

отслаивание кристалла. В образцах группы КП7209/МД50/Au выявлен заниженный уровень $\alpha < 2$, что может быть связано погрешностью измерений, ввиду слабых изменений в R_{jc} (порядка 0.02K/Вт), для образцов этой группы.

УДК 621.371

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАССЕЯНИЯ ФАР

Алешкевич Н.Н.¹, Будаи А.Г.¹, Кныш В.П.¹, Малый С.В.², Наумович Н.М.³, Юбко А.П.³

¹Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко БГУ

²Белорусский государственный университет

³Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Антенна является неотъемлемой частью любой приемо-передающей системы, при проектировании которой необходимо учитывать окружающую электромагнитную обстановку. Антенна, подключенная к приемопередатчику, может, как пассивный рассеиватель, иметь эффективную поверхность рассеяния (ЭПР) в десятки и сотни раз больше ее геометрической площади.

Характеристики согласования антенны со свободным пространством и приемно-измерительным трактом паспортизируются в рабочем диапазоне системы, а вне его они обычно неизвестны. ЭПР любой антенной системы, в том числе и фазированной антенной решетки (ФАР), состоит из двух составляющих. Одна, "антенная" составляющая, является следствием приема падающей на антенну электромагнитной волны и последующего ее переизлучения и зависит от коэффициента направленного действия антенны и ее согласования с приемным трактом. Вторая составляющая – чисто конструктивная, зависящая от механической конструкции антенны и используемых материалов. Знание этих характеристик необходимо при проектировании приемо-передающих систем с учетом условий электромагнитной совместимости. Определение же их зачастую проще осуществить экспериментально.

Для проведения экспериментальных исследований разработан специализированный измерительный комплекс, в состав которого входят: безэховая камера на основе широкополосного радиопоглощающего покрытия пирамидального типа «Универсал-1»; радиопоглощающие панели из радиопоглощающего покрытия ГОРА-39; слабоотражающая система пространственной фиксации исследуемых образцов; векторный анализатор Vector Star VS4642B; комплект антенн Пб-23В. Разработана методика проведения измерений образцов. Проведена оценка предельных размеров исследуемых объектов и диапазонов частот.

1. Оценка тепловых параметров мощных биполярных транзисторов методом тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии / В.С. Нисс [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2015. – Т. 6, № 2. – С. 249–256.

Разработанный измерительный комплекс является универсальным и предназначен для проведения антенных измерений, а также анализа эффективной поверхности рассеяния произвольных метало-диэлектрических объектов. С использованием комплекса возможно проведение исследования конечных фрагментов радиопоглощающих покрытий, частотно-селективных и пространственно-поляризационных фильтров.

Ниже приведены результаты экспериментального исследования ЭПР плоского фрагмента ФАР с размерами 40x9 см² (Рисунок 1). Здесь и далее для упрощения под термином ЭПР понимается максимальное значение моностатической ЭПР объекта.

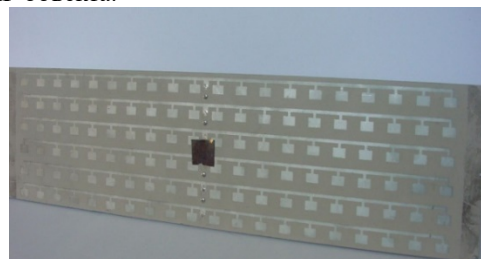


Рисунок 1 – Фрагмент фазированной антенной решетки

Измерение ЭПР антенны проводилось в диапазоне частот 2÷15ГГц.

Для калибровки и оценки точности измерений помимо фрагмента ФАР исследовались ЭПР дополнительных объектов. В качестве объектов исследования были использованы:

- 1) ФАР с согласованной нагрузкой;
- 2) ФАР с разомкнутыми выходами;
- 3) плоская металлическая пластина с площадью, равной площади поверхности ФАР;
- 4) металлический диск диаметром 200мм.

Так как для металлического диска известно точное решение задачи рассеяния, то используемая методика позволяет в результате измерений

определять ЭПР всех объектов в абсолютных единицах, например, в м².

ЭПР диска радиуса *a* для электромагнитного излучения с длиной волны λ [1]:

$$\delta = 4\pi^3 \frac{a^4}{\lambda^2} U(\lambda, a) ,$$

где $U(\lambda, \alpha)$ - энергетическая функция.

По относительным измерениям рассеяния диска и прямоугольной пластины определяется ЭПР последней.

Затем измеряются относительно ЭПР пластины ЭПР согласованной и несогласованной ФАР.

Результаты измерений и расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективная поверхность рассеяния образцов.

Частота ГГц	ЭПР диск м ²	Пластина м ²	ФАР согласованная, м ²	ФАР КЗ, м ²
1,9÷2,0	0,44	0,58	0,60	0,60
3,83÷3,93	1,87	1,62	1,69	1,68
4,77÷4,87	3,13	3,20	3,50	3,60
7,0÷7,1	6,74	9,9	9,8	9,7
9,0÷9,1	11,4	16,4	10,8	15,8
9,55÷9,75	13,1	18,8	7,4	18,1
10,0÷10,1	14,1	20,2	9,8	21,3
11,0÷11,1	17,0	24,3	20	25,0
15,0÷15,1	31,0	45,4	46,0	45,3

Анализ представленных результатов показывает, что вне рабочего диапазона антенны, ЭПР ФАР практически не отличается от максимального зеркального отражения металлической пластины. В рабочем же диапазоне (9,45 – 9,75 ГГц) ЭПР относительно отражения от металлической пластины падает на 4 – 5дБ. Для идеальной антенны КСВН < 1,2 это значение должно составить в районе 20дБ. То есть для данного элемента ФАР рассеяние ЭМВ осуществляется преимущественно пассивными элементами антенны.

В развитие предложенной методики измерения ЭПР объектов предлагается методика измерения моностатической ЭПР габаритных объектов, для которых очень сложно обеспечить условие дальней зоны [2]. Но при этом к объекту предъявляется требование его электродинамической однородности на данной частоте и отсутствие на его поверхности многократных переотражений. Методика заключается в сравнении отраженного от объекта сигнала с отражением от металлического эталона, точно повторяющего форму объекта. В этом случае неоднородность падающего на объект поля как амплитудная, так и фазовая не оказывает значительного влияния.

В качестве примера на рисунке 2 приведены уровни отраженного сигнала от ФАР, состоящей из

9 рассмотренных ранее фрагментов, а на рисунке 3 от металлической пластины размерами *a* = 80см, *b* = 40см в диапазоне частот 2÷18ГГц.

Как видно, и в этом случае во всем частотном диапазоне, кроме рабочего диапазона ФАР (9÷10ГГц), ЭПР плоской ФАР практически не отличается от ЭПР эталонной плоской пластины.

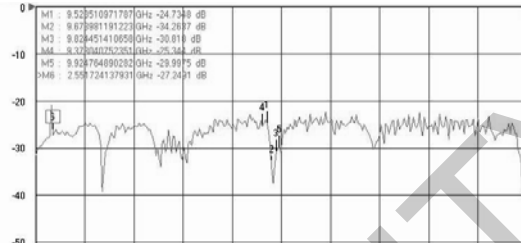


Рисунок 2 – Уровень отражения поля от ФАР

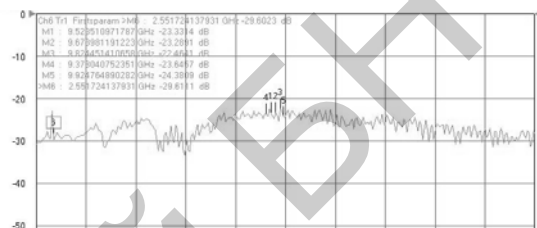


Рисунок 3 – Уровень отражения поля от пластины

При этом ЭПР пластины вычисляется математически:

$$\sigma_{max} = 4\pi \frac{a^2 b^2}{\lambda^2} ,$$

а ЭПР ФАР σ_0 – по разности отраженных от объекта и пластины сигналов в дБ – Δ :

$$\sigma_0 = \sigma_{max} \cdot 10^{\frac{\Delta}{10}} .$$

Таким образом, разработанный измерительный комплекс и методики обработки результатов позволяют измерять абсолютные значения ЭПР объектов и могут эффективно использоваться при разработке и анализе радиопоглощающих покрытий в комплексе с системами компьютерного моделирования [3].

Литература

1. Кобак В.О. Радиолокационные отражатели. – М.: Советское радио, 1975. – 348 с.
2. Майзельс Е.Н., Торгованов В.А. Измерение характеристик рассеяния радиолокационных целей. – М. Советское радио, 1975 г.
3. Будай А.Г., Кныш В.П., Малый С.В. Комплексная методика расчета электродинамических параметров радиопоглощающих покрытий // Материалы Международной научной конференции ИРЭМВ-2005 «Излучение и рассеяние электромагнитных волн». – Таганрог, 2005. – С. 327-329.