

В.А. Бухарин, Н.И. Войтович

Исследованы поляризационные свойства оригинальной плоской резонаторной антенны. Приведены основные характеристики антенны в главных плоскостях. Указаны направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: антенная решётка; резонатор; поляризация; электромагнитное поле.

Введение

Плоские резонаторные антенны (РА) обладают высокими электродинамическими, массогабаритными и конструкторско-технологическими характеристиками [1, 2]. РА являются перспективными для применения в аэродромных радиотехнических системах. Одним из наиболее важных требований, предъявляемых к антенне, в указанных системах является требование по обеспечению линейного типа поляризации и стабильности характеристик антенны при изменении факторов окружающей среды.

Простая конструкция РА сочетается с высокой пространственно-временной избирательностью, обеспечивающей высокую помехозащищённость системы.

В РА нет сложной диаграммообразующей схемы, распределяющей электромагнитную энергию между излучателями. Роль делителя мощности выполняет резонатор. Внешняя поверхность одной из стенок резонатора, выполненная в виде частично прозрачной пластины, является излучающей апертурой. Принцип работы РА основан на синфазном возбуждении излучающих элементов частично прозрачной стенки резонансной модой основного колебания объёмного резонатора антенны.

Применение плоской резонаторной антенны в аэродромных радиотехнических системах повышает точностные характеристики системы и создает множество преимуществ системам по сравнению с применением традиционных антенн в виде линейных вибраторных решёток с аперриодическим рефлектором.

Постановка задачи

Целью работы является исследование поляризационных характеристик плоской резонаторной антенны.

Плоская резонаторная антенна выполнена из алюминиевого сплава в виде низкого объёмного цилиндрического резонатора с частично прозрачной стенкой (рис. 1). Диаметр исследуемой РА равен $1,55\lambda$; высота резонатора $0,497\lambda$; где λ – длина волны, соответствующая середине диапазона рабочих длин волн: $\lambda \pm 0,01\lambda$.

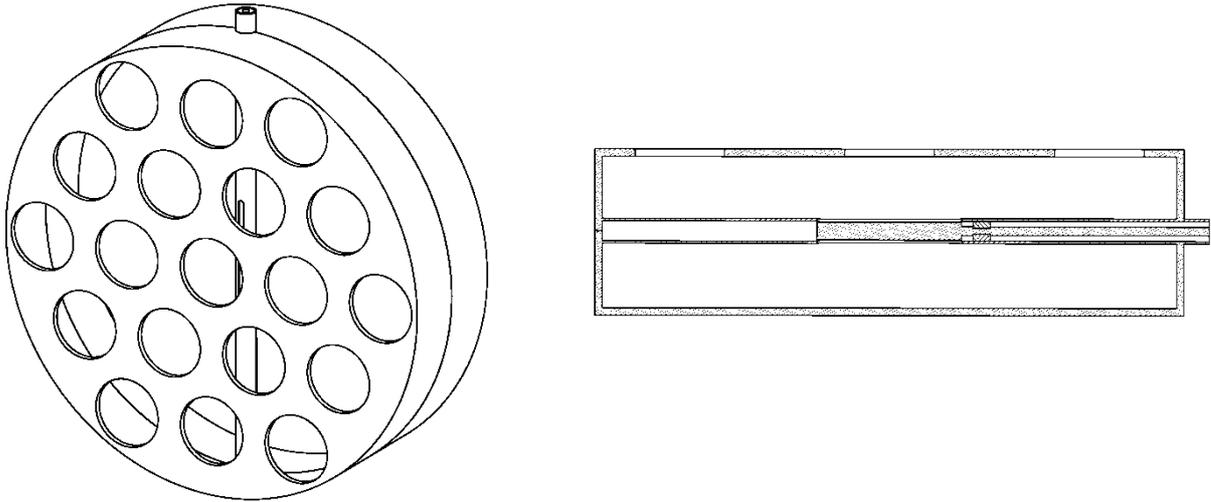


Рис. 1. Плоская резонаторная антенна

Резонатор возбуждается щелевыми излучателями, расположенными на расстоянии $0,235\lambda$ от частично прозрачной стенки. Щелевые излучатели вместе с коаксиальным волноводом образуют специальное устройство, обеспечивающее преобразование типов волн и согласование антенны в рабочей полосе частот. Коэффициент стоячей волны во всём диапазоне не превышает 1,083. Частично прозрачная стенка является излучающей апертурой антенны. Она изготовлена из металлической пластины с круглыми отверстиями. Диаметр отверстий $0,2724\lambda$; расстояние между отверстиями $0,31\lambda$; толщина металлической пластины $0,0033\lambda$.

Требуется определить тип поляризации, отношение амплитуд главной компоненты электрического поля к кросс-составляющей компоненте и фазовый сдвиг между ортогональными компонентами.

Метод решения задачи

Электродинамическая задача сформулирована в строгой дифракционной постановке. Пространственно-временная нестационарная система уравнений Максвелла с заданными начальными и граничными условиями решается численно во временной области методом конечных интегралов (Finite Integration Technique, FIT). Метод конечных интегралов представляет собой последовательную схему дискретизации уравнений Максвелла в интегральной форме. Алгебраическая модель дискретной формулировки системы уравнений Максвелла (Maxwell's Grid Equations, MGE) включает законы сохранения энергии и заряда. Электромагнитное поле определяется в данный момент времени на основании известных значений полей в предыдущие моменты времени при заданных начальных и граничных условиях. Вычислительная процедура выполняется последовательными шагами во времени, что позволяет создавать устойчивый алгоритм расчёта и контролировать точность проводимых численных вычислений.

Прямой временной метод даёт полную информацию об электромагнитном поле электродинамической системы в сверхширокой полосе частот.

Результаты

На рис. 2 показана структура электрического поля в плоскости апертуры РА [1, 2]. Силовые линии вектора напряжённости электрического поля E в каждом отверстии имеют строение силовых линий электрического поля волны H_{11} – основной волны в круглом волноводе.

В центре апертуры антенны расположено начало O сферической системы координат. Ось Oz направлена по нормали к плоскости апертуры. Ось Oy параллельна продольной оси коаксиальной линии передачи. Ось Ox на рис. 2 направлена горизонтально. Меридиональный угол Θ отсчитывается от оси Oz . Картина поля полностью симметрична относительно оси Ox и относительно оси Oy .

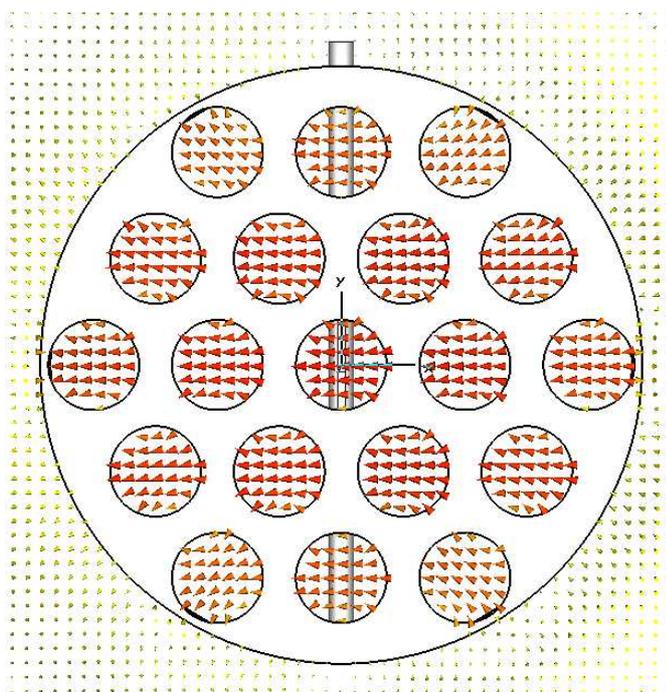


Рис. 2. Структура электрического поля в плоскости апертуры РА

Ширина ДН антенны в плоскости вектора напряжённости электрического поля по уровню половинной мощности составляет 38,2 градуса, в плоскости вектора напряжённости магнитного поля – 43,8 градусов. Ширина ДН по нулевому уровню, примерно, равна 55,8 градусов.

В таблице 1 представлены отношения амплитуды главной компоненты электрического поля к кросс-составляющей компоненте в плоскости вектора напряжённости магнитного поля H в рабочем диапазоне длин волн; в таблице 2 – в плоскости напряжённости электрического поля E . $\lambda_{\min}=0,99\lambda$; $\lambda_{\max}=1,01\lambda$. В пределах главного лепестка ДН отношения компонент составляет, примерно, 53-71 дБ. Плоская резонаторная антенна в главных ортогональных плоскостях имеет линейную поляризацию.

Таблица 1

Отношение ортогональных компонент вектора напряжённости электрического поля
 \mathbf{E} в плоскости вектора \mathbf{H}

Θ , град	Отношение ортогональных компонент, дБ		
	λ_{\max}	λ	λ_{\min}
0	60,30	60,80	59,11
22	53,70	59,10	56,72
45	44,67	51,30	53,74
90	19,80	27,60	30,71

Таблица 2

Отношение ортогональных компонент вектора напряжённости электрического
 поля \mathbf{E} в плоскости вектора \mathbf{E}

Θ , град	Отношение ортогональных компонент, дБ		
	λ_{\max}	λ	λ_{\min}
0	60,30	60,80	59,11
19	58,90	65,87	71,40
45	57,32	57,19	48,54
90	56,78	55,91	55,33

В таблице 3 представлены отношения амплитуды главной компоненты электрического поля к кросс-составляющей компоненте в рабочем диапазоне длин волн в точках наблюдения в плоскости, проходящей через ось Oz и составляющей с осью Ox угол 45 градусов.

В пределах главного лепестка ДН РА отношения компонент близки к единице, фазовый сдвиг составляет, примерно, 178-181 градусов. РА в этой плоскости имеет линейную поляризацию.

Таблица 3

Отношение ортогональных компонент вектора напряжённости электрического
 поля \mathbf{E} в плоскости под углом 45 градусов к оси Ox

Длина волны	Θ , град	Отношение ортогональных компонент	Разность фаз, град
λ_{\max}	0	1,00	-180,0
	20	1,09	-178,7
	45	1,88	-167,3
λ	0	1,00	-179,9
	20	1,11	-178,7
	45	2,36	195,9
λ_{\min}	0	1,00	180,1
	20	1,13	181,2

	45	3,34	202,9
--	----	------	-------

Полученные результаты подтверждают предположение о хороших поляризационных свойствах плоской резонаторной антенны.

Выводы

Плоская резонаторная антенна обладает уникальными электродинамическими характеристиками. В пределах рабочего полупространства не наблюдается изменения типа поляризации. Изменения в соотношении ортогональных компонент и фазовых сдвигах не имеют существенного значения. В диапазоне углов главного лепестка ДН РА поляризация строго линейная.

Плоская РА имеет низкий уровень кросс-поляризационного излучения. Она может быть использована в высокоточных радиофизических измерениях, где требуется высокая пространственно-временная избирательность и помехозащищённость радиотехнических систем.

В дальнейших исследованиях целесообразно провести анализ поляризационных характеристик РА в напряжённо-деформированном состоянии в поле высоких температур и в условиях воздействий внешних факторов окружающей среды.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства антенн и аппаратных модулей для двухчастотного радиомаячного комплекса системы посадки метрового диапазона формата ILS III категории ICAO для аэродромов гражданской авиации, включая аэродромы с высоким уровнем снежного покрова и сложным рельефом местности» по договору № 02.G25.31.0046 между Министерством образования и науки Российской Федерации и Открытым акционерным обществом «Челябинский радиозавод «Полёт» в кооперации с головным исполнителем НИОКТР - Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Библиографический список

1. Бухарин, В. А. Плоская резонаторная антенна / В.А. Бухарин, Н.И. Войтович, Н.Н. Репин // Сборник трудов Второй Всероссийской научно-технической конференции «РАДИОВЫСОТОМЕТРИЯ-2007». – Екатеринбург: ИД «Третья столица», 2007. – С. 160-164.
2. Бухарин, В. А. Влияние нагрева на параметры резонаторной антенны / В.А. Бухарин, Н.И. Войтович // Доклады V Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь». – М.: Издание JRE-ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, 2011. – С. 105-108.

Polarizing properties of the resonator antenna

V.A. Bukharin, N. I. Voytovich

Polarizing properties of the original flat resonator antenna are investigated. The main characteristics of the antenna are provided in the main planes. The directions of further researches are specified.

Keywords: antenna lattice; resonator; polarization; electromagnetic field.

References

1. V.A. Bukharin, N. I. Voytovich, N. N. Repin *Ploskaya rezonatorny antenna. Sbornik trudov II Vserossiyskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Radiovysotometriya-2007"* [Flat Resonator Antenna. Collection of Works of the II All-Russian Scientific and Technical Conference "Radiovysotometriya-2007"]. Ekaterinburg, "The third capital" Publ., 2007, pp. 160–164.
2. V.A. Bukharin, N. I. Voytovich *Vliyanie nagreva na parametry rezonatornoi anteny. Doklady V Vserossiyskoi koneferntsii "Radiolokatsiya i radiosvyaz"* [Influence of Heating on Parameters of the Resonator Antenna. Reports of the V All-Russian Conference "Radar-location and Radio Communication"]. Moscow, JRE-IRE of V. A. Kotelnikov of the Russian Academy of Sciences Publ., 2011, pp. 105–108.