

ИЗЛУЧЕНИЕ МАЛОМОЩНЫХ ПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ КОМБИНИРОВАННЫМИ АНТЕННАМИ

Ю. А. Андреев, В. И. Кошелев, В. В. Плиско
Институт сильноточной электроники СО РАН
andreev@lhfe.hcei.tsc.ru

Разработана комбинированная антенна для излучения маломощных биполярных импульсов длительностью 200 пс и исследованы характеристики излучения линейных решеток в режиме сканирования волновым пучком.

Введение

Короткие импульсы сверхширокополосного (СШП) излучения привлекают внимание исследователей для решения различных задач радиолокационного наблюдения. Малая длительность импульсов обеспечивает хорошее пространственное разрешение, что позволяет надеяться на создание радаров для получения изображения зондируемых объектов в условиях отсутствия прямой видимости [1]. Интерес к разработке СШП радаров существенно возрос после выделения спектра в диапазоне частот 1.99...10.6 ГГц при спектральной плотности излучения не более -43 дБм/МГц [2]. Для реализации подобных параметров можно использовать биполярные импульсы длительностью 150...200 пс и амплитудой до 10 В. Для эффективного излучения таких импульсов нужны компактные антенны с полосой пропускания не менее двух октав. Малые размеры антенн необходимы для создания антенных решеток, в том числе для реализации широкоугольного сканирования волновым пучком.

Целью данной работы является разработка комбинированной антенны для излучения маломощных биполярных импульсов длительностью 200 пс и исследование излучения линейных решеток в режиме сканирования волновым пучком.

1. Одиночная антенна

На первом этапе выбора геометрии и размеров комбинированной антенны для излучения биполярных импульсов длительностью 200 пс мы пользовались теоремой подобия. Исходя из размеров комбинированных антенн, оптимизированных для излучения биполярных импульсов длительностью 1 и 2 нс [3], длина новой антенны должна составлять 32 мм (без учета толщины задней стенки), ширина и высота около 30 мм.

Следующим этапом разработки комбинированной СШП антенны было моделирование в программе 4NEC2. Программа 4NEC2 позволяет исследовать проволочные модели антенн в частотной области. Внешний вид проволочной модели комбинированной антенны и конструкция данной антенны, построенной в соответствии с размерами модели, представлены на рис.1. Проволочная модель антенны (рис. 1а) состоит из 718 проволочек (1923 сегмента) диаметром 0.4 мм. Комбинированную антенну (рис. 1б) можно рассматривать как комбинацию излучателя электрического типа в виде ТЕМ-рупора 1 и магнитных излучателей в виде

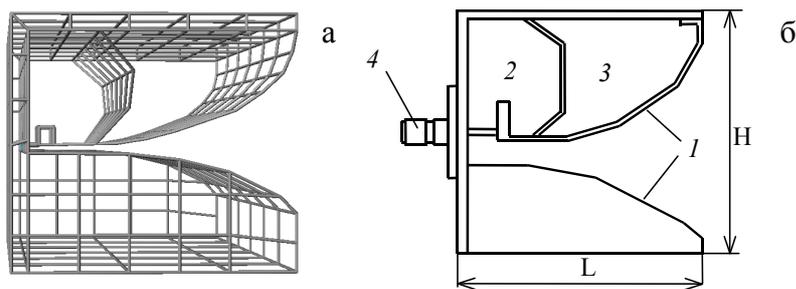


Рис. 1. Проволочная модель (а) и конструкция (б) комбинированной антенны.

активного 2 и пассивного 3 магнитных диполей. Антенна подключается к фидеру с волновым сопротивлением 50 Ом через радиочастотный разъем SMA. Источник ЭДС проволочной модели размещался на проволочке между задней стенкой антенны и началом верхнего лепестка ТЕМ-рупора. Длина модели и антенны L равна 34 мм, высота H и ширина равны 32 мм.

Для измерения КСВН и амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) комбинированных антенн использовался измеритель комплексных коэффициентов передачи Agilent 8719ET с полосой рабочих частот 0.05...13.5 ГГц. Импульсы регистрировались стробоскопическим осциллографом TMR 8112 с полосой 12 ГГц.

Для определения полосы пропускания проволочной модели антенны были исследованы ее КСВН, АЧХ и диаграммы направленности (ДН) на фиксированных частотах в широком диапазоне частот. На рис. 2а представлена зависимость КСВН проволочной модели от частоты. Как видно из рисунка, для модели $КСВН \leq 2$ в полосе частот 1.9...10.9 ГГц, за исключением небольшого промежутка 10...10.4 ГГц. АЧХ модели приведена на рис. 2б.

Зависимость КСВН комбинированной антенны от частоты представлена на рис.2а. Полоса согласования антенны по уровню $КСВН \leq 2$ составляет 1.9...10.7 ГГц. Изменение АЧХ комбинированной антенны относительно среднего значения не выходит за пределы ± 1.5 дБ для главного направления в диапазоне частот 1.4...10.1 ГГц (рис.2б). Отклонение фазо-частотной характеристики от линейной для этого же направления наблюдения менее $\pm \pi/16$ для частот 2...12.2 ГГц. Таким образом относительная полоса пропускания антенны в направлении главного максимума излучения составляет 5:1.

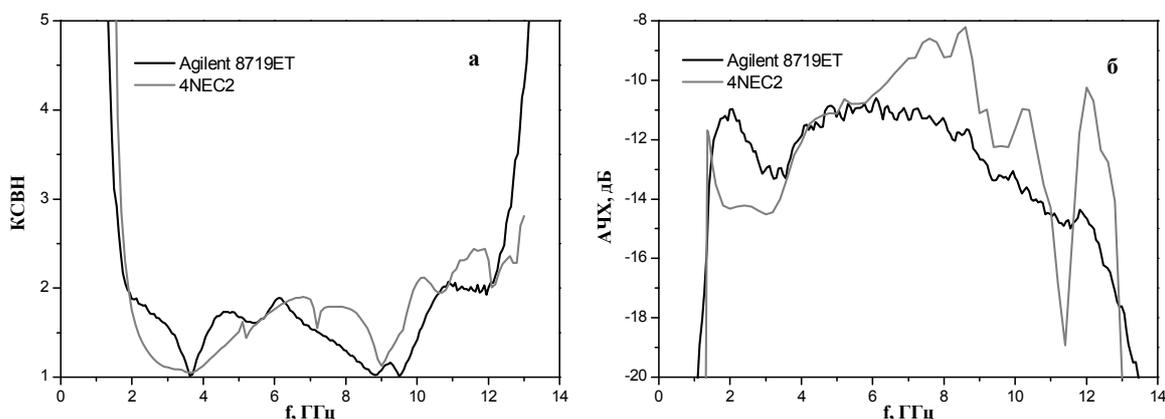


Рис.2. КСВН (а) и АЧХ (б) проволочной модели и комбинированной антенны.

Исследование ДН проволочной модели в главных плоскостях показало, что главный максимум излучения имеет фиксированное направление ($\varphi, \delta = 0^\circ$, где φ - азимутальный угол, δ - угол места) для частот 2...8 ГГц и слегка отклоняется от него в сторону положительных δ на частоте 10 ГГц. Также на частоте 10 ГГц в Н-плоскости появляются боковые лепестки с максимумами соответствующими $\varphi = \pm 90^\circ$ и сравнимыми по величине с главным лепестком ДН. Экспериментальные ДН комбинированной антенны показывают хорошее согласие расчетов и измерений в полосе 2...8 ГГц. В тоже время, для экспериментальных исследований характерна стабильность положения главного максимума ДН вплоть до 10 ГГц. Таким образом можно говорить о полосе пропускания комбинированной антенны 2...10 ГГц.

Проводились также исследования комбинированных антенн во временной области с использованием биполярного импульса напряжения длительностью 200 пс. ДН антенн по пиковой мощности близки к кардиоидным в Н- и Е-плоскостях (рис. 3). Ширина на полувысоте ДН в Н-плоскости равна 90° а в Е-плоскости – 105° . Коэффициент направленного действия антенн равен 4.

Энергетическая эффективность, определяемая как отношение излученной энергии к энергии в импульсе генератора (без учета потерь в передающей антенне), равна 0.92.

Эффективность комбинированной антенны по излученному полю, определяемая как $k_E = E_p R / U_g$, где E_p – пиковая напряженность поля, R – расстояние до приемной антенны а U_g – пиковое значение модуля амплитуды напряжения генератора, равна 0.9.

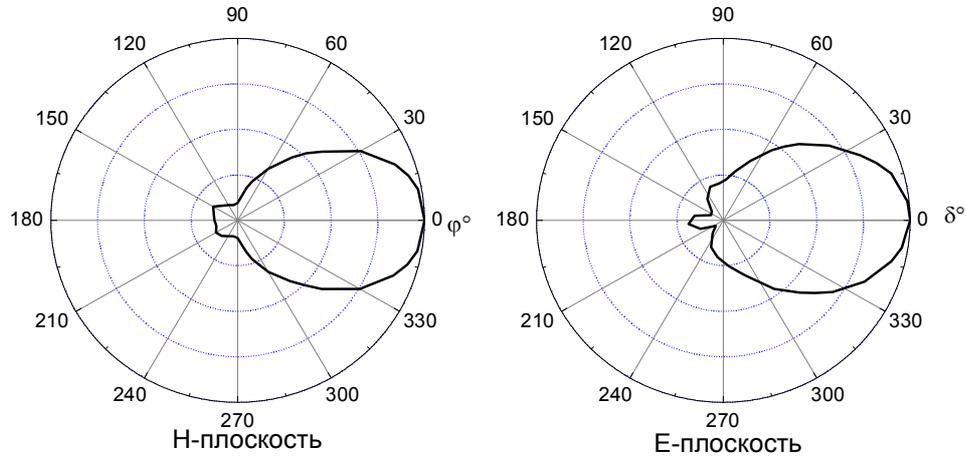


Рис. 3. Нормированные ДН по пиковой мощности комбинированной антенны.

2. Антенные решетки

Данные комбинированные антенны использовались как элементы в линейных решетках. Были исследованы: горизонтальная решетка с расстояниями между антеннами 35 мм и вертикальная решетка, в которой антенны располагались вплотную и были гальванически соединены.

В экспериментах приемная ТЕМ-антенна находилась на расстоянии 1.6 м от решетки. На данном расстоянии выполнялось условие дальней зоны излучения для интересующих нас частот. Импульс генератора подавался на четырехканальный малоискажающий делитель напряжения. Сканирование волновым пучком решетки осуществлялось внесением временных задержек входного импульса на элементы решетки. Временные задержки импульсов определялись длиной кабельных фидеров от делителя до антенного входа.

На рис. 4 представлены диаграммы направленности вертикальной решетки по пиковой мощности в E-плоскости. Данные по вертикальной решетке приведены в Таблице 1.

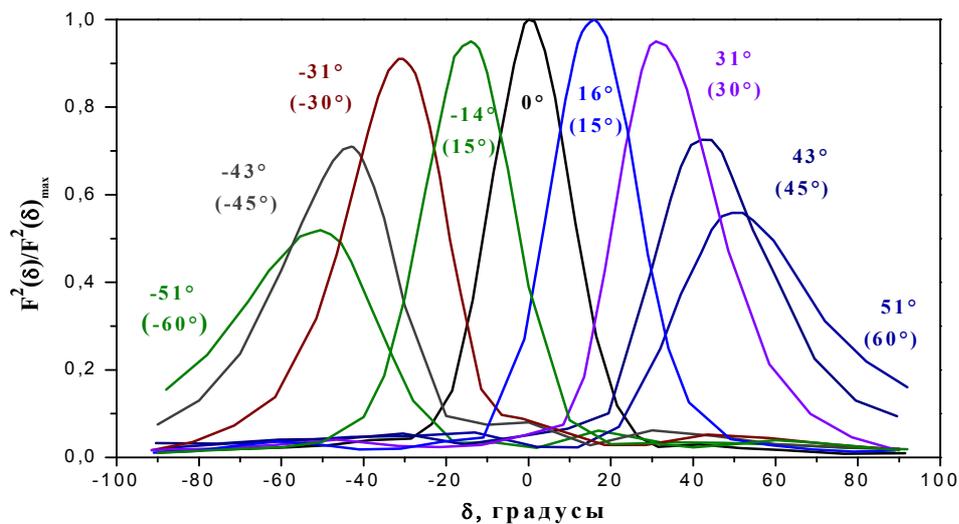


Рис. 4. Нормированные ДН вертикальной решетки в E-плоскости.

Таблица 1

Заданный угол максимума ДН	Экспериментальный угол δ максимума ДН	Амплитуда макс. ДН, нормированная к макс. ДН без скан.	Ширина гл. лепестка ДН на полувысоте
0°	0°	1	23°
-15° +15°	-14° +16°	0.95 1	26° 25°
-30° +30°	-31° +31°	0.91 0.95	29° 29°
-45° +45°	-43° +43°	0.71 0.73	34° 35°
-60° +60°	-51° +51°	0.52 0.56	42° 42°

На рис. 5а представлены осциллограммы излученных вертикальной решеткой импульсов в максимумах ДН (при сканировании в область отрицательных δ). Как видно из рисунка, близки по форме два первых временных лепестка излученных импульсов и только на третьем лепестке видно отличие. Количественно различия в формах данных импульсов показывает среднеквадратическое отклонение (СКО) (рис. 5б).

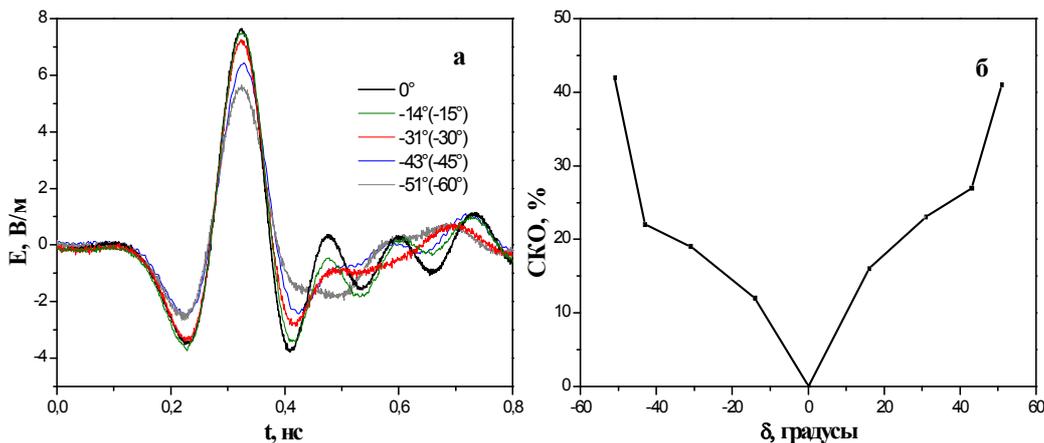


Рис. 5. Осциллограммы излученных вертикальной решеткой импульсов в максимумах ДН (а) и СКО (б) данных импульсов.

Экспериментальные и расчетные на центральной частоте спектра 5 ГГц ДН горизонтальной решетки по пиковой мощности в Н-плоскости представлены на рис. 6. В скобках указаны заданные углы. Данные по горизонтальной решетке приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Заданный угол максимума ДН	Расчетный угол максимума ДН	Экспериментальный угол ϕ максимума ДН	Амплитуда макс. ДН, нормированная к макс. ДН без скан.		Ширина гл. лепестка ДН на полувысоте	
			расчет	эксп.	расчет	эксп.
0°	0°	0°	1	1	23°	21°
±15°	±14°	±15.5°	0.95	0.9	23°	23°
±30°	±28°	±26°	0.78	0.79	24.5°	23°
±45°	±40°	±37°	0.54	0.53	29.5°	27°
±60°	±52°	±47°	0.38	0.31	34°	35°

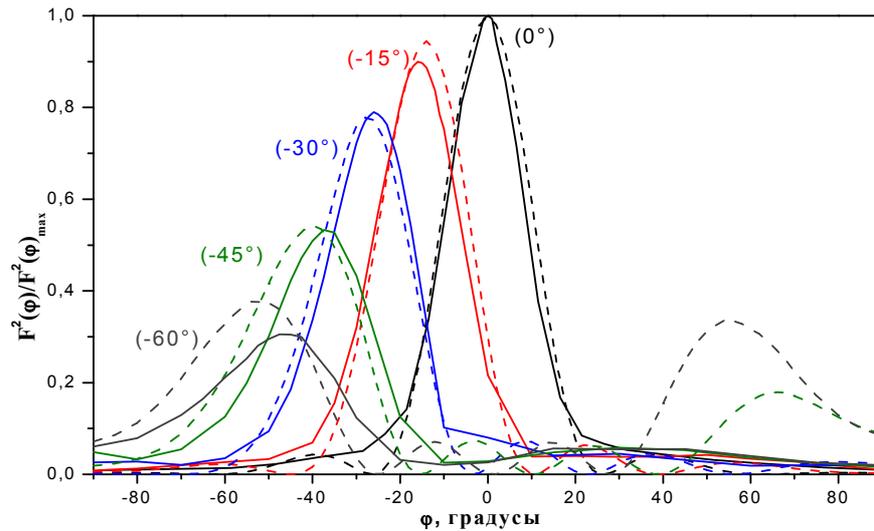


Рис. 6. Расчетные (штриховые линии) и экспериментальные (сплошные линии) ДН горизонтальной решетки в H-плоскости.

На рис. 7 представлены осциллограммы излученных горизонтальной решеткой импульсов в максимумах диаграмм направленности и их СКО.

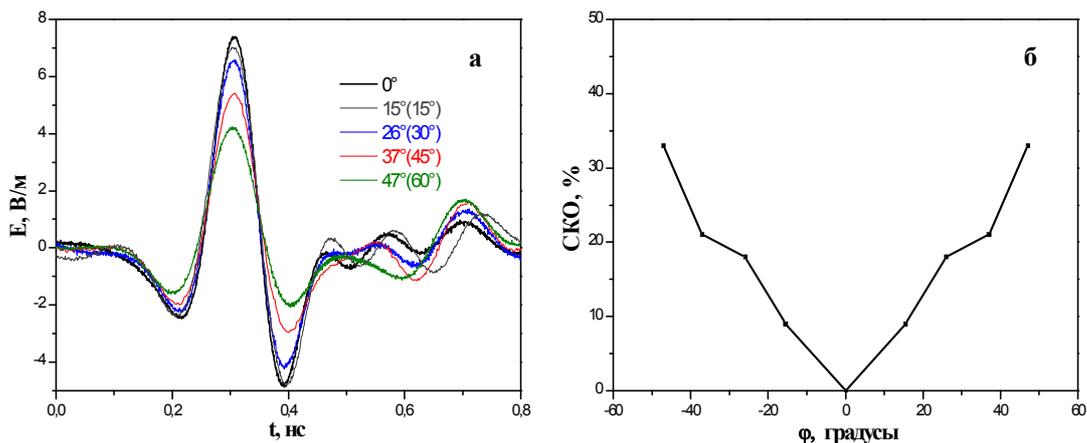


Рис. 7. Осциллограммы излученных горизонтальной решеткой импульсов в максимумах ДН (а) и СКО (б) данных импульсов.

Выводы

Созданы и исследованы комбинированные антенны для излучения биполярных импульсов длительностью 200 пс. Полоса пропускания антенн в диапазоне частот 2...10 ГГц достигает 5:1 при энергетической эффективности ~90%. В режиме сканирования волновым пучком разница между заданным и измеренным углами возрастает с увеличением угла и переходом от вертикальной к горизонтальной решетке.

ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2009. V.47. No. 5. Special Issue on Remote Sensing of Building Interior.
2. Federal Communication Commission USA (FCC) 02-48, ET Docket 98-153, First Report and Order, April 2002.
3. Андреев Ю. А., Буянов Ю. И., Кошелев В. И. // РЭ. 2005. Т. 50. № 5. С. 585-594.