

Антенная решетка на базе резонаторно-щелевых излучателей для радара 17 ГГц

Представлены результаты разработки резонаторно-щелевой антенны в печатном исполнении. Антенна работает в линейной поляризации и обеспечивает частотную полосу приема/передачи 800 МГц на рабочей частоте 17 ГГц. Коэффициент усиления антенной решетки составляет 30 дБ, а уровень боковых лепестков -23 дБ. В распределителе использован фольгированный диэлектрик фирмы CPL Industry Ltd. В расчете амплитудного распределения использован метод синтеза по Тейлору. Печатное исполнение распределителя и изготовление всех металлических резонаторов единой конструкции на ЧПУ, обеспечивает высокую технологичность антенны.

Ключевые слова: антенная решетка, резонаторно-щелевой излучатель, полосковый распределитель, тейлоровское распределение.

Радиолокационная система охраны периметра и территории объектов предназначена для круглосуточной всепогодной охраны объектов и подступов к ним посредством радиолокационного наблюдения. РЛС в произвольном секторе обзора (до 360 градусов) выполняет обнаружение движущихся целей на расстоянии до 1000 м по человеку и до 1500 м по транспортным средствам. Для обеспечения высокой разрешающей способности и компактности станции было принято решение об использовании, достаточно высокой частоты 17 ГГц, которая в настоящее время свободна и поэтому не требуется проверка на совместимость с действующими радарными на сложных по радиосовместимости территориях, таких как аэропорт, атомные и гидростанции и т.п. Второе требование к радару с малой дальностью является работа на разнесенных частотах, так чтобы можно было установить несколько антенн (до 8 штук) по периметру объекта. При мгновенной полосе анализа существующих когерентных радиолокационных сигналов около 100 МГц требуется антенна с полосой 800 МГц с центральной частотой 17 ГГц. Для обнаружения малых объектов требуется азимутальный луч шириной 1.5-2 градуса.

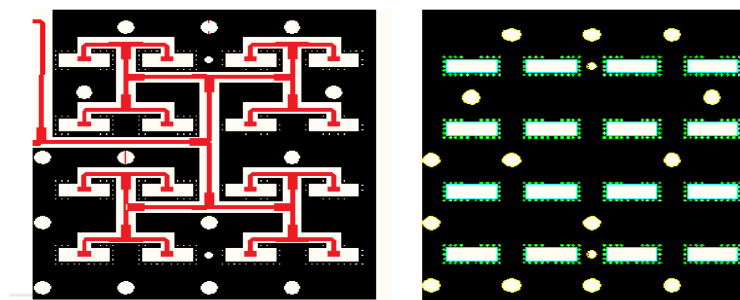


Рисунок 1.

Материал печатной антенны. Даже для выбранной высокой частоты 17 ГГц необходимый узкий азимутальный луч в 1,5 градуса требует достаточно большого антенного полотна порядка 700 мм. В связи с тем, что радар предназначен для гражданских охранных компаний его стоимость не должна быть чрезмерно высока, что и определило поиск недорогого фольгированного материала с малыми потерями на длинах волн 10-20 мм. Все

широко применяемые ламинаты, такие как Rogers, Taconic, Arlon представляют собой прессовки фторопласта или арилокса с медной фольгой. Из-за большого времени прессования цена ламината высокая. Второй класс носителей печатных проводников – это тонкие фольгированные пленки, например, лавсан и полиамид. Такие пленки значительно дешевле, так как они получаются в процессе рулонной обработки, однако их применение в качестве среднего слоя триплета (подвешенной полосковой линии) не позволяет на миллиметровых распределителях добиться высокой точности амплитудно-фазовых распределений из-за проблем нестабильности высоты пиломатериала и его коробления. Для разрешения этого противоречия между ценой и качеством был создан новый для СВЧ устройств материал: фольгированный полиэтилен, комбинированный с полипропиленом. Этот материал получается в результате рулонного продвижения основы и последующего крепления к ней фольги с двух сторон. Материал производит фирма CLP ($\epsilon_{ps}=2.45$, тангенс диэлектрических потерь 0,0007) его цена примерно в пять-десять раз ниже, чем у фирмы Rogers, а вносимые потери существенно лучше, что чрезвычайно важно для больших печатных распределителей на частотах 15-20 ГГц. Такой листовый материал, в отличие от пленочных, позволяет создать заполненную (не подвешенную) симметричную полосковую линию, обладающую низкими потерями и достаточно широкими возможностями для создания бинарных делителей мощности с большим диапазоном делений.

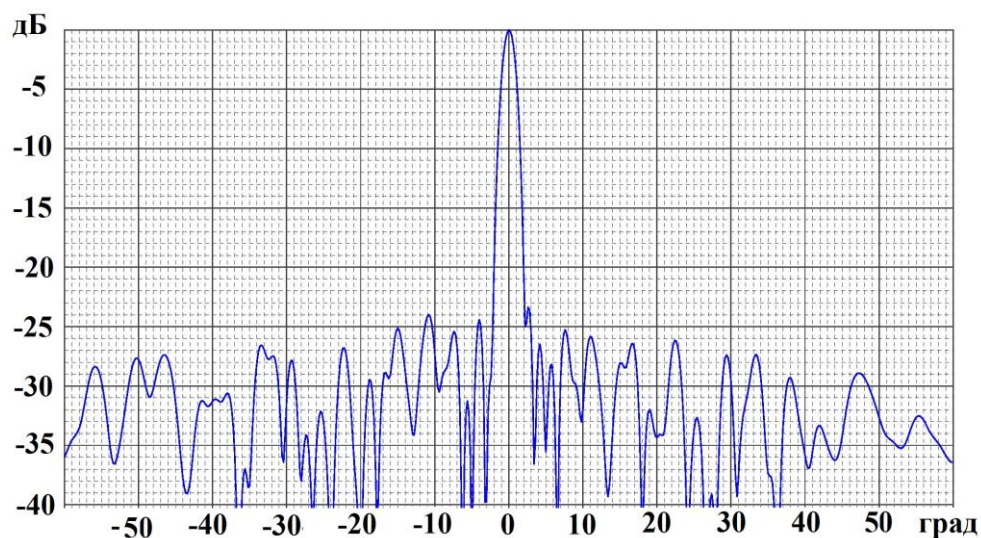


Рисунок 2.

Проектирование распределителя. При проектировании антенны с низким уровнем боковых лепестков принимаются во внимание все основные критерии: минимальная ширина главного лепестка, коэффициент полезного действия, коэффициент использования поверхности. Основные типы функций распределения мощности по апертуре антенны ограничены следующим набором популярных в инженерной практике - параболическая, косинусоидальная, чебышевская и тейлоровская. Практическая реализация чебышевского распределения сталкивается с необходимостью создания возрастающих к краям апертуры функций, что достаточно сложно технически. Проведенный сравнительный анализ параболического и косинусоидального распределений показал, что требования к дальним лепесткам ниже 25-30 децибел приводят к существенному снижению уровня сигнала на краю

апертуры, что снижает коэффициент использования поверхности, а главное создает трудности в проектировании полоскового распределителя. Это в свою очередь приводит к высоким значениям коэффициентов деления бинарных делителей, что трудно реализуется для этих частот. Еще один немаловажный фактор, в бинарном делителе с высоким коэффициентом деления (более 3-4) появляется заметная разница фаз в плечах, которую следует компенсировать длинами путей между уровнями деления. Исходя из этих соображений, был выбран распределитель, синтезированный по методу Тейлора[1]. В этом распределителе спадающее распределение на краю составляет 13,2 дБ(0.35раз), в отличие от косинусоидального, в котором требовалось бы 17,4 дБ (0,13раз).

Таблица 1

1	0.99	0.98	0.96	0.93	0.90	0.86	0.82	0.78	0.73	0.68	0.63	0.58	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.35
1	0.99	0.98	0.96	0.94	0.91	0.88	0.84	0.80	0.76	0.71	0.65	0.60	0.54	0.47	0.41	0.34	0.27	0.20	0.13

Это различие в уровнях амплитуд краевых токов приводило бы к большим коэффициентам деления в тройниковых делителях и усложнило бы реализацию антенны. В делителях первых четырех уровней, с коэффициентом деления менее 2.5 и фаза выходных трактов не корректировалась. В пятом уровне коэффициент деления более 4, поэтому фаза исправлялась длиной подводящего полоска. В топологии данный полосок набран сплайном, а не прямой линией и не параллелен осям печатной платы. Внешний вид нижней и верхней печатных плат (фрагмент на 16 щелей) приведен на рисунке 1. Рассчитанный распределитель на предварительном этапе проектных работ был изготовлен и испытан с применением коаксиально полосковых переходов. Измерения проводились на векторном анализаторе цепей, что позволило проверить синфазность всех выходных плечей и ввести корректирующие удлиняющие элементы. Измеренные фазовые ошибки составили не более 20 градусов и были учтены при следующей итерационной корректировке топологии. Распределитель, синтезированный по методике Тейлора, обеспечил диаграмму направленности в азимутальной плоскости, показанную на рис.2 (снято на серийной антенне).

Излучатель. Выбор типа излучателя определяется типом полосковой линии. Для симметричной линии наиболее конструктивно удобным является щелевой излучатель, который представляет собой щель, выполненную в верхнем экране. Подводящий полосок возбуждает щель, и она излучает в пространство над верхним экраном. Недостатком такого, давно известного типа излучателя состоит в необходимости устранения паразитных типов волн, возникающих в месте разрыва экрана. Возникающие волны двух параллельных металлических проводников (ТЕМ типа) вносят дезорганизацию в работу полосковой антенны.

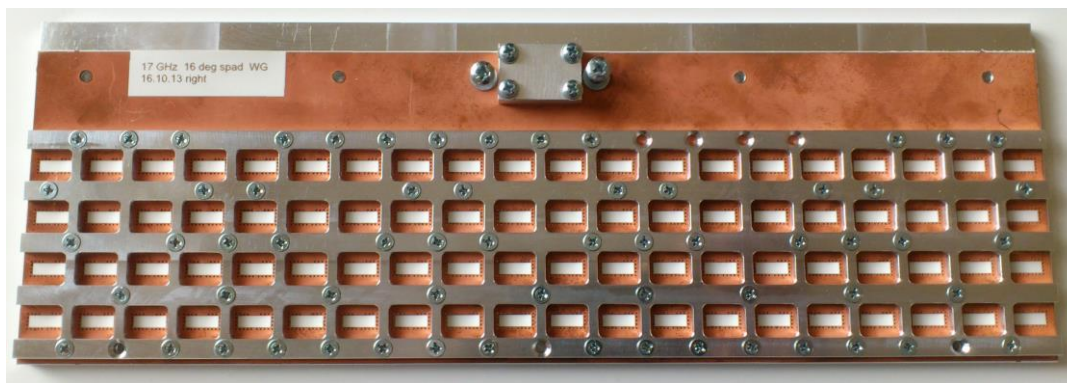


Рисунок 3.

Решение этой задачи состоит в том, чтобы использовать резонатор вокруг каждой щели, который и предотвращает излучение паразитной волны в межэкранный пространство полосковой антенны. Эта идея была реализована в описываемой антенне с помощью пластин (верхней и нижней) и системы металлизированных отверстий в печатных платах. Металлические пластины сложной формы изготавливались на станке с числовым программным управлением, в них были отфрезерованы полости, образующие 160 резонаторов, а также прямоугольная структура согласующая щель в печатной плате со свободным пространством. Эти резонаторы обеспечивали работу соответственно 160 резонаторно-щелевых излучателей. Очень важно отметить, что эта периодическая структура прямоугольных отверстий в верхней металлической плате существенным образом уменьшила взаимное влияние излучателей. Таким образом, конструкция, состоящая из двух фрезерованных металлических плат и двух печатных плат, позволила создать высокотехнологичную полосковую антенну. Внешний вид антенны показан на фотографии (рис.3). Было организовано серийное производство этих антенн. Достигнутые параметры диаграммы направленности: ширина луча по азимуту 1,6 градуса, максимальный уровень бокового излучения -23дБ, по углу места 16 градусов, при этом, коэффициент усиления составил 30дБ в рабочей полосе частот. Антенна в составе радара эксплуатируется в аэропортах, электростанциях, как на севере, так и на юге нашей страны.

Библиографический список

1. R. C. Hansen. Phased Array Antennas, 2nd Edition. Wiley-Interscience, 547 p., 2009.