

Анализ характеристик излучателей для ФАР миллиметрового диапазона с широкоугольным сканированием

Е.К. Меньших^(1,2), *доцент, к.т.н. Ю.Б. Корчемкин*^(1,2)

⁽¹⁾ Московский физико-технический институт (государственный университет)

⁽²⁾ ПАО «Радиофизика»

Москва

Рассмотрены характеристики конусных диэлектрических излучателей для ФАР миллиметрового диапазона с проходными ферритовыми фазовращателями фарадеевского типа, которые нашли в настоящее время наибольшее применение. Показана возможность появления резонансных провалов в коэффициенте усиления ФАР с такими излучателями. Предложены конструкции плоских волноводных излучателей с улучшенными характеристиками.

Ключевые слова: ФАР ММДВ (фазированная антенная решетка миллиметрового диапазона длин волн), конусный диэлектрический излучатель, плоский излучатель, КУ (коэффициент усиления).

Для проходных ФАР ММДВ с уменьшенными продольными размерами перспективным является применение ферритовых фазовращателей фарадеевского типа, дополненных невзаимным поляризатором. Для таких ФАР актуальной является задача поиска конструкции излучателя, имеющего минимальные продольные размеры и обеспечивающего максимальный КУ в 90-120 градусном конусном секторе сканирования, а также, оценка погрешности экспериментального определения зависимости КУ ФАР от угла сканирования, путем измерения характеристик активного излучателя в окружении пассивных, нагруженных на согласованную нагрузку.

Задача решалась с путем численного электродинамического моделирования с помощью компьютерных программ CST MWS, для гексагональной решетки с шагом $0,67\lambda$, работающей в К-диапазоне и секторе сканирования $\pm 45^\circ$.

Решение задачи по выбору излучателя осуществлялось в несколько этапов:

1. Проведен анализ конусного диэлектрического излучателя длиной $\sim 2\lambda$, выполненного из диэлектрика с $\epsilon_r = 4,0$, расположенного в канале Флоке ФАР. В секторе однолучевого сканирования этих решеток для волн круговой поляризации были обнаружены глубокие резонансные провалы до 6 дБ, которые ограничивают применение таких конусных излучателей (рис.1). Этот результат был подтвержден и сравнением с данными расчетов С.П. Скобелева по методикам, приведенным в [1], угловые положения резонансных провалов в которых обозначены на графиках рис.1 стрелками. Точность расчетов проведенных с помощью компьютерных программ CST MWS была подтверждена результатами расчетов коэффициента передачи решетки в волноводных имитаторах, обозначенных точками на рис. 2. Для каждой поляризации был построен свой волноводный имитатор, сравнение проводилось для волн каждой из двух поляризаций отдельно в двух подпрограммах CST MWS: Time Domain (TD) и Frequency Domain (FD).

Путем электродинамического моделирования изучены причины появления данных резонансных провалов: найден аналог конусного излучателя в виде сплошного слоя диэлектрика той же толщины, что и высота конусов, с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 1,92$. Аналог выбирался из условия совпадения частотного положения полного отражения падающей волны в волноводном имитаторе решетки с диэлектрическим слоем (рис.3). Это подтвердило совпадение природы резонансов в конусных излучателях с резонансами в решетках со слоем диэлектрика, наиболее полно изученных в [2,3]. В частности, используя электродинамическое моделирование, в решетке с конусными излучателями при резонансе можно наблюдать распространение поверхностной волны вдоль поверхности решетки (рис.4).

2. Рассмотрены характеристики моделей нескольких конструкций плоских волноводных излучателей: открытого конца волновода, расположенного на уровне плоскости апертуры, а также с углублением или с выступом относительно апертуры, диэлектрического слоя на апертуре,

диэлектрической пробки с диафрагмой и другие. Выбрана конструкция плоского волноводного излучателя с диэлектрической вставкой в виде колпачка (рис. 5), который прост в изготовлении и имеет наилучшие характеристики из рассмотренных конструкций. Этот излучатель при шаге элементов в решетке $0.66\lambda_{cp.}$, в секторе сканирования $\pm 45^\circ$, не имеет резонансных провалов и обеспечивает снижение КУ решетки не более чем на 2 дБ (рис. 6). Излучатель не выступает за апертуру решетки и существенно уменьшает ее продольный размер.

3. Путем расчета КУ полной электродинамической модели фрагментов решеток, в виде активного излучателя в окружении колец пассивных излучателей, нагруженных на согласованную нагрузку, показано, что для конусных излучателей ошибка определения КУ слабо зависит от числа колец и составляет более 3,0 дБ (рис. 7). С другой стороны, показано, что для ФАР с плоскими излучателями возможно экспериментальное определение зависимости КУ ФАР от угла сканирования с погрешностью 0,5 дБ в окружении 4-х колец (рис. 8).

Таким образом, проведен численный анализ диэлектрических конусных излучателей, обнаружены глубокие провалы в характеристиках, которые воспроизводятся с ошибкой более 3 дБ при экспериментальном измерении КУ данного излучателя путем определения характеристик активного излучателя в окружении пассивных. Предложен плоский волноводный излучатель в виде диэлектрического колпачка с коэффициентом усиления, не имеющим провалов в области однолучевого сканирования и с уменьшением не более чем на 2 дБ в секторе сканирования $\pm 45^\circ$. Показана возможность экспериментального определения его характеристик при использовании 4 колец окружения пассивных излучателей.

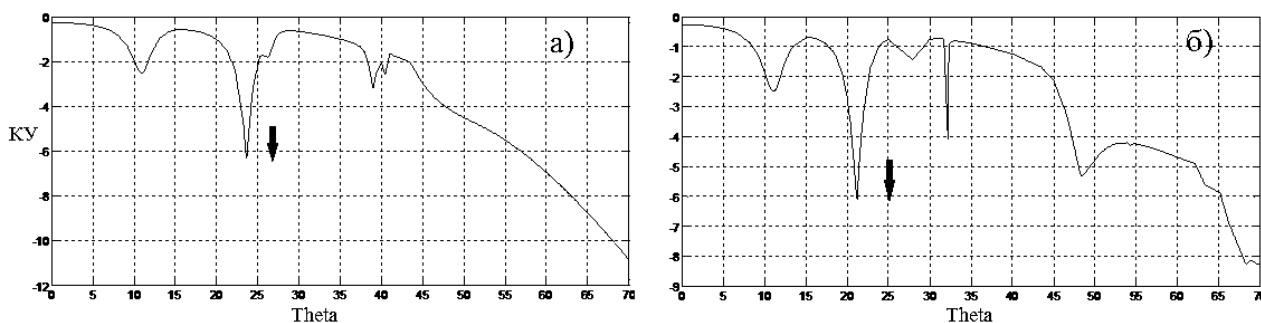


Рис. 1. Коэффициент усиления решетки, состоящей из конусных излучателей, при сканировании в плоскости $\varphi = 90^\circ$ (а) и $\varphi = 0^\circ$ (б) в дБ

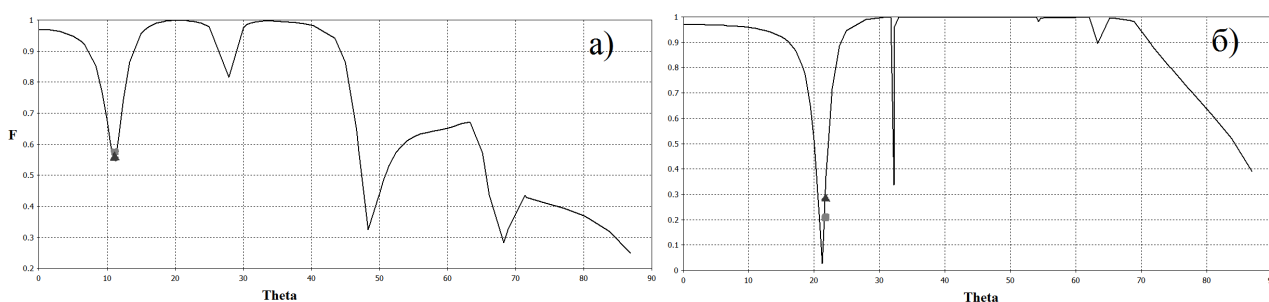


Рис. 2. Коэффициент передачи решетки, при возбуждении ее волнами с горизонтальной (а) и с вертикальной (б) поляризациями, темная точка – коэффициент передачи волноводного имитатора, рассчитанный в FD, светлая – в TD

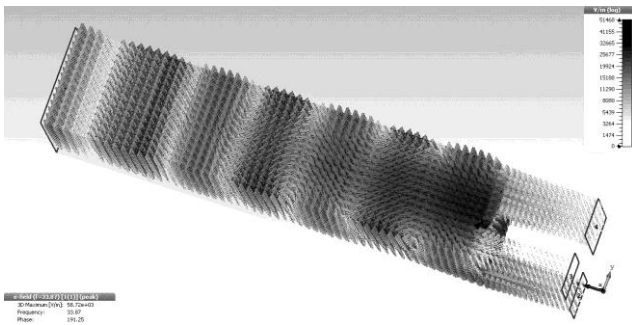


Рис. 3. Резонанс в волноводном имитаторе

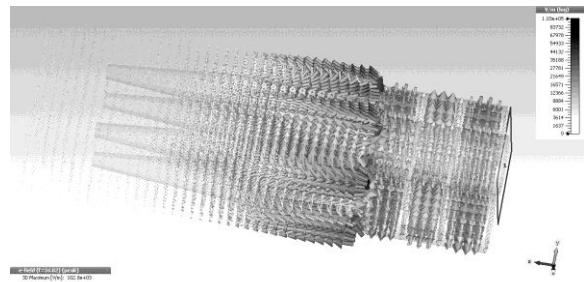


Рис. 4. Волна, бегущая вдоль поверхности бесконечной решетки конусных излучателей

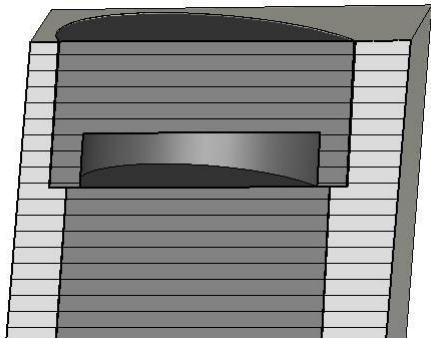


Рис. 5. Излучатель в виде колпачка

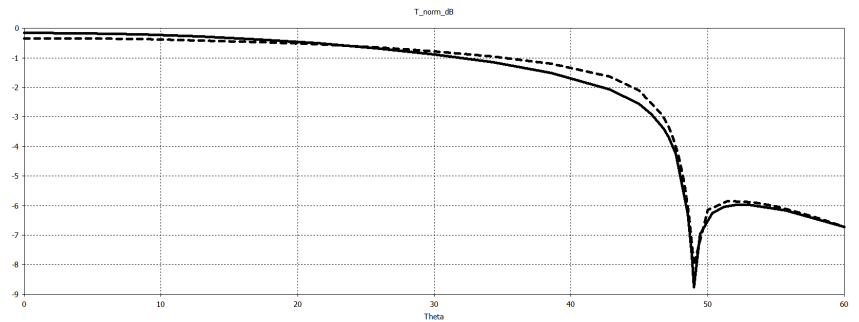
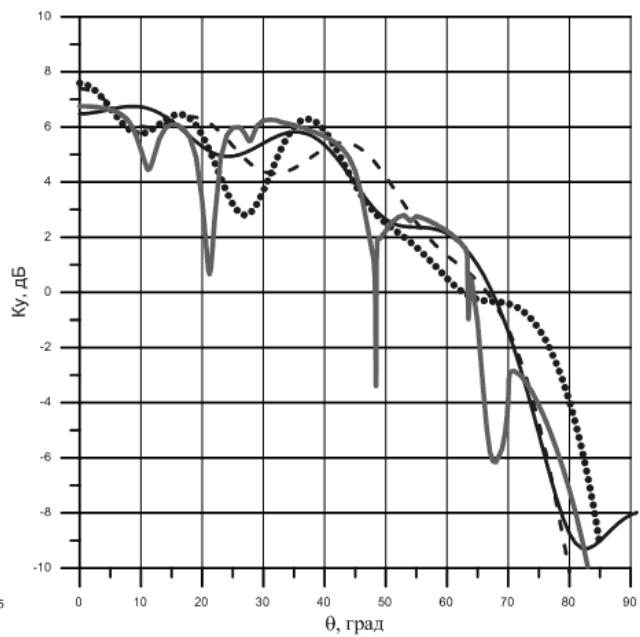
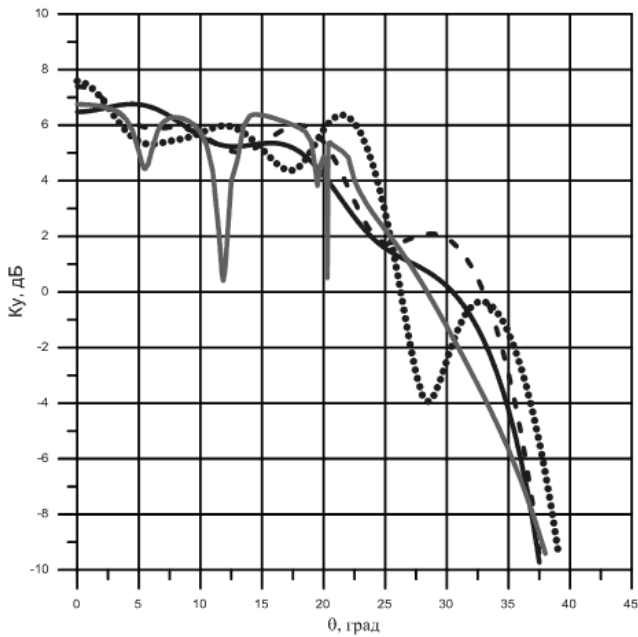


Рис. 6. КУ решетки с излучателями в виде колпачка согласованного в направлении $\theta=0^\circ$ (сплошная линия) и $\theta=40^\circ$ (пунктирная) в дБ



$\varphi = 90$ град
 — 3 кольца
 - - - 4 кольца
 5 колец
 - · - · - · бесконечная

$\varphi = 0$ град
 — 3 кольца
 - - - 4 кольца
 5 колец
 - · - · - · бесконечная

Рис. 7. Диаграммы направленности активного конусного излучателя в окружении различного количества колец пассивных при сканировании в плоскости $\varphi = 90^\circ$ и $\varphi = 0^\circ$

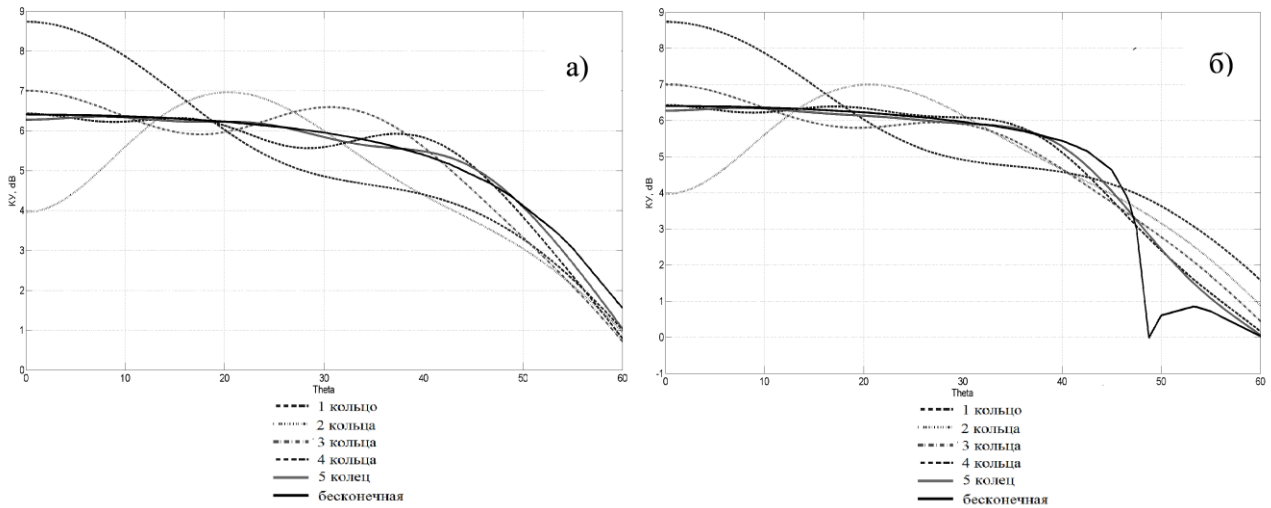


Рис.8 Коэффициенты усиления активного плоского излучателя в виде колпачка в окружении различного количества рядов пассивных при сканировании в плоскости $\varphi = 0^\circ$ (а) и $\varphi = 90^\circ$ (б) в дБ

Литература

1. Скобелев С.П. Фазированные антенные решетки с секторными парциальными диаграммами направленности, Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2010, 318с.
2. Н. Амтей, В. Галиндо, Ч. Ву, Теория и анализ фазированных антенных решеток, Москва: изд. «МИР», 1974.
3. G.H. Knittel, A. Hessel, A.A. Oliner, Element Pattern Nulls in Phased Arrays and Their Relation to Guided Waves, Proceedings of The IEEE, vol. 56, No. 11, November 1968, pp. 1822-1836