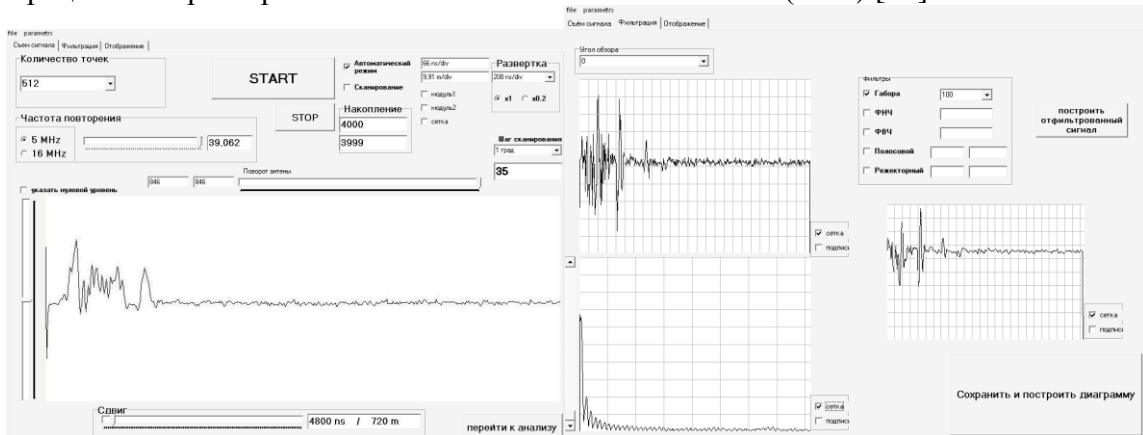


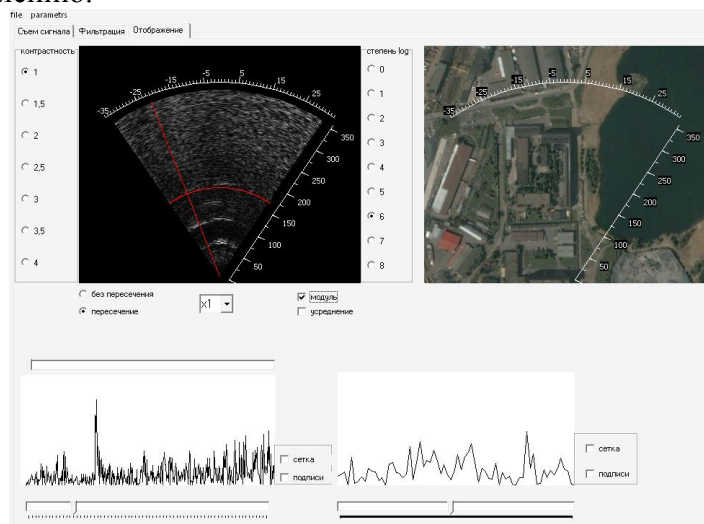
Рис. 6. Прием сигнала

Рис.7. Фильтрация



Окончательным результатом является построенная радиолокационное изображение (рис. 8). В программе присутствуют панели выбора контрастности отображаемой радиолокационной картины и выбора функции временного усиления. В качестве функций временного усиления используется функция логарифма по времени, возводимая в требуемую степень. Использование данных панелей дает возможность пронаблюдать цели, находящиеся на большем удалении.

Программа позволяет добавлять на радиолокационную картину передвижные линии пересечения, которые дают возможность просмотреть сигналы по выбранным дальности и направлению.



**Рис.8. Отображение**

Программа позволяет работать с матрицей сигналов, которая была снята в предыдущих сессиях открытия программы. Универсальность формата, в котором сохраняется матрица сигналов, дает возможность продолжать работу с информацией, снятой с радиолокатора, в любых интересующих математических пакетах.

### Литература

1. Сборник докладов всероссийской научной конференции "Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике", Муром, 2003.
2. Сборник докладов всероссийской научной конференции «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации связи и акустике», Муром, 2006.
3. Сборник докладов всероссийской научной конференции «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации связи и акустике», Муром, 2010
4. D. Porcino, W. Hirt Ultra-Wideband Radio Technology: Potential and Challenges Ahead. //IEEE Communications. 2003. Vol. 41, No 7. С. 66-74
5. «Рыночные» технологии сверхширокополосной электросвязи / В.А. Сарычев, М.В. Головачев, А.В. Кочетов, О.С. Миронов // Электросвязь, №4. 2010. 52-56
6. Сверхширокополосные сигналы в интегрированных SDR системах. / Г.В. Анцев, О.С. Миронов // Информационно-измерительные и управляющие системы №11. 2010. 3-5
7. Технологии, использующие сверхширокополосные сигналы, разработанные в ОАО «НПП «Радар ммс». / М.В. Головачев, А.В. Кочетов, О.С. Миронов, П.С. Панфилов // В книге Анцев Г.В., Цель – прогресс и процветание. – спб.: Издательско-торговый дом «СКИФИЯ», 2010, 439-442
8. Сверхширокополосные радиолокационные измерители. Учебное пособие. / Л.Ю. Астанин, А.А. Костылев - Министерство обороны СССР, 1983. - 221 с.

9. Сверхширокополосные радары. Особенности и возможности. / И.Я. Иммореев // Радиотехника и электроника – 2009. - том 54, №1 - С. 5-31.
10. Излучение сверхкоротких импульсов зеркальными антеннами А.Д. Французов 65-я Научно-Техническая конференция, посвященная дню радио. Труды конференции (Санкт-Петербург 20-27 апреля 2010 г.), 2010. 8-9.
11. Сарычев В.А., Головачев М.В., Кочетов А.В., Миронов О.С. Расчет диаграммы направленности апертурной антенны, возбуждаемой сверхкороткими импульсными сигналами. Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред / Науч. Совет по распространению радиоволн; Муром. Ин-т Влад. Гос. Ун-та. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ влгу, 2009. Сс 61-73
12. Головачев М.В., Кочетов А.В., Миронов О.С. Переотражение сверхкоротких импульсов на элементарных радиолокационных отражателях // Труды Четвертой Всероссийской Научной конференции «Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред» Муром, 30 июня – 3 июля 2009 г. С. 379-382
13. Б. Складар. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Вильямс, М., СПб, Киев, 2003.