

## **Передающая и приемная антенная решетка с электрическим сканированием сверхкороткоимпульсной РЛС**

А.В. Кочетов, К.Г. Лукашов, П.С. Панфилов, В.Л. Райский

ОАО «НПП «Радар ммс»

Санкт-Петербург, Новосельковская,37, radar@radar-mms.com.

*Исследована конструкция передающей и приемной антенной решетки с электрическим сканированием сверхкороткоимпульсной РЛС. Получены радиолокационные изображения местности в дециметровом диапазоне длин волн. Показано появление дифракционных лепестков передающей антенной решетки при наблюдении протяженных целей и подавление дифракционных лепестков изменением шага приемной антенной решетки сверхкороткоимпульсной РЛС.*

Теоретически возможности электрического сканирования диаграммы направленности передающей антенной решетки при излучении сверхкоротких импульсов показаны в [1]. Электрическое сканирование диаграммы направленности передающей антенной решетки осуществляется во временной области. В этом случае каждый излучающий элемент антенной решетки возбуждается своим генератором сверхкоротких импульсов, а перемещение луча передающей антенной решетки в свободном пространстве производится посредством введения временной задержки запуска генераторов СКИ.

Реализация режима электрического сканирования передающей СКИ антенной решетки приведена в [2], где режим электрического сканирования реализован с использованием микросхемы AD4565. Приведенная в [2] аппаратная реализация электронного сканирования передающей антенной решетки СКИ не обеспечивает автономный контроль функционирования передающих модулей СКИ генераторов по сигналу обратной связи от сформированного импульса. С другой стороны, приемная антенная решетка, построенная с использованием волоконно-оптических преобразователей, формирует энергетическую диаграмму направленности как интегральную во времени характеристику воздействия падающей электромагнитной волны на приемные элементы антенной решетки.

Для работы СКИ РЛС необходимо формировать пространственно-временную диаграмму направленности с учетом амплитудно-фазовых соотношений электромагнитных волн, излучаемых в свободное пространство передающей антенной решеткой и падающих электромагнитных волн из свободного пространства на приемную антенную решетку.

На рис. 1. приведена блок-схема СКИ РЛС с электрическим сканированием луча.

Антенная система СКИ РЛС представлена 4-х элементной передающей антенной решеткой и 6-ти элементной приемной антенной решеткой. В качестве элементов антенной решетки выбраны СКИ излучатели линейной поляризации [3].

Излучатели передающей антенной решетки подключены к выходам генераторов СКИ. Вход генераторов СКИ подключен к системе управления сканированием и задержки запуска генератора СКИ. Генератор СКИ имеет выход обратной связи для контроля момента формирования СКИ на выходе генератора.

Система управления сканированием выполнена на основе микросхемы LKM04906. Шаг временной задержки запуска генераторов СКИ составляет 25 пс. Исходя из того, что элементы антенной решетки размещены на расстоянии 600 мм, шаг электронного перемещения луча в свободном пространстве составит  $1.43^\circ$ . В режиме калибровки

система управления сканированием определяет начальные задержки запуска генераторов СКИ для синхронного формирования импульса излучения от всех генераторов.

Аналоговый приемник СКИ РЛС построен по схеме, предложенной в [4], и подключен к приемной антенной решетке через коммутатор. Квадратурный выход аналогового приемника подключен к двухканальному аналого-цифровому преобразователю (АЦП). Цифровой поток данных радиолокационного зондирования поступает через блок управления на персональный компьютер (ПК).

Программа управления и обработки данных выставляет фронт волны излучения передающей антенной решеткой на заданный угол, формирует электрическую задержку фронта волны передающей антенной решеткой относительно положения коммутатора приемной антенной решетки, производит накопление радиолокационной информации и синтезирование апертуры приемной антенной решетки в заданном направлении.

Электрического сканирования луча в приемной антенной решетке (АР) поясняется на рис. 2. Положение коммутатора синхронизировано с начальной задержкой фронта волны излучения передающей АР таким образом, что радиолокационные сигналы поступают в приемные элементы с заданного направления синхронно.

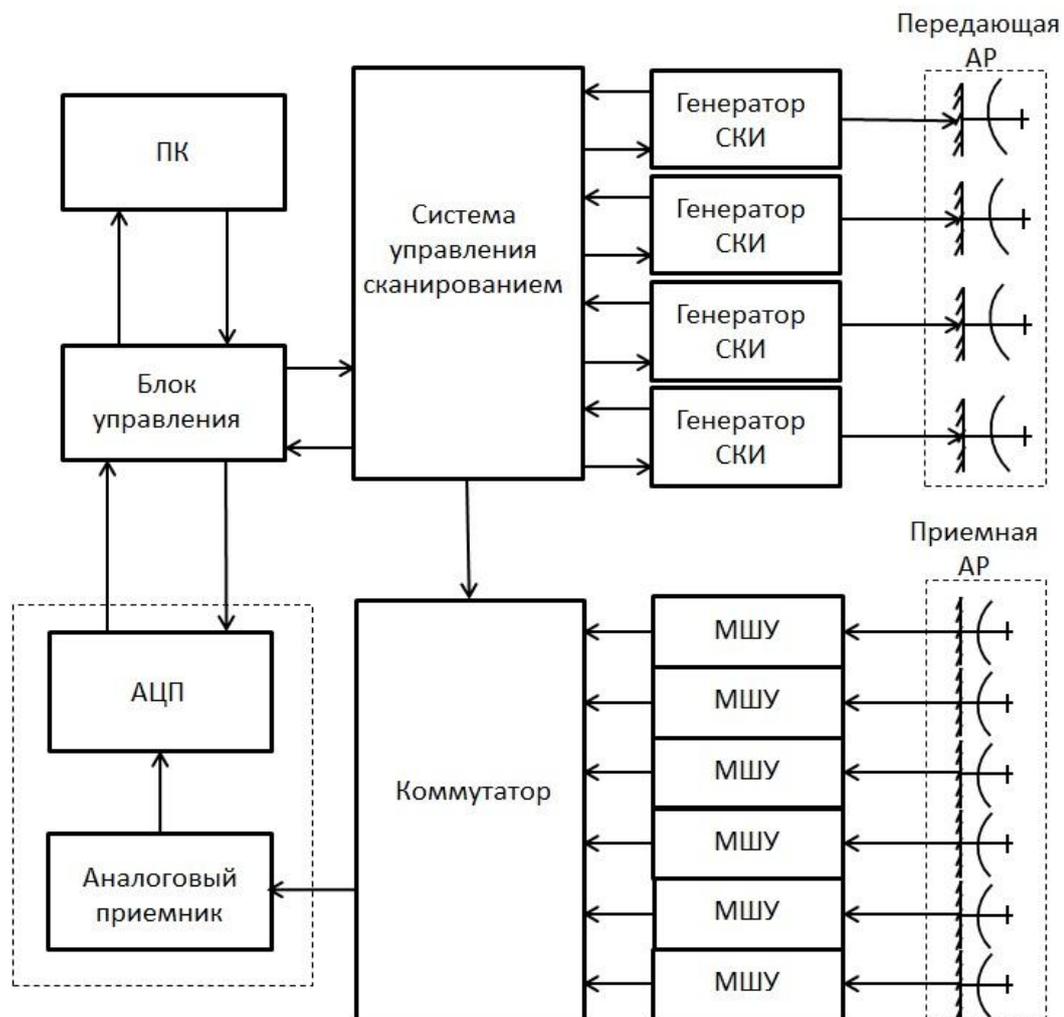


Рис. 1. Блок-схема СКИ РЛС с электрическим сканированием луча.

Коммутатор поочередно подключает приемные элементы АР к приемнику РЛС. В ПК производится накопление и запоминание зондирующих РЛ сигналов. По окончании цикла коммутации в ПК производится суммирование запомненных отсчетов и отображение радиолокационной информации с заданного направления.

Из-за смещения спектра частот отраженных от целей импульсов электромагнитных волн в сторону высших частот, антенные элементы приемной АР и шаг размещения приемных элементов могут быть уменьшены. Это обстоятельство позволяет эффективно бороться с появлением дифракционных максимумов в результирующей диаграмме направленности антенной системы СКИ РЛС.

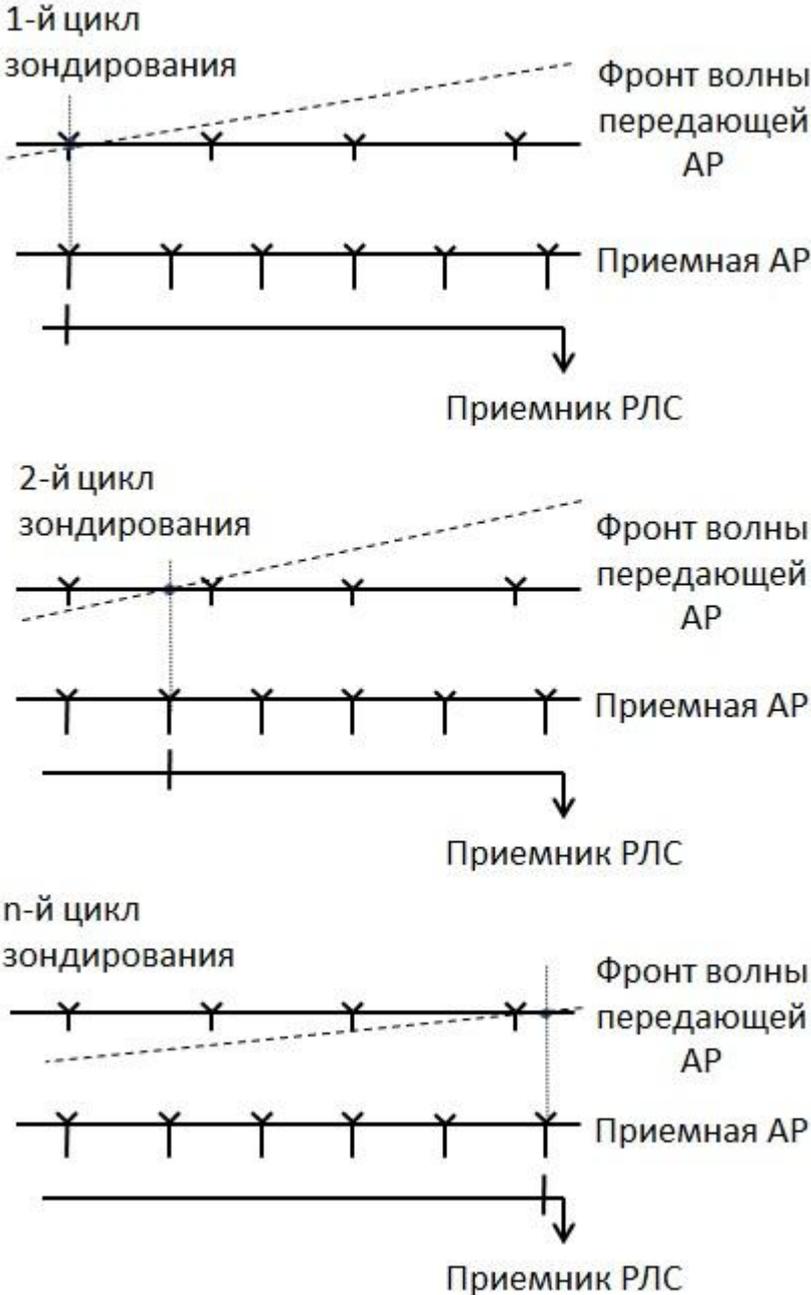
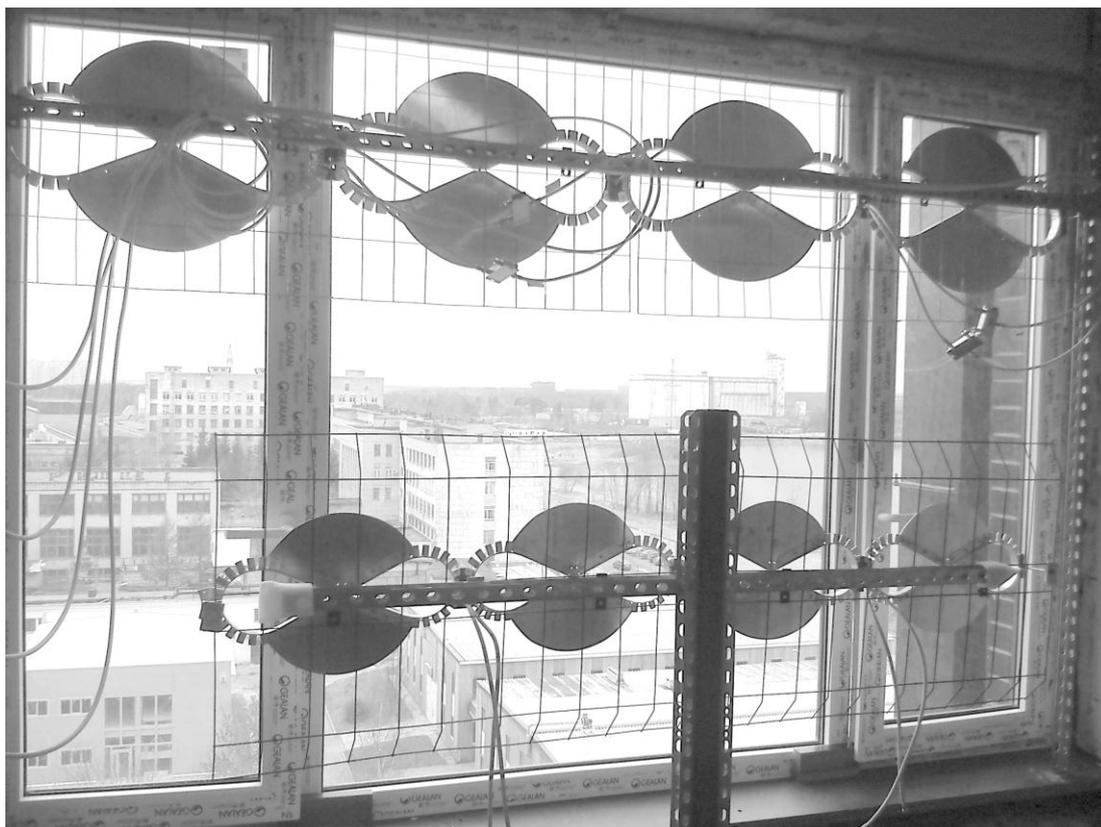


Рис. 2. Электрическое сканирование луча в приемной антенной решетке.

На рис. 3. приведена фотография антенной системы СКИ РЛС с электрическим движением луча.

Антенная система представляет собой две антенных решетки – передающая АР и приемная АР. Антенные элементы решеток выполнены разных размеров. Для передающей АР размер антенного элемента составляет 600 x 500 мм. Шаг размещения элементов передающей АР равен 600 мм. Размеры антенных элементов приемной АР уменьшены в масштабе 1:1.5. Шаг размещения элементов приемной АР – 400 мм.

Входное сопротивление антенных элементов передающей и приемной АР соответствует 75 Ом.



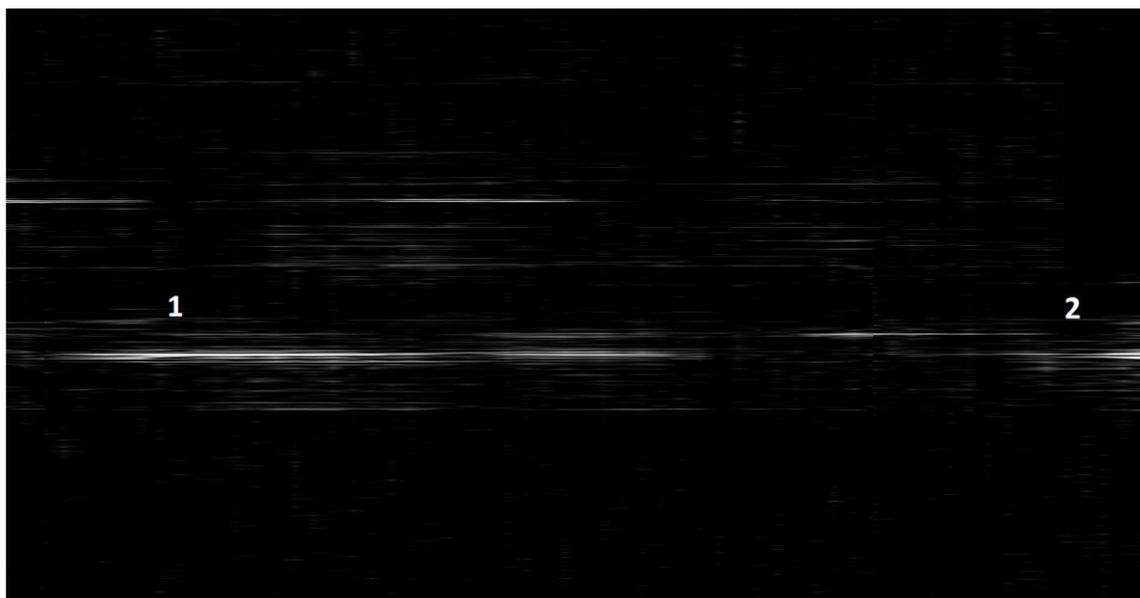
**Рис. 3. Передающая АР и приемная АР с электрическим сканированием.**

На рис. 4. приведено радиолокационное изображение местности, полученное при электрическом сканировании луча передающей антенной решеткой. Прием ведется на один из элементов приемной АР.

Сектор сканирования составляет  $\pm 45^\circ$ .

Радиолокационная дальность до целей составляет 3 км.

На радиолокационном изображении отчетливо видны дифракционные лепестки передающей антенной решетки. Дифракционные лепестки обусловлены шагом излучающих элементов передающей АР. Эти дифракционные лепестки в наибольшей степени проявляются при наблюдении протяженных радиолокационных целей, так как при СКИ зондировании отраженные от них импульсы накладываются друг на друга.



**Рис.4. Радиолокационное изображение местности СКИ РЛС:  
1 – основной лепесток передающей АР  
2 – дифракционный лепесток передающей АР.**

Длина волны электромагнитного колебания, поступающего на вход приемных элементов, оценивалась экспериментально и составила величину 0.8 м. Оценка длины волны электромагнитного колебания производилась на приемной антенне способом ее перемещения вдоль направления распространения ЭМВ. При этом с использованием преобразования Гильберта проводилось измерение фазы принимаемого сигнала.

Таким образом, параметры зондирующего импульса СКИ РЛС оцениваются следующим величинами:

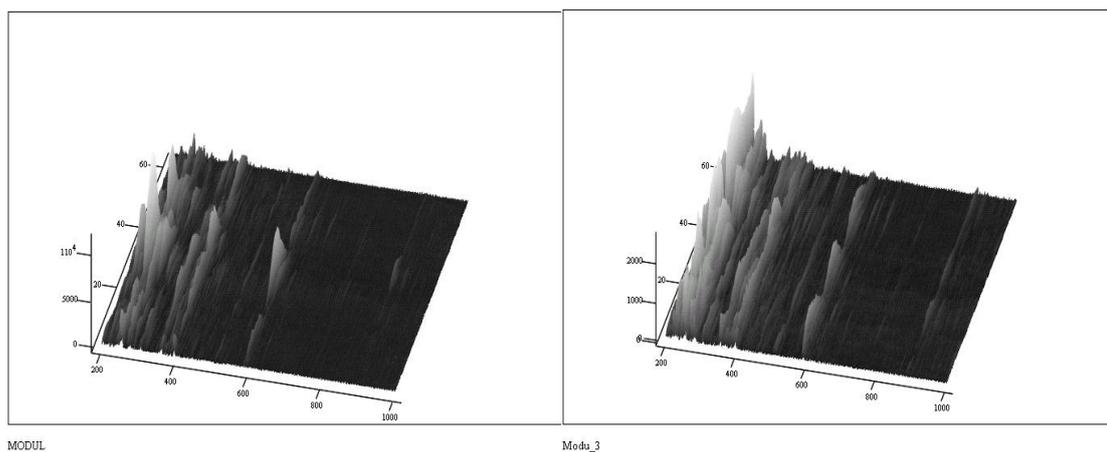
пространственная длительность импульса – 2 м.

длина волны ВЧ заполнения импульса – 0.8 м.

Ширина диаграммы направленности передающей АР оценивается величиной 15°.

На рис. 5. приведено радиолокационное изображение прилегающей местности в диапазоне дальностей 120 - 600 м, полученное в среде Mathcad после обработки сигналов с выходов 6-ти приемных элементов. Видно существенное снижение уровня дифракционных лепестков на изображении и обострение результирующей диаграммы направленности СКИ РЛС.

Коммутационный режим электрического сканирования диаграммы направленности приемной антенной решетки СКИ РЛС, по сути, представляет собой режим электронного синтезирования апертуры антенной системы радиолокатора. Антенные элементы передающей и приемной АР могут быть расположены на любой поверхности, а синтез апертуры антенной системы РЛС может осуществляться с учетом реальных задержек возбуждения антенных элементов и формирования антенного луча в заданном направлении.



а)

б)

**Рис. 5. Радиолокационное изображение местности.**  
**а) результирующее изображение после обработки шести приемных элементов**  
**б) изображение после обработки одного приемного элемента.**

Предложенный способ формирования диаграммы направленности приемной АР существенно упрощает построение СКИ РЛС - у таких РЛС нет сложных диаграммообразующих схем. С другой стороны, при обработке радиолокационного изображения коммутационный режим электрического сканирования приемной АР СКИ РЛС увеличивает время, необходимое для формирования диаграммы направленности приемной АР.

#### **Литература**

1. Вопросы подповерхностной радиолокации./ Коллективная монография./ Под ред. А.Ю. Гринева. - М.: Радиотехника, 2005.
2. Антенно-фидерные и оптоэлектронные устройства./ Монография./ Под ред. В.С. Вербы, А.П. Курочкина. - М.: Радиотехника, 2014.
3. А. В. Кочетов. Антенна для излучения сверхкоротких импульсов // Труды российского научно-технического общества электроники и связи имени А. С. Попова. Серия: акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации. Выпуск VI. - М.: 2013. С. 151-153.
4. Устройство для усиления сверхширокополосного сигнала. Патент РФ № 2497270.