

Ю.Ю. Бобков, И.С. Садовский, О.А. Юрцев, В.В. Кеда
ОАО «КБ Радар» - управляющая компания холдинга
«Системы радиолокации», г.Минск

Рамочная антенна с переключаемой поляризацией

Описывается рамочная антенна с двойной волновой рамкой, в которой путем переключения входов можно обеспечить передачу и прием на четырех линейных поляризациях и на двух ортогональных круговых поляризациях. Приводятся результаты численного моделирования методом моментов и результаты эксперимента.

Ключевые слова: рамочная антенна, переключение поляризации, метод интегральных уравнений

Введение

Одним из способов повышения помехоустойчивости в радиолокационных станциях является управление поляризацией излучения. Также, для расширения функциональных возможностей радиолокационной станции, особенно в диапазоне метровых волн, требуется измерение полной поляризационной матрицы рассеяния объекта, что достижимо при управляемой поляризации электромагнитной волны в режимах приема и передачи. Возможность управления поляризацией реализуется лишь в антеннах определенной конструкции. Управляемую поляризацию можно реализовать с помощью линейных вибраторов, расположенные по отношению друг друга под углом 90° и возбуждаемые по развязанным входам. Рамочные антенны превосходят вибраторные антенны по своим диапазонным свойствам и коэффициенту направленного действия. Однако рамочные антенны с управляемой поляризацией в литературе представлены мало [1,]. Настоящая работа является дополнением и продолжением работы [1]: описывается рамочная антенна с двумя сдвоенными волновыми рамками, в которой обеспечивается прием и передача на четырех линейных поляризациях и на двух ортогональных круговых поляризациях. Описывается конструкция антенны, результаты ее численного моделирования методом интегральных уравнений в тонкопроволочном приближении [2] и результаты экспериментальных исследований.

Конструкция антенны

Рассматриваемая конструкция рамочной антенны с управляемой поляризацией в системе координат X, Y, Z схематически показана на рисунке 1. Плоскость рамок совпадает плоскостью XY , (рисунок 1 б).

На рисунке 1а обозначено: 1 – четырехэлементная рамка; 2 – согласующие элементы антенны; 3 – металлические стойки; 4 – рефлектор. Короткие прямолинейные проводники, соединяющие соседние стороны рамок в центре системы рамок и на периферии этой системы, называются далее перемычками. Перемычки показаны на рис.2 (обозначены только на верхней рамке).

На рисунке 1б обозначено: D – длина перемычек в углах рамок; L – длина стороны рамок; L_e – длина согласующего элемента внутри рамки; Y_e – координата места включения согласующего элемента относительно центра антенны; D_z – расстояние между плоскостью рамок и плоскостью рефлектора (на рис.1 не показано); D_e – длина стороны квадратного рефлектора; A – центральная часть антенны, в которой производится переключение

поляризации. Схемы возбуждения рамок для получения различных видов поляризации показаны на рисунке 2.

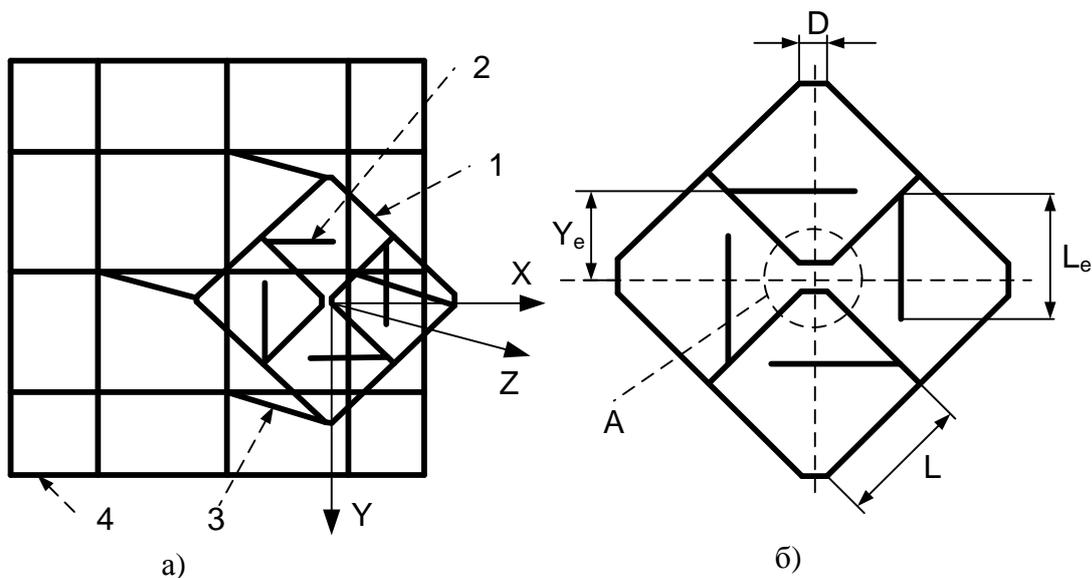


Рисунок 1. Рамочная антенна и ее элементы

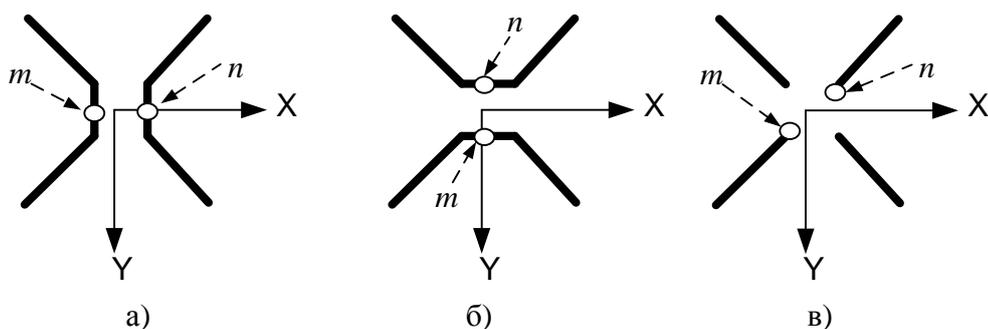


Рисунок 2. Схемы возбуждения антенны для получения различной поляризации: а – линейная горизонтальная; б – линейная вертикальная; в – линейная наклонная

Согласующие элементы гальванически связаны со сторонами рамок, и все элементы антенны имеют гальванический контакт с рефлектором. Поэтому узел возбуждения может быть сделан так же, как в рамочных антеннах с двумя рамками и одной линейной поляризацией: фидер и слаботочные линии управления переключателями должен проходить по металлической стойке, по двум сторонам одной рамки к переключателю поляризации, обеспечивающему коммутацию входов, показанных на рисунке 2. Буквами «m» и «n» обозначены точки подключения проводников фидерной линии.

Методы и результаты анализа

Анализ предлагаемой конструкции проводился численно с помощью разработанной программы [1]. В программе использован метод моментов применительно к интегральному уравнению для тока в тонких проводниках Поклингтона [2]. Разработанная программа позволяет моделировать описанную рамочную антенну и решетки из таких антенн с учетом взаимодействия излучателей. Для тестирования результатов моделирования в программе

предусмотрено формирование файла геометрии в формате программы MMANA, построенной с использованием вычислительного ядра NEC [3]. Эта программа и ядро NEC подвергались тщательному и обширному тестированию на протяжении многих лет, в том числе и сравнением результатов численного моделирования с результатами эксперимента.

Далее приводятся результаты моделирования и оптимизации антенны по входному сопротивлению. В качестве примера рассматривается задача оптимизации геометрических размеров антенны, обеспечивающих получение входного сопротивления 50 Ом на средней частоте 175 МГц при возбуждении линейной вертикальной или горизонтальной поляризации. Далее рассматривается случай возбуждения горизонтальной поляризации (рис.3а). В этом случае плоскостью E (электрической плоскостью) является плоскость XZ , а плоскостью H (магнитной плоскостью) – плоскость YZ . Характеристики антенны для случаев возбуждения рис. 2а и рис. 2б одинаковы. Различия только в том, что плоскости E и H меняются местами. В связи с этим далее рассматриваются только случаи рис. 2а и рис. 2в. Размеры элементов антенны, параметры которой представлены на рис.4-6: $L=310$ мм; $L_e=300$ мм; $Y_e=175$ мм; $D=60$ мм; $D_z=480$ мм; $D_e=1000$ мм; $A_o=5$ мм; $N_e=3$.

На рис. 3а показаны зависимости активной (R) и реактивной (X) частей входного сопротивления антенны от частоты, а на рис. 3б – зависимость коэффициент стоячей волны (КСВ) в линии передачи с волновым сопротивлением 50 Ом от частоты. Как видно, антенна по уровню $КСВ=2$ имеет относительную полосу пропускания $\mathcal{F} = (f_{\max} - f_{\min}) / f_0 = 15\%$. Частота f_0 – средняя в диапазоне $f_{\min} \dots f_{\max}$. В этом диапазоне частот активная часть входного сопротивления слабо зависит от частоты, поэтому полосу можно расширить путем компенсации реактивного сопротивления. Такие же результаты по входному сопротивлению – параметра наиболее сильно зависящего от точности моделирования получены в программе MMANA.

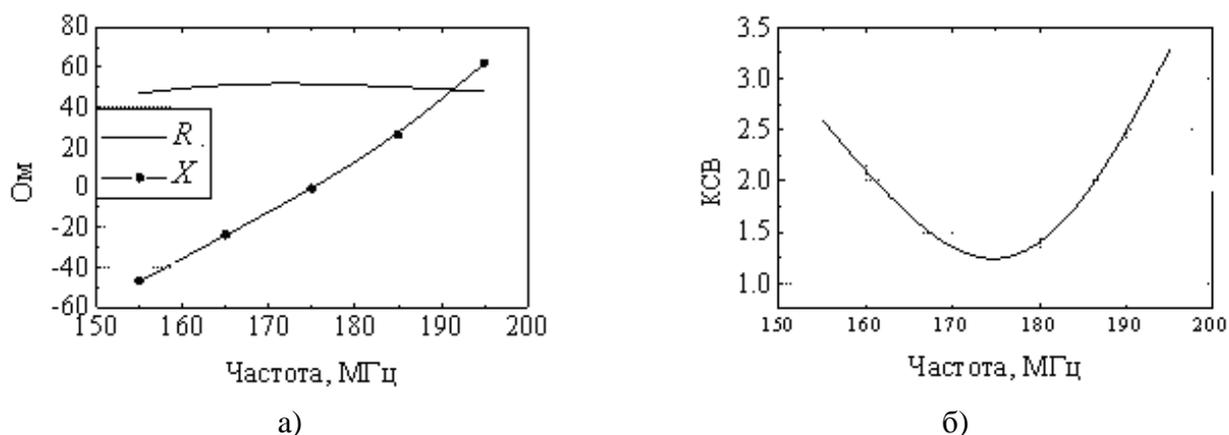


Рисунок 3. Зависимость входного сопротивления (а) и КСВ (б) от частоты

Для проверки достоверности полученных результатов проведено повторно численное моделирование с помощью известной программы MMANA, а также измерения параметров экспериментальных образцов. В программе MMANA использовано вычислительное ядро NEC, проверенное путем сравнения получаемых результатов с экспериментом на многочисленных конструкциях проволочных антенн, однако для нее требуется разработка дополнительные

программы, описывающей геометрию рамочной антенны. Такая программа авторами сделана и проведено сравнение результатов численного моделирования, полученных с помощью оригинальной программы и программы MMANA. Расхождение результатов близко к погрешностям эксперимента.

Результаты расчетов были сравнены с результатами эксперимента. Измерения проводились на частоте 1750 МГц для образца антенны, изготовленного в масштабе 1:10. На рис. 4 показаны ДН в плоскости E для случая рис. 3а по основной и ортогональной поляризации поля. Поле по ортогональной поляризации нормировано к максимуму поля по основной поляризации. На рис.5 показана экспериментальная зависимость КСВ от частоты.

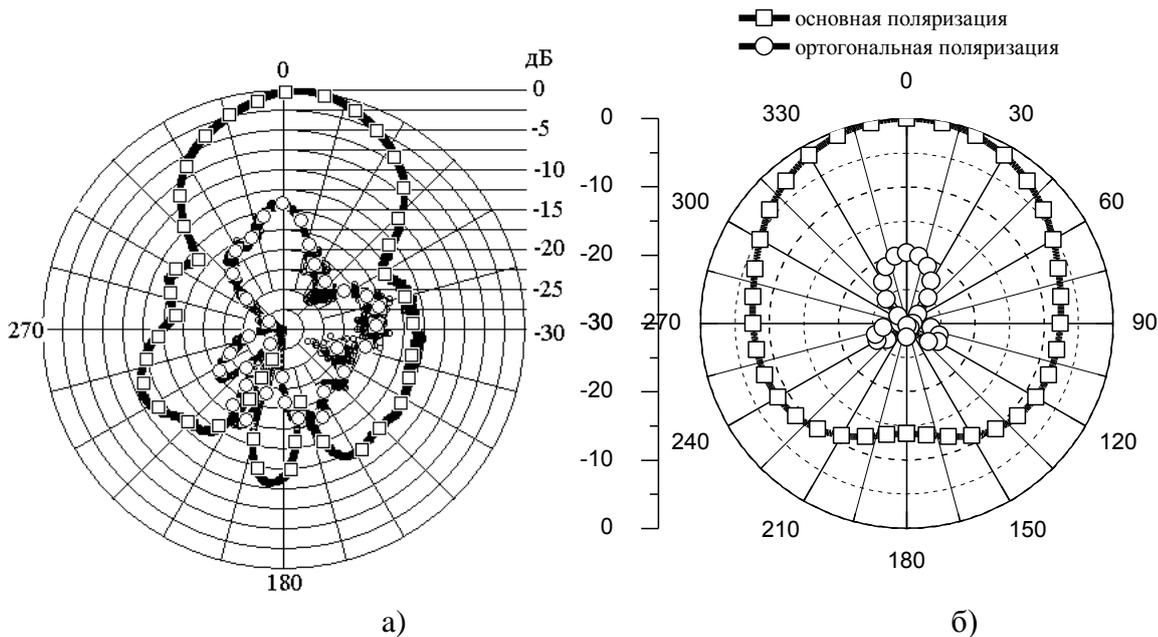


Рисунок 4. Диаграммы направленности в плоскости E на основной и ортогональной поляризации на центральной частоте: а) измеренная, б) расчетная

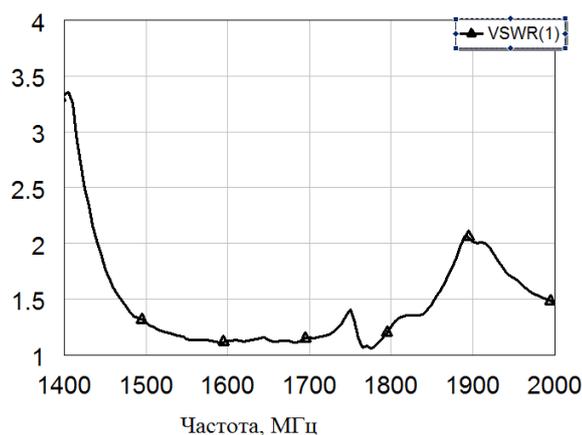


Рисунок 5. Измеренная частотная зависимость КСВ масштабного образца антенны

Исследования показали, что довольно высокий уровень поля по ортогональной поляризации на низких частотах— свойство антенны, так как при возбуждении основной вертикальной (или горизонтальной поляризации) поляризации в определенной степени

возбуждаются элементы, предназначенные для создания поля по основной поляризации в ортогональной плоскости. Заднее излучение можно уменьшить, варьируя размеры и структуру рефлектора.

При возбуждении наклонной поляризации (рис. 2 в) возрастает КСВ за счет более резкого изменения входного сопротивления в диапазоне частот, что показано на рис. 6. Уровень заднего излучения и излучения по ортогональной поляризации сохраняется таким же, как при линейной горизонтальной поляризации.

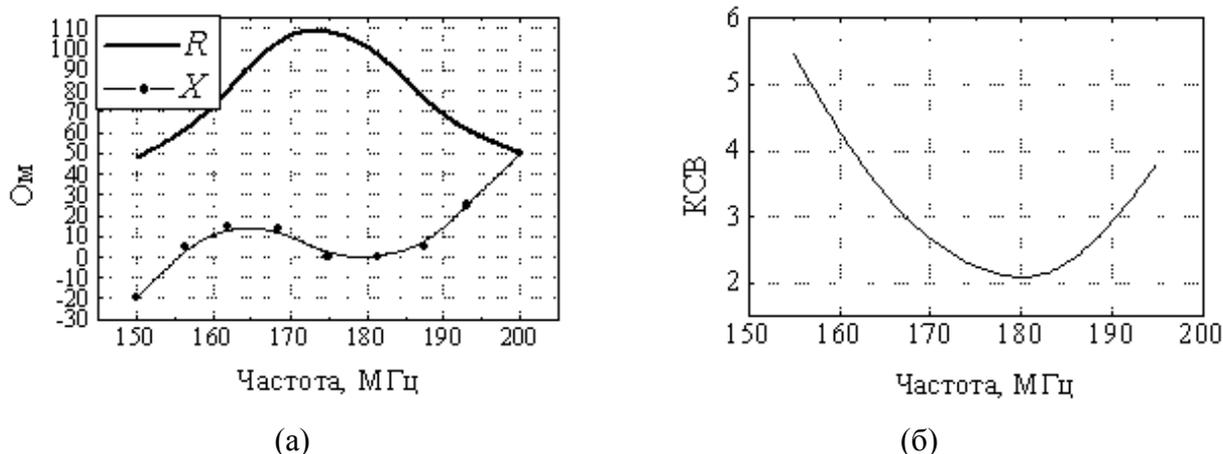


Рисунок 6. Зависимость входного сопротивления (а) и КСВ (б) от частоты при возбуждении наклонной поляризации

Заключение

Численно исследована конструкция рамочной антенны, в которой путем переключения входов можно получить 4 линейных поляризации, отличающихся ориентацией плоскости поляризации в пространстве. Эти 4 положения описываются углом преимущественной поляризации $\gamma = 0, 45, 90, 135^\circ$. Проведенное исследование показывает, что описываемая рамочная антенна довольно широкого диапазона и может быть использована в качестве самостоятельной антенны в системах радиосвязи и в качестве излучателя в антенных решетках. Переключение поляризации увеличивает помехозащищенность радиотехнической системы с антенной решеткой и уровень принимаемого полезного сигнала.

Библиографический список

1. Yurtsev O., Sadovsky I. and Ptashinsky G. Frame Loop with Switchable Polarization// IX International Conference on Antenna Theory and Techniques. Proceedings. Odessa, Ukraine, 2013. P.361-363.
2. Вычислительные методы в электродинамике//Под ред. Р Митры. М. 1977. С. 494.
3. Гончаренко И. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA/М. 2002. С.79.