

Методика расчета рупорных антенн с эллиптической формой раскрыва

Фам Ван Вин, Е.В. Овчинникова, П.А. Шмачилин, С.Г. Кондратьева, Нгуен Динь То, Гиголо А.И.

Московский Авиационный Институт (Национальный Исследовательский Университет) (МАИ (НИУ)) Волоколамское шоссе дом 4, E-mail: oea8888@gmail.com

Одной из главных задач при проектировании совмещенных двухдиапазонных антенных систем является задача обеспечения совместной независимой работы двух поддиапазонов в одной апертуре. Многодиапазонное функционирование антенной системы реализуется путём применения многодиапазонных или широкополосных антенн и распределительных систем. Рассматриваемые конструкции излучателей позволяют компоновать антенные полотна с плотной упаковкой элементов в апертуре.

One of the main tasks in the design of combined dual-band antenna systems is the task of ensuring the joint independent operation of two subbands in one aperture. The multi-band operation of the antenna system is implemented through the use of multi-band or wideband antennas and distribution systems. The considered designs of radiators allow to assemble antenna sheets with a dense packing of elements in the aperture.

Введение

В современных системах непосредственного телевизионного вещания в настоящее время наметился переход от апертурных антенн к антенным решёткам (АР). Это связано с обеспечением более высокого потребительского качества. Перспективным направлением является разработка АР спутникового телевидения с использованием технологии гальванопластики [1–8]. Такая технология позволяет уменьшить массу и габаритные размеры антенны, а также исключить из распределительной системы все неоднородности, возникающие при соединении отдельных элементов фидерного тракта.

Моделирование элементов двухдиапазонной антенной решётки

Особенностью функционирования антенных систем спутниковой телевидения является работа в двух поддиапазонах Ку-диапазона с разделением их по поляризации. Такой режим работы можно обеспечить, используя различные типы рупорных излучателей. На рис.1 приведены модели АР из рупорных излучателей с ромбической и эллиптической формой излучающего раскрыва.

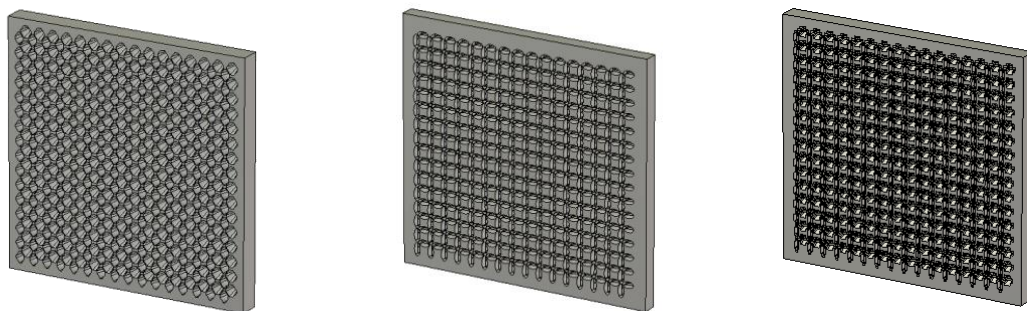


Рис. 1. Модели АР из рупорных излучателей с ромбической, эллиптической и крестообразной формой излучающего раскрыва.

На рис. 2-5 приведены зависимости КСВ от частоты для рупорных антенн с эллиптическим и крестообразным раскрывом. В составе решётки они имеют лучшие характеристики согласования, чем ромбические рупоры. Поэтому далее рассматриваются только излучатели с эллиптическим и крестообразным раскрывом.

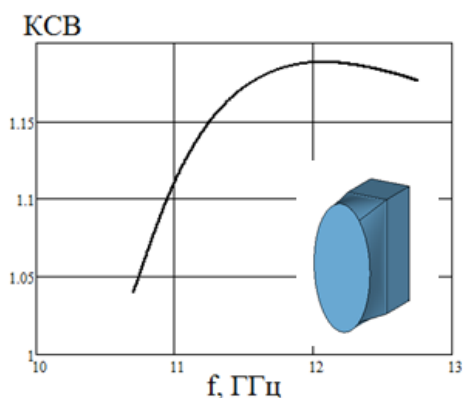


Рис.2. Зависимость КСВ от частоты излучателя, работающего в режиме приёма

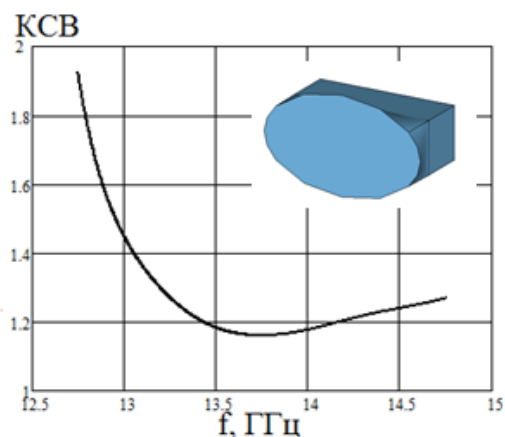


Рис.3. Зависимость КСВ от частоты излучателя, работающего в режиме передачи

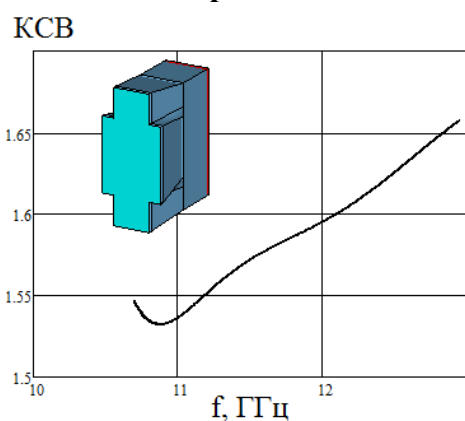


Рис.4. Зависимость КСВ от частоты излучателя, работающего в режиме приёма

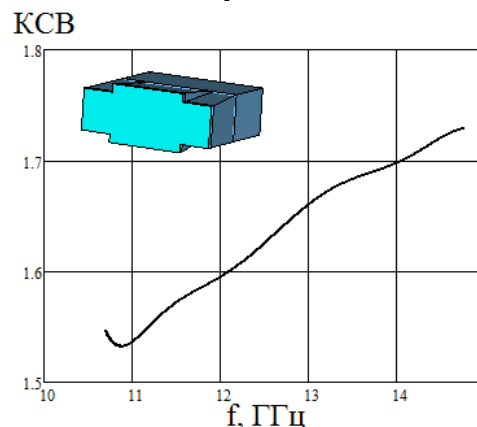
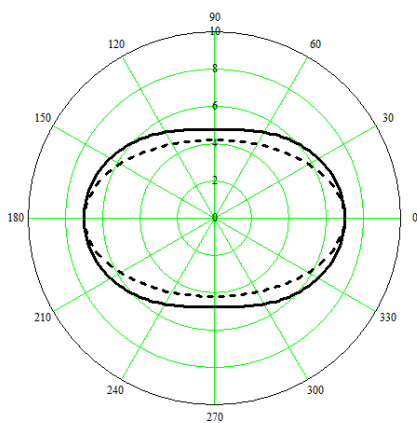


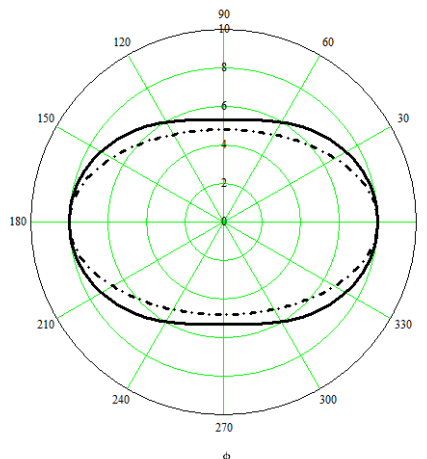
Рис.5. Зависимость КСВ от частоты излучателя, работающего в режиме передачи

В плавном переходе от прямоугольного волновода к раскрыву эллиптической формы происходит изменение структуры поля, что приводит к появлению кросс-поляризационных составляющих в раскрыве. Наличие кросс-поляризационных составляющих уменьшает развязку между передающим и приёмным каналами. Это уменьшение незначительное, поскольку кроссполяризационные составляющие появляются только на краях раскрыва рупора. Хотя структура поля в эллиптическом волноводе хорошо известна, характеристики направленности такого волновода в литературе отсутствуют. Для волноводов с малым эксцентриситетом, близким к круговым волноводам можно не вводить эллиптических функций и получить структуру поля в более простом виде через цилиндрические функции. На рис. 6 и 7 показаны аппроксимации эллиптического раскрыва передающего и приёмного каналов.



---- Раскрыв рупора передающей антенной решетке
 — Аппроксимирующий эллипс

Рис.6. Аппроксимация эллиптического раскрыва рупора, работающего на передачу



---- Раскрыв рупора приемной антенной решетке
 — Аппроксимирующий эллипс

Рис.7. Аппроксимация эллиптического раскрыва рупора, работающего на прием

Из рисунков видно, что формы раскрывов рупоров, работающих на передачу и приём, хорошо аппроксимируются эллипсами, позволяющими проводить расчет поля излучения с помощью цилиндрических функций [9,10]. Этими выражениями можно пользоваться всюду, включая точки контура, потому, что контуры эллипса (1) и круга $r = a$ в слабо эллиптическом волноводе близки.

На рис.8 показано распределение поля в раскрыве слабо эллиптического волновода.

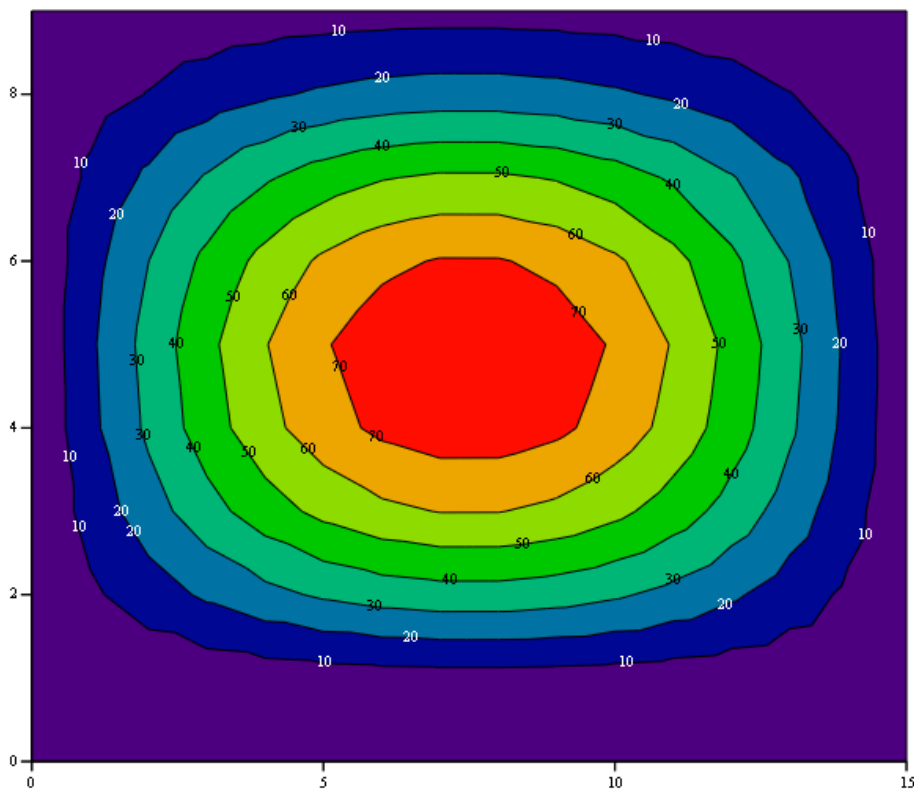


Рис.8. Распределение поля в раскрыве слабо эллиптического волновода

Параметры эллиптических раскрывов при работе на передачу и приём приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры эллиптических раскрывов при работе на передачу и приём

	a, мм	b, мм	e	l, мм
Передача	7	4,2	0,8	1,12
Прием	8	4,8	0,8	1,34

Для расчёта компонент поля в работе использованы асимптотические выражения для функций Матъё для аргумента, заключенного в интервале от -90 до $+90$ градусов, что соответствует поставленной задаче. Результаты расчета ДН с помощью асимптотических функций приведены на рис. 9 и 10.

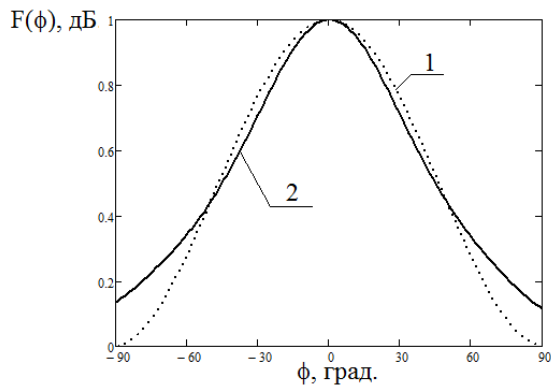


Рис.9. ДН излучателя в плоскости Н, рассчитанные аналитически (1) и численно (2) на частоте $f=10,7$ ГГц

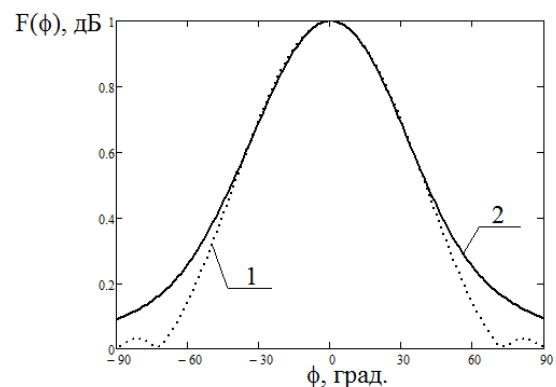


Рис.10. ДН излучателя в плоскости Н, рассчитанные аналитически (1) и численно (2) на частоте $f=12,7$ ГГц

Приближенный расчёт поля излучения антенн с эллиптическим раскрывом может быть выполнен с помощью скалярной формулы Кирхгофа.

Такой метод расчета удобно использовать при анализе характеристик направленности многоэлементных антенных решёток, например, с размерностью $N=1024$ и более элементов. Диаграммы АР из $N=1024$ элементов, рассчитанные в двух ортогональных плоскостях с учётом амплитудных и фазовых ошибок, приведены на рис. 11. На рис. 11 сплошной линией показана ДН решётки в плоскости Е, а пунктирной – в плоскости Н.

Излучатели с эллиптическим раскрывом обладают лучшими частотными и поляризационными характеристиками, чем излучатели с ромбической формой раскрыва, поэтому целесообразно строить АР на основе эллиптических рупоров.

Для совмещения антенного полотна с распределительной системой удобно использовать прямоугольные волноводы, по размерам близкие к стандартному волноводу типа R120. Параметры стандартного волновода приведены в таблице 2.

При построении двухдиапазонной АР целесообразно использовать волноводы различных размеров для разных поддиапазонов. Учитывая небольшую мощность в приёмном тракте, размеры волноводов можно существенно уменьшить по узкой стенке. В первом рабочем поддиапазоне $10,7 - 12,7$ ГГц ($\lambda=23 - 28$ мм) можно выбрать размеры $18 \text{ мм} \times 3 \text{ мм}$. При необходимости размещения элементов фидерного тракта, размер

широкой стенки можно сократить до 14 -15 мм. Во втором рабочем поддиапазоне 12,75 – 14,75 ГГц ($\lambda=20 - 23$ мм) можно выбрать размеры 11,5 мм×2мм.

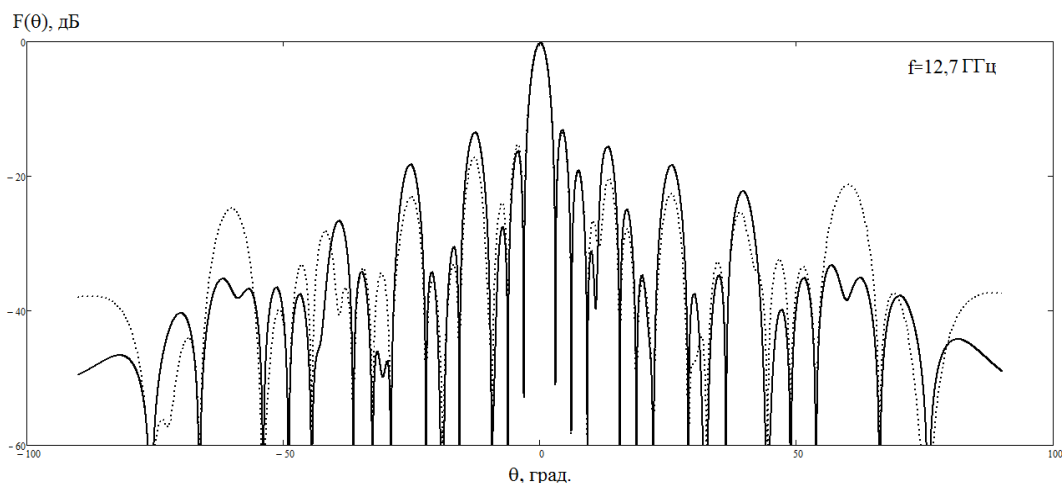


Рис.11. ДН решётки из 1024 элементов.

Таблица 2. Параметры стандартного волновода типа R120.

Обозначение	Внутренние размеры			Диапазон частот, ГГц		Толщина стенки, мм
	a, мм	b, мм	Допуск на ширину и высоту, мм	f_H	f_B	
R120 (WR-75)	19,050	9,525	0,038	9,84	15,0	1,027

Заключение

В данной работе представлены модели рупорных излучателей с эллиптической формой излучающего раскрыва. Проведена параметрическая оптимизация излучателей. Определены оптимальные размеры элементов антенной решётки по критерию наилучшего согласования. Проведена параметрическая оптимизация излучателя в виде рупора с эллиптической формы. Получены частотные характеристики и характеристики направленности излучателей в двух частотных диапазонах работы антенной системы спутникового телевидения. Разработана методика приближённого расчёта характеристик направленности излучателей с эллиптической формой излучающего раскрыва, позволяющая определить характеристики направленности многоэлементных антенных систем.

Литература

1. Д.И. Воскресенский, Е.В. Овчинникова, С.Г. Кондратьева, Фам Ван Винь, П.А. Шмачилин. Печатная широкополосная бортовая антенна с пластинчатой структурой // Журнал «Электросвязь» №10, 2017 г, С.28-33.
2. Фам Ван Винь, Овчинникова Е.В. Широкополосные излучатели мобильных телекоммуникационных систем. Пятая международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли» 25 мая 2017г. Москва, С.157-159.

3. Фам Ван Винь, Шмачилин П.А., Кондратьева С.Г, Овчинникова Е.В, Гаджиев Э.В. Двухдиапазонные и широкополосные антенны телекоммуникационных систем. Труды VII Всероссийской научной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» Всероссийские Армандовские чтения 27-29 июня 2017, г. Муром, С.330-338.
4. Фам Ван Винь, Шмачилин П.А., Кондратьева С.Г, Гаджиев Э.В. Широкополосные антенны систем спутникового телевидения. Труды 27-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2017)), 10-16 сентября 2017, г. Севастополь, С.618-622.
5. Фам Ван Винь, Васильев О. В. Двухдиапазонные антенны решетки систем спутникового телевидения. Сборник тезисов докладов конференции "Иосифьяновские чтения 2017, г. Истра, 26 октября 2017г. С.246-248.
6. Фам Ван Винь. Моделирование антенных систем спутникового телевидения. Труды международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения», 17-20 апреля 2018, г. Москва, МАИ, С.223-224.
7. Фам Ван Винь, Овчинникова Е.В, Гаджиев Э.В, Васильев О. В. Моделирование двухдиапазонных антенных решеток. Труды шестой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли». 24 мая 2018, г.Москва, С.136-138.
8. Фам Ван Винь, Овчинникова Е.В. Двухдиапазонные антенные системы спутникового телевидения. Труды 28-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2018)), 9-15 сентября 2018, г. Севастополь, С.570-574.
9. Гуревич А.Г. Полые резонаторы и волноводы. Введение в теорию М. Советское радио 1952г. 256с.
10. А. Анго. Математика для электро- и радиоинженеров. -М.: Наука, 1964.