

УДК 621.396.67 (075.8)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАМОЧНЫХ АНТЕНН ПО ВХОДНОМУ СОПРОТИВЛЕНИЮ

АЛЬ-РИФАИ АБДУЛЬМУИН, Д.В. ЛИХАЧЕВСКИЙ, О.А. ЮРЦЕВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 17 января 2007

С использованием метода моментов исследованы основные закономерности в зависимости электрических характеристик и параметров двух типов рамочных антенн от их геометрических параметров. Определены геометрические параметры, при которых реактивная часть входного сопротивления равна нулю на заданной частоте.

Ключевые слова: рамочная антенна, замкнутая рамка, разомкнутая рамка, метод моментов.

Введение

Объектом исследования являются два типа рамочных антенн [1] Длина периметра рамки первого типа близка к длине волны, в углах, противоположных точкам возбуждения, рамка замкнута. Длина стороны рамки далее обозначается символом L , угол при вершине рамки — β . Такая рамка далее называется одноволновой замкнутой (или одноволновой) — рис. 1,а. В другом типе рамки длина периметра близка к двум длинам волн, и каждая рамка разомкнута в углу, противоположном точкам возбуждения. Такая рамка далее называется двухволновой разомкнутой (или двухволновой) — рис. 1,б. Плоскостью E в антеннах является плоскость XZ , плоскостью H — плоскость YZ . Рамки снабжены рефлектором в виде системы проводников, параллельных вектору электрического поля \vec{E} . Размеры рефлектора в плоскостях E и H — D_e , D_h ; число проводников рефлектора N ; расстояние между проводниками — d . Радиус проводников всех элементов антенны далее обозначен символом A_0 .

Оба типа рамок могут быть также снабжены системами директоров и обеспечивают формирование осевой диаграммы направленности с главным лепестком, ориентированным перпендикулярно плоскости рамки.

Рамочная антенна из замкнутых рамок достаточно часто используется в различных радиотехнических системах. Вместе с тем в литературе недостаточно сведений о зависимости ее электрических характеристик и параметров от геометрических параметров и частоты. Антенны из двухволновых рамок используются значительно реже, и для них подобные сведения в литературе отсутствуют.

В статье приводятся результаты исследования зависимости диаграммы направленности (ДН), коэффициента направленного действия (КНД) и входного сопротивления ($Z=R+iX$) от упомянутых геометрических параметров.

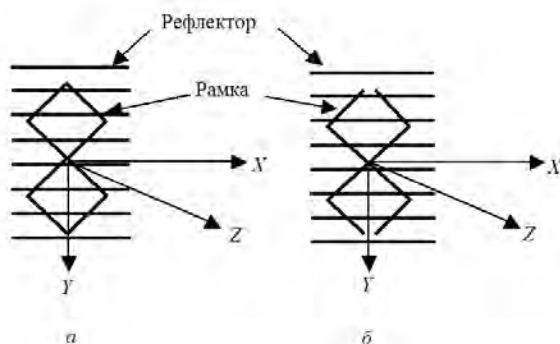


Рис. 1. Рамочная антенна:
а) замкнутая рамка; б) разомкнутая рамка

Эти параметры выбирались из условия равенства нулю реактивной части входного сопротивления антенны на средней частоте выбранного для моделирования диапазона частот и обеспечения минимального уровня заднего излучения. Для одноволновой рамки решалась также задача определения геометрических параметров, при которых активная часть входного сопротивления на средней частоте выбранного диапазона близка к значениям 50 и 75 Ом.

Поскольку объектом исследования является проволочная антенна, для численного анализа использован метод моментов [2]. При расчете коэффициента усиления проводники антенны считались сделанными из меди. Численное моделирование проведено в диапазоне частот со средней частотой 300 МГц, но на последующих графиках приведены также зависимости исследуемых параметров от нормированной частоты f/f_0 , где f_0 — средняя частота диапазона, в котором проводилось моделирование.

Результаты численного моделирования

Уровень заднего излучения слабо меняется, если расстояние между проводниками рефлектора не более $0,1\lambda$ (λ — длина волны); размер рефлектора в плоскости E (D_e) не менее $1,2 L_e$, где L_e — размер рамки в этой плоскости и не менее $0,5\lambda$; размер рефлектора в плоскости H (D_h) не менее $1,2 L_h$, где L_h — размер рамки в этой плоскости. Ниже приведенные результаты соответствуют этим условиям. Для иллюстрации на рис. 2,а показана зависимость уровня заднего излучения F/B (отношение КНД в направлении главного максимума ДН к КНД в обратном направлении) для одноволновой рамки от волнового расстояния между проводниками рефлектора d/λ_0 при различных D_e/λ_0 ; $D_h/L_h=1,2$; $L=0,25\lambda_0$; $\beta=90^\circ$ (λ_0 — средняя длина волны рабочего диапазона). На рис. 2,б показана такая же зависимость для двухволновой разомкнутой рамки при $D_h/L_h=1,2$; $L=0,5\lambda_0$; $\beta=90^\circ$; $D_e/\lambda_0=0,8$.

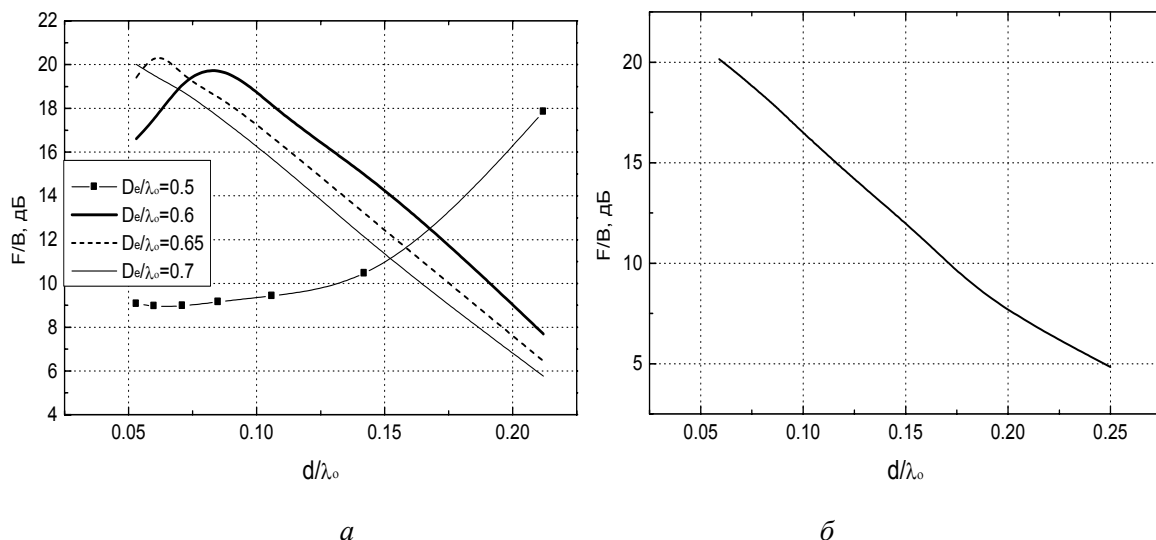


Рис. 2. Зависимость F/B от волнового расстояния между проводниками рефлектора: а) одноволновая рамка; б) двухволновая рамка

Одним из важных критериев оптимизации антенны является входное сопротивление. Входное сопротивление зависит от всех геометрических параметров антенны. Поэтому при оптимизации рамок по входному сопротивлению изменялись длина стороны рамки (L), расстояние между плоскостью рамки и рефлектором (D_z), угол при вершине рамки (β).

На рис. 3 приведена зависимость L/λ_0 от угла β , соответствующая условию $X=0$ для двух типов рамочных антенн. Для одноволновой замкнутой рамки (рис. 3,а) приведены графики соответствующие значениям: $d/\lambda_0=0,09$; $D_e/\lambda_0=0,65$; $D_h/L_h=1,2$; $D_z/\lambda_0=0,123$; $A_0/\lambda_0=0,0023$. На шкале абсцисс показаны значения активной части входного сопротивления, соответствующие значениям угла β .

Параметры двухволновой рамки: $d/\lambda_0=0,09$; $D_e/\lambda_0=0,8$; $D_h/L_h=1,2$; $D_z/\lambda_0=0,15$; $A_0/\lambda_0=0,0023$.

Значения R и X зависят от частоты. На графиках рис.4 показаны зависимости $R(f/f_0)$ и $X(f/f_0)$ для одноволновой рамки, в которой на средней частоте f_0 реактивная часть входного сопротивления равна нулю, а активная часть равна значениям 50 и 75 Ом. Геометрические параметры антенны указаны выше. На рис. 5 показаны аналогичные зависимости для двухволновой рамки, у которой на средней частоте $X=0$.

Из приведенных результатов следует что, входное сопротивление двухволновой рамки значительно больше, чем одноволновой.

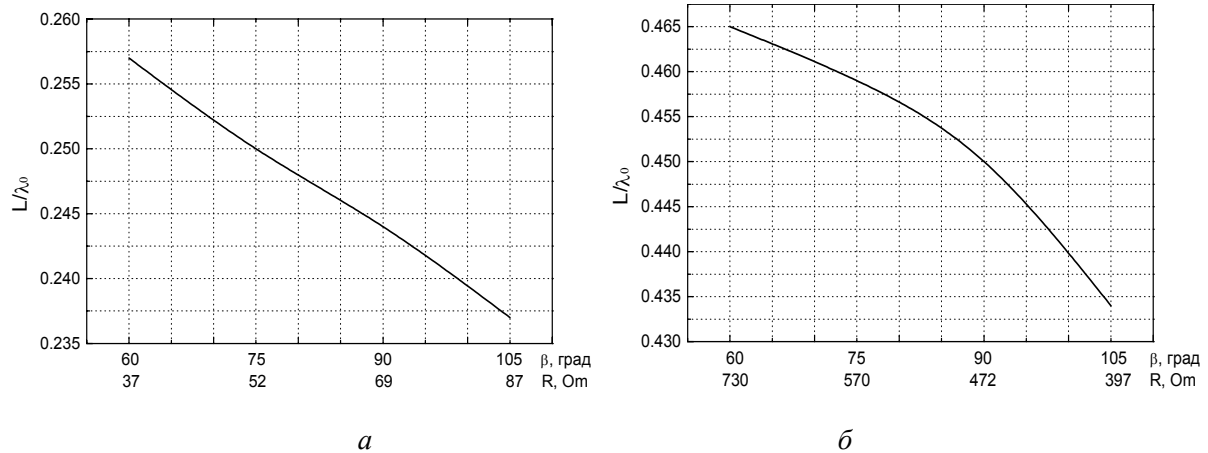


Рис. 3. Зависимости волновой длины стороны рамки L/λ_0 от угла β :
а) одноволновая рамка; б) двухволновая рамка

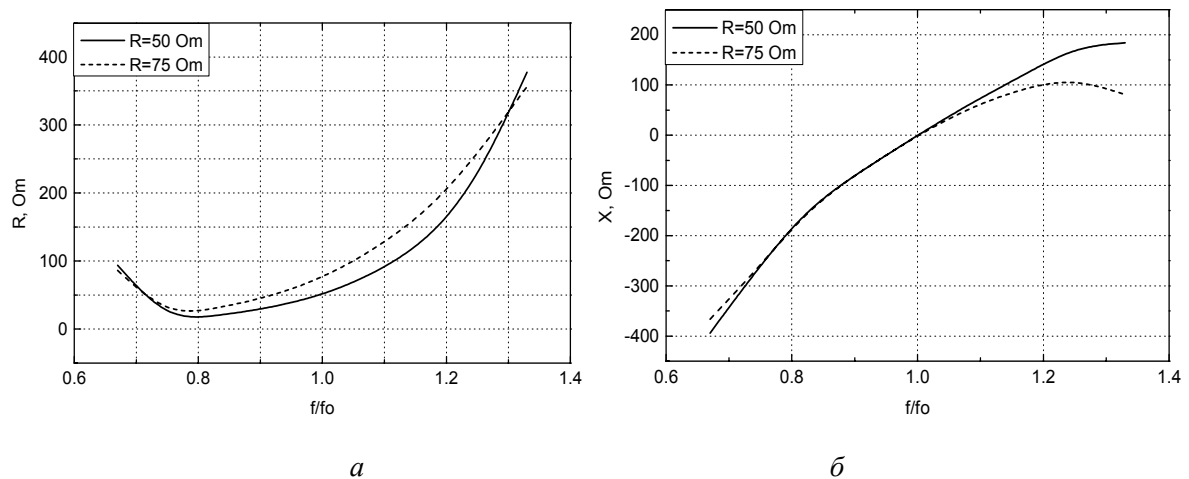


Рис. 4. Зависимость входного сопротивления от нормированной частоты для одноволновой рамки:
а) активное сопротивление; б) реактивное сопротивление

О диапазонных свойствах необходимо судить не только по зависимости R и X от частоты, а также по зависимости ДН и КНД от частоты. На рис. 6–8 показаны ДН в плоскости E одноволновой и двухволновой рамок на средней частоте $f_0=300$ МГц и на двух частотах, отличающихся от средней на $\pm 20\%$. Геометрические параметры рамок, нормированные к длине волны, приведены выше. Значения этих параметров в мм:

одноволновая рамка с $R=75$ Ом — $L=249,15$ мм; $\beta=81^\circ$; $d=90$ мм; $D_e=650$ мм; $D_h=900$ мм; $D_z=148,22$ мм; $A_0=2,3$ мм;

двухволновая рамка — $L=449,6$ мм; $\beta=90^\circ$; $d=90$ мм; $D_e=800$ мм; $D_h=1550$ мм; $D_z=150$ мм; $A_0=2,3$ мм.

На рисунках приведены также значения КНД, F/B , входного сопротивления.

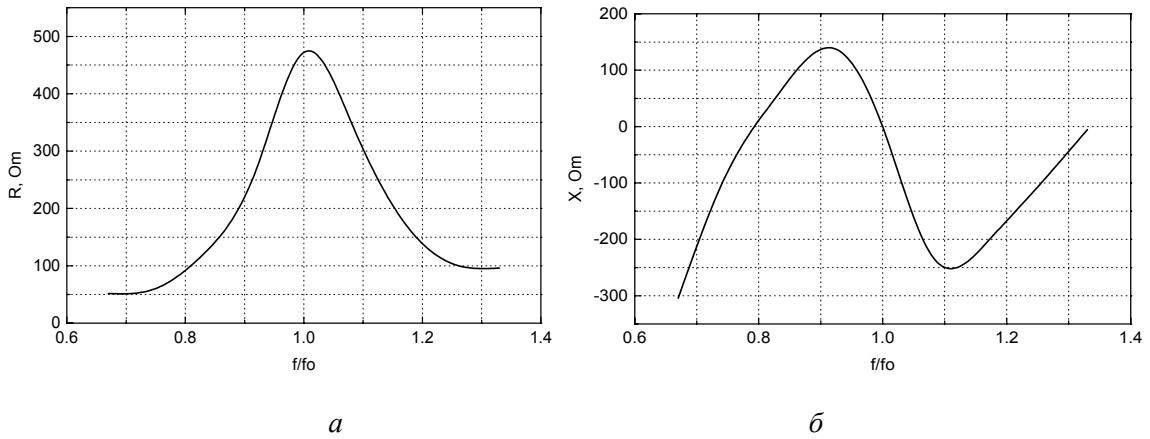


Рис. 5. Зависимость входного сопротивления от нормированной частоты для двухволновой рамки: а) активное сопротивление; б) реактивное сопротивление

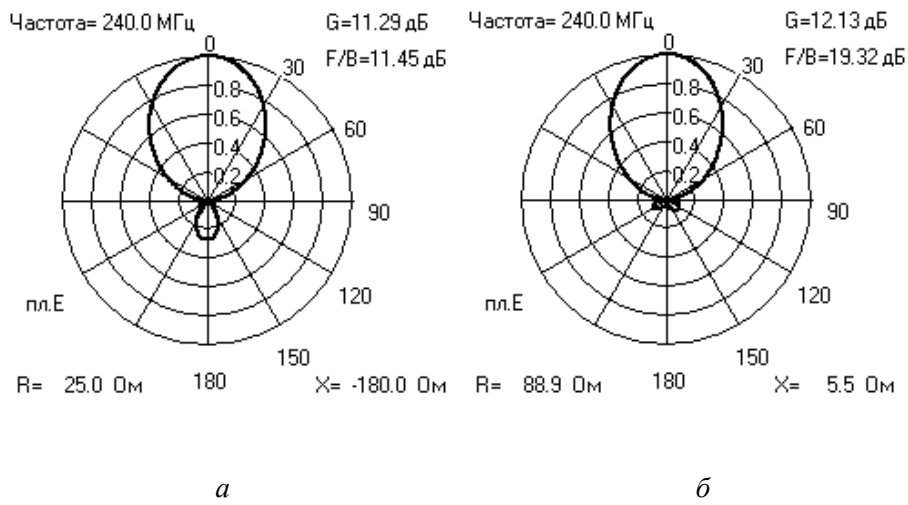


Рис. 6. ДН на частоте $f_0=240$ МГц: а) одноволновая рамка; б) двухволновая рамка

Как видно, двухволновая рамка более диапазонна по критерию стабильности R и X и ДН в диапазоне частот и имеет больший КНД. Недостатком ее является высокое входное сопротивление R , что приводит к необходимости применения трансформатора сопротивлений для согласования.

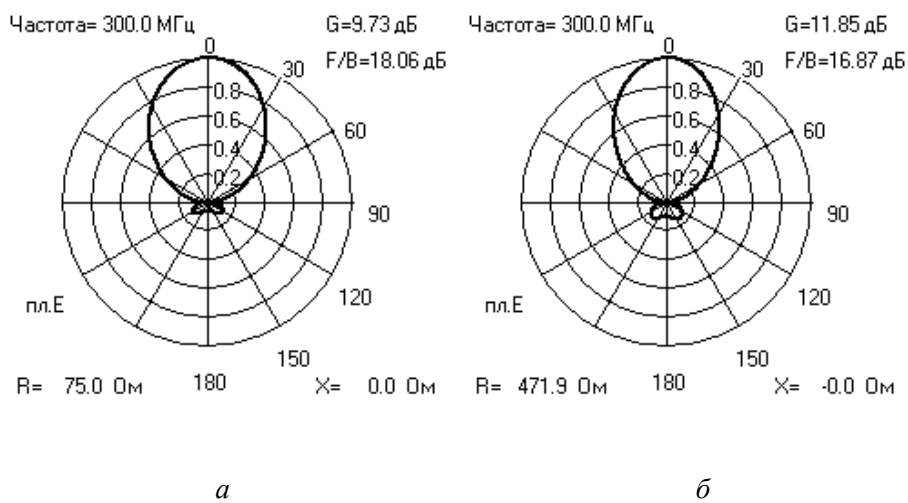


Рис. 7. ДН на частоте $f_0=300$ МГц: а) одноволновая рамка; б) двухволновая рамка

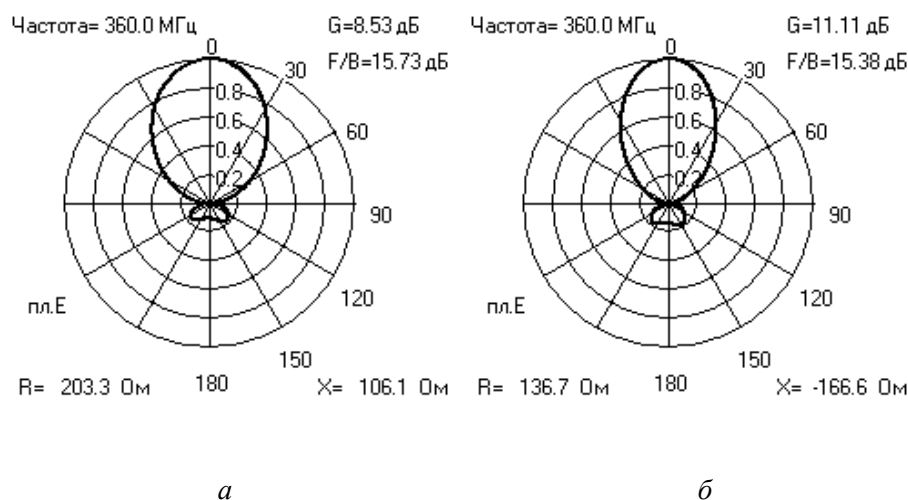


Рис. 8. ДН на частоте $f_o=360$ МГц: а) одноволновая рамка; б) двухволновая рамка

На рис. 9 показаны ДН в плоскости H на частоте $f_o=300$ МГц для двух типов рамок с указанными выше геометрическими параметрами.

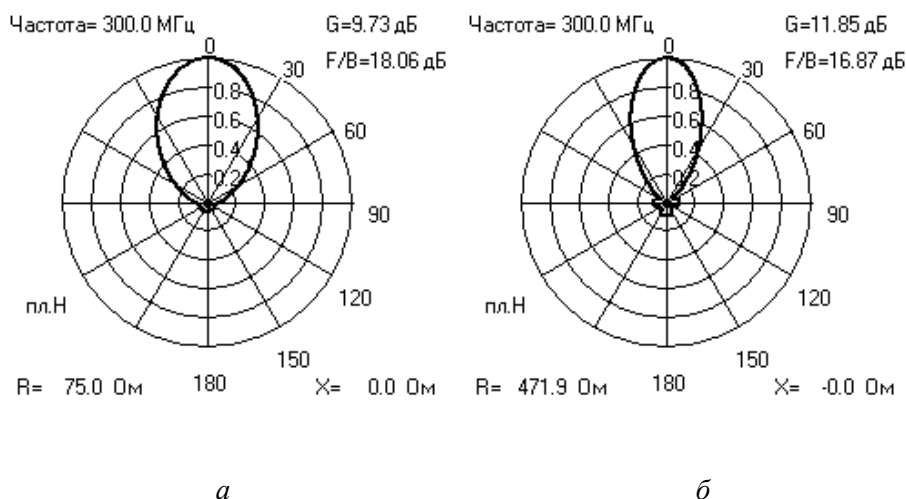


Рис. 9. ДН в плоскости H на частоте $f_o=300$ МГц: а) одноволновая рамка; б) двухволновая рамка

Точность результатов численного моделирования входного сопротивления и ДН проверены экспериментально на нескольких образцах антенн в разных диапазонах частот. Параметром, наиболее чувствительным к точности моделирования, является входное сопротивление и КСВ. На рис. 10 приведены рассчитанная и экспериментальная зависимости КСВ от частоты для рамочной антенны из замкнутых рамок с параметрами: $f_o=1227$ МГц; $L=61,5$ мм; $\beta=60^\circ$; $d=0,07$ мм; $D_e=130$ мм; $D_h=260$ мм; $D_z=43$ мм; $A_o=1,25$ мм. Как видно, близость экспериментальных и теоретических значений КСВ вполне приемлема.

Заключение

Проведенное численное моделирование рамочных антенн позволило достаточно подробно выяснить зависимость электрических характеристик и параметров рамочных антенн от их геометрических параметров и частоты. Рассмотрено влияние на параметры диаграммы направленности и входное сопротивление рамочных антенн в виде двойных одноволновых замкнутых и двухволновых разомкнутых рамок:

размеров и структуры рефлектора в виде проводников, параллельных вектору \vec{E} поля излучения;

волнового размера стороны рамки;

угла при вершине рамок, противоположной углам возбуждения;

расстояния между плоскостью рамок и плоскостью рефлектора.

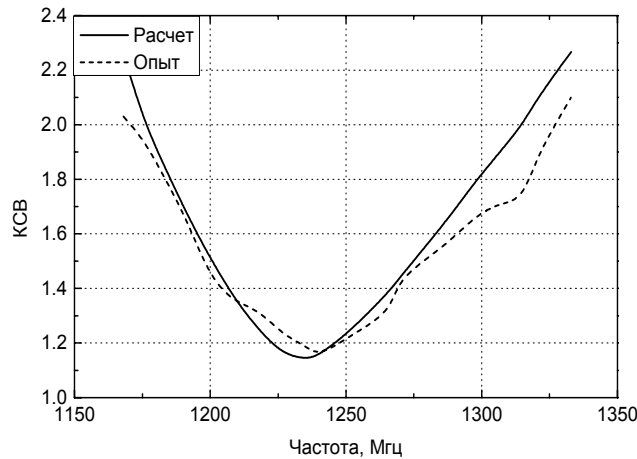


Рис. 10. Экспериментальная и теоретическая зависимости КСВ от частоты

Определены параметры рамочных антенн, обеспечивающие на заданной частоте получить для антенны из волновых рамок входное сопротивление $R=50$ Ом и $R=75$ Ом при $X=0$ и для антенны из двухволновых рамок $X=0$. Эти результаты моделирования позволяют спроектировать рамочную антенну на заданное входное сопротивление. Исследованы диапазонные свойства рамочных антенн. Показано, что антенны из одноволновых рамок обеспечивает работу в полосе частот, равной 12–15% от средней частоты при $КСВ < 2$. Рамочная антенна из двухволновых рамок имеет высокое активное входное сопротивление и требует применения согласующего трансформатора сопротивлений. Коэффициент направленного действия такой антенны на 1,5–2 дБ больше, чем антенны из волновых рамок, но поперечные размеры больше приблизительно в 2 раза.

Сравнительный анализ антенн из волновых и двухволновых рамок позволяет сделать вывод о том, что для согласования с линиями передачи, имеющими волновое сопротивление 50 и 75 Ом, целесообразно использовать антенны из волновых рамок, а для увеличения КНД целесообразно использовать решетку таких антенн.

OPTIMIZATION OF FRAME ANTENNAS ON ENTRANCE RESISTANCE

ALRIFAI ABDOUL MOUEN, D.V. LIHACHEVSKIJ, O.A. YURTSEV

Литература

With use of a method of the moments the basic laws in dependence of electric parameters of two types of frame antennas from their geometrical parameters are investigated. Geometrical parameters at which the jet part of entrance resistance is equal to zero on the set frequency are certain.

Литература

1. Ротхамель К. Антенны. Пер. с немецкого. Минск, 2001. Т. 1, Т. 2.
2. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р.Митры. М., 1977.