

И. В. Иванченко, Н. А. Попенко, В. И. Пищиков, М. М. Хруслов, Р. Е. Чернобровкин

Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины

12 ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина

E-mail: buran@ire.kharkov.ua

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МАЛОАПЕРТУРНЫМИ СВЧ-АНТЕННАМИ

В настоящее время одна из основных проблем состоит в создании широкополосных малоапертурных одиночных излучателей и антенных решеток для беспроводных локальных сетей, задач неразрушающего контроля, мониторинга окружающей среды, биологии, медицины и др. В условиях, когда размеры излучателя становятся сравнимыми с рабочей длиной волны, возрастающее взаимное влияние отдельных элементов антенны и увеличивающаяся роль краевых эффектов в формировании излучения антенн становятся принципиальными и требуют самостоятельного и детального изучения. В работе реализован подход, связанный с применением анализа распределений электромагнитного (ЭМ) поля в промежуточной зоне излучателей для объяснения особенностей формирования излучения в антенной решетке и планарной спиральной антенне. Измеряются распределения ЭМ-поля в промежуточной зоне, и проводится их анализ совместно с распределениями ЭМ-поля в дальней зоне. При этом используются специальные волноводные зонды. Показано, что для элементов антенной решетки ЭМ-волны, рассеянные как на их границах, так и на экране обуславливают осцилляции интенсивности в главном лепестке диаграммы направленности (ДН) и увеличение уровня кросс-компоненты. Для спиральной антенны отличия в распределениях ЭМ-поля в промежуточной зоне на ортогональных компонентах приводят как к различию соответствующих ДН, так и к неравномерному изменению коэффициента эллиптичности в рабочем частотном диапазоне. Предложенный в работе подход к анализу характеристик антенн, а также исследованные антенны могут найти применение при создании устройств систем связи. Ил. 9. Библиогр.: 24 назв.

Ключевые слова: излучатель, поляризация, спиральная антенна, антенная решетка, распределение электромагнитных полей в ближней зоне, диаграмма направленности.

Развитые в Институте радиофизики и электроники НАН Украины экспериментальные методы исследования пространственной структуры электромагнитных (ЭМ) полей в сантиметровом, миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн играют основополагающую роль при изучении процессов формирования как резонансных, так и нерезонансных волновых пучков [1–5]. В течение 20 лет этим вопросам уделяют особое внимание исследователи, работающие в области физики и техники антенн [6, 7]. В этом аспекте одна из основных проблем сегодняшнего дня состоит в создании широкополосных малоапертурных одиночных излучателей и антенных решеток для использования в беспроводных локальных сетях [8–11], задачах неразрушающего контроля, мониторинга окружающей среды, биологии, медицины и др. [12, 13]. Необходимость уменьшения апертуры антенных систем приводит к наиболее сложному в электродинамическом смысле случаю, когда размеры объекта исследования становятся сравнимыми с рабочей длиной волны. В этих условиях возрастающее взаимное влияние как отдельных элементов антенны, так и краевых эффектов на характеристики антенн становятся принципиальными и требуют самостоятельного и детального изучения.

Предложенные нами оригинальные зонды для измерения ближних полей [14, 15] позволили изучить и проанализировать процессы формирования излучения такими антеннами:

- антенна вытекающих волн [16];
- микрополосковая антенна с круговой поляризацией [17];

- диэлектрические дисковые [18] и резонансные прямоугольные [19] антенны;
- цилиндрические монополюсные антенны различных конфигураций [20, 21];
- плоская спиральная антенна миллиметровых волн [22].

В настоящей работе представлен подход, связанный с анализом распределений ЭМ-поля в промежуточной зоне излучения с целью определения вклада рассеянных волн в изменение поляризационных характеристик малоапертурных излучателей. Особую актуальность технология ближних полей приобретает в случае малоапертурных излучателей как с круговой, так и с линейной поляризацией. В последнем случае деполаризующее влияние краевых эффектов может иметь принципиальное значение с точки зрения сохранения поляризационных характеристик излучения. В качестве объектов исследования выбраны два типа антенн: антенная решетка с линейной поляризацией и планарная спиральная антенна с круговой поляризацией. Рассмотрение таких двух полярных ситуаций позволяет определить источники возникновения для антенной решетки «паразитной» кросс-компоненты в излучении, а для спиральной антенны – источники нарушения круговой поляризации в рабочем частотном диапазоне.

На практике необходимо создание широкополосных фазированных антенных решеток с широким сектором угла сканирования луча. В связи с этим открыт конец волновода, используемый в качестве элемента такой решетки, представляется перспективным в силу его широко-

полосности (более чем 50 %), простоты возбуждения и малых потерь. Однако существующие серьезные ограничения на относительное пространственное размещение одиночных излучателей в решетке приводит к необходимости уменьшать апертуру открытого конца волновода.

Планарным спиральным антеннам уделяется особый интерес благодаря их широкополосности, высоким значениям КПД, устойчивому входному импедансу и круговой поляризации излучения. Наиболее характерной особенностью таких спиральных антенн является их высокое входное сопротивление. В связи с этим главной проблемой становится обеспечение хорошего согласования питающего коаксиального 50Ω кабеля с входным импедансом антенны в широкой полосе частот, особенно при продвижении в более высокочастотный участок спектра. Таким образом, дальнейший прогресс в практическом использовании планарных спиральных антенн, работающих в миллиметровом диапазоне длин волн, определяется характеристиками согласователя входных импедансов. Более того, принципиальным становится вопрос сохранения круговой поляризации в рабочей полосе антенны.

1. Описание методик и исследуемых структур. Антенная решетка состоит из излучателей, представляющих собой открытый конец волновода с диэлектрической вставкой специальной формы, которая представлена в работе [23]. Основная идея применения такой вставки определяется необходимостью сохранения периода решетки меньшим $\lambda/2$. Эти ограничения на относительное пространственное размещение одиночных излучателей в решетке приводят к необходимости уменьшения апертуры открытого конца волновода путем его заполнения диэлектриком. Схематическое изображение одиночного излучателя представлено на рис. 1, а. В экране 1 расположен металлический волновод 2. Возбуждение осуществляется коаксиальным волноводом 3. Элемент возбуждения в виде электрического диполя Г-образной формы 4 размещен в диэлектрическом цилиндре 5 с относительной проницаемостью $\epsilon_r = 7,1$ в максимуме электрической компоненты ЭМ-поля. В данном случае нерегулярная часть диэлектрической вставки 6 ($\epsilon = 2,1$) в виде двух усеченных конусов расположена вне апертуры открытого конца металлического волновода. Антенная решетка квадратной формы собрана из 16 одиночных излучателей, расположенных по 4 в каждом ряду (рис. 1, б). Следует отметить, что оптимизация электродинамических характеристик данного излучателя проводилась в условиях его использования в составе антенной решетки. При этом критериями оптимизации в расчетах были выбраны: ширина главного лепестка диа-

граммы направленности (ДН) не менее чем $\pm 60^\circ$; рабочая полоса частот порядка 33 %; линейная поляризация излучения (уровень кросс-компоненты не более -30 дБ). Согласно проведенным расчетам, были определены оптимальные параметры излучателя, обеспечивающие рабочую полосу частот $\Delta f = 2,54$ ГГц: высота и длина возбуждающего диполя Г-образной формы $h = 4,5$ мм, $l = 2,5$ мм соответственно, высота регулярной части волновода $a = 5$ мм, высота диэлектрической призмы $b = 20$ мм.

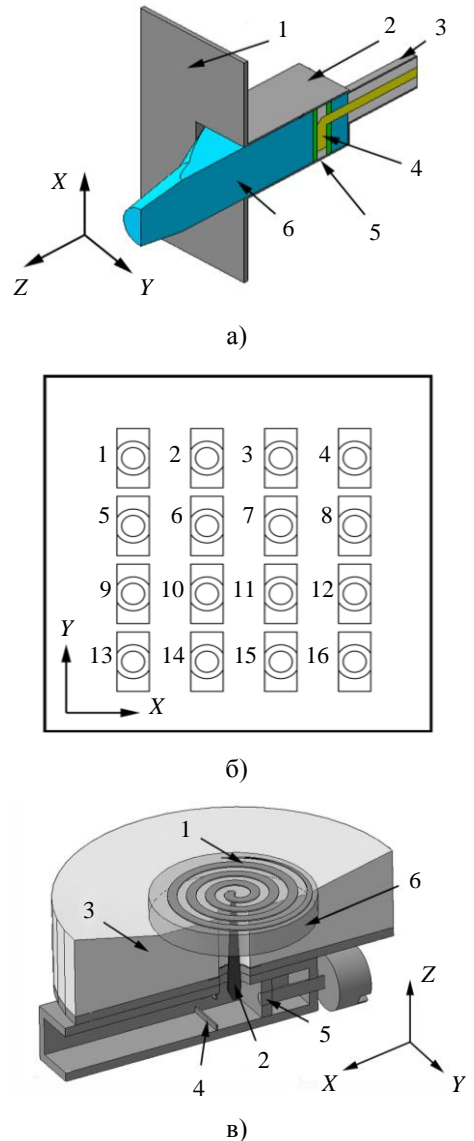


Рис. 1. Исследуемые излучатели: одиночный излучатель антенной решетки (а); схематическое изображение антенной решетки (б); спиральная антенна (в)

Излучатель с эллиптической поляризацией представляет собой трехвитковую плоскую спираль 1 на подложке из диэлектрика (рис. 1, в). Спираль соединяется с волноводным трактом

посредством коаксиально-волноводного перехода 2 и расположена в центре сферического экрана 3. Диафрагмы 4 и короткозамыкающий поршень 5 обеспечивают согласование волновых сопротивлений волновода и антенны. Последняя расположена на подложке из диэлектрика 6. Расчет данного излучателя выполнен исходя из требования его работы в диапазоне частот $32,0 \pm 38,0$ ГГц. При этом получены следующие параметры: диаметр спирали $D = 14$ мм, диаметр зеркала 30 мм, а его радиус кривизны $R = 60$ мм.

Расчеты параметров для всех типов излучателей выполнены программным пакетом *Ansoft HFSS*. Распределения ближних полей измерялись с помощью трехкоординатного сканирующего устройства специальными волноводными зондами, предложенными в работе [14]. Измерение ДН проводилось в безэховой камере на установке, описанной в [24].

2. Анализ и обсуждение результатов.

Антенная решетка. В соответствии с результатами проведенных расчетов и определенными геометрическими и физическими параметрами был изготовлен макет антенной решетки и проведены измерения коэффициента обратных потерь S_{11} , ДН и распределения ЭМ-полей в промежуточной зоне отдельных излучателей в составе решетки.

На рис. 2 приведены измеренные частотные зависимости S_{11} для трех одиночных излучателей в составе антенной решетки: № 6, № 7 и № 4 (см. рис. 1, б).

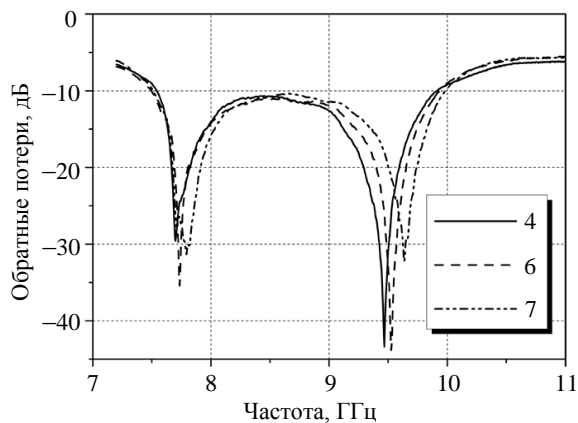


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициента обратных потерь S_{11} для отдельных излучателей в составе антенной решетки

Как следует из представленных зависимостей, рабочая полоса (по уровню -10 дБ) составляет 28 %. При этом наблюдаются 3 характерные области частот: две – где параметр S_{11} имеет минимум ($7,6 \text{ ГГц} < f < 7,85 \text{ ГГц}$ и $9,4 \text{ ГГц} < f < 9,6 \text{ ГГц}$), и третья, где $S_{11} \approx -11$ дБ ($8,1 \text{ ГГц} < f < 8,8 \text{ ГГц}$). Отметим также, что относительные сдвиги резонансной частоты в двух

указанных выше областях определяются положением излучателей в составе решетки, например: для центральных излучателей (№ 6, № 7) резонансные частоты отличаются ($\Delta f = 50$ МГц и $\Delta f = 100$ МГц для первой и второй полосы соответственно); а для крайнего излучателя № 4 сдвиги частоты различны по отношению к частотам центральных излучателей № 6 и № 7 ($\Delta f = 156$ МГц и $\Delta f = 242$ МГц; $\Delta \Delta f = 80$ МГц и $\Delta f = 110$ МГц соответственно).

ДН одиночных излучателей измерялись в условиях, когда остальные излучатели в антенной решетке были нагружены на согласующие элементы. На рис. 3 приведены ДН в двух главных плоскостях для излучателя № 7, расположенного внутри антенной решетки, на трех различных частотах. Данные частоты были выбраны в силу следующих причин. Двум из них соответствуют минимальные значения коэффициента обратных потерь S_{11} , а третья является центральной частотой рабочей полосы излучателя. В соответствии с результатами измерений, ширина главного лепестка по уровню -3 дБ в H -плоскости равна $\pm 60^\circ$ (рис. 3, а).

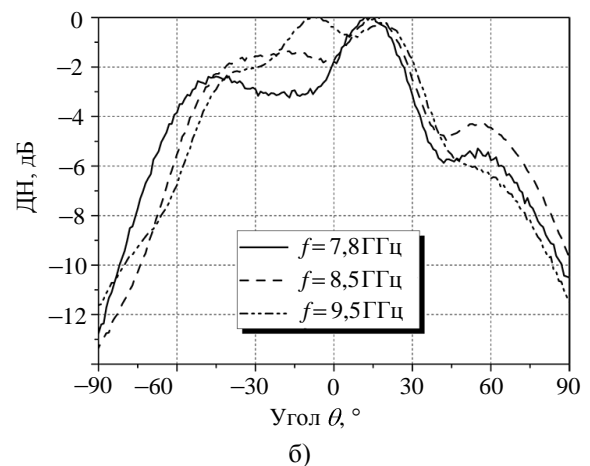
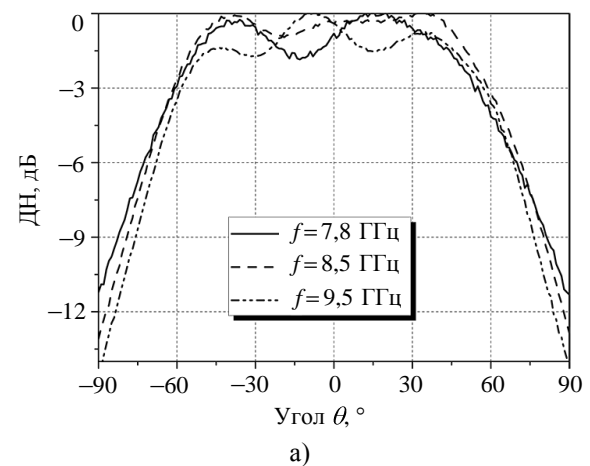


Рис. 3. Измеренные диаграммы направленности для излучателя № 7

При этом для всех частот наблюдаются вариации интенсивности в центральной части ДН. Так, для резонансных областей S_{11} (рис. 2) интенсивность излучения в центральной части диаграммы направленности изменяется следующим образом: для $f = 7,8$ ГГц при $\theta = 13^\circ$ появляется минимум, уровень которого не превышает -2 дБ. В то же время для $f = 9,5$ ГГц ДН имеет 3 вариации в интервале углов излучения $-56^\circ < \theta < 56^\circ$ с максимумом интенсивности при $\theta = 8^\circ$. Сдвиг максимума ДН относительно оси антенной решетки объясняется несимметричным положением исследуемого излучателя (см. рис. 1, б). Для частоты $f = 8,5$ ГГц в интервале углов $-39^\circ < \theta < 36^\circ$ происходит незначительное изменение интенсивности излучения, не превышающее -1 дБ.

Измеренные ширины ДН в E -плоскости излучателя подвержены несколько более сильным изменениям в полосе частот, чем в H -плоскости (рис. 3, б). Однако отличие в ширинах главного лепестка ДН не превышает 4° на граничных частотах рабочей полосы излучателя 7,8 и 9,5 ГГц.

Наши дальнейшие усилия были сфокусированы на изучении пространственных распределений ближних ЭМ-полей исследуемых излучателей. Различия в форме центральной части ДН для указанных выше частот были объяснены в рамках анализа распределения ЭМ-поля в промежуточной зоне антенны. Распределения ЭМ-поля измерялись на расстоянии 10 мм от поверхности антенны. При этом измерялось распределение ЭМ-поля для основной и кросс-компонент как для одного из элементов внутри решетки № 7, так и для крайнего элемента № 4. Анализ полученных распределений ЭМ-поля для внутреннего элемента № 7 показывает, что для основной компоненты распределение ЭМ-поля на частоте $f = 7,8$ ГГц вытянуто в сторону решетки, а область максимальной интенсивности сдвинута в сторону крайнего элемента № 8 (рис. 4, а). Такое распределение ЭМ-поля приводит к образованию минимума в центральной части ДН (рис. 3, а). При увеличении частоты ($f = 8,5$ ГГц) и переходе в область с максимальным значением S_{11} (см. рис. 2, а) распределение ЭМ-поля располагается практически на всех элементах решетки и части экрана, что и обуславливает плавное изменение центральной части ДН (рис. 3, а). Распределение ЭМ-поля для частоты $f = 9,5$ ГГц практически симметрично, а область максимальной интенсивности сосредоточена на исследуемом элементе. Такая конфигурация распределения ЭМ-поля является наиболее адекватной для достижения минимального значения S_{11} в антенной решетке (см. рис. 2), однако в этом случае центральная часть ДН имеет две вариации (рис. 3). Указанные выше изменения распределений ЭМ-поля в промежуточной зоне в

рабочей полосе частот обусловлены изменением фазовых соотношений между ЭМ-волнами, рассеянными на дифракционно-связанных излучателях решетки. При этом необходимо отметить, что расстояние между элементами решетки выбиралось равным $\lambda/2$ (где $\lambda = 30$ мм), поэтому для частоты $f = 9,5$ ГГц и наблюдается минимальная дифракционная связь между излучателями (рис. 4, а).

Исследование распределений ЭМ-поля в промежуточной зоне для № 7 на кросс-компоненте показало, что уровень максимального излучения на этой компоненте для $f = 7,8$ ГГц на 22 дБ меньше, чем на основной. При этом с повышением частоты уровень кросс-компоненты уменьшается на 4 дБ. Как следует из расположения областей интенсивности в распределении ЭМ-поля, кросс-компонента возникает в результате рассеяния ЭМ-волн, как на элементах решетки, так и на конечном экране (рис. 4, б). Отметим, что асимметрия в распределении кросс-компоненты ЭМ-поля для излучателя № 7 обусловлена его несимметричным окружением: с одной стороны находится два элемента решетки; с другой – один. Кроме того, для частоты $f = 7,8$ ГГц области с максимальной интенсивностью расположены на диагональных элементах, что свидетельствует о доминирующем вкладе в формирование излучения ЭМ-волн, рассеянных на близлежащих элементах решетки. Увеличение области излучения на основной компоненте для частоты $f = 8,5$ ГГц (рис. 4, а) приводит к возрастанию вклада в излучение на ортогональной поляризации ЭМ-волн, рассеянных на конечном экране, чем и определяется вид полученного распределения ЭМ-поля с областями максимальной интенсивности на экране. Как для низкой частоты, так и для частоты $f = 9,5$ ГГц области максимальной интенсивности расположены на диагональных элементах по отношению к исследуемому.

При изменении пространственного окружения для крайнего излучателя № 4 симметрия в распределении ЭМ-поля на основной компоненте сохраняется на всех частотах (рис. 5, а). При этом вклад в его формирование вносят волны, рассеянные как на элементах решетки, так и на экране, что и приводит к увеличению области максимальной интенсивности по сравнению с внутренним элементом № 7 (рис. 4, а). При этом для $f = 8,42$ ГГц уровень кросс-компоненты на элементе № 4 возрастает на 3,2 дБ по сравнению с уровнем кросс-компоненты для элемента № 7. Распределение ЭМ-поля для всех частот остается несимметричным, и основной вклад в его формирование вносят волны, рассеянные на экране (рис. 5, б).

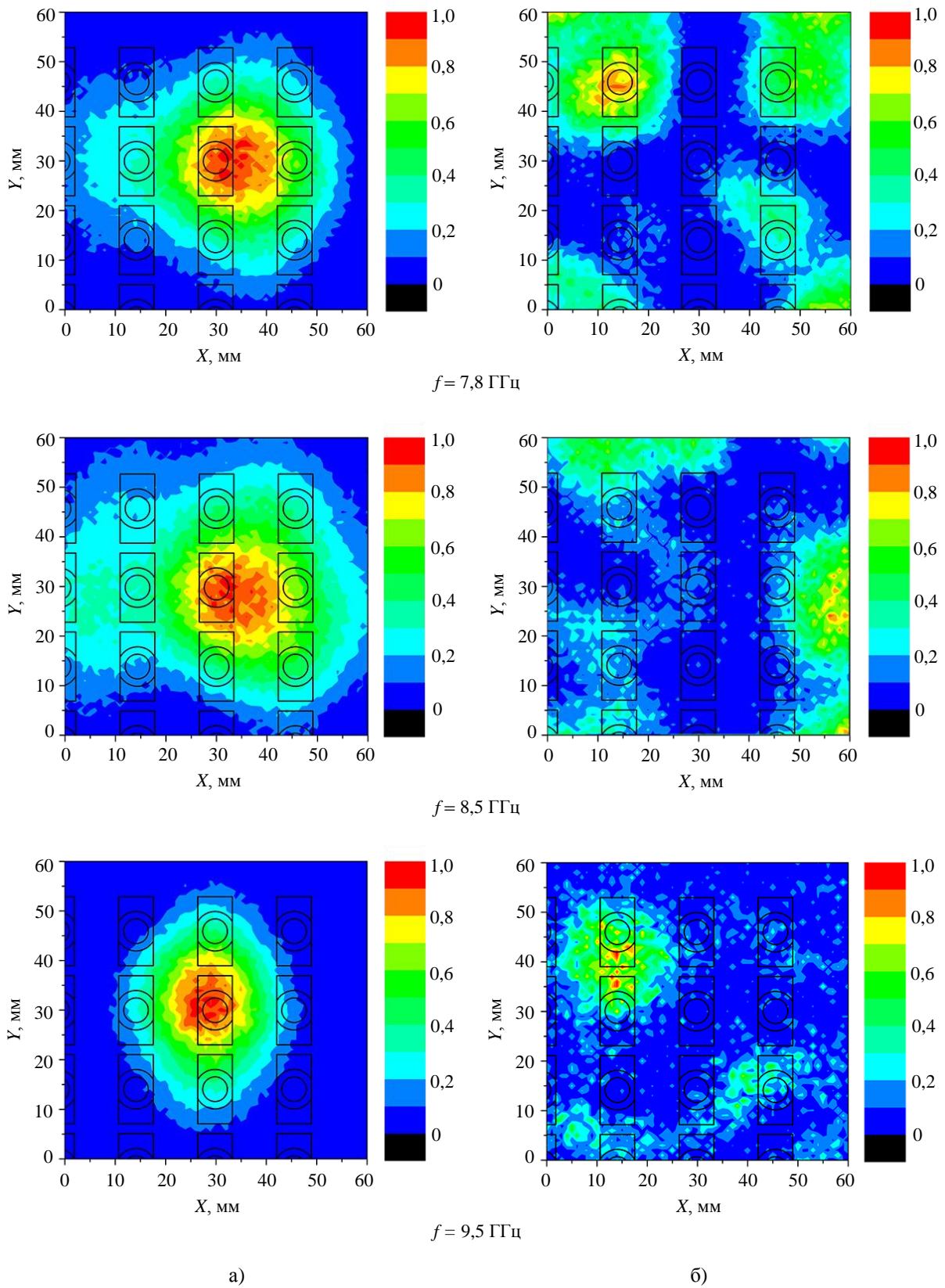


Рис. 4. Распределение ЭМ-поля на основной (а) и кросс-компонентах (б) для внутреннего излучателя № 7 для разных частот

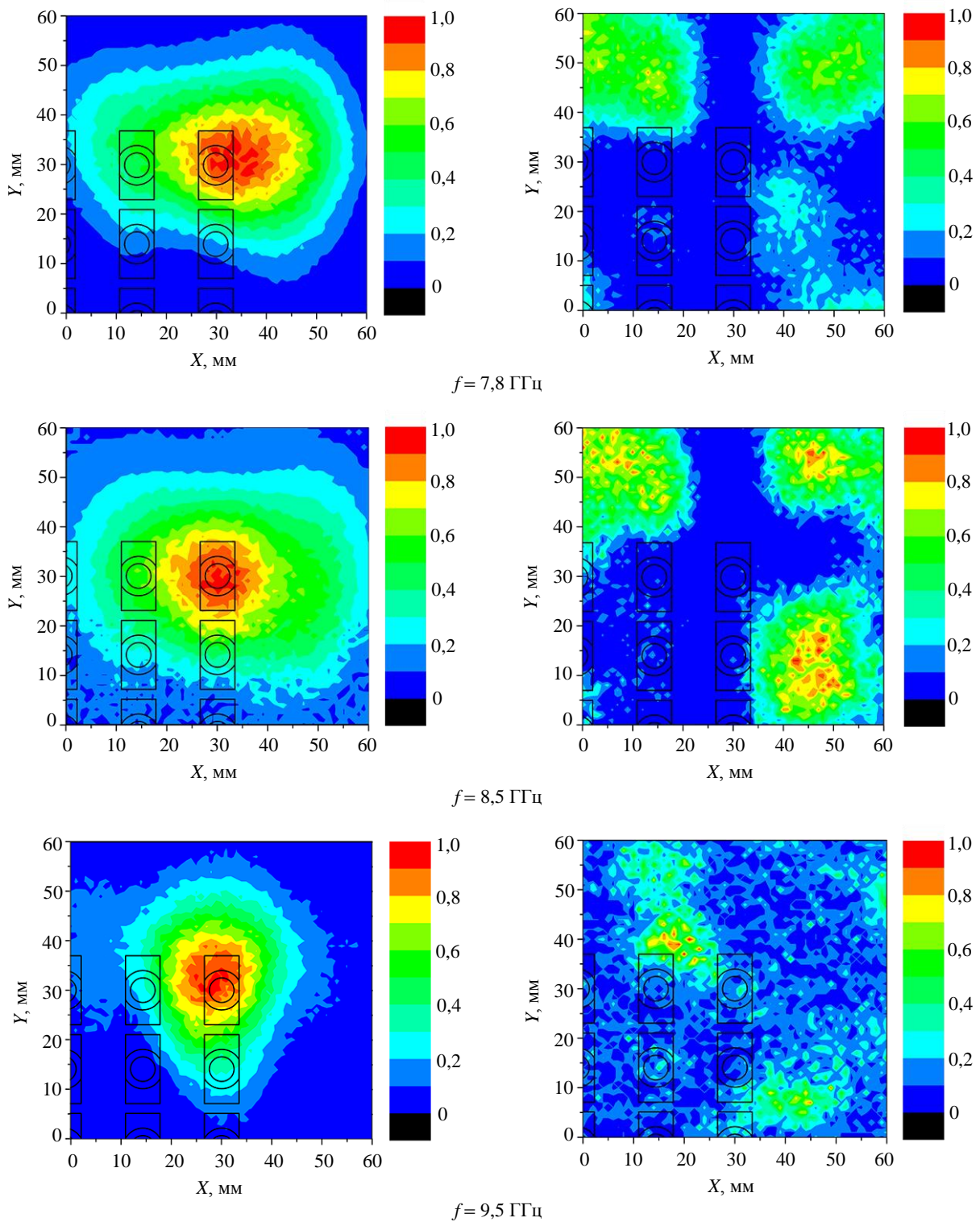


Рис. 5. Распределение ЭМ-поля на основной (а) и кросс-компонентах (б) для крайнего излучателя для разных частот

Анализ распределений ЭМ-поля в промежуточной зоне при синфазном возбуждении линейки крайних излучателей (№ 4, 8, 12, 16 рис. 1, б) показывает: как и в случае возбуждения одиночного элемента (№ 4) (рис. 5, а), наличие дифракцион-

ной связи между элементами решетки приводит к асимметрии в пространственном распределении ЭМ-поля. Для частот $f = 7,8 \text{ ГГц}$ и $8,5 \text{ ГГц}$ появляется второй максимум ЭМ-поля, расположенный в центральной части решетки (рис. 6, а).

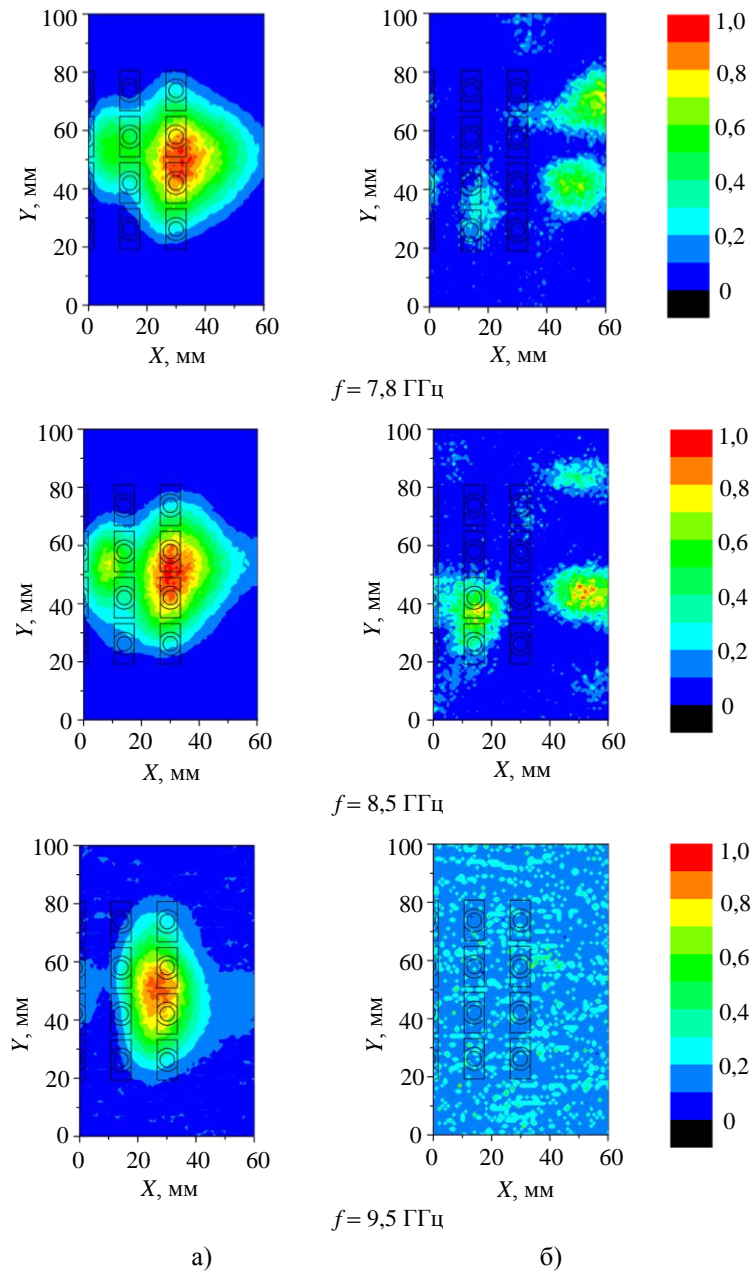


Рис. 6. Распределение ЭМ-поля на основной (а) и кросс-компонентах (б) линейки крайних излучателей для разных частот

Если для частоты $f=7,8$ ГГц кросс-компонента обусловлена в основном рассеянием ЭМ-волн на элементах решетки, то для частоты $f=8,5$ ГГц вклад в формирование распределения ЭМ-поля на кросс-компоненте вносят как ЭМ-волны, рассеянные на элементах решетки, так и ЭМ-волны, рассеянные на экране (рис. 6, б). Для случая, когда вклад рассеянных волн минимален ($f=9,5$ ГГц), распределение ЭМ-поля на основной поляризации на одиночном излучающем элементе (№ 4) и линейке излучателей сосредоточено в области решетки (рис. 6, а). При этом уровень кросс-компоненты становится меньше -30 дБ (рис. 6, б), т. е. излучение можно считать практически линейно поляризованным.

Таким образом, представленные выше распределения ЭМ-поля в промежуточной зоне позволяют объяснить возникающие осцилляции интенсивности в центральной части ДН.

Спиральная антенна. Прежде всего, в результате проведенных расчетов была выбрана конфигурация плоской спиральной антенны, работающей в полосе частот $32\div 38$ ГГц и представляющей собой трехвитковую однозаходную спираль, расположенную на диэлектрической подложке ($\epsilon=3,12$) толщиной $0,125$ мм. Распределение ближних полей такой антенны в различных сечениях по вертикальной оси OZ (см. рис. 1, в) показаны на рис. 7. Данные картины ЭМ-полей наглядно демонстрируют процесс формирования

волнового пучка в спирали. По мере удаления от поверхности антенны распределение ближнего ЭМ-поля раскручивается в пространстве в сторону намотки спирали (рис. 7). Отметим, что данные распределения свидетельствуют о наличии ЭМ-поля за пределами спирали.

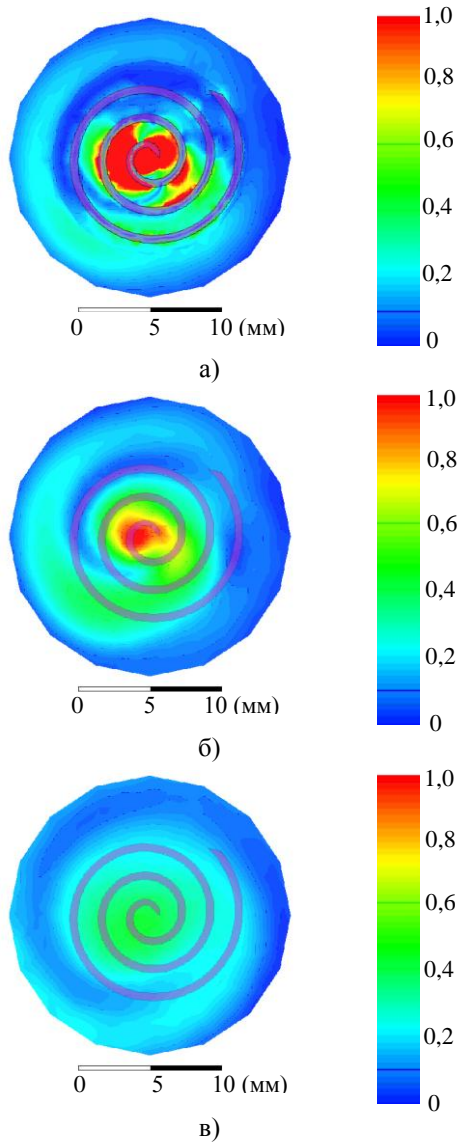


Рис. 7. Распределения ближних полей в различных сечениях по оси OZ : а) – на поверхности спирали; б) – на расстоянии 1 мм (б); в) – расстоянии 6 мм

Для эффективного использования рассмотренной выше антенны в ряде практических применений необходимо обеспечить ее возбуждение посредством волновода. Для решения этой проблемы был предложен оригинальный коаксиально-волноводный переход. В результате проведенных вычислений было установлено следующее: коэффициент обратных потерь такой антенны превышает -26 дБ в полосе частот $32\div 38$ ГГц; угол максимального излучения однолепестковой ДН ориентирован близко к зениту; форма ДН и угол

максимального излучения претерпевают изменения в рабочей полосе частот. При этом коэффициент эллиптичности возрастает с ростом частоты от 1,02 дБ при $f = 31,5$ ГГц до 1,9 дБ при $f = 36,1$ ГГц, а в полосе частот $34 < f < 35$ ГГц остается постоянным и составляет 1,1 дБ.

На основании результатов проведенных расчетов был изготовлен и протестирован макет антенны с оптимизированными параметрами. ДН измерялись в полосе частот $32\div 38$ ГГц на двух ортогональных поляризациях. Полученные экспериментальные результаты указывали на отличия в поведении ДН на двух поляризациях. В качестве примера на рис. 8 приведены ДН на двух поляризациях для одной из частот. Для одной из них угол максимального излучения смещался относительно зенита в пределах полосы антенны от $\theta = 3^\circ$ до $\theta = 25^\circ$. В этом случае ширина ДН изменяется от $\Delta\theta = 76^\circ$ до $\Delta\theta = 60^\circ$ соответственно. В то же время для ортогональной поляризации в полосе частот наблюдается «качание» луча в угловом секторе ($100^\circ < \theta < 160^\circ$) и появление осциллирующей интенсивности в центральной части ДН. При этом ширина ДН изменялась от $\Delta\theta = 60^\circ$ до $\Delta\theta = 90^\circ$ по мере увеличения частоты.

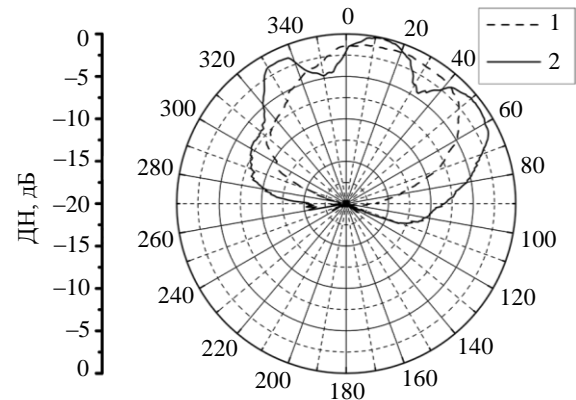


Рис. 8. ДН на частоте $f = 34,5$ ГГц: 1 – E_x -компонента; 2 – E_y -компонента

Указанные отличия в ДН на двух ортогональных поляризациях были объяснены на основании анализа распределения ЭМ-поля в плоскости XOY (см. рис. 1, в). Измерения проводились на расстоянии 6 мм от поверхности антенны. В качестве зонда использовался открытый конец волновода.

Экспериментально полученные картины ближних полей указывают на наличие максимума в интенсивности поля вблизи осевой области антенны на двух ортогональных поляризациях (рис. 9). Применение сферического зеркала позволило сфокусировать волновой пучок в центральной области антенны, минимизировав излучение за ее пределами, которое имеет место для изолированной спирали (см. рис. 7). При этом для E_x -поляризации область максимального ЭМ-поля имеет

вытянутую форму и практически занимает всю поверхность антенны (рис. 9, а). Для ортогональной поляризации область максимальной интенсивности в распределении ЭМ-поля сосредоточена в центральной части спирали и имеет симметричную форму. Эти отличия и обуславливают различную ширину ДН на ортогональных поляризациях. Кроме того, следует отметить, что на всех частотах появляются области излучения или в области края спирали, или в области края экрана. При изменении частоты эти области излучения изменяют свое положение относительно координатных осей антенны (см. рис. 1, в). Наличие таких областей ЭМ-поля и может приводить к изменению коэффициента эллиптичности в полосе частот.

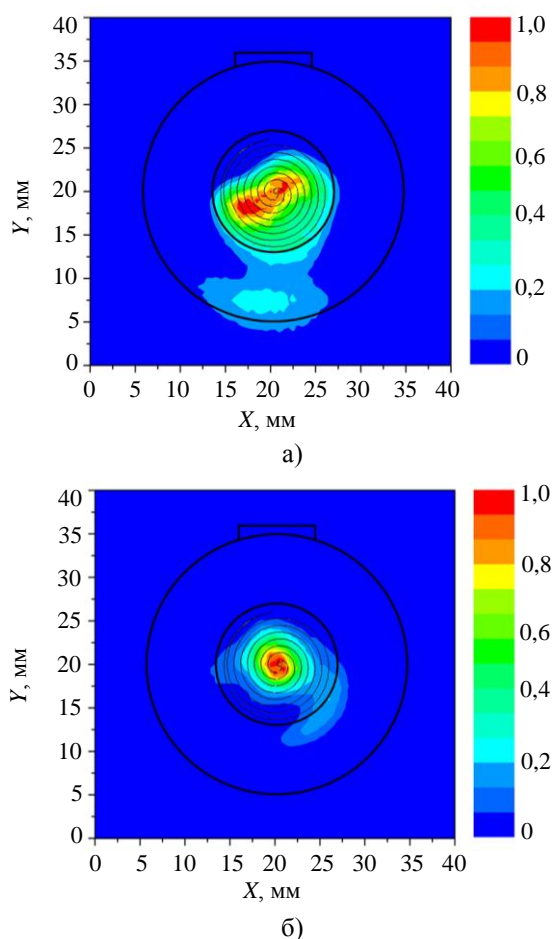


Рис. 9. Распределение ЭМ-поля на частоте $f = 31,95$ ГГц: а) – для E_x -компоненты; б) – для E_y -компоненты

Измеренная частотная зависимость коэффициента эллиптичности хорошо коррелирует с рассчитанной: коэффициент эллиптичности не превышает -3 дБ в диапазоне частот $32,0 \div 36,5$ ГГц. Однако следует отметить, что величина коэффициента эллиптичности неравномерно изменяется по диапазону частот.

Выводы. В данной статье представлены результаты исследования пространственной структуры ближних ЭМ-полей малоапертурных излучателей, таких как антенная решетка и планарная спиральная антенна. Анализ полученной информации для одиночных излучателей и линейки излучателей в составе решетки позволяет определить деполяризующее влияние ЭМ-волн, рассеянных на границах излучателей и экрана, на формирование излучения антенны. Установлено, что изменение дифракционной связи между элементами решетки в рабочем частотном диапазоне обуславливает как появление осцилляций интенсивности в центральной части ДН, так и возникновение кросс-составляющей в распределении ЭМ-поля в промежуточной зоне. Для излучателей, расположенных на границах решетки, определен доминирующий вклад ЭМ-волн, рассеянных на экране, в формирование излучения на кросс-поляризации. Для спиральной антенны отличия в распределениях ближнего ЭМ-поля на ортогональных компонентах приводят к различию соответствующих ДН и неравномерному изменению коэффициента эллиптичности в рабочем частотном диапазоне.

Библиографический список

1. Вертий А. А. Метод измерения фазовой структуры поля в квазиоптических открытых резонаторах / А. А. Вертий, И. В. Иванченко, В. П. Шестопапов // Докл. АН УССР. Сер. А. – 1977. – № 10. – С. 922–925.
2. Вертий А. А. Сканирующий резонансный квазиоптический поляриметр миллиметрового диапазона / А. А. Вертий, И. В. Иванченко, В. П. Шестопапов // Приборы и техн. эксперимента. – 1981. – № 1. – С. 155–157.
3. Экспериментальное исследование краевых эффектов в открытых резонаторах миллиметрового диапазона / А. А. Вертий, И. В. Иванченко, Н. А. Попенко, В. П. Шестопапов // Радиотехника и электрон. – 1983. – 28, № 4. – С. 689–695.
4. Исследование тонкой структуры дифракционного излучения миллиметрового диапазона. Ч. I / А. А. Вертий, И. В. Иванченко, Н. А. Попенко и др. // Изв. вузов. Радиофизика. – 1985. – 28, № 10. – С. 1274–1282.
5. Иванченко И. В. Исследование распределений электромагнитных полей как метод изучения характеристик электродинамических структур / И. В. Иванченко, Н. А. Попенко // Физические основы приборостроения. – 2013. – 2, № 1. – С. 18–32.
6. Testing of a 1.5-m Reflector Antenna at 322 GHz in a CATR Based on a Hologram / J. Hakli, T. Koskinen, A. Lonnqvist et al. // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 2005. – 53, N 10. – P. 3142–3150.
7. PCS antenna design: The challenge of miniaturization / A. K. Skrivervik, J.-F. Zurcher, O. Staub, J. R. Mosig // IEEE Trans. Antennas Propagat. Magazine. – 2001. – 43, N 4. – P. 12–26.
8. A new excitation technique for wide-band short backfire antennas / R. L. Li, D. Thompson, J. Papapolymerou et al. // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 2005. – 53, N 7. – P. 2313–2320.
9. Kuo Y.-L. Printed double-T monopole antenna for 2.4/5.2 GHz dual-band WLAN operations / Y.-L. Kuo, K.-L. Wong // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 2003. – 51, N 9. – P. 2187–2192.

10. Chen H-D. A CPW-Fed dual-frequency monopole antenna / H-D. Chen, H-T. Chen // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 2004. – 52, N 4. – P. 978–982.
11. Realization of dual-frequency and wide-band VSWR performances using normal-mode helical and inverted-F antennas / H. Nakano, N. Ikeda, Y-Y. Wu et al. // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1998. – 46, N 6. – P. 788–793.
12. Bolomey J.-C. Engineering application of the modulated scatterer technique / J.-C. Bolomey, F. E. Gardiol. – Boston–L.: Artech House, 2001. – 255 p.
13. Baudry D. Applications of the Near-Field Techniques in EMC Investigations / D. Baudry // Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions. – 2007. – 49, N 3. – P. 485–493.
14. Зонд для диагностики ближнего поля в миллиметровом диапазоне / И. Я. Бровенко, И. В. Иванченко, Н. А. Попенко, Р. Е. Чернобровкин // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 2006. – 11, № 1. – С. 19–28.
15. Chernobrovkin R. A Novel V-band Antenna for Nondestructive Testing Techniques / R. Chernobrovkin, I. Ivanchenko, N. Popenko // Microwave and Optical Technology Lett. – 2007. – 49, N 7. – P. 1732–1735.
16. Experimental Studies of X-band Leaky-wave Antenna Performances / I. Ivanchenko, D. Ivanchenko, A. Korolyuv, N. Popenko // Microwave and Optical Technology Lett. – 2002. – 35, N 4. – P. 281–283.
17. Enhancement of Circular Polarization Output in Square Patch Microstrip Antennas / E. Semouchkina, G. Semouchkin, M. Lanagan et al. // Proc. of 34th European Microwave Conf. (EuMC2004). – Amsterdam, 2004. – P. 1333–1336.
18. Ivanchenko I. V. Compact high performance dielectric disk antenna for WiMAX application / I. V. Ivanchenko, M. M. Khruslov, N. A. Popenko // Microwave and Optical Technology Lett. – 2010. – 52, N 3. – P. 580–584.
19. Modal Analysis of Rectangular Dielectric Resonator Antennas / E. Semouchkina, G. Semouchkin, W. Cao et al. // Intern. Symp. of Antennas: proc. – Nica, 2002. – P. 103–106.
20. Ivanchenko I. Compact X-band coaxial monopole antenna / I. Ivanchenko, M. Khruslov, N. Popenko // Proc. of 3rd European Conf. on Antennas and Propagation. – Berlin, 2009. – P. 442–444.
21. Metal-dielectric coaxial monopole antenna / R. E. Chernobrovkin, I. V. Ivanchenko, M. M. Khruslov, N. A. Popenko // Proc. of Mediterranean Microwave Symp. (MMS2007). – Budapest, 2007. – P. 61–64.
22. UWB equiangular spiral antenna for 7.5–40GHz / R. Chernobrovkin, I. Ivanchenko, V. Pischikov, N. Popenko // Microwave and Optical Technology Lett. – 2012. – 54, N 9. – P. 2190–2194.
23. Wide-Angle X-Band Antenna Array with Novel Radiating Elements / R. Chernobrovkin, I. Ivanchenko, L. P. Ligthard et al. // Radioengineering. – 2008. – 17, N 2. – P. 72–76.
24. 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, N 1. – P. 529–533.

Рукотпись постутила 29.01.2013 г.

I. V. Ivanchenko, N. A. Popenko, V. I. Pishchikov,
M. M. Khruslov, R. E. Chernobrovkin

THE FEATURES OF RADIATION FORMATION BY THE SMALL APERTURE SHF ANTENNAS

Currently, one of the major problems is to create the broadband individual small aperture radiators and antenna arrays

for wireless local area networks, nondestructive problems, the environment monitoring, biology, medicine, etc. Under conditions when the radiator size is comparable to the operating wavelength, the increasing mutual influence of the individual antenna elements and the increasing role of edge effects in the formation of antenna radiation become principal and require separate and detailed studying. In the paper the approach involving the analysis of near-field distributions of the concrete individual radiator is realized to explain the features of the radiation formation in the antenna array and planar spiral antenna. The near-field distributions are measured and their analysis is carried out along with the electromagnetic field distributions measured in the far field region. The special waveguide probes are used. It is shown that relative to the antenna array the electromagnetic waves scattered at the edges of array elements and at the ground plane cause the field intensity oscillations in the main lobe of the radiation pattern and the increase of the cross-component level. As regards the spiral antenna, the differences in the near-field distributions for the orthogonal components lead to a difference in the suitable radiation patterns and to the irregular changes of the axial ratio in the operational frequency band. The proposed approach to the analysis of antenna performance, as well as the presented and tested antennas can be used in designing different wireless communication systems.

Key words: radiator, polarization, spiral antenna, antenna array, electromagnetic field distribution in the near-field region, radiation pattern.

I. В. Иванченко, Н. О. Попенко, В. І. Пищиков,
М. М. Хруслов, Р. Е. Чернобровкін

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ МАЛОАПЕРТУРНИМИ НВЧ-АНТЕНАМИ

На сьогодні однією з основних проблем є створення ширококутових малоапертурних поодиноких випромінювачів та антенних ґраток для безпроводних локальних мереж, задач неруйнівного контролю, моніторингу довкілля, біології, медицини та інше. В умовах, коли розміри випромінювача стають порівнянними з довжиною робочої хвилі, зростаючий взаємний вплив окремих елементів антени та істотно більша роль крайових ефектів в формуванні випромінювання антен стають принциповими, та потребують самостійного та детального вивчення. В роботі реалізовано підхід, що пов'язаний з використанням аналізу розподілів електромагнітного (ЕМ) поля в проміжній зоні випромінювання для пояснення особливостей формування випромінювання в антенній ґратці та планарній спіральній антені. Вимірюються розподіли ЕМ-поля в проміжній зоні, та проводиться їх аналіз разом з розподілами ЕМ-поля в дальній зоні. При цьому використовуються спеціальні хвилеводні зонди. Показано, що для елементів антенної ґратки ЕМ-хвилі, що розсіюються як на їх границях, так і на екрані обумовлюють осциляції інтенсивності в головній пелюстці діаграми спрямованості (ДС) та зростання рівня крос-компоненти. Для спіральної антени відмінності в розподілах ЕМ-поля в проміжній зоні на ортогональних компонентах приводять як до різниці в ДС, так і до нерівномірної зміни коефіцієнта еліптичності в робочому частотному діапазоні. Запропонований в роботі підхід до аналізу характеристик антен, а також досліджені антени можуть знайти використання при створенні пристроїв систем зв'язку.

Ключові слова: випромінювач, поляризація, спіральна антена, антенна ґратка, розподіл електромагнітних полів в ближній зоні, діаграма спрямованості.