



# Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9  
İyun  
June 2005  
Июнь

səhifə  
page 654-656  
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

## ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СВЧ КРУГЛОГО ВОЛНОВОДА С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЗАПОЛНЕНИЕМ

ИСМИБЕЙЛИ Э. Г., ГАЗИЕВ Ю. Г

*Азербайджанский Технический Университет*

Получены новые математические модели электрического поля круглого волновода с диэлектрическим заполнением при учете нелинейности среды, которые описаны дифференциальными уравнениями с частными производными. На основе одного из численных методов—метода конечных разностей определены действующие значения напряженности электрического поля круглого волновода с диэлектрическим заполнением для Е-типа и Н-типа волн.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

За последние годы резко возросли уровень и объем требований, предъявляемых к частотным характеристикам устройств, в которых используется диапазон СВЧ. Поэтому в последнее время из разновидностей СВЧ линий передачи на практике широкое распространение получили круглые волноводы с диэлектрическим заполнением. Данные линий передачи более широкополосные, дешевле и проще в изготовлении, имеют высокую электрическую прочность, необходимую для передачи большой мощности, высокую механическую прочность, обеспечивающую высокую надежность, длительный срок службы и устойчивость к механическим воздействиям, минимальные потери энергии, за счет чего увеличивается дальность действия радиосистем и улучшается электрические характеристики элементов и узлов радиоаппаратуры, конструируемых на базе СВЧ линий передачи.

К расчетам электрического поля круглого волновода посвящено значительное число работ теоретического характера. Следует отметить, что при всей объективности и ценности полученные теоретические данные справедливы только для линейной среды. Однако, при сильных полях, электрическое поле внутри волновода распространяется в нелинейных средах [3-5]. Поэтому задача численного расчета электрического поля внутри круглого волновода с диэлектрическим заполнением с учетом перечисленных выше факторов не решена до сих пор и является актуальной задачей в области электродинамики.

### 2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КРУГЛОГО ВОЛНОВОДА

Известно, что для электрического поля [1,2]

$$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon \varepsilon_0}. \quad (2.1)$$

Преобразуя левую часть уравнения (2.1), получим

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}. \quad (2.2)$$

При  $\varepsilon = \varepsilon(E)$  уравнение (2.2) имеет следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \varepsilon(E) \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \varepsilon(E) \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \varepsilon(E) \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right] = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}. \quad (2.3)$$

Необходимо отметить, что, когда поля являются сильными, как в нашем случае, среда ведет себя нелинейно. В нелинейной среде зависимость между относительной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  и напряженностью электрического поля  $E$  является нелинейной и имеет следующий вид [5]:

$$\varepsilon = 1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E. \quad (2.4)$$

Подставляя уравнение (2.4) в (2.3) получим

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ (1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E) \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ (1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E) \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ (1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E) \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right] = - \frac{\rho}{\epsilon_0}. \quad (2.5)$$

### 3. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА

Необходимо отметить, что, полученное дифференциальное уравнение в частных производных (2.5), является математической моделью электрического поля СВЧ круглого волновода с диэлектрическим заполнением, является нелинейным и эта сложная математическая модель достаточна полно и точно отражает свойства реальной системы. Поэтому общее аналитическое решение уравнения (2.5) получить не удастся и приходится его решать с помощью численных методов. В связи с этим возникает вопрос о выборе численного метода для решения уравнения в частных производных (2.5).

Метод конечных разностей [6-8] один из самых эффективных численных методов и в связи с этим, один из наиболее широко применяемых методов решения начальных или начально-краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных. Решения, полученные методом конечных разностей, представляют собой совокупность значений, описывающих поле функции в дискретных точках, равномерно распределенных по всей области поля. Эти значения находим путем замены одного описывающего поле дифференциального уравнения в частных производных системой простых уравнений в конечных разностях, которые имеют вид линейных уравнений, связывающих значение потенциала в каждой точке со значениями потенциала в других точках, окружающих ее. Таким образом, для определения поля внутри СВЧ круглого волновода с диэлектрическим заполнением: 1) преобразуем дифференциальное уравнение (2.5) в систему линейных алгебраических уравнений; 2) решаем полученную систему.

### 4. РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

На основе вышеизложенного математического алгоритма произведен расчет напряженности электрического поля СВЧ круглого волновода с диэлектрическим заполнением при возбуждении Е-типа и Н-типа волн с помощью Microwave Office-2000. На основе полученных числовых результатов построены зависимости (рис. 1а,б) между напряженностью электрического поля и длиной поперечного сечения круглого волновода с диэлектрическим заполнением для Е-типа и Н-типа волн. Эти зависимости позволяют определить распределение электрического поля внутри данного устройства. Следует отметить, что данные зависимости также дают возможность определить

связь между электромагнитным и конструктивным параметрами исследуемого устройства.

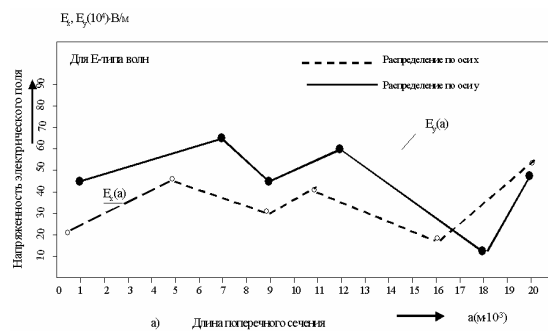


Рис 1а

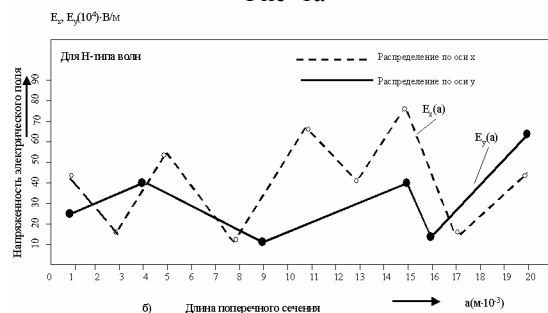


Рис 1б

С целью уточнения достоверности произведенных теоретических выкладок возникает необходимость обратиться к результатам экспериментальных исследований. Поэтому для измерения напряженности электрического поля внутри СВЧ волновода был применен метод реактивного зонда. Расхождение между теорией и экспериментом составляет около 6%. Это обстоятельство доказывает не только верность результатов, полученных по формуле (2.5), но и подтверждает важное значение предлагаемой формулы, обеспечивающей предельно простое решение трудной задачи.

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать следующие выводы.

### 5. ВЫВОДЫ

- Показано, что при сильных полях среда внутри СВЧ круглого волновода с диэлектрическим заполнением ведет себя нелинейно, т.е. относительная диэлектрическая проницаемость среды  $\epsilon$  является функцией напряженности электрического поля  $E$ .
- Учитывая нелинейности среды, созданы новые математические модели электрического поля СВЧ круглого волновода с диэлектрическим заполнением
- Полученное дифференциальное уравнение решено с помощью метода конечных разностей и определены числовые значения напряженности электрического поля СВЧ круглого волновода с диэлектрическим заполнением при возбуждении Е-типа и Н-типа волн.
- Полученные в работе теоретические результаты могут быть использованы в различных линиях передачи СВЧ диапазона.

- 
- [1]. Вольман В. И, Пименов Ю. В. Техническая электродинамика М. 1972 .
- [2]. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. М. Наука. 1973-607с
- [3]. Исламов И.Дж. Определение предельной мощности, передаваемой вдоль прямоугольного волновода с воздушным заполнением //Ученые записки АзТУ. Баку. 2001 Т X, №2, с. 69-70.
- [4]. Исмибейли Э.Г., Исламов И.Дж., Газиев Ю.Г. Математическое моделирование и алгоритмизация расчета электромагнитных полей волноводов сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона //Тез. док. 4-ой МНПК “Современные информационные и электронные технологии” Одесса, с.57, 2003.
- [5]. Исмиев Э. Г, Газиев Ю. Г. Численный метод моделирования СВЧ устройств. Севастополь, Украина 1993.
- [6]. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М. Наука. 1989 .-608с.
- [7]. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.Наука. 1977. -656с.
- [8]. 8. Под ред. Данилова Л. В. Расчет электрических цепей и электромагнитных полей наЭВМ. М. Радио и связь . 1983. 344 стр.