

ШИРОКОПОЛОСНАЯ ДВУХКОЛЬЦЕВАЯ ПЛАНАРНАЯ АНТЕННА**Введение**

Актуальность создания новых конструкций и исследование характеристик широкополосных антенных элементов во многом связана с внедрением широкополосных беспроводных технологий. Антенны, обладающие возможностью функционирования одновременно в нескольких частотных диапазонах, представляют особый интерес и, в частности, востребованы в системах с применением широкополосных сигналов [1].

Для слабонаправленных антенных элементов ограничение рабочей полосы частот имеет место главным образом из-за рассогласования с питающей линией вследствие резких изменений входного импеданса при вариации частоты. Поэтому при разработке новых конструкций антенных элементов, предназначенных для работы в широком диапазоне частот, необходимо проводить анализ частотных свойств, исследуя характер изменения их входного импеданса и, соответственно, коэффициента стоячей волны на входе.

Известно несколько различных конструктивных решений для антенн обладающих широкополосными свойствами. Это могут быть антенны, представляющие собой структуры, основные геометрические параметры которых определены лишь углами («принцип углов» Рамсея) [2]. Для них вариация частоты подобна повороту всей совокупности элементов антенны на некоторый угол, при этом характеристики излучения такой антенны останутся практически неизменными.

Антеннами такого типа могут считаться, например, биконические и серповидные вибраторы, либо излучатели на основе проволочных или планарных многозаходных логарифмических спиралей, размещенные на плоскости или на поверхности конуса. Эти антенны принципиально могут быть весьма широкополосными. Как справедливо отмечено в [2, 3] «границы рабочего диапазона этих антенн определяются независимо друг от друга (со стороны длинных волн – максимально допустимыми габаритными размерами антенны, со стороны коротких волн – точностью выдерживания расчетных параметров вблизи точки возбуждения)».

Другая совокупность широкополосных антенн представлена многозаходными спиралями Архимеда, широкополосные свойства которых обычно поясняют, используя концепцию «токовых колец». Принято считать, что именно та область антенны, где периметры витков примерно равны целому числу волн, излучает наиболее интенсивно. При изменении частоты излучающие области перемещаются, сохраняя свои геометрические параметры размеры относительно длины волны, и эта особенность обуславливает постоянство характеристик направленности антенны.

Широкополосные свойства присущи также антеннам, представленным «самодополнительными» структурами [2], кроме того определенной степенью широкополосности обладает планарная однокольцевая антенна (ПОКА), имеющая переменную ширину кольца [4].

Следует отметить некоторые особенности перечисленных типов антенн. В большинстве своем они требуют симметричного питания (например, двухпроводной линией). При питании такой антенны несимметричной линией необходимо применение симметрирующих

устройств, что сразу меняет частотную зависимость входного импеданса и резко ухудшает широкополосные свойства.

«Монопольные» конструкции таких антенн, предназначенные для питания несимметричной (например, коаксиальной) линией, требуют применения экрана, размеры которого должны заметно превышать размеры излучающего элемента. Наряду с увеличением габаритных размеров это приводит к ухудшению широкополосных свойств, а также искажению диаграммы направленности, ухудшает ее симметрию, подавляет излучение в одном направлении.

Ниже описана конструкция и приведены результаты исследования характеристик планарной двухкольцевой антенны (ПДКА), обладающей сверхширокополосными свойствами, возбуждение которой может непосредственно осуществляться несимметричной линией.

Цель статьи – анализ электродинамических параметров широкополосной ПДКА и их сравнение с аналогичными характеристиками ПОКА.

Конфигурация моделей исследуемых антенн

Конструкция ПДКА образована из двух плоских, копланарных проводящих колец: большого и расположенного в его внутреннем пространстве малого кольца (рис 1, а).

В этой модели антенны радиус R_1 внешней окружности большого планарного кольца выбран равным четверти длины волны λ_0 , соответствующей расчетной частоте $f_0 = 2,5$ ГГц. При этом радиус его внутренней окружности $R_2 = \tau R_1$ (где τ – масштабный коэффициент, который равен 0,707). Центр внутренней окружности большого кольца смещен относительно внешней окружности так, что в целом кольцо имеет переменную ширину и минимальное ее значение составляет 2 мм.

Внутреннее планарное кольцо ПДКА ориентировано аналогично большому и имеет подобную ему форму (с коэффициентом подобия 0,5). Это кольцо смещено относительно большого так, что центры всех окружностей находятся на одной и той же прямой, причем минимальное расстояние между ближайшими краями внешнего и внутреннего колец составляет 2 мм. Таким образом, пространство между большим и малым кольцами имеет вид щели переменной ширины, форма которой подобна форме проводящих колец.

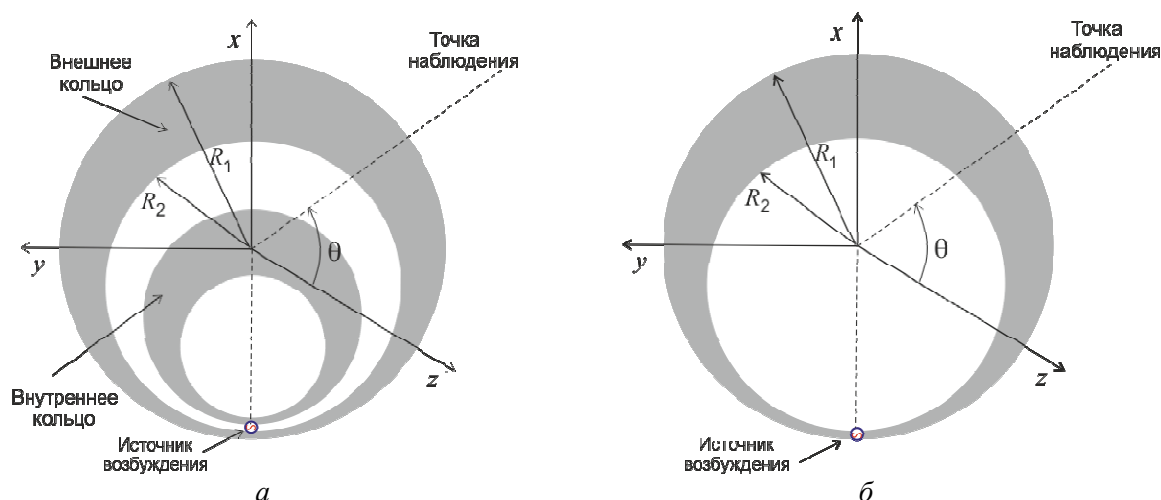


Рис. 1

Возбуждение ПДКА осуществляется источником с помощью тонкого проводника, соединяющего ближайшие края колец. При таком способе возбуждения излучение формируется не только электрическими токами, текущими по поверхности колец, но и «магнитными» токами в кольцевой щели между ними.

Для наглядного отображения преимуществ ПДКА одновременно были исследованы характеристики широкополосной планарной однокольцевой антенны (ПОКА) [4], имеющей форму и размеры аналогичные форме и размерам внешнего кольца ПДКА (рис. 1, б). Причем возбуждение в случае ПОКА осуществляется симметрично: источником, включенным в разрезе на узкой части кольца.

Методика исследования

Представленные далее результаты исследования электродинамических характеристик моделей заявляемой антенны и прототипа основаны на численном моделировании. При решении дифракционной задачи использован метод моментов, заключающийся в замене металлических элементов конструкций эквивалентными электрическими поверхностными токами [5]. При этом проводящая поверхность разбивается на элементарные треугольные участки, и задача определения амплитудно-фазового распределения плотности поверхностного тока сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений.

В приводимых далее расчетах при разбиении поверхности антенных элементов размер стороны треугольников принимается равным $\lambda_0/100$, что обеспечивает достоверность и корректность полученных результатов, в том числе на верхнем крае рассмотренного частотного диапазона.

Найденное в результате решения дифракционной задачи амплитудно-фазовое распределение поверхностных токов позволило рассчитать частотные зависимости входного импеданса, коэффициента стоячей волны на входе, а также распределение полей в дальней зоне. На этой основе рассчитаны частотные зависимости коэффициента направленного действия (КНД) и построены диаграммы направленности антенн на выбранных частотах.

Расчеты проводились на дискретных (равномерно распределенных с интервалом 25 МГц) частотах в полосе от 1 до 10 ГГц. Выбранная для данного исследования полоса частот охватывает диапазоны, соответствующие стандартам *Wi-Fi* и *WiMAX*.

Результаты численного моделирования

Фактором, определяющим степень согласования антенны с питающей линией и, соответственно, широкополосные свойства слабонаправленных антенн, является минимальная осцилляция значений действительной и мнимой части входного импеданса в пределах рассматриваемого диапазона частот.

Эти свойства двух широкополосных антенн иллюстрирует рис. 2, на котором показаны графики частотных зависимостей входного импеданса, которые отмечены цифрами: 1 – планарная двухкольцевая антенна; 2 – планарная однокольцевая антенна

Как видно из представленных здесь кривых, в диапазоне частот от 2 до 10 ГГц осцилляции действительной и мнимой части входного импеданса ПДКА минимальны, что существенно отличает их при сравнении с аналогичными зависимостями импеданса на входе ПОКА.

При этом действительная часть входного импеданса ПДКА колеблется в пределах 100 – 150 Ом, в то время как входной импеданс ПОКА изменяется в пределах 200 – 500 Ом.

Следствием «сглаженности» частотных зависимостей входного импеданса является снижение уровня отражений на входе антенны в расширенной полосе частот.

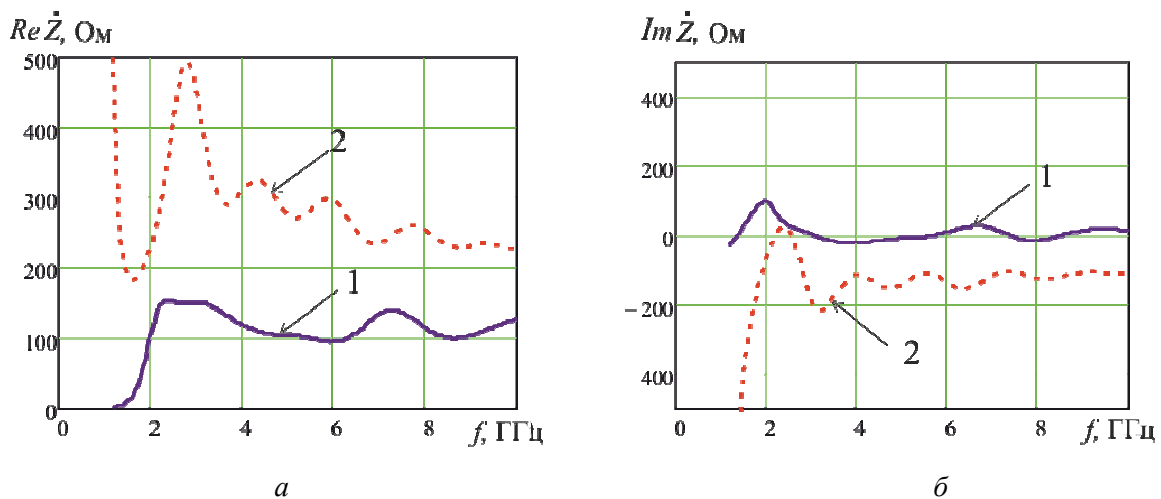


Рис. 2

Эту особенность иллюстрируют частотные зависимости КСВ на входе антенн, показанные на рис. 3. При построении графиков величина волнового сопротивления питающей линии на входе антенны выбрана для ПДКА (1) равной 130 Ом, а для ПОКА (2) – 300 Ом.

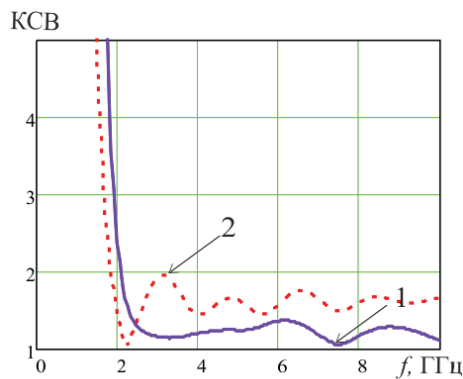


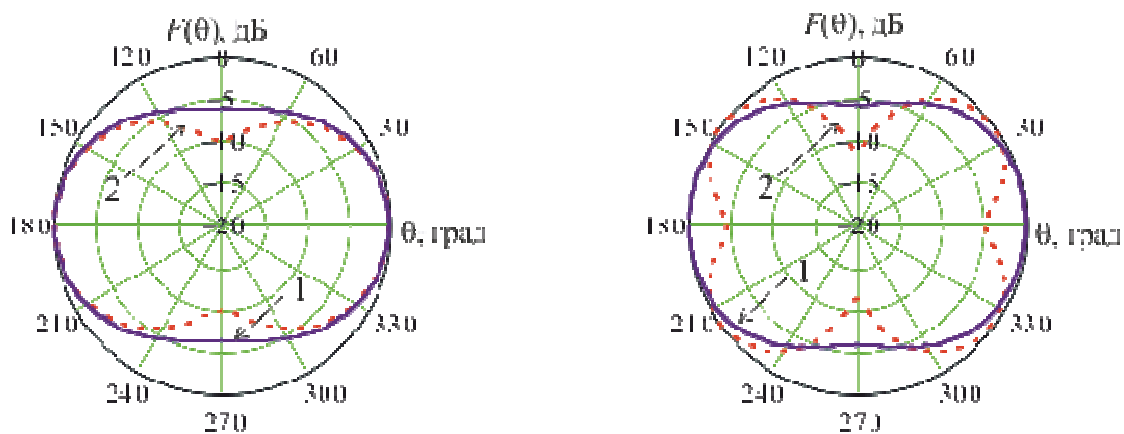
Рис. 3

Видно, что у ПДКА полоса частот, в которой $КСВ \leq 1,25$ занимает от 2,5 до 10 ГГц, а в этой же полосе частот КСВ на входе ПОКА колеблется в пределах 1,5 – 2,0.

Следовательно, обе рассмотренные модели антенн обладают широкополосными свойствами, определяемыми по зависимости входного импеданса от частоты, и при этом двойная кольцевая антенна имеет более низкое значение КСВ.

Отметим, что ПДКА, обладая малым значением КСВ и входным импедансом в 130 Ом, предоставляет возможность питания коаксиальной линией, не требуя при этом наличия симметрирующего устройства (а также экрана, как, например, это имеет место в monopольных конструкциях антенн). В отличие от этого, ПОКА имеет сравнительно высокий входной импеданс и для питания коаксиальной линией требует симметрирующего и согласующего устройства, что резко ухудшает ее широкополосные свойства.

Направленные свойства данных моделей антенн можно анализировать, рассматривая приведенные на рис. 4 диаграммы направленности (ДН) и графики зависимостей коэффициента направленного действия (КНД) от частоты в направлении нормали к плоскости антенны (рис. 5).



а

б

Рис. 4

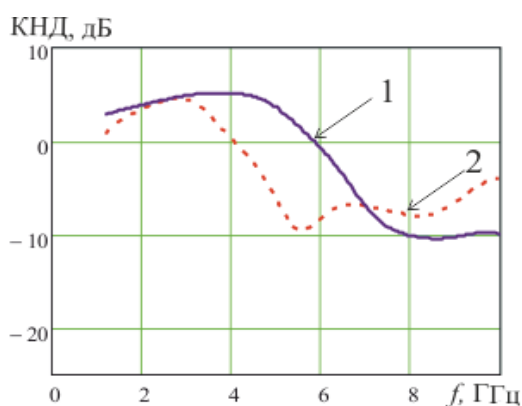


Рис. 5

Диаграммы направленности ПДКА (1) и ПОКА (2) в плоскости xOz , представленные рис. 4, построены по данным расчетов на частотах 2,5 ГГц (рис. 5, а) и 5,0 ГГц (рис. 5, б). Видно, что обе антенны обладают слабыми направленными свойствами, и максимум их основного излучения ориентирован в направлении нормали. В плоскости колец уровень излучения на 5 дБ (для ПДКА) либо 10 дБ (для ПОКА) ниже.

Частотная зависимость КНД обеих антенн, показанная на рис. 5, помогает сравнить характер изменения КНД в рассматриваемой полосе частот. Отметим, что в низкочастотной области максимальное значение КНД для ПДКА составляет примерно 5 дБ. При этом заметный спад КНД начинается с 5 ГГц. Однокольцевая антенна имеет максимальный КНД 4,7 дБ, и его снижение наблюдается, начиная с частоты 3,5 ГГц. На более высоких частотах падение КНД в направлении нормали происходит за счет раздвоения главного лепестка ДН. Можно отметить, что рабочая полоса частот ПДКА, определяемая ее направленными свойствами, уступает полосе, определяемой по входному импедансу. Тем не менее, она по двум этим параметрам обладает преимуществом в сравнении с ПОКА.

Заключение

Представлены результаты исследования частотных зависимостей входного импеданса и КСВ широкополосной слабонаправленной антенны. Приведены частотные зависимости КНД и диаграммы направленности на частотах 2,5 и 5,0 ГГц. Антенна состоит из двух планарных проводящих колец переменной ширины. Анализ характеристик такой антенны и сравнение

их с аналогичными характеристиками однокольцевой планарной антенны переменной ширины проведен путем численного решения дифракционной задачи.

Сравнение полученных результатов дает возможность сделать вывод о достоинствах и недостатках двухкольцевой планарной антенны. Так, показано, что преимуществами данной антенны являются малые осцилляции входного импеданса в полосе частот от 2 до 10 ГГц, что обеспечивает лучшее согласование антенны с фидером, а также возможность возбуждения ее несимметричной (например, коаксиальной) линией без применения симметрирующих устройств. Можно подчеркнуть еще одну особенность планарной двухкольцевой антенны – это отсутствие экрана при возможном возбуждении коаксиальной линией, что дает определенное преимущество при использовании ее в качестве датчика электромагнитного поля.

Список литературы: 1. *Варакин, Л.Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. – М. : Радио и связь, 1985 – 384 с. 2. *Сверхширокополосные антенны* : пер. с англ. ; под. ред. Л.С. Бененсона. – М. : Мир, 1964. – 416 с. 3. *Жук, М.С.* Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных антенн и фидерных устройств / М.С. Жук, Ю.Б. Молочков. – М. : Энергия, 1973. – 440 с. 4. *Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн* / [Ерохин Г.А., Чернышев О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский Г.Н.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 491 с. 5. *Цалиев, Т.А.* Широкополосная планарная кольцевая антенна // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2015. – № 2. – С. 5-12. [Электронный ресурс] / Режим доступа : [www. URL: https://ojs.onat.edu.ua/index.php/sbornik_onat/article/view/897](http://www.onat.edu.ua/index.php/sbornik_onat/article/view/897). 6. *Банков, С.Е.* Расчет излучаемых структур с помощью FEKO / С.Е. Банков, А.А. Курушин. – М. : ЗАО «НПП «Родник», 2008. – 245 с.

Одесская национальная академия
связи имени А.С. Попова

Поступила в редколлегию 23.09.2016