

УДК 621.396.67 (075.8)

ДВУХДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

О.А. ЮРЦЕВ, Ю.Ю. БОБКОВ, О.Л. ГУЛЯКЕВИЧ, А.М. АЛЬДРАК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 28 марта 2005*

Приводятся результаты численного моделирования проволочной антенны типа "кольцо–стержень". Анализируются диапазонные свойства, зависимость характеристик и параметров антенны от геометрических параметров ее элементов и частоты.

Ключевые слова: интегральное уравнение, распределение тока, диаграмма направленности, входное сопротивление, коэффициент направленного действия.

Введение

В работе [1] предложена антенна бегущей волны, состоящая из периодической системы проволочных колец и возбуждающей их двухпроводной линии. Антенна снабжена плоским дисковым экраном и схематически показана на рис. 1.

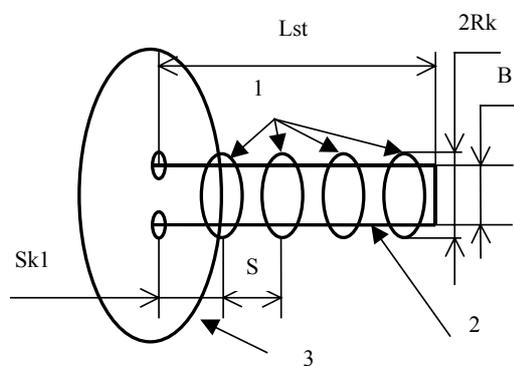


Рис. 1. Антенна типа "кольцо-стержень"

Двухпроводная линия со стороны экрана возбуждается токами одинаковой амплитуды, сдвинутыми по фазе на 180° . В описании к авторскому свидетельству [1] приводятся лишь отдельные сведения о характеристиках и параметрах такой антенны, полученные экспериментально. Антенна является широкополосной. В настоящей статье излагаются результаты подробного численного моделирования указанной антенны. Численное моделирование проведено с использованием интегрального уравнения Поклингтона для тока в тонком проводнике [2]. На рис.1 приведены обозначения размеров элементов антенны, которые менялись при моделировании (R_k — радиус колец). В антенне проводники двухпроводной линии (стержни) возбуждаются от коаксиальных разъемов, расположенных на экране. Антенна имеет линейную поляризацию, плоскость E совпадает с плоскостью расположения проводников двухпроводной линии.

Геометрическая модель антенны

Для моделирования реальная модель антенны заменена ее геометрической моделью. В ней плоский дисковый рефлектор заменен рефлектором из тонких проводников, параллельных плоскости E антенны. Форма рефлектора прямоугольная, кольца заменены многоугольниками; De и Dh – размеры рефлектора в плоскостях E и H .

В процессе моделирования менялись частота и геометрические параметры: Rk ; B ; S ; SI ; SkI ; Nk — число колец; Mk — число сторон многоугольника, заменяющего кольцо; De ; Dh ; Ne — число проводников рефлектора; Aok — радиус проводника колец; Aos — радиус проводника стержней; Aoe — радиус проводников рефлектора.

Математическая модель антенны

Как уже отмечалось, математическая модель антенны основана на интегральном уравнении (ИУ) Поклингтона для тонкого проводника [2]. Методом Галеркина с использованием кусочно-постоянных функций в качестве базисных и весовых ИУ сведено к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) порядка M (M — число сегментов на всей антенне). В качестве исходных данных, помимо указанных ранее, задавалось число сегментов, приходящихся на длину волны M_0 . По величине M_0 определялось число сегментов на каждом элементе антенны и общее число сегментов M . СЛАУ решалось методом исключения Гаусса без поиска главного элемента. По найденным значениям токов в сегментах антенны рассчитывались: входное сопротивление $Z_{\text{вх}} = R_{\text{вх}} + iX_{\text{вх}}$, диаграмма направленности по основной и ортогональной поляризации ДН, коэффициент направленного действия КНД, уровень поля по основной поляризации в задней полусфере по отношению к главному максимуму ДН — F/B .

Результаты численного моделирования

Численное моделирование проводилось в двух диапазонах частот. Проведено исследование на сходимость результата определения входного сопротивления в зависимости от числа сегментов, приходящихся на длину волны (M_0). Входное сопротивление выбрано в качестве критерия сходимости потому, что оно наиболее чувствительно к числу сегментов M_0 . Результат вычисления входного сопротивления достаточно хорошо сходится при $M_0 > 70$ и отношении длины сегмента к диаметру провода $0,8 \dots 1,6$. Все последующие результаты приведены для $M_0 = 80$ и для диаметра проводников антенны 8 мм. Общее число сегментов на антенны в зависимости от ее сложности менялось от 600 до 3500.

На средней частоте диапазона 1 периметр колец взят близким к одной длине волны, в диапазоне 2 – близким к двум длинам волн. В диапазоне 1 средняя частота взята равной $f_1 = 300$ МГц, во втором диапазоне – $f_2 = 600$ МГц. Для указанной f_1 размеры элементов: $Rk = 150$ мм, $De = 600$ мм, $Dh = 640$ мм. Число колец — $5 \dots 10$, $B = 80 \dots 150$ мм. Для работы на другой средней частоте приведенные ниже результаты можно легко пересчитать, используя принцип масштабного моделирования.

Исследована зависимость параметров антенны от расстояния между проводниками двухпроводной линии. Этот параметр существенно влияет на входное сопротивление: с ростом величины B активная часть входного сопротивления возрастает, реактивная часть, оставаясь емкостной, уменьшается. Дальнейшее моделирование выполнено для $B = 150$ мм. На рис. 2 показана зависимость входного сопротивления от частоты для указанных выше геометрических параметров. Расстояние между проводниками экрана 160 мм (5 проводников экрана). Из рис. 2 следует, что входное сопротивление довольно резко зависит от частоты. В интервалах частот вокруг частот 300 и 600 МГц активная часть входного сопротивления составляет 100–200 Ом, реактивная близка к нулю. Такое сопротивление хорошо согласуется с линией, имеющей волновое сопротивление 50 Ом через трансформатор. Зависимость КНД и отношения F/B от частоты для этих же геометрических параметров показана на рис. 3.

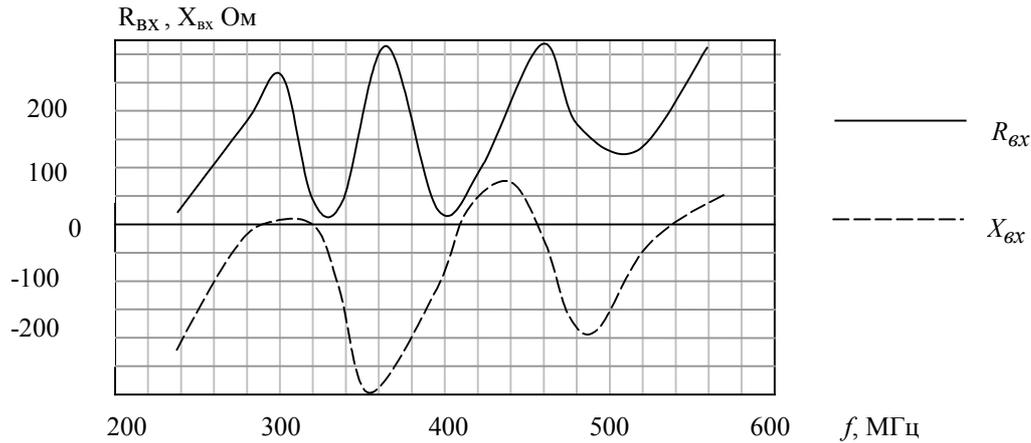


Рис. 2. Зависимость входного сопротивления от частоты

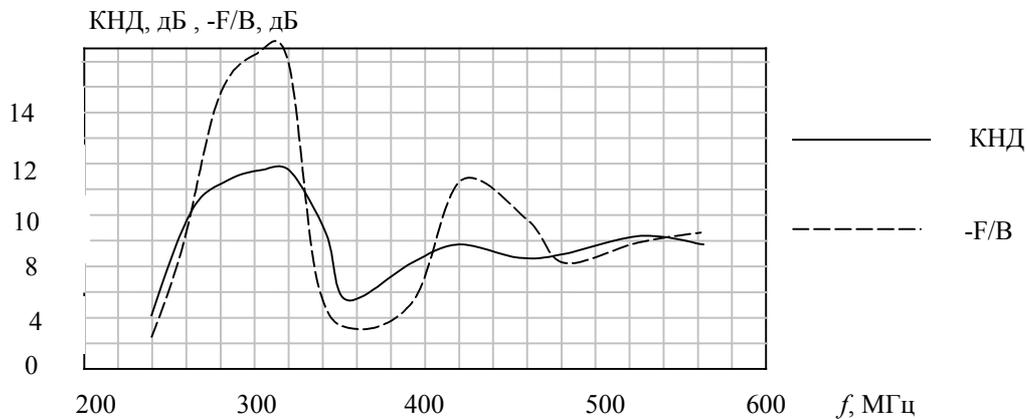


Рис. 3. Зависимость КНД и уровня заднего излучения от частоты

Как видим, имеются два поддиапазона. В поддиапазоне со средней частотой 320 МГц КНД равен 10–12 дБ, уровень обратного излучения меньше –12 дБ. В поддиапазоне со средней частотой 600 МГц КНД > 8 дБ, уровень заднего излучения меньше –8 дБ.

На рис. 4 и 5 показаны диаграммы направленности антенны в плоскости E и H на двух частотах.

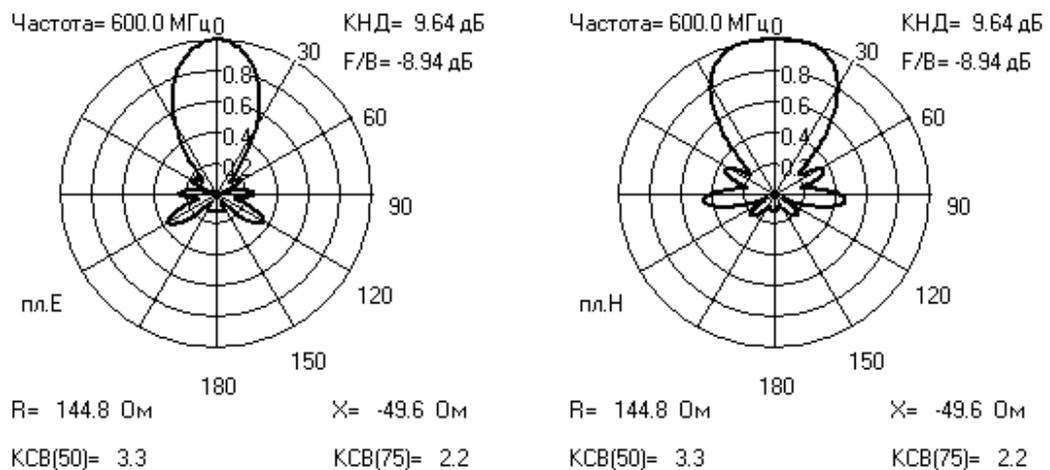


Рис.4. Диаграммы направленности в плоскостях E и H на частоте 600 МГц

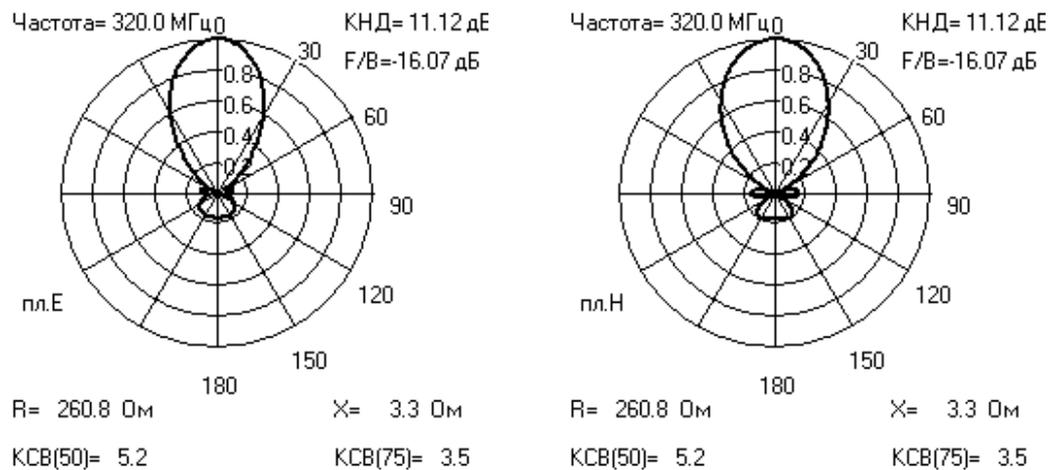


Рис. 5. Диаграммы направленности в плоскостях E и H на частоте 320 МГц

На рис. 4, 5 показаны также значения КНД, F/B и значения коэффициента стоячей волны в линии с волновым сопротивлением 50 Ом — $KCB(50)$ и в линии с волновым сопротивлением 75 Ом — $KCB(75)$ без дополнительных согласующих устройств.

Изменение числа колец при сохранении общей длины антенны несущественно влияет на параметры антенны, что иллюстрируется рис. 6. На рис. 6,а приведены диаграммы направленности антенны, у которой число колец $Nk=5$, шаг $S=200$ мм; рис. 6,б соответствует параметрам $Nk=9$, $S=100$ мм. В обоих случаях длина системы колец одна и та же и равна 900 мм.

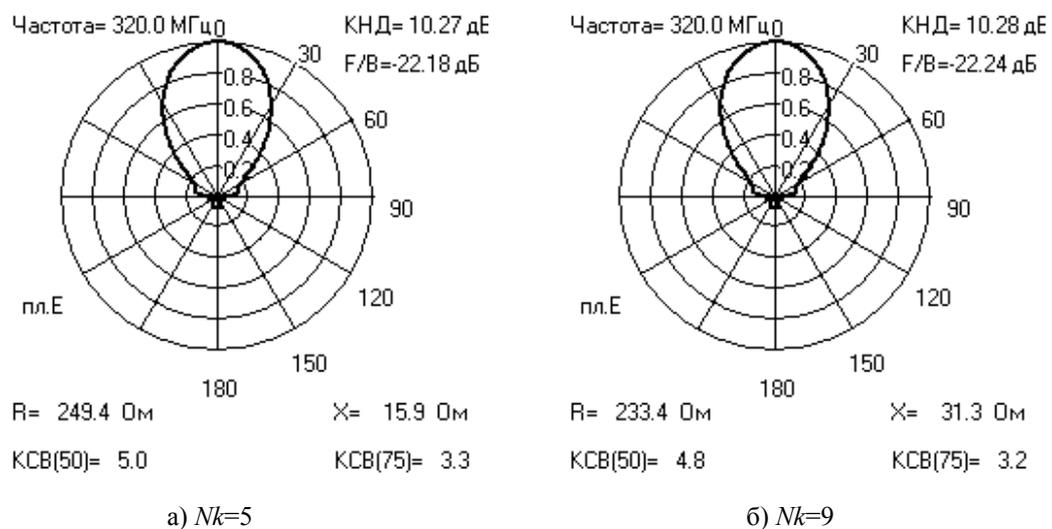


Рис. 6. Диаграммы направленности в плоскостях E и H при различном числе колец

На параметры антенны существенно влияет длина системы колец. Поведено моделирование антенны при изменении числа колец и сохранении величины шага S . На рис.7 представлена зависимость активной и реактивной частей входного сопротивления от числа колец антенны с параметрами: размеры рефлектора $De=1000$ мм, $Dh=1120$ мм, расстояние между проводниками рефлектора 80 мм; $S=100$ мм; $Sk1=100$ мм; $B=150$ мм; $Rk=160$ мм; частота 300 МГц. На рис. 8 показана зависимость КНД и F/B от числа колец.

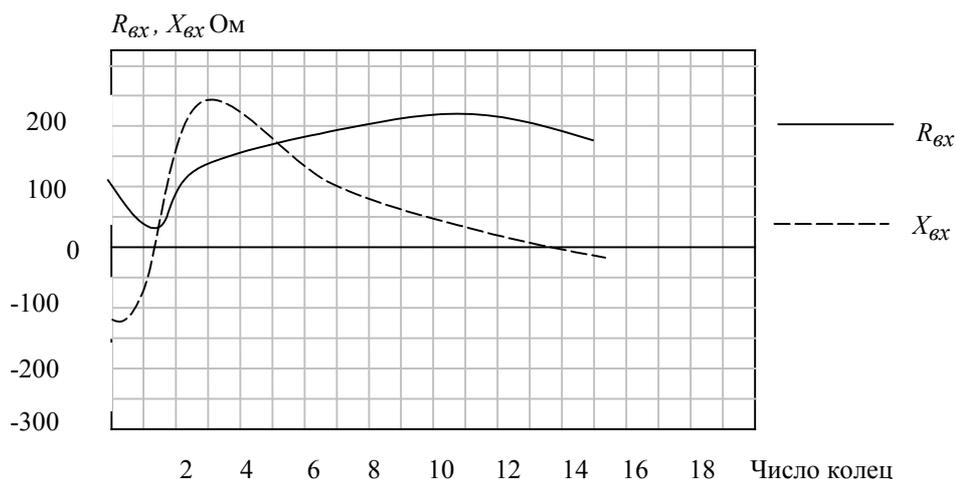


Рис. 7. Зависимость входного сопротивления от числа колец

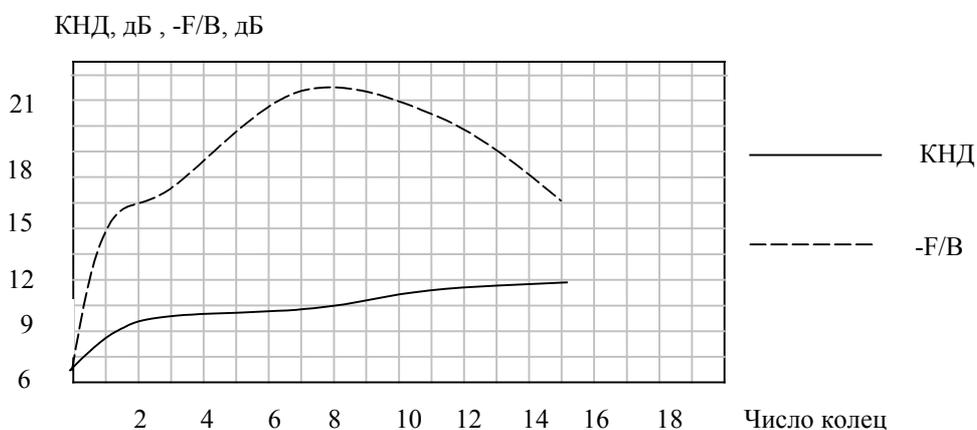


Рис. 8. Зависимость КНД и F/V от числа колец

Заключение

Проведенные исследования подтвердили возможность использования антенны типа "кольцо-стержень" в качестве двухдиапазонной. Средняя частота двух диапазонов отличается в два раза. В низкочастотном диапазоне периметр колец приблизительно равен средней длине волны (λ_0), в высокочастотном диапазоне — $2\lambda_0$. Такие антенны могут использоваться, например, в подповерхностных радиолокаторах для обнаружения объектов с нелинейными свойствами или в двухчастотных линиях связи. Примером такой линии является система связи GSM, работающая на средних частотах 900 и 1800 МГц. Рекомендуемые размеры такой антенны: размеры экрана $De=300$ мм, $Dh=350$ мм, расстояние между проводниками экрана 30 мм; число колец 10–15; шаг $S=30$ –40 мм; расстояние между проводниками двухпроводной линии 50 мм; радиус колец $Rk=50$ –60 мм (длина стороны квадрата, заменяющего кольцо, 75–80 мм), диаметры проводников элементов 2–2,5 мм.

DUAL-BAND TRAVELING WAVE ANTENNA

O.A. YURTSEV, Yu.Yu. BOBKOV, O.L. GULJAKEVICH, A.M. ALDRAK

Abstract

The results of numerical modeling of thin wire "circle-rod" type antenna are described in the article. The wide-band properties, dependencies of antenna characteristics depend on frequency and antenna geometry is discussed.

Литература

1. *Юрцев О.А.* Антенна бегущей волны. А.с. СССР № 325910.
2. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры. М., 1977.