

**С. А. Радионов, И. В. Иванченко, Н. А. Попенко, М. М. Хруслев**  
 Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины  
 12 ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина  
 E-mail: [buran@ire.kharkov.ua](mailto:buran@ire.kharkov.ua)

## ФОРМИРОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ДИСКОМ С НЕОСЕВЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Формирование узкой диаграммы направленности (ДН) для малогабаритных излучателей, применяемых в системах связи, является актуальной задачей, решению которой в настоящее время посвящен ряд работ как в отечественных, так и в зарубежных научных журналах. В нашей работе реализован подход, связанный с применением анализа распределений электромагнитного поля в ближней и промежуточной зонах излучения для объяснения особенностей формирования ДН малоапертурного излучателя с неосевым возбуждением. Численное моделирование распределения ближних полей, ДН и коэффициента обратных потерь при изменении геометрических параметров предложенного диэлектрического дискового излучателя с металлизированным диском позволило определить его оптимальные размеры для формирования заданной ДН. В результате тестирования созданного макета диэлектрического дискового излучателя получены следующие характеристики: полоса пропускания 20 %, ширина ДН в  $E$ -плоскости  $28^\circ$ , в  $H$ -плоскости –  $40^\circ$ ; максимум излучения ориентирован в направлении зенита. Данный подход к анализу характеристик излучателей может быть использован для создания новых излучателей с заданными характеристиками, а предложенный излучатель применен в системах связи. Ил. 12. Табл. 1. Библиогр.: 12 назв.

**Ключевые слова:** излучатель, амплитудно-фазовое распределение, ближнее поле, диаграмма направленности, диэлектрический дисковый излучатель.

Интерес к малоапертурным антеннам связан с тенденцией к миниатюризации средств связи в соответствии с развитием современных портативных мобильных устройств. Кроме того, особое внимание уделяется созданию компактных антенн с круговой поляризацией, где общий размер антенны является основным критерием. Например, широкое применение получили микрополосковые антенны в таких областях, как радиочастотная идентификация [1], карманные беспроводные устройства, приемные антенны для медицинских имплантантов [2, 3]. Уменьшение размеров микрополосковых антенн, как правило, осуществляется путем применения диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью или же применением новых моделей антенн. Диэлектрические резонаторные антенны имеют преимущества по сравнению с микрополосковыми антеннами благодаря компактным размерам, малым омическим потерям и широкой полосе пропускания [4–8]. Например, примененные в [9] способы миниатюризации диэлектрической резонаторной антенны позволили уменьшать ее габариты, однако привели к уменьшению полосы пропускания и снижению излучающей добротности [10].

Таким образом, одной из основных проблем на сегодняшний день является сохранение характеристик антенн при уменьшении их габаритов. Эта проблема может быть решена усовершенствованием известных антенн или поиском новых подходов к созданию таких антенн.

В работе изучаются вопросы, связанные с формированием амплитудно-фазового распределения поля на апертуре диэлектрических дисковых излучателей (ДДИ) с целью создания малогабаритной антенны с широкой полосой и срав-

нительно узкой диаграммой направленности (ДН) (меньше  $50^\circ$ ).

**1. Методы исследования.** Численное моделирование проводилось с помощью программного пакета *Ansoft HFSS*, с помощью которого были рассчитаны такие характеристики антенны, как ДН, коэффициент усиления, коэффициент обратных потерь ( $S_{11}$ ), амплитудное распределение напряженности электрического поля в ближней зоне антенны.

Измерения амплитудных распределений в ближней зоне были проведены в диапазоне частот 6...12 ГГц на установке, описанной в работе [11]. Для измерения основной и кросс-поляризованной компонент приемный зонд располагаем согласно ориентации осей (рис. 1):  $E_x$  – основная поляризация и  $E_y$  – кросс-поляризация. Измерения ДН проводились в исследуемой полосе частот в безэховой камере на установке, описанной в работе [12].  $E$ -плоскость соответствует плоскости  $XOZ$ , в которой расположен питающий модель монополю;  $H$ -плоскость соответствует плоскости  $YOZ$ .

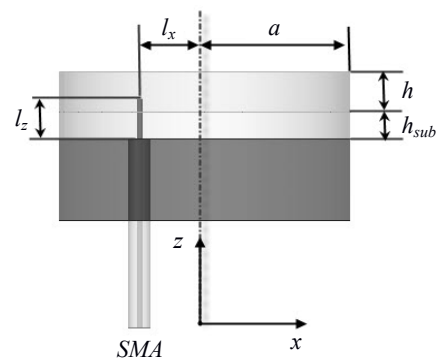


Рис. 1. ДДИ с неосевым возбуждением

**2. Результаты исследований.** В качестве модели для исследования выбран цилиндрический ДДИ, состоящий из диэлектрического диска ( $\varepsilon = 10$ ) высотой  $h$  и радиусом  $a$ , расположенного на диэлектрической подложке ( $\varepsilon = 1,18$ ) высотой  $h_{sub}$  над проводящим экраном (рис. 1). Радиус подложки и экрана совпадает с радиусом диска  $a$ . Наиболее простым способом получения ДН ДДИ с максимумом излучения, ориентированным в направлении оси антенны, является несимметричное возбуждение такой структуры, поэтому рассмотрим ДДИ с возбуждением монополем высотой  $l_z$ , смещенным вдоль радиуса на расстояние  $l_x$  от оси антенны.

При численном моделировании варьировались такие параметры:  $h$ ,  $a$ ,  $h_{sub}$ ,  $l_z$ ,  $l_x$ . В результате были получены следующие геометрические размеры ДДИ, при которых коэффициент обратных потерь минимален (рис. 2):  $h = 2,5$  мм,  $a = 10$  мм,  $h_{sub} = 2,5$  мм,  $l_z = 3$  мм,  $l_x = 4,5$  мм.

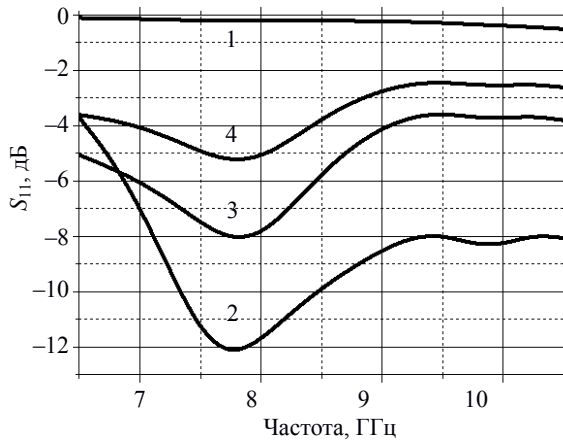


Рис. 2. Коэффициент обратных потерь как функция частоты: 1 –  $l_z = 2$  мм, 2 –  $l_z = 3$  мм, 3 –  $l_z = 4$  мм, 4 –  $l_z = 5$  мм

Для определения доминирующего вклада в формирование излучения элементов излучателя проанализируем распределения ближнего электромагнитного (ЭМ) поля при изменении высоты монополя. На рис. 3 в качестве примера приведены распределения ближнего ЭМ-поля при оптимальной и неоптимальной высоте возбуждающего монополя. Оптимальной принята высота  $l_z = 3$  мм, при которой коэффициент обратных потерь минимален (рис. 2). Отметим, что не в оптимальном случае (рис. 3, а) распределение ЭМ-поля несимметрично: фактически излучает только небольшая часть апертуры антенны, что и обуславливает высокое значение коэффициента обратных потерь (рис. 2). При оптимальной высоте монополя  $l_z = 3$  мм получено аксиально-симметричное распределение ЭМ-поля, центр которого смещен вдоль оси  $Ox$  относительно центра антенны в сторону от возбуждающего монополя (рис. 3, б).

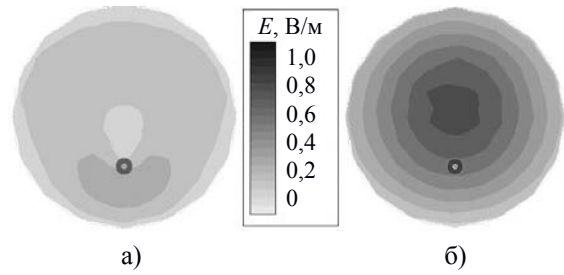


Рис. 3. Распределение ближнего ЭМ-поля ДДИ для монополя с различной длиной: а) –  $l_z = 2,5$  мм; б) –  $l_z = 3$  мм

При изменении радиуса, на котором расположен возбуждающий монополь, также наблюдается изменение в распределении ближнего поля (рис. 4). В данном случае излучение формируется как суперпозиция волн, излученных апертурой антенны и ее боковыми гранями, поэтому в процессе моделирования достигалась максимальная симметрия в распределении ЭМ-поля. При минимальном расстоянии до центра антенны распределение поля несимметрично, при этом максимальный вклад в излучение дают волны, вытекающие из боковых граней, расположенных со стороны монополя (рис. 4, а). При оптимальном положении питающего элемента  $l_x = 4,5$  мм распределение ЭМ-поля симметризируется (рис. 4, б), но излучение из боковых граней остается преобладающим. Таким образом, максимально симметричное распределение ЭМ-поля было получено для  $l_x = 4,5$  мм,  $l_z = 3$  мм.

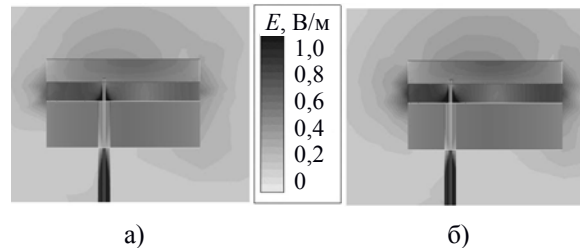


Рис. 4. Распределение ближнего ЭМ-поля для ДДИ при различном положении монополя: а) –  $l_x = 2,5$  мм; б) –  $l_x = 4,5$  мм

При указанных выше оптимальных параметрах ДДИ имеет осесимметричную, однолепестковую ДН с уровнем задних лепестков  $-6$  дБ (рис. 5). Ширина ДН в  $E$ -плоскости  $75^\circ$ , в  $H$ -плоскости  $-90^\circ$ , что обусловлено несимметричностью сформированного амплитудного распределения в ближней зоне. ДН сохраняет свою форму в рабочей полосе частот. Коэффициент усиления равен 6. Однако указанная выше несимметрия ближнего ЭМ-поля относительно оси антенны приводит к смещению направления максимума в ДН на  $5^\circ$  относительно зенита. ДН в  $E$ -плоскости имеет форму, близкую к форме кардиоиды с высоким уровнем излучения в направлении, противоположном зениту.

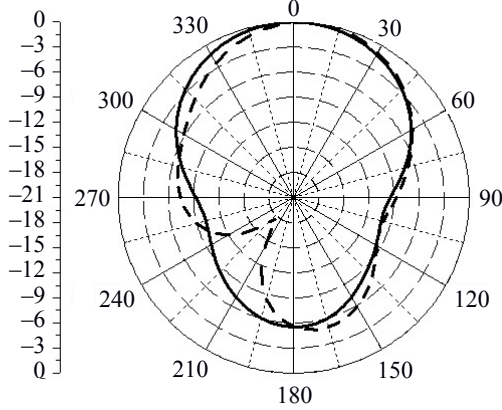


Рис. 5. Рассчитанная ДН для частоты  $f = 7,75$  ГГц:  $E$ -плоскость – пунктирная линия,  $H$ -плоскость – сплошная линия

С точки зрения создания излучателя с более узкой ДН и максимумом, ориентированным в направлении зенита, было предложено скорректировать амплитудно-фазовое распределение на апертуре ДДИ путем введения дополнительных пассивных вибраторов (рис. 6). При этом именно выбор взаимного положения вибраторов и позволяет сформировать заданное амплитудное распределение на поверхности излучателя. Вибраторы расположены в диэлектрическом диске следующим образом: один пассивный вибратор находится в оси ДДИ; шесть – в узлах правильного шестиугольника, вписанного в окружность радиусом  $l_x$ ; еще шесть – в узлах правильного шестиугольника, вписанного в окружность радиусом  $l_{xpr}$ ; и остальные шесть вибраторов – посредине между последними.

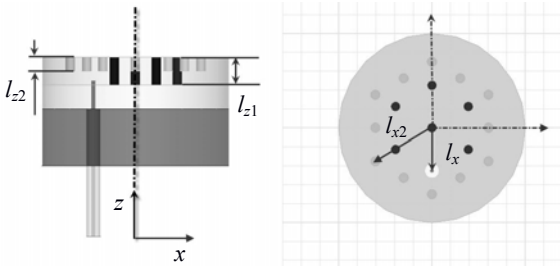


Рис. 6. ДДИ с дополнительными вибраторами

Идея такого выбора положения вибраторов состоит в следующем: одно из свойств правильного шестиугольника заключается в том, что расстояние между соседними точками (вершинами и центром) одинаково, т. е. если расположить в одной из вершин шестиугольника (меньшего) активный вибратор длиной четверть длины волны  $\lambda/4$  и за радиус описанной вокруг шестиугольника окружности принять  $\lambda/2$ , то отраженные волны от пассивных вибраторов длиной  $\lambda/4$  будут возвращаться к активному с набегом фазы, равному длине волны. А значит, волны, излучаемые

всеми вибраторами, должны складываться синфазно, что в свою очередь обеспечит равномерное амплитудное распределение постоянной фазы на поверхности апертуры ДДИ. Таким образом, в основном шестиугольнике имеем шесть вибраторов, один из которых является активным и расположен в вершине шестиугольника.

Дополнительные вибраторы, расположенные в узлах большего шестиугольника, выполняют роль рефлекторов, уменьшая излучение через боковую поверхность и тем самым фокусируя энергию внутри ДДИ. Следовательно, радиус окружности, описанной вокруг большего шестиугольника, должен быть больше окружности, описанной вокруг меньшего шестиугольника, на  $\lambda_d/4$  для того чтобы отраженная от дополнительных вибраторов волна возвращалась к основным вибраторам в противофазе. Так как диэлектрическая проницаемость диска ДДИ  $\epsilon = 10$ , то для  $\lambda = 30$  мм в свободном пространстве в диэлектрике будем иметь  $\lambda_d = 9,48$  мм. Соответственно, радиус окружности, описанной вокруг меньшего шестиугольника, будет равен  $l_x = \lambda_d/2 = 4,74$  мм, а диаметр большего –  $l_{xpr} = \lambda_d/2 + \lambda_d/4 = 7,11$  мм.

В процессе численного моделирования геометрические параметры ДДИ изменялись в пределах, указанных в таблице. В результате численного моделирования были выбраны следующие размеры излучателя (таблица), при которых коэффициент обратных потерь минимален (рис. 7).

Значения переменных				
Параметр	От (мм)	До (мм)	Шаг (мм)	Выбор (мм)
$a$	10	15	0,5	10
$h$	1,5	4,5	0,5	3
$h_{sub}$	1	3	0,25	2,5
$l_z$	2	3	0,25	3
$l_x$	2,5	4,5	0,25	4,5
$l_{z1}$	$h$	$h$	–	3
$l_{z2}$	1,5	5	0,25	1,5
$l_{x2}$	7	9	0,25	7

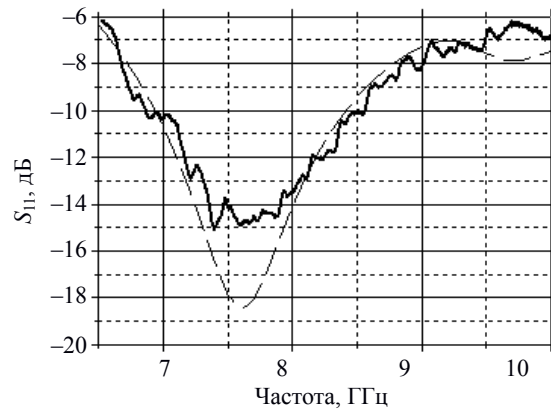


Рис. 7. Коэффициент обратных потерь как функция частоты для ДДИ с металлизированным диэлектрическим диском: расчет – пунктирная линия, эксперимент – сплошная линия

Отметим, что в данном случае было достигнуто уменьшение величины коэффициента обратных потерь на резонансной частоте на  $-6$  дБ. При этом ширина рабочей полосы антенны на  $5\%$  меньше, чем антенны без дополнительных вибраторов, но остается достаточно широкой и составляет  $20\%$ .

Улучшение характеристик излучателя было достигнуто путем формирования распределения ЭМ-поля, захватывающего практически всю апертуру излучателя (рис. 8, а). При этом ЭМ-поле фокусируется внутри области, огражденной внешним кольцом пассивных вибраторов и резко спадает к краю излучателя за ними. Несимметрия в распределении ЭМ-поля, а именно наличие боковых «пятен» поля вдоль оси  $OX$ , объясняется на основании анализа пространственного распределения ЭМ-поля в плоскости  $XOZ$  (рис. 9). Как и для ДДИ, возбуждаемого несимметрично расположенным монополем, в формировании распределения ЭМ-поля существенный вклад вносят волны, излучаемые боковой поверхностью в плоскости расположения возбуждающего монополя. Однако, в отличие от рассмотренного ранее излучателя, в данном случае относительная интенсивность ЭМ-поля на боковых гранях в плоскости  $XOZ$  выше (рис. 9), что и определяет появление выраженных боковых «пятен» ЭМ-поля (рис. 8, а). Вне рабочей полосы ДДИ ЭМ-поле сосредоточено вблизи возбуждающего монополя и его интенсивность значительно меньше (рис. 8, б).

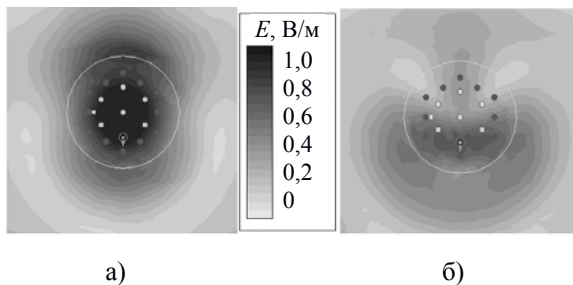


Рис. 8. Распределение ближнего ЭМ-поля для ДДИ с металлизированным диэлектрическим диском, расчет: а)  $f = 7,5$  ГГц; б)  $f = 9,59$  ГГц

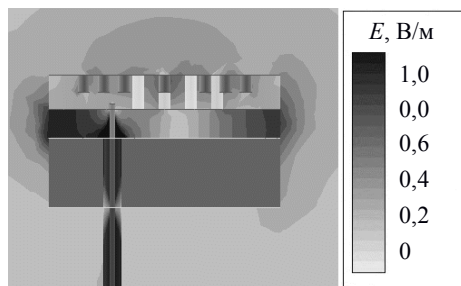


Рис. 9. Распределение ближнего ЭМ-поля для ДДИ с металлизированным диэлектрическим диском в плоскости  $XOZ$ , расчет,  $f = 7,5$  ГГц

На основании полученных данных был изготовлен макет ДДИ с металлизированным диэлектрическим диском, представленный на рис. 10. Измерялись коэффициент обратных потерь, распределение ЭМ-поля в ближней зоне, ДН.

Как следует из сравнения расчетного и экспериментального графиков коэффициента обратных потерь  $S_{11}$  (см. рис. 7), расчетные и измеренные значения резонансной частоты и рабочая полоса антенны практически совпадают: резонансная частота антенны равна  $7,5$  ГГц, рабочая полоса по уровню  $S_{11} = -10$  дБ составляет  $20\%$  ( $6,8 \dots 8,4$  ГГц).



Рис. 10. Прототип ДДИ с металлизированным диэлектрическим диском

В рабочей полосе частот измеренное распределение  $E_x$ -компоненты ЭМ-поля в ближней зоне имеет эллиптическую форму с отклонением максимума распределения от оси антенны на  $5$  мм в сторону питающего элемента (рис. 11, а), причем при повышении частоты максимум распределения смещается вдоль радиуса антенны в направлении оси  $OX$ . Из полученных результатов можно сделать вывод, что распределение  $E_x$ -компоненты ЭМ-поля соответствует рассчитанному ранее в рабочей полосе частот. Распределение  $E_y$ -компоненты ЭМ-поля имеет две области с максимумом амплитуды, ориентированные вдоль оси  $OY$  (рис. 11, б).

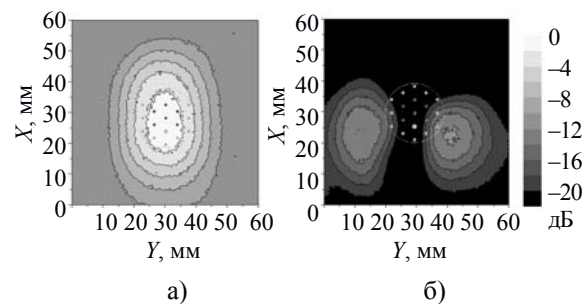


Рис. 11. Распределение ближнего ЭМ-поля ДДИ с металлизированным диэлектрическим диском на частоте  $f = 7,8$  ГГц, эксперимент: а)  $E_x$ -компоненты ЭМ-поля; б)  $E_y$ -компоненты ЭМ-поля



Вне рабочего частотного диапазона ( $f = 9,59$  ГГц) распределение  $E_x$ -компоненты ЭМ-поля имеет две области с максимумом амплитуды, ориентированные вдоль оси  $OX$  (рис. 12, а). При этом распределение  $E_y$ -компоненты ЭМ-поля имеет аналогичную форму, но ориентировано вдоль оси  $OY$  (рис. 12, б). Необходимо отметить, что в этом случае интенсивность кросс-компоненты становится больше.

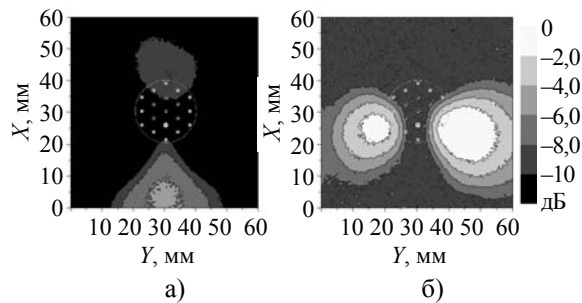


Рис. 12. Распределение ближнего ЭМ-поля ДДИ с металлизированным диэлектрическим диском на частоте 9,59 ГГц, эксперимент: а) –  $E_x$ -компоненты ЭМ-поля; б) –  $E_y$ -компоненты ЭМ-поля

На рис. 13 представлены ДН ДДИ в  $E$ - и  $H$ -плоскостях на резонансной частоте. Как и в расчетах, ширина ДН в  $H$ -плоскости шире, чем в  $E$ -плоскости (в  $H$ -плоскости  $28^\circ$ , а в  $E$ -плоскости составляет  $40^\circ$ ). Направление максимального излучения совпадает с осью ДДИ. Уровень кросс-поляризованного излучения в  $E$ -плоскости на 18,6 дБ меньше, чем уровень основной компоненты электрического поля, в  $H$ -плоскости – на 10,8 дБ. С точки зрения формы ДН результаты эксперимента и численного моделирования хорошо согласуются между собой.

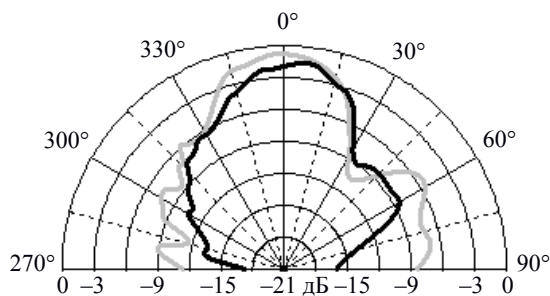


Рис. 13. ДН ДДИ с металлизированным диэлектрическим диском, эксперимент,  $f = 7,45$  ГГц,  $E$ -плоскость – серая линия,  $H$ -плоскость – черная линия

**Выводы.** Таким образом, в работе реализован подход, связанный с применением анализа распределений ЭМ-поля в ближней и промежуточной зонах излучения, для объяснения особенностей формирования ДН малоапертурного излучателя с неосевым возбуждением. Показано, что

введение дополнительных пассивных вибраторов, расположенных в диэлектрическом диске в вершинах шестиугольников, позволило сфокусировать ЭМ-поле внутри внешнего кольца вибраторов. В результате создан и протестирован оригинальный излучатель со следующими параметрами: полоса пропускания 20 %, ширина ДН в  $E$ -плоскости  $28^\circ$ , в  $H$ -плоскости –  $40^\circ$ ; максимум излучения ориентирован в направлении зенита, форма ДН остается неизменной в рабочей полосе частот. Данный подход к анализу характеристик излучателей может быть использован для создания новых антенн с заданными характеристиками, а предложенная антенна применена в устройствах систем связи.

#### Библиографический список

1. *Nasimuddin*. Asymmetric-Circular Shaped Slotted Microstrip Antennas for Circular Polarization and RFID Applications / *Nasimuddin, Z. N. Chen, and X. Qing* // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – 2010. – 58, N 12. – P. 3821–3828.
2. *Izdebski P. M.* Conformal Ingestible Capsule Antenna: A Novel Chandelier Meandered Design / *P. M. Izdebski, H. Rajagopalan, and Yahya Rahmat-Samii* // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – 2009. – 57, N 4. – C. 37–97.
3. *Hegyi B.* Enhancing the Performance of Medical Implant Communication Systems Through Cooperative Diversity / *B. Hegyi, J. Levendovszky* // *Intern. J. of Telemedicine and Applications*. – 2010. – Article ID 920704. – 10 p.
4. *Huang W.* Compact Wideband Multi-Layer Cylindrical Dielectric Resonator Antennas / *W. Huang, A. A. Kishk* // *IEEE Proc. Microwaves, Antennas and Propagation*. – 2007. – 1, N 5. – P. 998–1005.
5. *Kishk A. A.* Experimental Study of Broadband Embedded Dielectric Resonator Antennas Excited by a Narrow Slot / *A. A. Kishk* // *Antennas Wireless Propagation Letters*. – 2005. – 4. – P. 79–81.
6. *Kishk A. A.* Broadband Dielectric Resonator Antennas Excited by L-Shaped Probe / *A. A. Kishk, R. Chair, and K.F. Lee* // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – 2006. – 54, N 8. – P. 2182–2189.
7. *Kishk A. A.* Conical Dielectric Resonator Antennas for Wide-Band Applications / *A. A. Kishk, Y. Van and A.W. Glisson* // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – 2002. – 50, N 4. – P. 469–474.
8. *Kishk A. A.* Wide-Band Truncated Tetrahedron Dielectric Resonator Antenna Excited by a Coaxial Probe / *A. A. Kishk, Y. Van and A.W. Glisson* // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – 2003. – 51, N 10. – P. 2913–2917.
9. *Kishk A. A.* Size-Reduction Method for Dielectric-Resonator Antennas / *A. A. Kishk, Wei Huang* // *Antennas and Propagation Magazine*. – 2011. – 53, N 2. – P. 26–38.
10. *Mongia R. K.* Theoretical and Experimental Investigations of Rectangular Dielectric Resonator Antennas / *R. K. Mongia, A. Ittipiboon* // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – 1997. – 45, N 9. – P. 1348–1356.
11. *Experimental Studies of X-band Leaky-wave Antenna Performances* / *I. Ivanchenko, D. Ivanchenko, A. Koroluyv, N. Popenko* // *Microwave and Optical Technology Letters*. – 2002. – 35, N 4. – P. 281–283.
12. *Active Broad X-Band Circular Patch Antenna* / *A. S. Andrenko, I. V. Ivanchenko, D. I. Ivanchenko et al.* // *IEEE Antennas and Wireless Propagation Lett.* – 2006. – 5. – P. 529–533.

Рукопись поступила 21.11.2013.

S. Radionov, I. Ivanchenko,  
N. Popenko, M. Khruslov

BEAMFORMING BY THE METALIZED  
DIELECTRIC DISK  
WITH OFF-AXIS EXCITATION

With reference to the small-size radiators used in different communication systems the problem of forming a narrow radiation pattern (RP) remains relevant today. A number of papers published both in domestic and foreign scientific journals are devoted to the problem like that. In this paper we implemented an approach involving the use of analysis of the electromagnetic near-field distributions to explain the features of beamforming by the small-aperture radiator with off-axis excitation. The results of simulations obtained in studying such characteristics of the proposed original dielectric disk radiator as the near-field distribution, RP and return loss coefficient when changing the geometric parameters of radiator components allowed us to determine the optimal dimensions of those for beamforming given in advance. The prototype of the dielectric disk radiator with optimal geometric parameters was manufactured and tested. The main characteristics of the prototype are as follows:  $-10$  dB impedance bandwidth is 20 %; beamwidth in the  $E$ -plane and  $H$ -plane is equal to  $28^\circ$  and  $40^\circ$ , respectively; the elevation angle of peak directivity is oriented towards zenith. The given approach to the analysis of the radiator performance can be used in designing new radiators with the specified characteristics. The proposed radiator seems to be very attractive with a viewpoint of its application in the wireless communication systems.

**Key words:** radiator, amplitude-phase distribution, near-field, radiation pattern, dielectric disk radiator.

С. А. Радіонов, І. В. Іванченко,  
Н. О. Попенко, М. М. Хруслов

ФОРМУВАННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ  
МЕТАЛІЗОВАНИМ ДІЕЛЕКТРИЧНИМ ДИСКОМ  
З НЕОСЬОВИМ ЗБУДЖЕННЯМ

Формування вузької діаграми спрямованості (ДС) для малорозмірних випромінювачів, що використовуються в системах зв'язку, є актуальною проблемою, вирішенню якої на сьогодні присвячено низку робіт як у вітчизняних, так і в іноземних журналах. У поданій роботі реалізовано підхід, що пов'язаний з аналізом розподілу електромагнітного поля у ближній та проміжній зонах випромінювання, для пояснення особливостей формування ДС малорозмірного випромінювача з неосьовим збудженням. Чисельне моделювання розподілу ближніх електромагнітних полів, ДС та коефіцієнта зворотних втрат при зміні геометричних параметрів запропонованого діелектричного дискового випромінювача з металізованим діелектричним диском дозволило визначити його оптимальні розміри для формування ДС, що була задана. У результаті проведених тестових вимірів створеного макета діелектричного дискового випромінювача отримані наступні характеристики: смуга пропускання 20 %, ширина ДС у  $E$ -площині  $28^\circ$ , у  $H$ -площині –  $40^\circ$ , максимум випромінювання орієнтований у напрямку осі випромінювача. Даний підхід до аналізу характеристик випромінювачів може бути використаний для створення нових випромінювачів з наперед заданими характеристиками, а запропонований випромінювач придатний для систем зв'язку.

**Ключові слова:** випромінювач, амплітудно-фазове розподілення, ближнє поле, діаграма спрямованості, діелектричний дисковий випромінювач.