

9. Недогада С. В., Чаляби Т. А. Сосудистая жесткость и скорость распространения пульсовой волны: новые факторы риска сердечно-сосудистых осложнений и мишени для фармакотерапии // Consilium-medicum. 2006. № 4. Т. 01. URL: http://old.consilium-medicum.com/media/bss/06_04/34.shtml (дата обращения: 15.12.2010).

10. London G., Guerin A. Influence of arterial pulse and reflective waves on systolic blood pressure and cardiac function // J. Hypert. 1999. Vol. 17 (Suppl. 2). P. 3–6.

G. M. Aldonin, A. M. Aleshechkin, S. P. Zheludko, I. I. Hamnagadaev, D. A. Kuzhel

HARDWARE AND SOFTWARE CONTROL OF CARDIOVASCULAR SYSTEM

In the laboratory, the Institute of Medical Instrument Engineering Physics and Radioelectronics Siberian Federal University (SFU) has developed hardware and software systems based on Holter heart monitor MKM-09 with remote transmission of information on the functional status of the organism in the diagnostic center, with sufficient flexibility and accessibility for a wide use in clinical practice, in outpatient and residential settings.

Keywords: monitoring the functional state of the organism, the hardware-software, telemedicine, Holter Recorders type, blood pressure, time of pulse wave.

© Алдонин Г. М., Алешечкин А. М., Желудько С. П., Хамнагадаев И. И., Кузель Д. А., 2010

УДК 621.396.677.851

А. М. Александрин, Р. О. Рязанцев, Ю. П. Саломатов

ИССЛЕДОВАНИЕ КВАЗИОПТИЧЕСКИХ СТРУКТУР ИЗ ИСКУССТВЕННОГО ДИЭЛЕКТРИКА В СВЧ-ДИАПАЗОНЕ*

Рассмотрены способы построения квазиоптических структур – линз из неоднородного диэлектрика, проведен расчет неоднородного диэлектрика на основе тонких слоев переменных размеров и перфорированного однородного материала, приведены данные моделирования и экспериментов.

Ключевые слова: неоднородный диэлектрик, линза Люнеберга, линза Микаэляна.

Линзы из неоднородного диэлектрика известны давно. Однако изготовление таких линз наталкивается на технологические трудности и часто затраты на производство материалов с изменяющимися вдоль координат диэлектрическими параметрами слишком высоки. В некоторых случаях неоднородный диэлектрик можно представить в виде некоторой структуры из однородного диэлектрика, применяя специальные алгоритмы перфорации материала, как и некоторые другие способы.

Сферическая линза Люнеберга. В общем случае линза Люнеберга представляет собой диэлектрическую сферу, в которой коэффициент преломления n зависит от радиуса по следующему закону [1]:

$$n(r) = \sqrt{2 - \left(\frac{r}{R}\right)^2}, \quad (1)$$

где R – радиус сферы; r – расстояние от центра линзы. Такая сфера преобразует сферический волновой фронт облучателя в плоский. Линза Люнеберга позволяет осуществлять сканирование в полном пространственном ди-

апазоне углов без искажения диаграммы направленности (ДН). Сканирование в сферической линзе обычно осуществляется переключением нескольких облучателей, расположенных на ее поверхности. Линза Люнеберга является идеальным устройством для широкоугольного неискаженного сканирования. Этим объясняется большой интерес, который проявляется к линзам данного типа.

Ранее были рассмотрены варианты создания искусственного диэлектрика и линз Люнеберга из материала с постоянной диэлектрической проницаемостью [2; 3]. Вид одной из моделей в разрезе приведен на рис. 1.

Модель состоит из множества слоев диэлектрика вдоль радиуса по вертикали, с изменением диаметра слоя вдоль радиуса линзы по горизонтали. Вертикальному и горизонтальному направлениям соответствуют направления осей y и z на рис 2. Вариация диаметра слоя диэлектрика имитирует изменение n вдоль радиуса линзы. Для исследований был использован материал с $\epsilon = 1,6$. Возможно использование другого материала – в зависимости от ϵ материала будет изменяться положение фокуса линзы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

Моделирование производилось при помощи CST Studio Suite.

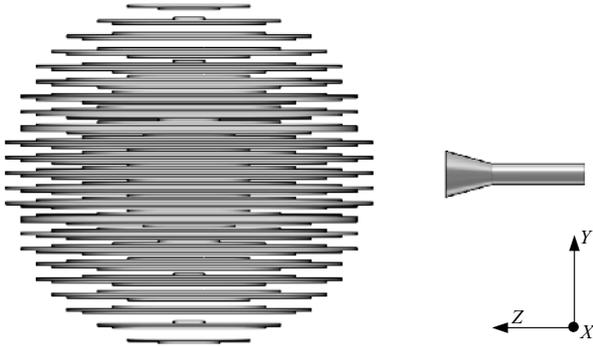


Рис. 1. Модель линзы Люнеберга из слоев материала с постоянной диэлектрической проницаемостью в разрезе

Расчетный рабочий частотный диапазон антенны 20...30 ГГц. Диаметр линзы составляет 160 мм, возбуждение производится коническим рупором с уровнем облучения края линзы -10 дБ. КНД на частоте 25 ГГц составил 30,7 дБ. Уровень боковых лепестков в диапазоне 20...30 ГГц в плоскости E не более $-17,5$ дБ, в плоскости H не более $-19,5$ дБ. Расчетная зависимость КНД антенны от частоты приведена на рис. 2.

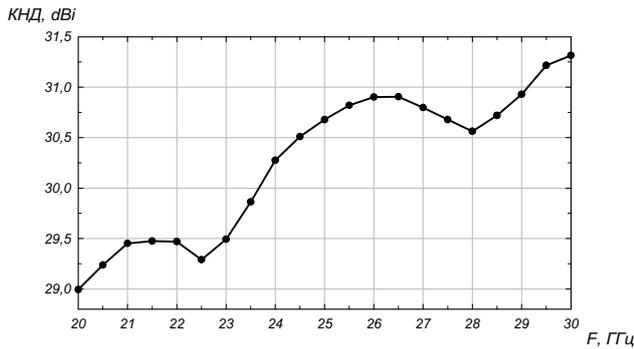


Рис. 2. Расчетная частотная зависимость КНД-антенны

С целью экспериментального исследования было выполнено макетирование антенны (рис. 3). Для изготовления макета был применен вспененный полимер с $\epsilon = 1,6$. Конструкция макета позволяет осуществлять измерение характеристик линзы при различных углах облучения с шагом изменения угла в 8° .

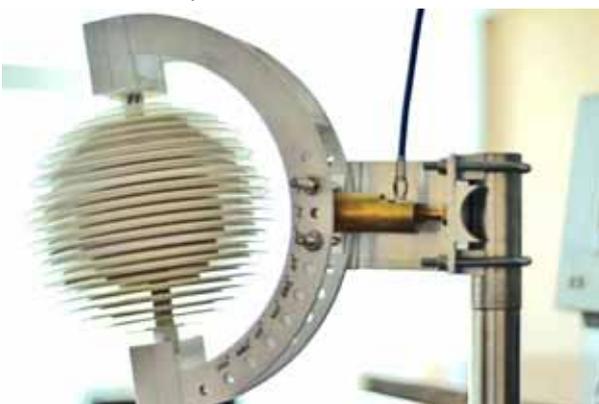


Рис. 3. Фотография макета линзы Люнеберга

Расчетные и экспериментальные ДН в плоскостях E и H приведены на рис. 4 и 5. Плоскости E соответствует вертикальная плоскость (YOZ), плоскости H – горизонтальная плоскость (XOZ) в соответствии с рис. 1.

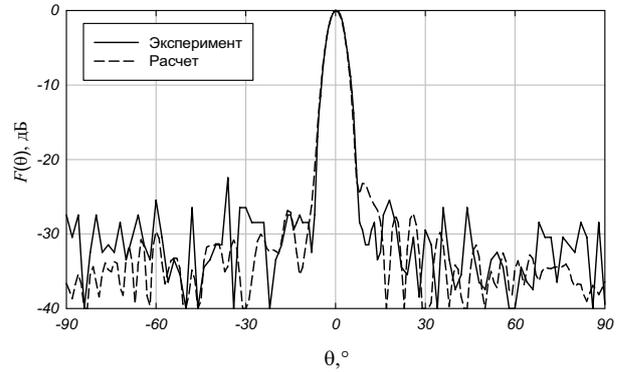


Рис. 4. ДН линзы Люнеберга в плоскости E

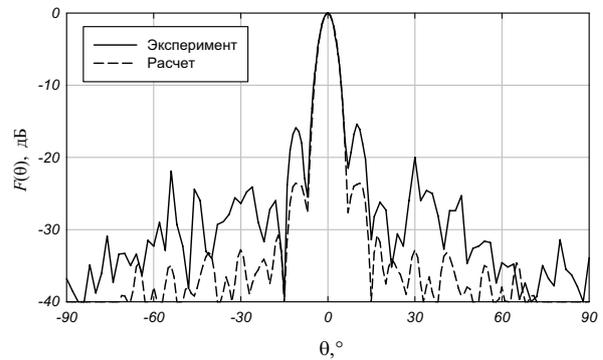


Рис. 5. ДН линзы Люнеберга в плоскости H

Так как особый интерес представляет способность линзы Люнеберга осуществлять сканирование, были рассчитаны и затем измерены ДН для отклонения облучателя в плоскости E . Измерения ДН проводились для случая облучения линзы под углом от 0 до 24° с шагом в 8° . ДН в плоскостях E и H для случая облучения под углом в 24° приведены на рис. 6 и 7.

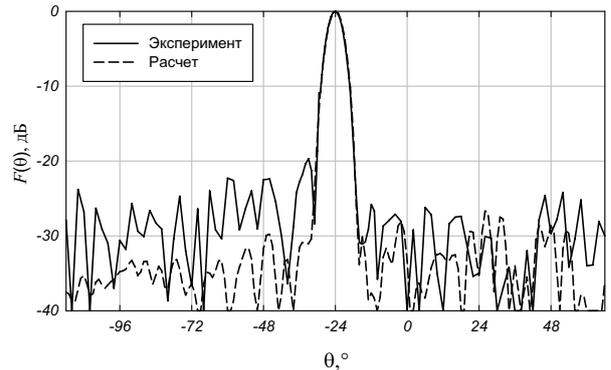


Рис. 6. ДН линзы Люнеберга в плоскости E для случая облучения под углом в 24°

Анализируя ДН антенны, можно заметить, что уровень боковых лепестков (УБЛ) ДН макета в плоскости H выше, чем УБЛ ДН модели, однако он не поднимается выше $-16,2$ дБ, что во многих случаях является приемлемым. Объяснить данные расхождения можно тем, что в модели не были учтены все конструктивные особенности макета, возникшие в процессе изготовления.

Цилиндрическая линза Микаэляна. Для сокращения продольных размеров излучающей структуры с облучателем и линзой необходимо, чтобы облучатель вплотную примыкал к поверхности линзы. Такая конфигурация реализуется в линзе Микаэляна, представляющей собой фрагмент горизонтально-слоистой неоднородной среды, диэлектрическая проницаемость которой зависит от вертикальной координаты по закону [1]:

$$\varepsilon(y) = \frac{\varepsilon_0}{\operatorname{ch}^2\left(\frac{\pi R}{2L}\right)}, \quad (2)$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость на оси линзы; R – вертикальная (в случае цилиндрической линзы радиальная) координата (расстояние до оси линзы); L – толщина линзы. Распространяясь вдоль такой среды, волна многократно фокусируется на оси с пространственной периодичностью $2L$. При этом в плоскости, перпендикулярной оси и лежащей посередине между фокусами, распределение поля становится синфазным.

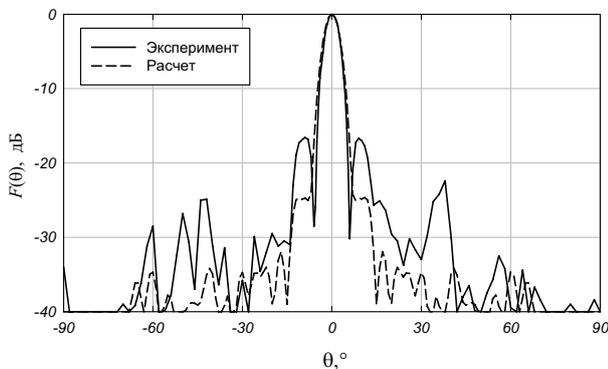


Рис. 7. ДН линзы Лüneберга в плоскости H для случая облучения под углом в 24°

Был осуществлен расчет линзы Микаэляна из перфорированного диэлектрика. Значения ε , как следует из (2), лежат между ε_0 и 0. Реализовать среду с $\varepsilon < 1$ невозможно, поэтому $\varepsilon(y)$ следует ограничить по уровню 1. При этом отношение диаметра линзы к ее толщине определяется выражением

$$\frac{d}{L} = \frac{4 \operatorname{arch}(\sqrt{\varepsilon_0})}{\pi}. \quad (3)$$

Создать искусственно неоднородный диэлектрик можно при помощи отверстий переменного диаметра в однородном диэлектрике. При этом возникает технологическое ограничение на размер отверстий: стенки материала между ними должны сохранять предельную минимальную толщину для обеспечения механической прочности. Если принять минимальную толщину стенок равной 1 мм, это приводит к ограничению n по уровню 1,1, что влечет за собой увеличение толщины линзы. Для обеспечения минимальной толщины стенок форма отверстий должна быть шестиугольной (рис. 8).

Зависимость «радиуса» шестиугольного отверстия r (параметр, соответствующий радиусу описанной вокруг шестиугольника окружности) от требуемого значения эффективной диэлектрической проницаемости $\varepsilon_{\text{эф}}$ может быть найдена при предположении, что $\varepsilon_{\text{эф}}$ определяется

разностью объемов отверстия и элементарной шестиугольной ячейки (см. рис. 8). Для расчета требуется знать обратную зависимость $r(\varepsilon_{\text{эф}})$, которая определяется следующим образом [3]:

$$r(\varepsilon_{\text{эф}}) = r_{\text{я}} \frac{\sqrt{\varepsilon_0 - \varepsilon_{\text{эф}}}}{\sqrt{\varepsilon_0 - 1}}, \quad (4)$$

где $r_{\text{я}}$ – размер шестиугольной ячейки с отверстием, который является постоянной величиной, много меньшей длины волны (см. рис. 8). Подставляя в (4) вместо $\varepsilon_{\text{эф}}$ значение $\varepsilon(y)$ из (2), получаем зависимость r от R . Следует заметить, что ε_0 равна диэлектрической проницаемости однородного материала, из которого изготавливается линза.

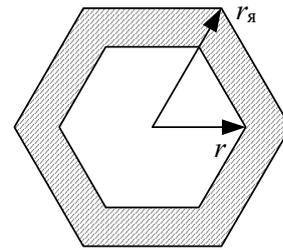


Рис. 8. Гексагональная ячейка с отверстием

Возможно применение отражающей конфигурации линзовой антенны, что позволяет вдвое сократить ее продольные размеры. При этом со стороны, противоположной облучателю, располагается плоский металлический отражатель (рис. 9).

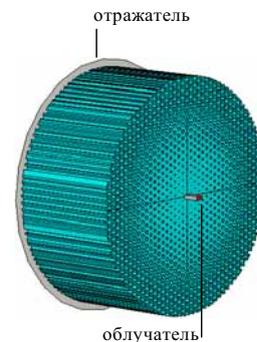


Рис. 9. Трехмерная модель антенной системы с линзой Микаэляна

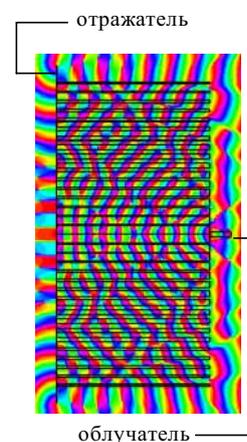


Рис. 10. Диаграмма распределения фазы электрического поля

При моделировании антенной системы были заданы следующие параметры:

- диапазон частот – 12...24 ГГц;
- диаметр линзы – 150 мм (6–12 л);
- толщина линзы – 72 мм;
- «радиус» элементарной ячейки – 2,8 мм;
- ϵ_0 – 2,9 (органическое стекло);
- тип облучателя – открытый конец волновода;
- рабочий диапазон частот облучателя – 12...24 ГГц.

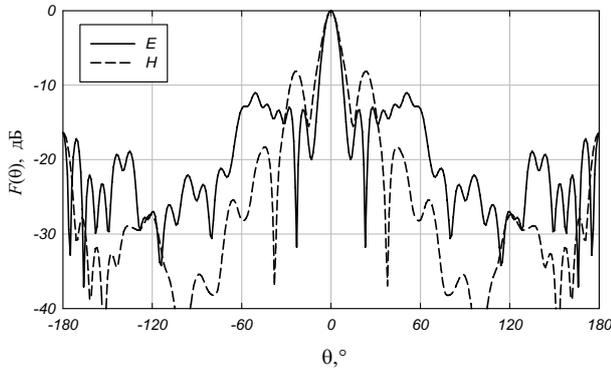


Рис. 11. ДН в плоскостях E и H для 12 ГГц

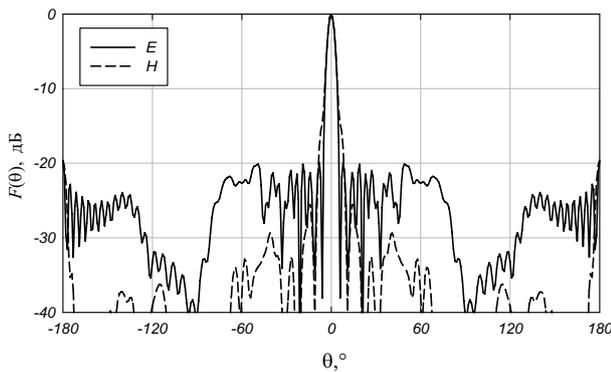


Рис. 12. ДН в плоскостях E и H для 24 ГГц

ДН для крайних частот исследуемого диапазона, а также частотные зависимости коэффициента направленного действия (КНД) и коэффициента использования поверхности (КИП) приведены на рис. 11–13.

Антенная система показывает приемлемый уровень бокового излучения, особенно в области высоких частот.

В области низких частот имеет место излучение мощности с боковой поверхности линзы, что связано с шириной ДН облучателя на низкой частоте. С этим же связано и снижение КИП в области низких частот. Очевидно, что в идеальном случае облучатель должен иметь частотно-независимую ДН и стабильный фазовый центр.

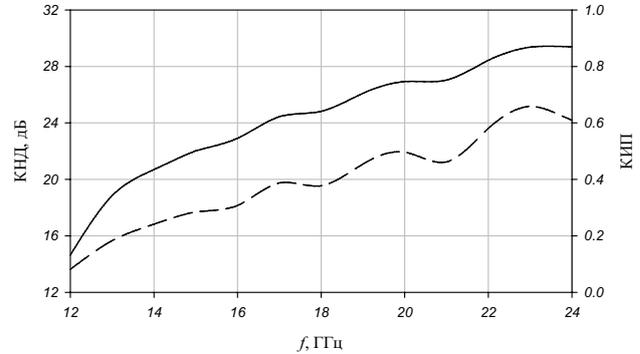


Рис. 13. Зависимость КНД и апертурного КИП от частоты

Таким образом, моделирование и экспериментальное исследование линзовых антенн из искусственно созданного неоднородного диэлектрика показывают возможность их осуществления в СВЧ-диапазоне. Результаты экспериментов подтверждают адекватность используемых предположений и дают удовлетворительные совпадения с расчетами.

Библиографические ссылки

1. Зелкин Е. Г., Петрова Р. А. Линзовые антенны. М. : Советское радио, 1974.
2. Рязанцев Р. О., Сугак М. И., Саломатов Ю. П. Модель сферической линзы Лüneберга, представляющая собой набор цилиндрических слоев переменной толщины из материала с постоянной диэлектрической проницаемостью // *Соврем. проблемы радиоэлектроники* : сб. науч. тр. Сиб. федер. ун-та. Красноярск, 2010. С. 141–146.
3. Сферическая линза Лüneберга из искусственного диэлектрика / А. М. Александрин, Р. О. Рязанцев, Ю. П. Саломатов, М. И. Сугак ; Том. гос. ун-т // *Изв. вузов. Физика*. 2010. № 9/2. С. 70–72.

A. M. Alexandrin, R. O. Ryazantsev, Yu. P. Salomatov

A STUDY OF QUASIOPTICAL STRUCTURES FROM ARTIFICIAL DIELECTRIC IN MICROWAVE BAND

Methods of implementation of inhomogeneous dielectric material were investigated. An inhomogeneous dielectric made from thin layers of variable size and from perforated dielectric plate was calculated. Simulation and measurement data were presented.

Keywords: inhomogeneous dielectric, Luneburg lens, Michaelian lens.

© Александрин А. М., Рязанцев Р. О., Саломатов Ю. П., 2010