

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЯЧЕЙКЕ СВЧ ДИАПАЗОНА

Н.А. ПЕВНЕВА<sup>1</sup>, А.В. ГУСИНСКИЙ<sup>2</sup>, А.Л. ГУРСКИЙ<sup>3</sup>

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь  
<sup>1</sup>peuneva@bsuir.by, <sup>2</sup>gusinski@bsuir.by, <sup>3</sup>gurskii@bsuir.by*

Для решения актуальной задачи исследований диэлектрических свойств различных материалов в области СВЧ необходимо разработать измерительные ячейки для соответствующих частотных диапазонов. Изложены результаты трехмерного электродинамического моделирования распространения электромагнитной волны в замкнутом пространстве для дальнейшего конструирования и изготовления таких ячеек.

*Ключевые слова:* моделирование, электромагнитное поле, измерительная ячейка, СВЧ.

В последнее время наблюдается активное исследование и разработка сверхвысокочастотных радиоэлектронных систем. При этом одной из актуальных задач является изучение свойств материалов, в том числе конструкционных, в СВЧ диапазоне. Другой задачей является разработка точных диагностических методов, позволяющих на основе результатов измерений, в том числе в реальном времени, судить о ходе технологических и производственных процессов. Данные о диэлектрических свойствах многих материалов в СВЧ диапазоне в литературе отсутствуют, что сдерживает их применение либо не позволяет создать соответствующие методы мониторинга и диагностики.

Для исследования диэлектрических свойств материалов в частотном диапазоне 25–37 ГГц поставлена цель разработать измерительную ячейку, отвечающую основным критериям данного частотного диапазона. Для оптимизации геометрии измерительных ячеек необходимы точные сведения о пространственной структуре электромагнитного поля в ячейке с учетом его искажений, вызванных введением дополнительного элемента - полиэтиленовой трубки, содержащей исследуемое вещество. С целью получения информации о структуре электромагнитного поля было проведено моделирование системы, состоящей из двух рупорных антенн и одной измерительной ячейки, помещенной между ними, с помощью среды трехмерного электродинамического моделирования Ansoft HFSS [1] (рис. 1).

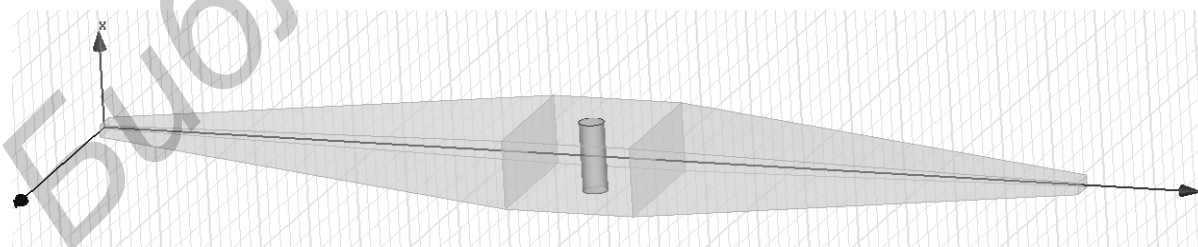


Рис. 1. Смоделированная в HFSS система, состоящая из двух рупорных антенн и одной измерительной ячейки, помещенной между ними

В смоделированной в HFSS системе было получено и проанализировано распределение электромагнитного поля (рис. 2), а также влияние вышеуказанного дополнительного измерительного элемента на это распределение.

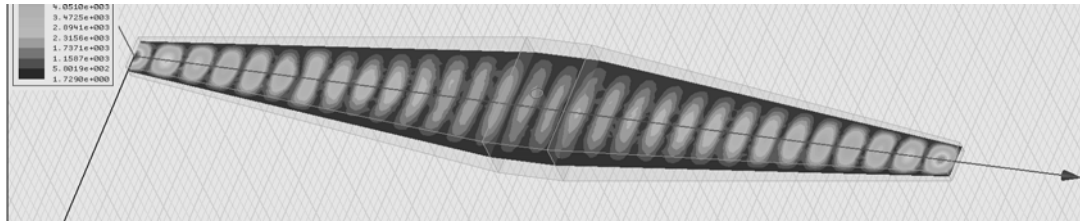


Рис. 2. Распределение электромагнитного поля в смоделированной системе

Если размеры сечения волновода выбираются таким образом, чтобы обеспечить формирование необходимой структуры поля, то, плавно увеличивая сечение волновода, эту структуру можно сохранить, а размеры измерительной ячейки увеличить. В месте перехода от волновода к рупору возникают высшие типы волн, но при достаточно плавном расширении волновода (малый угол раствора рупора) интенсивность этих волн невелика. Вектор  $\mathbf{E}$  электромагнитного поля при переходе из волновода в рупор несколько изменяют свое направление, что обеспечивает выполнение граничных условий на стенках рупора.

Направленные свойства рупорной антенны приближенно можно оценить, используя метод Гюйгенса-Кирхгофа. В соответствии с этим методом поле излучения любой апертурной антенны можно рассчитать путем сложения полей излучения элементарных площадок, расположенных непрерывно по всей излучающей поверхности антенны. В данном случае излучающей поверхностью является поверхность раскрыва рупора. Поскольку в рупоре в основном сохраняется тот же характер поля, что и в волноводе, то принимают, что на апертуре существуют две взаимно-перпендикулярные тангенциальные составляющие поля  $E_y$  и  $H_x$ , амплитуды которых не зависят от координаты  $y$ , а вдоль координаты  $x$  изменяются по закону косинуса. Однако, в отличие от поверхности открытого конца волновода, апертура рупора не может быть возбуждена синфазно, так как в рупоре распространяется цилиндрическая (в секториальных) или близкая к сферической (в пирамидальных) волна.

Диаграмма направленности излучающей поверхности с квадратичным фазовым распределением, рассчитанная по методу Гюйгенса-Кирхгофа, определяется математическим выражением, содержащим интегралы Френеля [2]. При этом диаграммы направленности в плоскостях  $E$  и  $H$  оказываются несовпадающими в силу различного характера распределения амплитуды поля от координат  $X$  и  $Y$ . Ширина диаграммы направленности больше (при одинаковых  $a$  и  $b$ ), а уровень бокового излучения рупорной антенны меньше в плоскости  $H$  чем в плоскости  $E$ , причем это различие вызвано только характером распределения поля по апертуре [3].

На основе полученных данных о распространении электромагнитного поля в замкнутом пространстве были оптимизированы геометрические размеры и форма измерительной ячейки.

#### Список литературы

1. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. М., 2009.
2. Фролов О.П. Антенны и фидерные тракты для радиорелейных линий связи. М., 2001.
3. Гусинский А.В., Шаров Г.А., Кострикин А.М. Анализ и преобразование сигналов. Минск, 2012.