

РАДИОТЕХНИКА, ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЯ ТА ЕЛЕКТРОНИКА

УДК 621.396.677.3

КОЛЬЦЕВАЯ ШИРОКОПОЛОСНАЯ ПЛАНАРНАЯ АНТЕННА

Цалиев Т.А.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
tamerlan.tsaliev@gmail.com*

КІЛЬЦЕВА ШИРОКОСМУГОВА ПЛАНАРНА АНТЕНА

Цалиев Т.А.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.
tamerlan.tsaliev@gmail.com*

RING BROADBAND PLANAR ANTENNA

Tsaliev T.A.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kovalska St., Odessa, 65029, Ukraine.
tamerlan.tsaliev@gmail.com*

Аннотация. Рассмотрены свойства антенн в виде плоского кругового или эллиптического кольца переменной ширины, выполненных из хорошо проводящего материала. Радиусы исследуемых антенн не превышают четверти длины волны, принятой за основу для расчетов. Путем компьютерного моделирования рассчитаны и на этом основании проанализированы частотные зависимости импеданса, коэффициента направленного действия, модуля коэффициента отражения и Ксв на входе антенн. Отмечены значительные преимущества рассмотренных антенн по отношению к образцу, которые заключаются в существенно более широкой полосе частот, в пределах которой входной импеданс и Ксв меняются незначительно.

Ключевые слова: широкополосность, кольцевые антенны, входной импеданс, Ксв.

Анотація. Розглянуті властивості антен у вигляді плоского колового або еліптичного кільця змінної ширини, виконаних з добре провідного матеріалу. Радіуси досліджуваних антен не перевищують чверті довжини хвилі, прийнятій за основу для розрахунків. Шляхом комп'ютерного моделювання розраховані і на цій підставі проаналізовані частотні залежності вхідного імпедансу, коефіцієнта спрямованої дії, модуля коефіцієнта відбиття та Ксх. Відзначені значні переваги розглянутих антен по відношенню до зразка які полягають у істотно більш широкій смузі частот, в межах якої вхідний імпеданс і Ксх змінюються незначно.

Ключеві слова: ширококосмуговість, кільцеві антени, вхідний імпеданс, Ксх.

Abstract. The properties of the antennas in the form of a flat circular or elliptical rings of varying width, made of good conductive material. The radii of the studied antennas not exceed a quarter of the wavelength adopted as the basis for calculations. By computer simulation calculated and analyzed on that basis the frequency dependence of the input impedance, the directivity, module of the reflection coefficient and VSWR. Noting the significant advantages of antennas considered in relation to the sample, which are as much a wider frequency band within which the input impedance and VSWR change slightly.

Key words: Broadband, ring antennas, input impedance, VSWR.

Известно, что широкополосные антенны крайне востребованы для различного рода систем радиосвязи и радиолокации с использованием широкополосных сигналов [1]. Научный интерес и актуальность разработки широкополосных антенных элементов во многом определяется нарастающим развитием и внедрением беспроводных технологий.

Малоразмерные и, соответственно, слабонаправленные антенны (такие, например, как вибраторы, плоские спирали, рамки) во многих случаях являются элементами используемых на практике более сложных антенных систем.

Например, известна планарная антенна (ПА) в виде замкнутого противофазно возбуждаемого плоского кольца (треугольной, квадратной или круговой формы). Свойства подобных антенн, а также их характеристики описаны и исследованы в достаточной мере [2-5]. Однако их применение в широкополосных системах весьма ограничено, поскольку ширина рабочей полосы частот (определяемая по входному импедансу) равна примерно 10...15% средней частоты выбранного диапазона.

С другой стороны, до настоящего времени детально не изучены электродинамические характеристики кольцевых планарных антенных элементов круговой либо эллиптической формы с плавно изменяющейся шириной, свидетельствующие об их преимуществах.

Поэтому разработка конструкций широкополосных планарных антенн (ШПА), потенциально обладающих более широким рабочим диапазоном частот, и анализ их свойств, представляет научный и практический интерес. Областью применения таких антенн, а также их возможных модификаций, в частности, могут быть терминалы микроволновых систем *RFID*, *GSM*, *CDMA*, *WCDMA*, *WIFI*, *WIMAX*, а также разного рода антенные устройства, антенные решетки и облучатели зеркальных антенн, предназначенные для излучения или приема широкополосных сигналов.

Целью настоящей статьи является исследование и анализ указанных выше характеристик кольцевых планарных антенных элементов с плавно изменяющейся шириной.

Рассматриваемые в статье кольцевые антенны могут иметь круговую либо эллиптическую конфигурацию. Для определения преимуществ и возможных недостатков этих антенн был проведен ряд детальных исследований, основанных на компьютерном моделировании в среде комплекса программ *FEKO* [6], и сравнении получаемых электродинамических характеристик с аналогичными характеристиками круговой планарной антенны (кПА) с неизменной шириной кольца.

Геометрия моделей антенн. В рассматриваемых конструктивных вариантах все модели антенн имеют вид планарного кольца, выполненного из идеального проводника.

При этом ШПА круговой формы (рис. 1,а) – это планарное кольцо, образованное двумя окружностями: внешней радиусом R_1 и внутренней радиусом $R_2 = \tau R_1$, где τ – масштабный коэффициент, который определяет частотные и направленные свойства антенны, и (в зависимости от предъявляемых требований) может принимать значения 0,5...0,9.

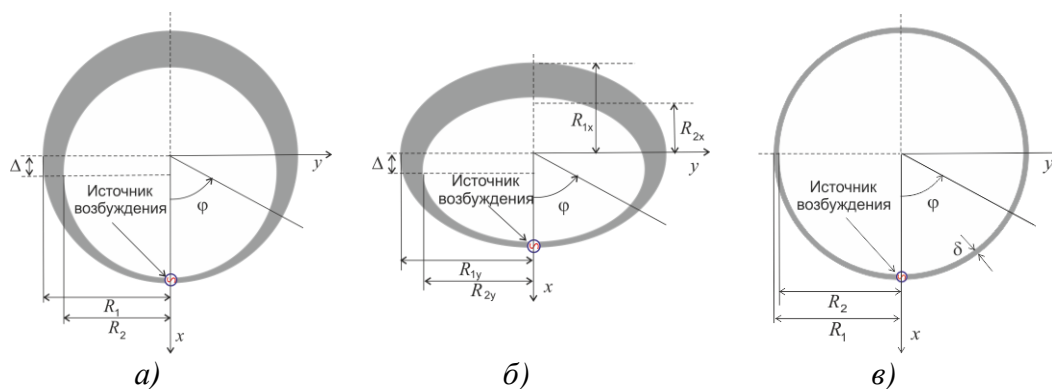


Рисунок 1 – Геометрическая конфигурация моделей исследуемых антенн

Центр малой окружности, ограничивающей кольцо изнутри, смещен относительно центра внешней окружности на расстояние $\Delta = R_1(1 - \tau) - \delta$, где δ – минимальная ширина всей антенны (примерно 0,5... 3 мм).

В сечении, где ширина кольца минимальна, имеется узкая прорезь, к краям которой подключен источник возбуждения. Центры упомянутых внешней и внутренней окружностей, а также источник возбуждения, расположены на одной прямой линии.

С целью некоторого уменьшения габаритных размеров ШПА может быть придана эллиптическая форма (рис. 1,б). При этом все геометрические параметры такой антенны определяются из соотношений: $R_{1y} = 0,25\lambda_0$, $R_{2y} = \tau R_{1y}$, $R_{1x} = k_e R_{1y}$ (где k_e – коэффициент эллиптичности), $R_{2x} = \tau R_{1x}$, $\Delta = R_{1x}(1 - \tau) - \delta$.

В качестве образца, принимаемого для сравнения свойств исследуемых антенн, выбрана круговая кольцевая кПА (рис. 1,в) имеющая тот же внешний радиус и неизменную ширину кольца.

Методика исследования. Электродинамические характеристики представленных моделей планарных антенн, основаны на численном моделировании. Расчет всех характеристик исследуемых антенн выполнен на дискретных частотах, равномерно распределенных в диапазоне (0,2 ... 5) ГГц с интервалом 10 МГц.

При численном анализе характеристик для каждой модели антенн решалась задача определения амплитудно-фазового распределения поверхностной плотности токов, что позволило впоследствии путем численного интегрирования выполнить расчет частотных зависимостей входного импеданса, коэффициента стоячей волны и модуля коэффициента отражения на входе антенны, а также коэффициента направленного действия.

В расчетном модуле программного комплекса для решения электродинамической задачи использовался метод моментов, при котором все плоские поверхности представлены в виде совокупности проволочных треугольных сегментов, размер стороны которых значительно меньше минимальной длины волны расчетного диапазона частот.

В данном исследовании размер стороны сегментов разбиения принят равным $\lambda_0/100$. Это в определенной мере обеспечило достоверность и корректность полученных результатов.

Для оправданного выбора геометрических параметров исследуемых антенн, при которых достигаются наиболее приемлемые широкополосные свойства, были проведены многочисленные пробные расчеты при различных значениях масштабного коэффициента, что позволило оценить достоверность получаемых результатов, и получить наиболее информативные данные.

В результате в данной статье преимущества широкополосных антенн представлены характеристиками, рассчитанными при таких геометрических параметрах:

- $R_1 = 0,25\lambda_0$, (λ_0 – длина волны на расчетной частоте 1 ГГц);
- $\tau = 0,75$;
- $k_e = 0,75$ (эллиптическая форма);
- $\delta = 0,0067\lambda_0$ (2 мм).

Радиусы внешнего и внутреннего эллипса модели исследуемой антенны эллиптической формы определяются из соотношений $R_{1y} = 0,25\lambda_0$, $R_{2y} = 0,75R_{1y}$, $R_{1x} = 0,75R_{1y}$, $R_{2x} = 0,75R_{1x}$, а величина смещения $\Delta = R_{1x}(1 - \tau) - \delta$.

Результаты численного моделирования. На рисунках, которые даны ниже, проиллюстрированы, сравниваются и обсуждаются частотные зависимости электродинамических характеристик ПА и ШПА. Цифры на всех рисунках обозначают принадлежность соответствующих кривых следующим конструктивным вариантам:

- 1 – круговая широкополосная планарная антенна (кШПА);

2 – круговая планарная антенна (кПА);

3 – эллиптическая широкополосная планарная антенна (эШПА).

Особенностями, которые характеризуют представленные частотные зависимости входного импеданса кШПА, являются положение областей резонанса и особенности вариации значений действительной (рис 2,*а*) и мнимой (рис. 2,*б*) частей входного импеданса.

Рассматривая область частот (1...5) ГГц отметим, что на графиках частотной зависимости кПА (цифра 2) наблюдаются множественные регулярно повторяющиеся резкие изменения значений активной и реактивной части импеданса. При этом области резонансов «параллельного» и «последовательного» типа ($\text{Im } \dot{Z} \cong 0$), аналогичные резонансам в колебательном контуре, постоянно чередуются.

На этих резонансных частотах значение действительной части входного импеданса ($\text{Re } \dot{Z}$) в максимумах находится в пределах (400...1700) Ом, а в минимумах это значение составляет примерно (150...300) Ом.

В отличие от этого кривые, отображающие подобные зависимости для кШПА (цифра 1), более «сглажены», и в упомянутой области частот имеется один «параллельный» резонанс, где $\text{Re } \dot{Z} \cong 750$ Ом, и область «последовательного» резонанса в которой $\text{Re } \dot{Z}$ примерно равно 300 Ом. На более высоких частотах вариации $\text{Re } \dot{Z}$ весьма малы и по крайней мере на порядок меньше чем в случае кПА.

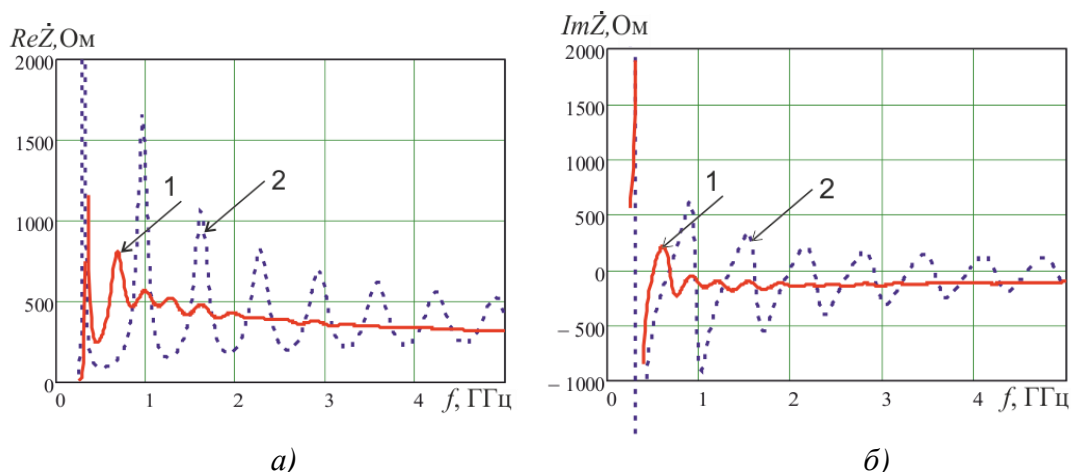


Рисунок 2 – Частотные зависимости входного импеданса кШПА (1) и кПА (2)

Следствием этого является более широкая полоса частот, о чем свидетельствуют графики частотной зависимости коэффициента стоячей волны ($K_{св}$), изображенные на рис. 3,*а*, и модуля коэффициента отражения ($|S_{11}|$, рис. 3,*б*) на входе антенн. При этих расчетах внутреннее сопротивление источника в области «последовательного» резонанса выбиралось равным 150 Ом для кПА и 400 Ом для кШПА.

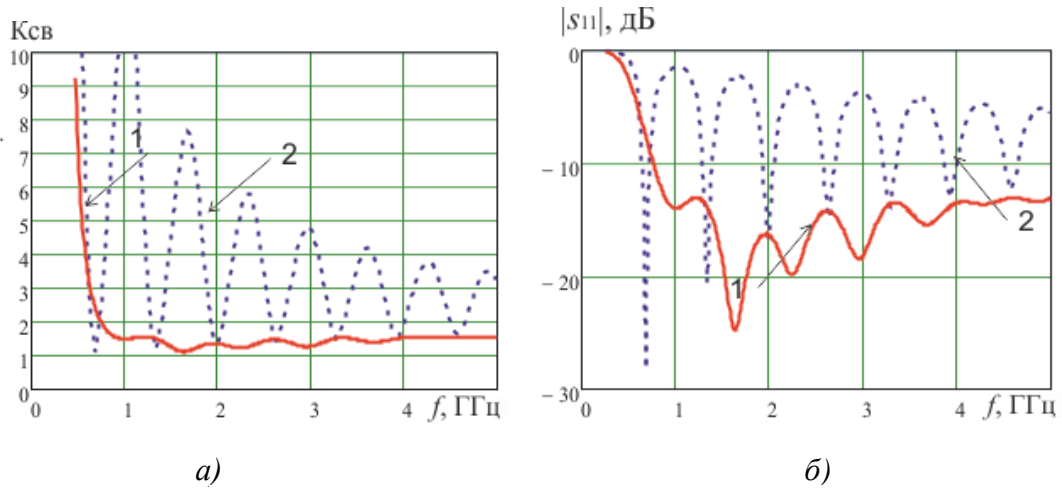


Рисунок 3 – Частотные зависимости Ксв и $|s_{11}|$ кШПА (1) и кПА (2)

На графиках частотных зависимостей рис. 3,а и 3,б (построенных при оптимальном для каждой антенны чисто активном сопротивлении нагрузки) видно, что для кШПА (кривая 1, фиг. 3,а) при $K_{св} \leq 2$ в полосе частот до 5 ГГц перекрытие (f_{max} / f_{min}) по частоте более 7.

При этом в полосе частот 1,3...5 ГГц модуль коэффициента отражения от входа $|s_{11}|$ при сопротивлении нагрузки 400 Ом (кривая 1 на рис. 3,б) не превышает -13 дБ.

Для сравнения на этих же рисунках приведены аналогичные данные для кПА (кривая 2), где можно видеть, что перекрытие по частоте в области первого резонанса при $K_{св} \leq 2$ и сопротивлении нагрузки $R_n = 150$ Ом не превышает 1,12.

Исходя из данных рис. 2 и 3 можно сделать вывод, что полоса частот по входному импедансу антенн круговой формы с переменной шириной кольца существенно превышает полосу частот ПА.

На рис. 4 и 5 приведены аналогичные результаты расчетов для моделей эШПА (цифра 3) и кПА (цифра 2) геометрические параметры которых были указаны выше. На основании этих графиков можно сделать вывод, что 25% уменьшение поперечного размера антенны эллиптической формы лишь незначительно меняет характер частотных зависимостей входного импеданса, Ксв и $|s_{11}|$.

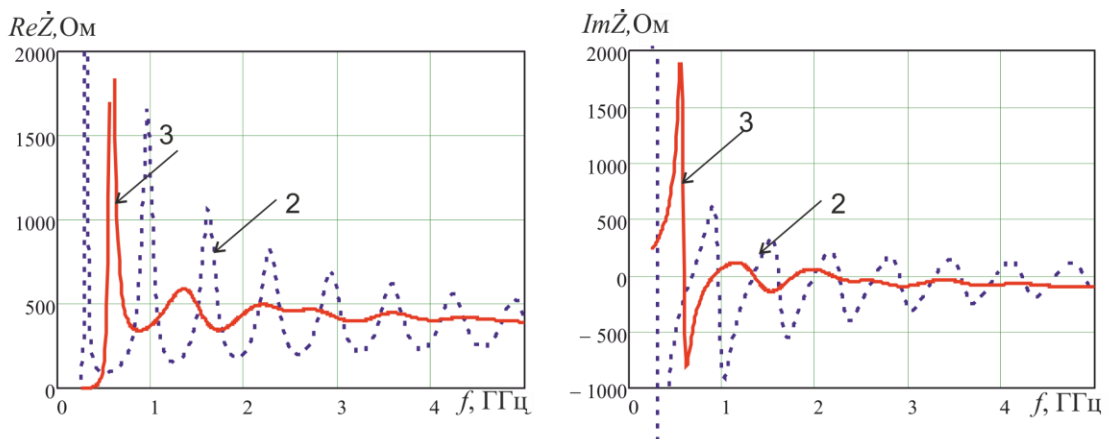


Рисунок 4 – Частотные зависимости входного импеданса кПА (2) и эШПА (3)

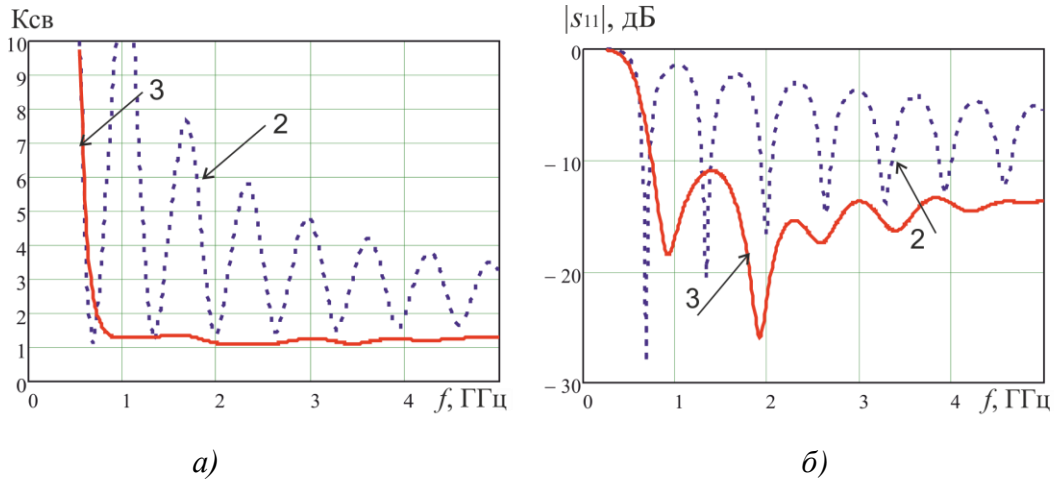


Рисунок 5 – Частотные зависимости $K_{св}$ и $|s_{11}|$ кПА (2) и эШПА (3)

Изменение направленных свойств антенн можно анализировать по графикам зависимости от частоты коэффициента направленного действия (КНД) в плоскости антенн в направлении, определяемом координатными углами $\theta = 90^\circ$ и $\varphi = 180^\circ$, изображенным на рис. 6.

Видно, что кШПА в полосе частот от 1,4 ГГц и выше обладает КНД более 3 дБ (кривая 1, рис. 6,а), который плавно меняется, достигая значения 6,9 дБ.

Для кПА на этом же рисунке (кривая 2) заметен «провал» КНД в полосе (3...4) ГГц, где в минимуме он доходит до значения 1,3 дБ. В полосе частот ниже 2 ГГц свойства направленности, как образца, так и заявляемой антенны слабо выражены и мало отличаются.

Видно, что по свойствам направленности кШПА также обладает большей широкополосностью по сравнению с кПА, имеющей неизменную ширину кольца.

Рассматривая кривые, изображенные на рис. 6, можно отметить: поскольку внешний периметр эШПА меньше чем кШПА, то зависимость КНД (кривая 3, рис. 6,б) смещена в более высокочастотную область, при этом максимальное значение КНД на краю диапазона частот равно 5,3 дБ.

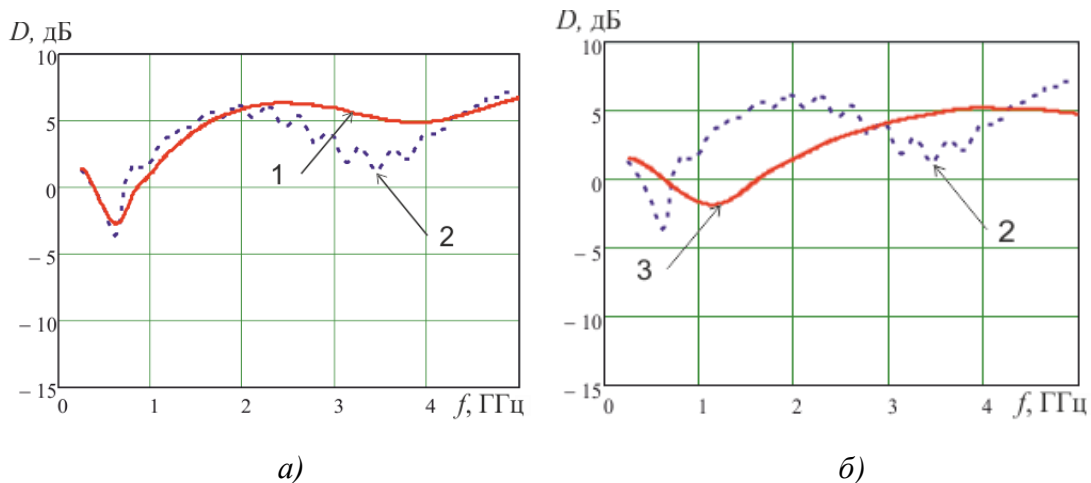


Рисунок 6 – Частотные зависимости КНД кШПА (1), кПА (2) и эШПА (3)

Вывод. Приводимые в статье результаты исследования основаны на электродинамически корректном моделировании – численном решении дифракционной задачи методом моментов, при этом определяются амплитудно-фазовое распределение токов на поверхности антенн, поле излучения в дальней зоне и входной импеданс.

Рассчитаны, анализируются и сравниваются электродинамические характеристики трех планарных антенн: с неизменной и с переменной шириной кольца (круговой и эллиптической формы).

Отмечены значительные преимущества рассмотренных антенн по отношению к образцу (кПА), которые заключаются в существенно более широкой полосе частот, в пределах которой входной импеданс и Ксв меняются незначительно. Так, по результатам расчетов в полосе до 5 ГГц, перекрытие по частоте для кШПА при $K_{св} \leq 2$ составляет более 7. Это является следствием того, что и Ксв и модуль коэффициента отражения на входе антенн в этой полосе частот мало меняются, оставаясь в допустимых пределах.

По свойствам направленности кШПА также обладают определенным преимуществом, которое в достаточной мере иллюстрируют графики рис. 6,а. Так, в полосе частот (1,7...5) ГГц при $\theta = 90^\circ$ и $\varphi = 180^\circ$ КНД превышает 5 дБ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л.Е. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
2. Жук М.С. Проектирование антенно-фидерных устройств / М.С. Жук, Ю.Б. Молочков. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 648 с.
3. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ / Сазонов Д.М. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 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. Balanis C. A. Modern antenna handbook / Balanis C. A. – Canada: John Wiley & Sons, 2008. – 1680 с.
6. Банков С.Е. Расчет излучаемых структур с помощью FEKO / С.Е. Банков, А.А. Курушин. – М.: ЗАО «НПП «Родник», 2008. – 245 с.

REFERENCES:

1. Varakin L.E. Communication networks with the similar to noise signals. – M.: "Radio and connection", (1985).
2. Zhuk M.S., Molochkov Yu. B. Planning of antenna-feeder devises. Moscow: "Energy", (1966).
3. Sazonov D.M. Antennas and devices UHF. Moscow: "Higher school", (1988).
4. Yerokhin G.A., Chernyshov O.V., Kozyrev N.D., Kocherzhevsky G. N. Antenna-feeder devices and distribution of radio waves. Moscow: "Hot line–Telecom", (2004).
5. Balanis C. A. Modern antenna handbook. Canada: John Wiley & Sons, (2008).
6. Bankov C.E., Kurushin A.A. Calculation of the radiated structures by means of FEKO. Moscow: JSC "NPP "Rodnik", (2008).