



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H01P 1/165 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023114492, 02.06.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.06.2023

Дата регистрации:  
12.01.2024

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 02.06.2023

(45) Опубликовано: 12.01.2024 Бюл. № 2

Адрес для переписки:  
111024, Москва, ул. Авиамоторная, 8А,  
МТУСИ

(72) Автор(ы):  
Елизаров Андрей Альбертович (RU),  
Машкова Маргарита Антоновна (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Ордена Трудового Красного Знамени  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Московский технический  
университет связи и информатики"  
(МТУСИ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2764572 C1, 18.01.2022. US  
9583301 B2, 28.02.2017. RU 166254 U1, 20.11.2016.  
RU 170145 U1, 14.04.2017. RU 175414 U1,  
04.12.2017.

## (54) ВОЛНОВОДНЫЙ ПОЛЯРИЗАТОР НА МЕТАМАТЕРИАЛЕ

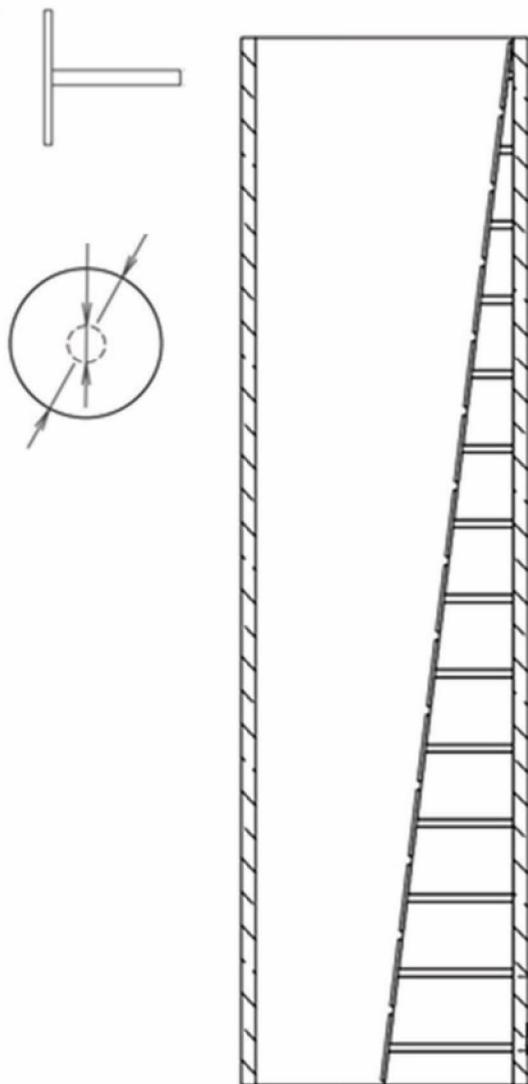
(57) Реферат:

Полезная модель относится к радиотехнике и технике СВЧ, и может быть использована в антенно-волноводных трактах для преобразования поляризации электрического поля. Сущность полезной модели заключается в том, что волноводный поляризатор содержит четвертьволновый отрезок прямоугольного волновода, одна из широких стенок которого выполнена в виде клиновидной периодической структуры из грибовидного метаматериала. Согласно предлагаемой полезной модели, клиновидная периодическая структура состоит из металлических элементов в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами и имеющих геометрические размеры, много меньшие рабочей длины волны, причем геометрические размеры всех «шляпок» грибов идентичны друг другу, а высота «ножек» грибов в начале структуры выполняется меньшей геометрических размеров «шляпок» грибов и далее линейно увеличивается по длине волновода, не превышая в конце

половины высоты его узкой стенки. Одной из отличительных особенностей волноводного поляризатора может являться помещение метаматериала, представляющего собой периодическую структуру грибовидного типа, в диэлектрическую среду. Другой отличительной особенностью волноводного поляризатора может являться помещение метаматериала, представляющего собой периодическую структуру грибовидного типа, в магнитную среду. Достоинством полезной модели является возможность монтажа поляризатора непосредственно на широкой стенке волновода, что доступно технологически и не требует дополнительных крепежных конструкций. Также преимуществом полезной модели является обеспечение преобразования электромагнитной волны с линейной поляризацией электрического поля, в волну с эллиптической (в частном случае - круговой) поляризацией, а также с линейной поляризацией, ортогональной входящей, что позволяет создать волноводный поляризатор на

метаматериале с рабочей полосой длин волн, превышающей критическую длину волны

используемого волновода.



Фиг. 1

RU 222615 U1

RU 222615 U1

Полезная модель относится к радиотехнике и технике СВЧ, и может быть использована в антенно-волноводных трактах для преобразования поляризации электрического поля.

Известен волноводный поляризатор, содержащий отрезок волновода и установленную в нем вдоль его оси диэлектрическую пластину, на одной боковой поверхности которой размещен продольный плоский проводник, расположенный симметрично относительно ее кромок, что позволяет расширить рабочую полосу частот и уменьшить продольные габариты [Патент РФ на изобретение № 2037921. Волноводный поляризатор / Шалякин А.И. Оpubл. 29.05.1992]. К недостаткам такого поляризатора следует отнести ограниченность применения устройства - только для волноводов круглого или квадратного поперечного сечения. В случае прямоугольного волновода такое размещение пластины приведет к сильному затуханию волны.

Также известен волноводный поляризатор, содержащий отрезок волновода, выполненный в виде усеченной пирамиды, в который введены два клина, с помощью которых образован переход от квадратного сечения к Т-образному, при этом клинья выполнены с основанием  $0,2\lambda \times 0,7\lambda$  и высотой, равной высоте отрезка волновода [Патент РФ на изобретение № 2 265 258. Волноводный поляризатор / Беляев В.В., Богданов Ю.Н., Маюнов А.Т. Оpubл. в БИ № 33, 2005]. К недостаткам данного поляризатора следует отнести нестандартные поперечные размеры используемого волновода и окончных фланцев, что дополнительно требует решения вопроса о подключении и согласовании устройства.

Наиболее близким к предлагаемому техническому решению является волноводный режекторный фильтр, содержащий четвертьволновый отрезок прямоугольного волновода, одна из широких стенок которого выполнена из грибовидного метаматериала, состоящего из идентичных металлических элементов в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами и имеющих геометрические размеры много меньше рабочей длины волны. Грибовидный метаматериал может быть помещен в диэлектрическую или магнитную среду. [Патент РФ на полезную модель № 166 254. Волноводный режекторный фильтр на метаматериале/ Елизаров А.А., Кухаренко А.С., Назаров И.В., Закирова М.И. Оpubл. в БИ № 32, 2016]. Данное устройство имеет иное функциональное назначение и не может обеспечивать преобразование электромагнитной волны с поляризацией электрического поля.

Технической задачей, на решение которой направлена данная полезная модель, является создание волноводного поляризатора СВЧ-диапазона, обеспечивающего преобразование электромагнитной волны с линейной горизонтальной поляризацией электрического поля, в волну с эллиптической (в частном случае - круговой) поляризацией, а также с линейной вертикальной поляризацией, ортогональной входящей волне.

Решение технической задачи достигается тем, что волноводный поляризатор содержит четвертьволновый отрезок прямоугольного волновода, одна из широких стенок которого выполнена в виде клиновидной периодической структуры из грибовидного метаматериала. Согласно предлагаемой полезной модели, клиновидная периодическая структура состоит из металлических элементов в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами и имеющих геометрические размеры много меньше рабочей длины волны, причем геометрические размеры всех «шляпок» грибов идентичны друг другу, а высота «ножек» грибов в начале структуры выполняется меньшей геометрических размеров «шляпок» грибов и далее линейно увеличивается

по длине волновода, не превышая в конце половины высоты его узкой стенки.

Одной из отличительных особенностей волноводного поляризатора может являться помещение метаматериала, представляющего собой периодическую структуру грибовидного типа, в диэлектрическую среду.

5 Другой отличительной особенностью волноводного поляризатора может являться помещение метаматериала, представляющего собой периодическую структуру грибовидного типа, в магнитную среду.

Техническим результатом, достигаемым при осуществлении всей совокупности заявляемых существенных признаков, является обеспечение преобразования  
10 электромагнитной волны с линейной поляризацией электрического поля, в волну с эллиптической (в частном случае - круговой) поляризацией, а также с линейной поляризацией, ортогональной входящей, что позволяет создать волноводный поляризатор на метаматериале с рабочей полосой длин волн, превышающей критическую длину волны используемого волновода.

15 Предлагаемое изобретение иллюстрируется рисунками, где на фиг.1 показан продольный разрез клиновидной периодической грибовидной структуры, установленной в прямоугольном волноводе, с габаритными размерами; справа вверху даны геометрические размеры отдельного гриба структуры с «шляпкой» круглой формы;

20 на фиг.2 показана схема ячейки грибовидного метаматериала и образование в ней эквивалентных погонных индуктивности и емкости;

на фиг.3 показаны диаграммы направленности электрического поля из открытого конца волноводного поляризатора на частотах (а) - 400 МГц, (б) - 2 ГГц, (в) - 3 ГГц, (г) - 4 ГГц, (д) - 5 ГГц, полученные численно в программе CST Studio Suite.

25 Работа волноводного поляризатора на метаматериале осуществляется следующим образом.

Модель волноводного поляризатора выполнена на базе четвертьволнового отрезка стандартного прямоугольного волновода типа R32 с поперечным сечением 72,14x34,04 мм и критической частотой 2,079 ГГц. Одна из широких стенок волновода сделана из  
30 грибовидного метаматериала клиновидной формы, на поверхности которого выполняются эквивалентные граничные условия, соответствующие магнитной стенке.

Идеальной магнитной стенкой называется такая стенка, на которой все тангенциальные компоненты магнитного поля и нормальные компоненты электрического поля устанавливаются равными нулю. Основной волной такого  
35 волновода, который называют ТЕМ-волноводом, является квази Т-волна.

Магнитная стенка выполнена на основе клиновидной периодической структуры, состоящей из металлических элементов в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами и имеющих геометрические размеры много меньшие рабочей длины волны, причем геометрические размеры всех «шляпок» грибов идентичны  
40 друг другу, а высота «ножек» грибов в начале структуры выполняется меньшей геометрических размеров «шляпок» грибов и далее линейно увеличивается по длине волновода, не превышая в конце половины высоты его узкой стенки (фиг.1). Также на фиг.1 справа вверху показан единичный распределенный колебательный контур метаматериала со «шляпкой» круглой формы. В общем случае «шляпка» гриба может  
45 быть произвольной формы, например, прямоугольной, крестообразной, спиральной и т.д.

Контурные ячейки метаматериала могут быть представлены схемой, показанной на фиг.2, и содержащей эквивалентные погонные индуктивности, образованные

металлическими «ножками», соединенными с экраном, и эквивалентные погонные емкости, сформированные между «шляпками» соседних контуров. Такая конструкция представляет собой линию передачи с отрицательной дисперсией, обладающую отрицательной фазовой скоростью и положительной групповой скоростью. При изменении геометрических размеров, каждый из колебательных контуров, образующих магнитную стенку из метаматериала, обладает собственной добротностью  $Q > 100$  и может иметь резонансную частоту от десятых долей до сотен ГГц.

Возможность достижения поставленной цели подтверждается результатами компьютерного моделирования диаграмм направленности электрического поля из открытого конца волноводного поляризатора, полученными численно в программе CST Studio Suite.

При возбуждении поляризатора волной с линейной горизонтальной поляризацией и длиной волны, меньшей резонансной частоты периодической грибовидной структуры, вид поляризации не изменяется, о чем свидетельствует диаграмма направленности на частоте 400 МГц (фиг.3а). В этом случае основные резонансные процессы в грибовидной структуре определяются только между теми рядами грибов, у которых диаметр «шляпки» превышает высоту «ножки», чем обусловлен емкостной характер метаматериала.

С увеличением входной частоты поляризатора до рабочей резонансной частоты грибовидной структуры метаматериала, начинают сильнее проявляться резонансы в тех рядах грибов, у которых диаметр «шляпки» равен высоте «ножки». При этом характер поляризации меняется с линейной горизонтальной на эллиптическую (круговую), что подтверждается диаграммами направленности на частотах 2 ГГц и 3 ГГц, показанных на фиг.3 (б - в) соответственно.

При дальнейшем увеличении входной частоты поляризатора эллиптическая поляризация меняется на линейную вертикальную, ортогональную входящей, что демонстрируют диаграммы направленности на частотах 4 ГГц и 5 ГГц, изображенные на фиг. 3 (г - д). В этом случае проявляются резонансы в тех рядах грибов структуры, у которых высота «ножки» гриба превышает диаметр «шляпки», чем обусловлен индуктивный характер метаматериала.

При помещении метаматериала, представляющего собой клиновидную периодическую структуру грибовидного типа, в диэлектрическую или магнитную среду, изменение характера поляризации остается таким же, однако коэффициент замедления увеличивается пропорционально квадратному корню из значения относительной диэлектрической или магнитной проницаемости, что позволяет управлять смещением рабочей полосы частот волноводного поляризатора.

Достоинством полезной модели является возможность монтажа поляризатора непосредственно на широкой стенке волновода, что доступно технологически и не требует дополнительных крепежных конструкций. Также преимуществом полезной модели является обеспечение преобразования электромагнитной волны с линейной поляризацией электрического поля, в волну с эллиптической (в частном случае - круговой) поляризацией, а также с линейной поляризацией, ортогональной входящей, что позволяет создать волноводный поляризатор на метаматериале с рабочей полосой длин волн, превышающей критическую длину волны используемого волновода.

#### (57) Формула полезной модели

Волноводный поляризатор, содержащий четвертьволновый отрезок прямоугольного волновода, одна из широких стенок которого выполнена в виде клиновидной

периодической структуры из грибовидного метаматериала, отличающийся тем, что клиновидная периодическая структура состоит из металлических элементов в виде распределенных колебательных контуров, связанных емкостными зазорами и имеющих геометрические размеры, много меньшие рабочей длины волны, причем геометрические размеры всех «шляпок» грибов идентичны друг другу, а высота «ножек» грибов в начале структуры выполняется меньшей геометрических размеров «шляпок» грибов и далее линейно увеличивается по длине волновода, не превышая в конце половины высоты его узкой стенки.

10

15

20

25

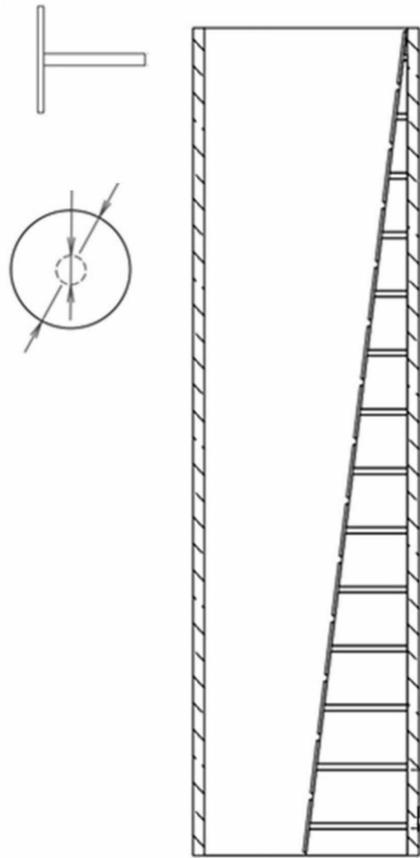
30

35

40

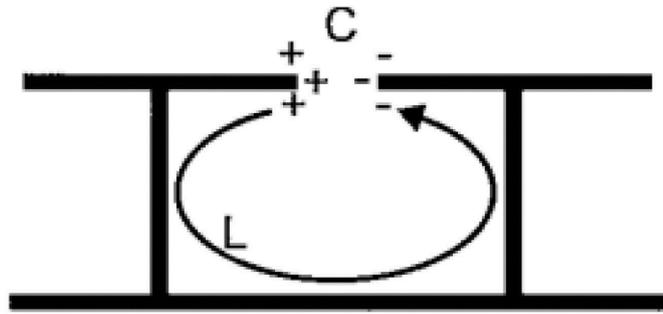
45

1

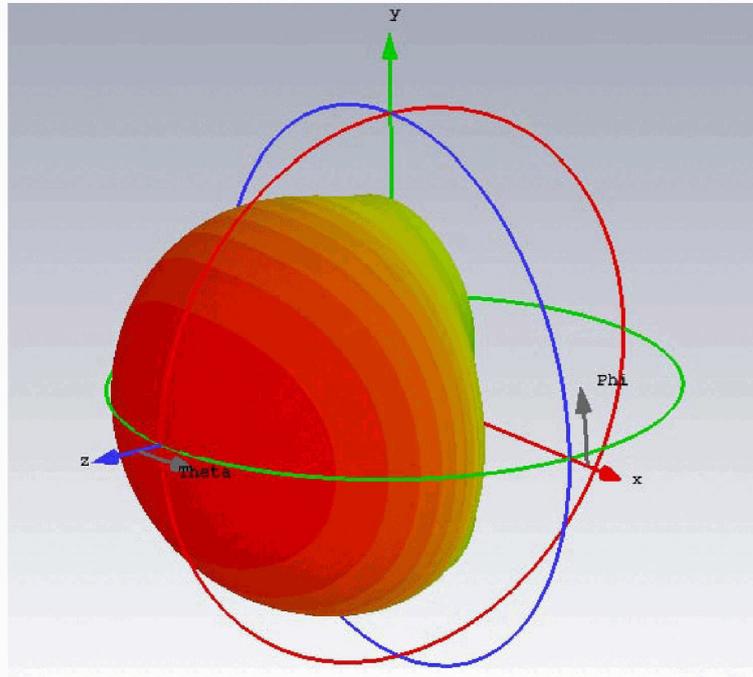


Фиг. 1

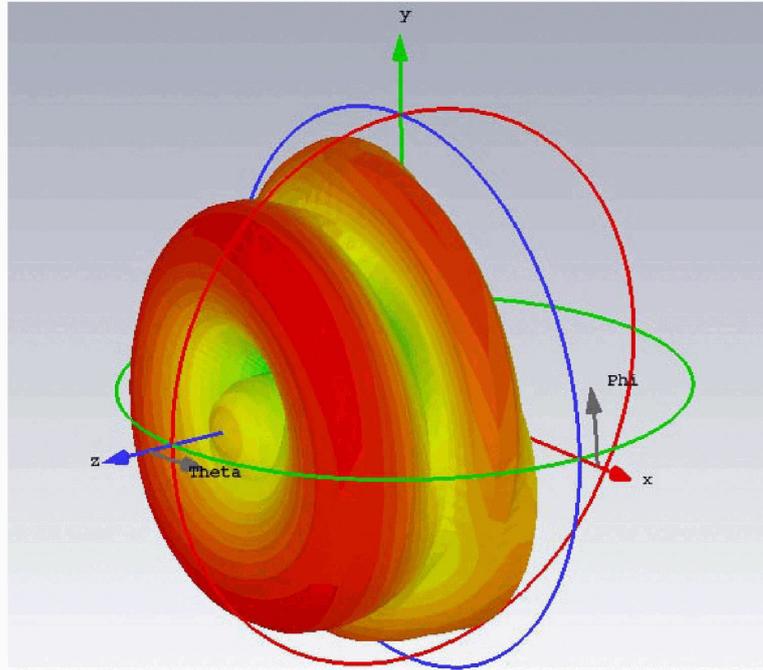
2



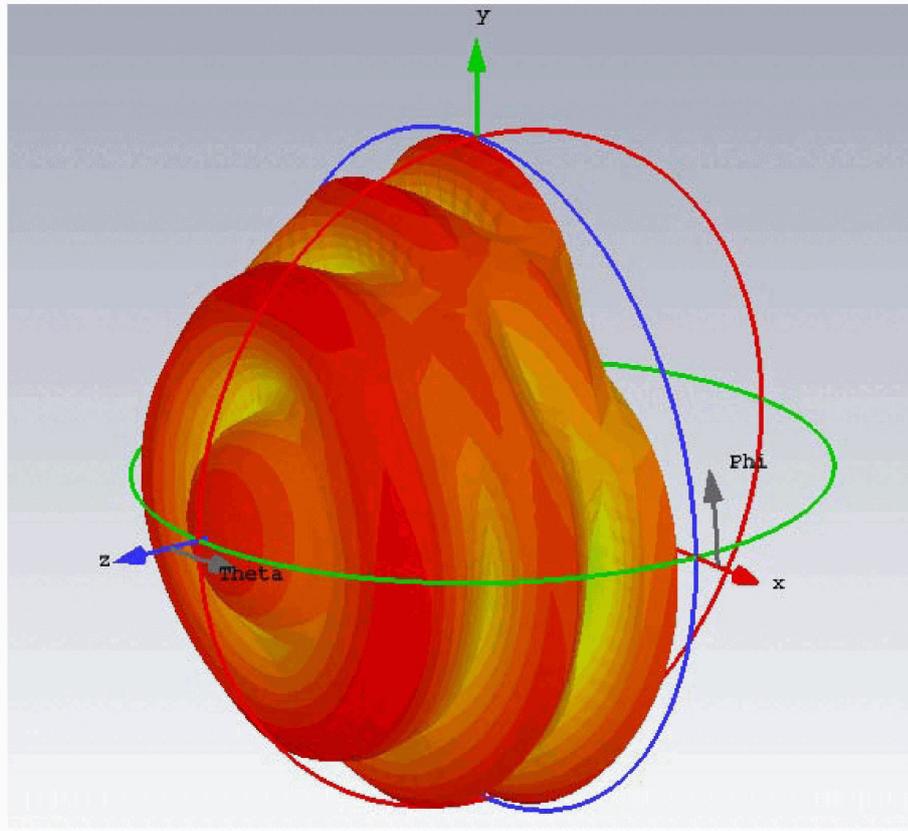
Фиг.2



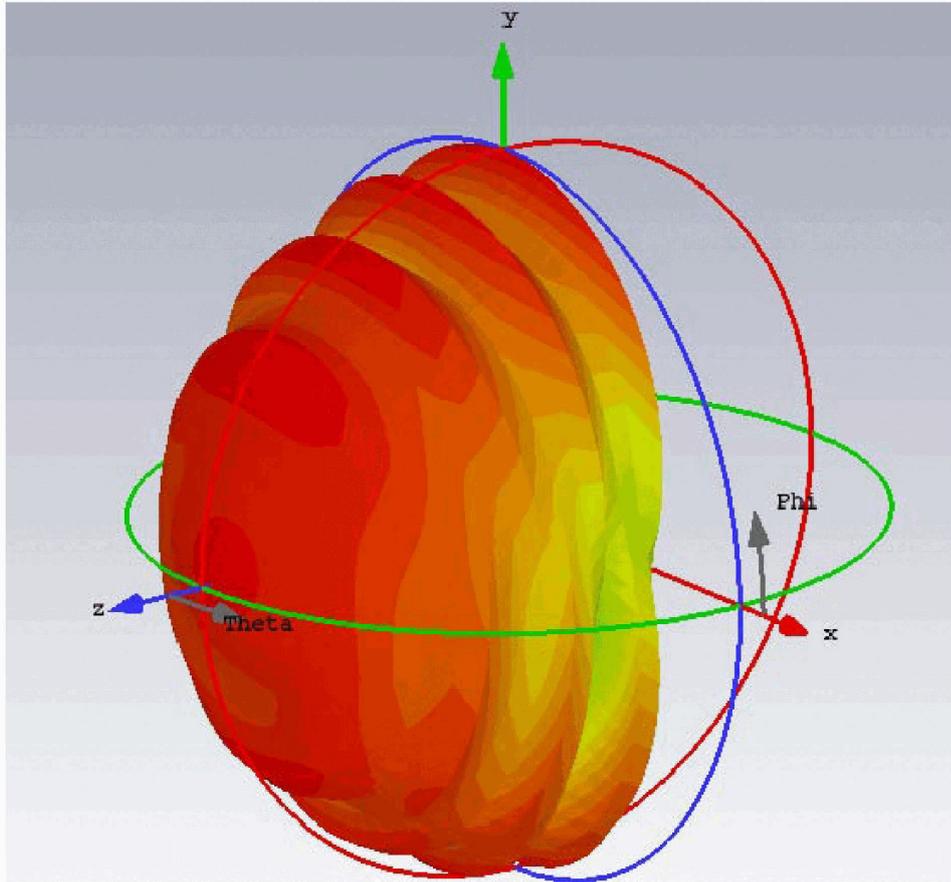
Фиг. 3а



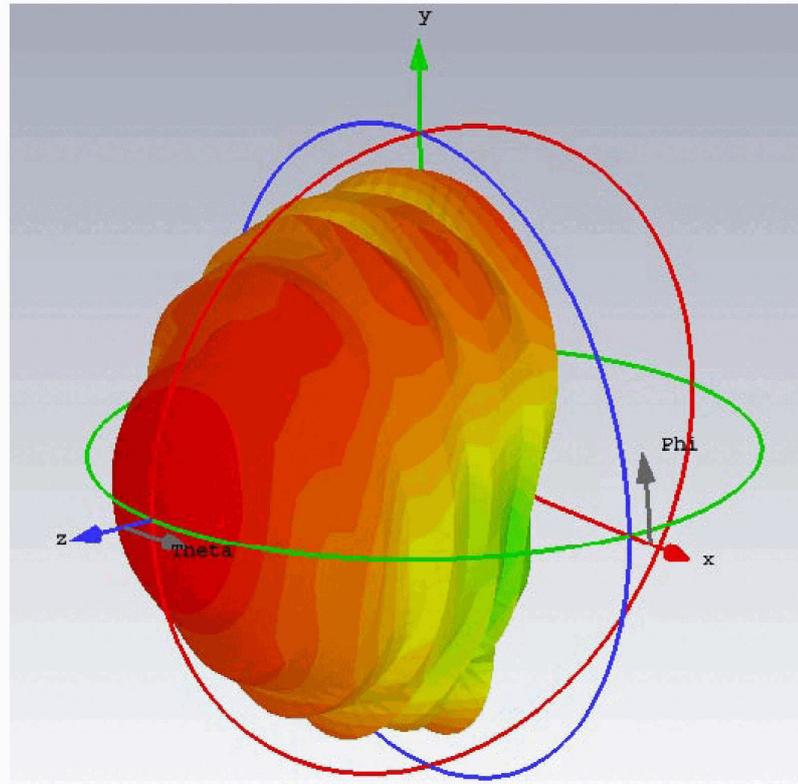
Фиг. 36



Фиг. 3в



Фиг. 3г



Фиг. 3д