

### **СКИ РЛС частотно-временного сканирования**

А.В. Кочетов, Г.В. Комаров, П.С. Панфилов

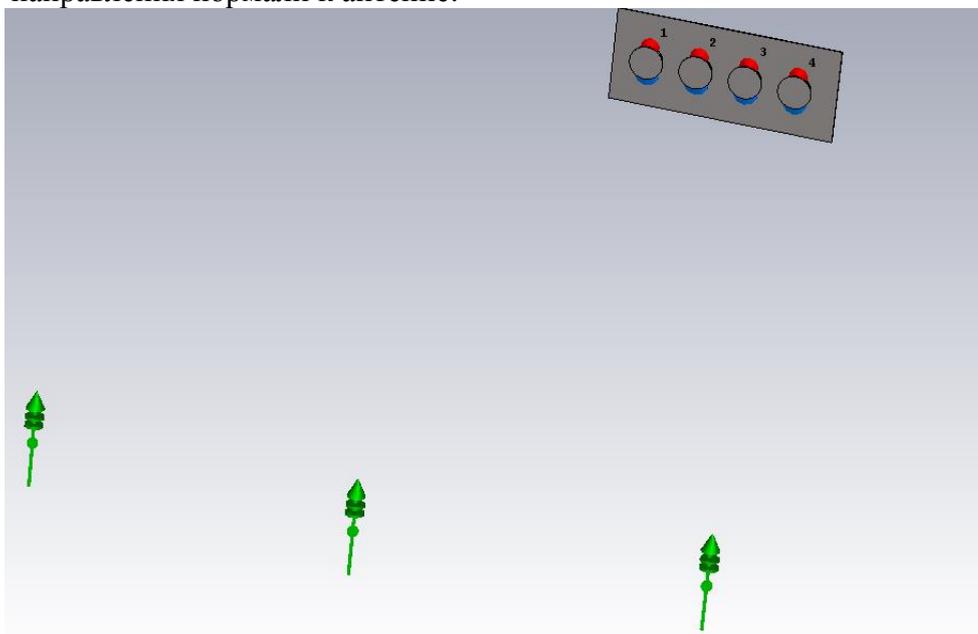
АО НПП Радар ммс, [orienta@inbox.ru](mailto:orienta@inbox.ru), [komarov\\_gleb@list.ru](mailto:komarov_gleb@list.ru), [pnf85@yandex.ru](mailto:pnf85@yandex.ru)

*Представлены результаты разработки антенной системы СКИ РЛС с частотно-временным сканированием луча. Показано, что при формировании сигнала излучения антенной решетки с фиксированием временных задержек от каждого антенного элемента, результирующая диаграмма направленности антенной решетки имеет частотную зависимость излучаемого сигнала от углового направления излучения. Анализ спектральных характеристик излучаемого и принимаемого сигналов на известной дальности позволяет получить угловое распределение целей в пространстве.*

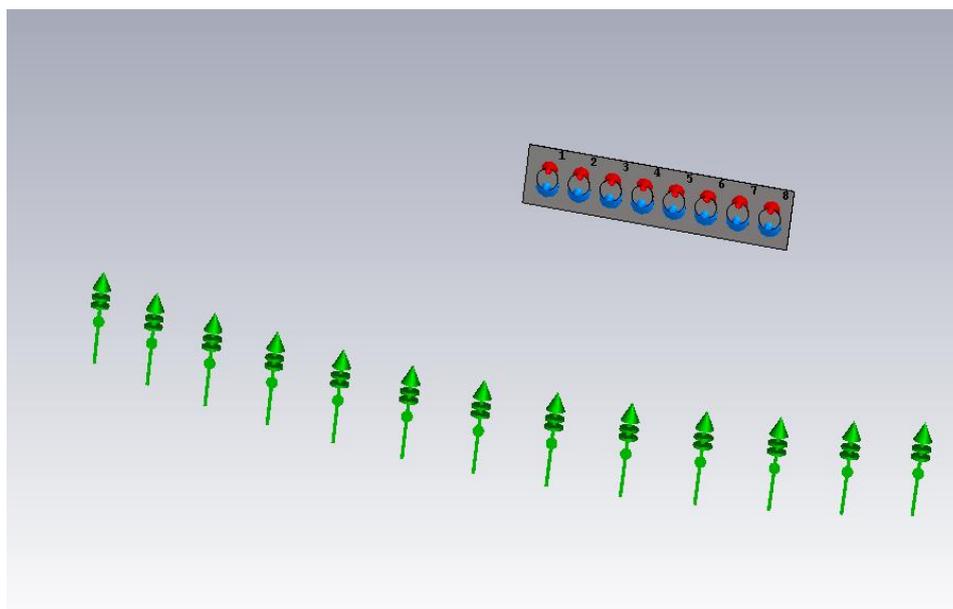
*We are presented antenna system for UWB radar with frequency-time scanning of the beam. It is shown that in the formation of the antenna array emission signal with fixation of the time delays from each antenna element, the resultant antenna array pattern has a frequency dependence of the radiated signal from the angular direction of the radiation. An analysis of the spectral characteristics of the emitted and received signals at a known range makes it possible to obtain an angular distribution of targets in space.*

Создание управляемых антенных решеток для работы с СШП сигналами, аналогичных фазированным антенным решеткам для узкополосных сигналов сталкивается с существенными сложностями, связанными с формированием зондирующего сигнала. Основной проблемой при создании таких устройств является формирование фазового распределения на раскрыте антенной решетки, поскольку для каждой частоты в спектральном представлении зондирующего сигнала требуется сформировать свой фазовый сдвиг, индивидуальный для каждого элемента антенны. Таким образом, в отличие от узкополосной антенной решетки, для электронного управления диаграммой направленности требуется прямой синтез индивидуальных сигналов для каждого излучателя, что требует использования скоростных цифроаналоговых преобразователей, специализированных вычислителей и применения дорогой элементной базы. Для решения задачи управления диаграммой направленности в РЛС с СШП сигналами используются различные подходы: формирование одного узкого луча и механическое сканирование антенной, использование переключаемой антенной решетки и последующей компьютерной обработки принятых радиосигналов [1], используя принцип цифрового формирования диаграмм направленности [2] и, иногда, другие пути преодоления описанной выше проблемы. У этих методов есть свои недостатки: механическое сканирование предполагает использование множества механических компонентов, что снижает надежность системы, скорость сканирования и требует использование прецизионной и очень дорогой механики. При использовании коммутируемой антенной решетки нет никакого энергетического выигрыша, поскольку плотность потока мощности, излучаемая антенной решеткой, не отличается от энергии, излучаемой одной антенной (нет суммирования мощности отдельных антенн и сжатия диаграммы направленности), а цифровое формирование ДН требует использования мощного вычислителя и снижения скорости сканирования из-за затрат времени на дополнительные вычисления. Предлагаемая в данной работе антенная решетка предлагает альтернативный путь – излучение импульсов производится поочередно, с задержками, много большими, чем при попытке перенести классические методы диаграммоформирования на СШП-сигналы. Из-за разности времени их распространения до объектов, расположенных под

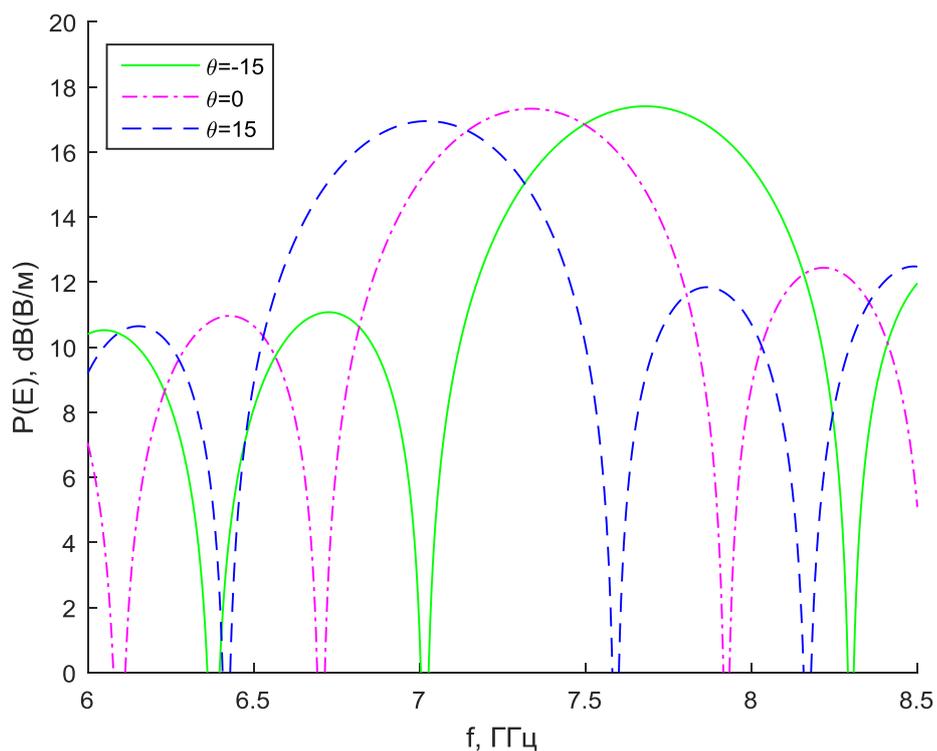
разными углами к плоскости антенной решетки суммарный сигнал, который будет переизлучаться этими объектами, будет разным. Длительность полученного импульса будет прямо пропорциональна числу элементов антенной решетки, поэтому с ростом числа передающих элементов угловое разрешение по частоте будет увеличиваться. Данный эффект наиболее полно наблюдается при небольшом расстоянии между антенной системой и целью, что позволяет при наблюдении обстановки в РЛС малой дальности обозревать пространство в целом – сформировав последовательность импульсов и проведя Фурье-анализ принятого сигнала можно обнаружить спектральные пики всех целей сразу, а применяя принцип временных ворот – определить расстояние до них. Внешний вид моделей антенных решеток из 4 и 8 элементов приведены на рис. 1-2, а графики спектров излученных в различных направлениях сигналов – на рис. 3-4 соответственно. В качестве идеальных анализаторов поля использовались штатные датчики поля пакета CST, за нулевой угол принято направления нормали к антенне.



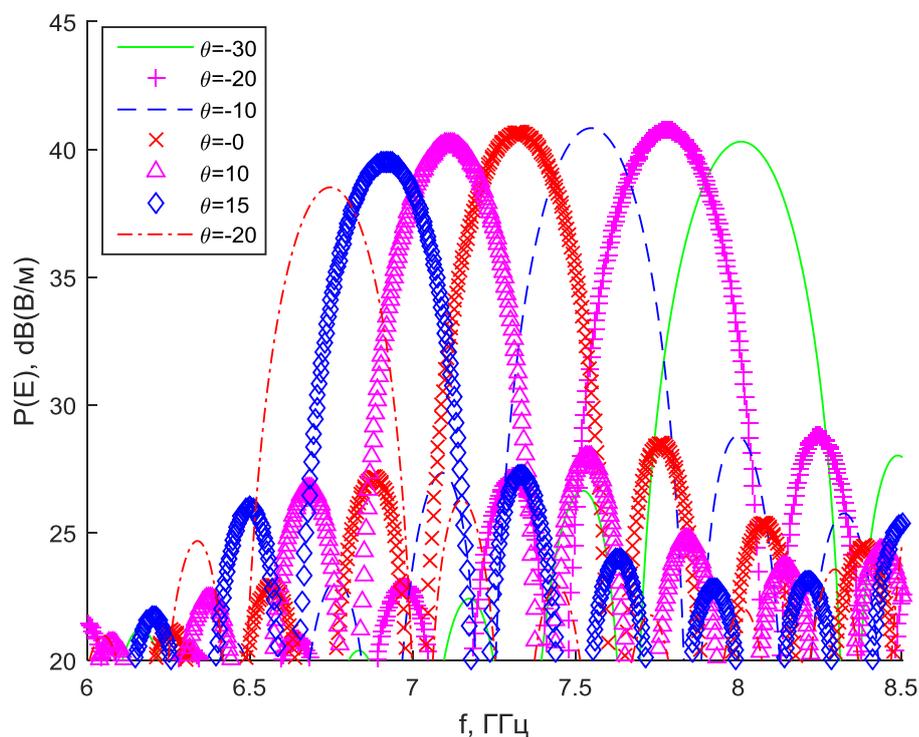
**Рис.1. Внешний вид четырехэлементной антенной решетки.**



**Рис.2. Внешний вид восьмиэлементной антенной решетки.**



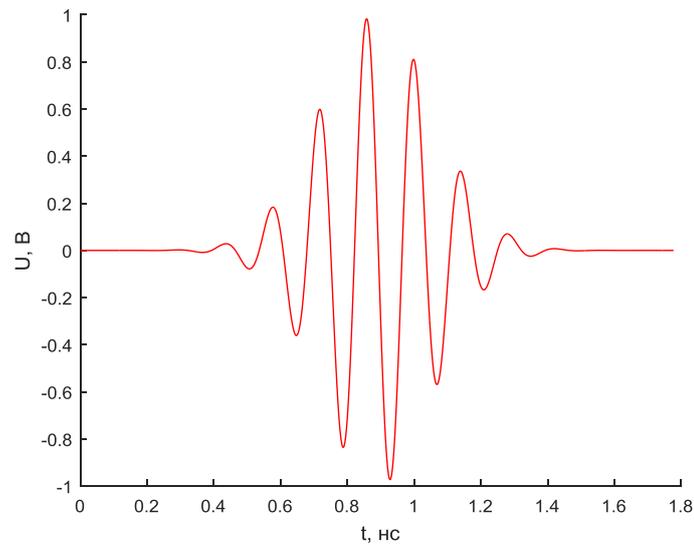
**Рис. 3.** Зависимость спектральной плотности напряженности поля от угла отклонения «луча» от нормали к плоскости четырёхэлементной антенной решетки.



**Рис.4.** Зависимость спектральной плотности напряженности поля от угла отклонения «луча» от нормали к плоскости восьмиэлементной антенной решетки.

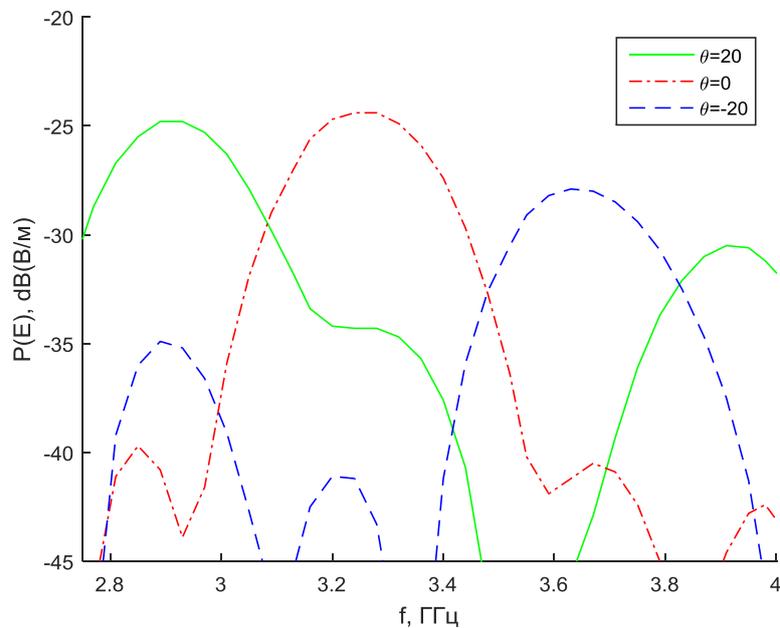
Как можно видеть, спектр излучаемого антенной сигнала зависит от угла – фактически происходит параллельное частотное сканирование, когда антенна одновременно излучает сигналы с разными центральными частотами в разных

направлениях. Сигнал, используемый при компьютерном моделировании, приведен на рис. 5



**Рис. 5. Одиночный импульс возбуждения антенного элемента в компьютерной модели.**

Для экспериментального подтверждения обнаруженного эффекта был выбран вариант с четырьмя антеннами, а в качестве широкополосного приемника - визуализатора использовался цифровой запоминающий осциллограф серии DPO70000. В силу отсутствия необходимых генераторов частотный диапазон в экспериментальной установке отличается, но принцип генерации сигналов остается неизменным. На рис. 5 приведены графики спектральной плотности напряженности ЭМП при различных углах наблюдения.



**Рис.6. Экспериментальная зависимость спектральной плотности напряженности поля от угла отклонения «луча» от нормали к плоскости четырёхэлементной антенной решетки.**

В представленной работе проведено математическое моделирование и экспериментальные измерения необычного и малоописанного в литературе режима

работы антенной решетки, который лежит на стыке режима излучения сверхкоротких импульсов и частотного сканирования[3], характерного для узкополосной (в частности - волноводно-щелевой[4]) антенной решетки. Сложение импульсов происходит уже на цели, что повышает пиковую мощность излучения антенной решетки, а значит и энергетический потенциал. С учетом создания генераторов с выходным напряжением в 200 кВ и длительностью импульса в 1 нс [5] данный режим позволяет дополнительно увеличить энергетические возможности сверхмощных РЛС СКИ, мощность которых в ближайшее время могут начать испытывать ограничения мощности из-за ограниченной электрической прочности СВЧ-тракта.

### Литература

1. G. L. Charvat, L. C. Kempel, E. J. Rothwell, C. M. Coleman and E. L. Mokole, "An ultrawideband (UWB) switched-antenna-array radar imaging system," *2010 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*, Waltham, MA, 2010, pp. 543-550.
2. J. L. Volakis, E. A. Alwan, D. Papantonis and W. Khalil, "Ultra-wideband conformal apertures with digital beamforming for UHF to millimeter-wave applications," *2014 International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas, Novel EM Structures and Materials, and Applications (iWAT)*, Sydney, NSW, 2014, pp. 147-150.
3. Д. И. Воскресенский, Р. А. Грановская, Н. С. Давыдова и др. Антенны и устройства СВЧ (Проектирование фазированных антенных решеток). / Под ред. Д. И. Воскресенского. – М.: Радио и связь, 1981, 432 с.
4. L. Josefsson. A Waveguide transverse slot for array applications. *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, 1993, Vol. 41, No. 7, pp. 845-850.
5. Generation and radiation of ultra-wideband electromagnetic pulses with high stability and effective potential A.M. EFREMOV, V.I. KOSHELEV, B.M. KOVALCHUK et al // *Laser and Particle Beams* (2014), V. 32. #3 P. 413