

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТРАКТОВКЕ

И.Дж. ИСЛАМОВ

*Азербайджанский Технический Университет
AZ 1073, Баку, пр. Г. Джавида, 25*

Получены новые математические модели электрического поля прямоугольного волновода с воздушным заполнением при учете нелинейности среды, которые описаны дифференциальными уравнениями с частными производными эллиптического типа. С помощью метода конечных разностей определены действующие значения напряженности электрического поля ПВ с воздушным заполнением. Проведено экспериментальное исследование, в результате которого установлены значения напряженности электрического поля исследуемого устройства. Проведено сравнение результатов расчета и эксперимента, которое является вполне удовлетворительным, при этом погрешность не превышает 5%.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие техники сверхвысоких частот (СВЧ) повлекло за собой создание простых малогабаритных передающих линий, так как последние в значительной степени определяют электрические и конструктивные параметры радиотехнических устройств, в которых они применяются.

В последнее время из разновидностей СВЧ линий передачи на практике широкое распространение получили прямоугольные волноводы (ПВ) с воздушным 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 улучшаются электрические характеристики элементов и узлов радиоаппаратуры, конструируемых на базе ПВ с воздушным заполнением.

К расчету электрического поля внутри ПВ посвящено значительное число теоретических работ. Следует отметить, что даже при обеспечении необходимой достоверности и ценности полученные теоретические данные справедливы только для линейной среды. Однако, при сильных полях электрическое поле внутри ПВ с воздушным заполнением распространяется в нелинейном пространстве [1-3]. Поэтому задача численного расчета и экспериментального исследования электрического поля внутри ПВ с воздушным заполнением с учетом всех перечисленных выше факторов не решена до сих пор и является актуальной в области электродинамики.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Известно, что для электрического поля дивергенция вектора электрической индукции \vec{D} в точке внутри объема равна плотности заряда ρ , т.е.[4]:

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho. \quad (1)$$

С другой стороны [4]

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \quad (2)$$

$$\vec{E} = - \text{grad } \varphi , \quad (3)$$

где φ - скалярный электрический потенциал, ε -относительная диэлектрическая проницаемость, \vec{E} -вектор напряженности электрического поля, $\varepsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$ -электрическая постоянная.

Подставляя выражение (3) с учетом уравнения (2) в выражение (1), получим:

$$\nabla^2 \varphi = - \frac{\rho}{\varepsilon \varepsilon_0} , \quad (4)$$

где ∇ -дифференциальный оператор набла $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$.

Преобразуя левую часть уравнения (4), находим:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = - \frac{\rho}{\varepsilon_0} . \quad (5)$$

При $\varepsilon = \varepsilon(E)$ уравнение (5) имеет следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\varepsilon(E) \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\varepsilon(E) \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\varepsilon(E) \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right] = - \frac{\rho}{\varepsilon_0} . \quad (6)$$

При сильных полях находим зависимость между относительной диэлектрической проницаемостью ε и напряженностью электрического поля E , для чего воспользуемся следующим графиком [5]:

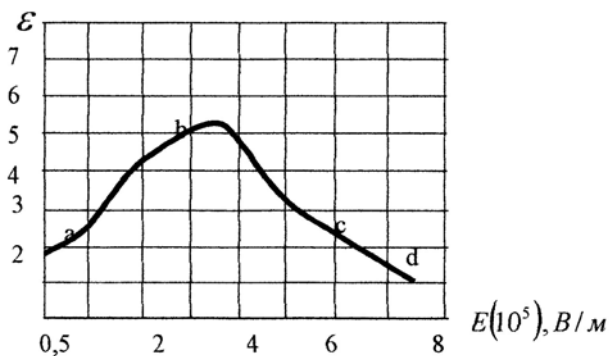


Рис.1.

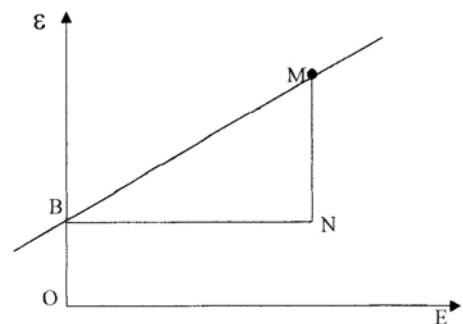


Рис.2.

Зависимость между относительной ε определению аналитического диэлектрической проницаемостью ε и выражения между ε и E . напряженностью электрического поля E .

Необходимо отметить, что, при сильной напряженности поля, как в нашем случае, среда имеет нелинейный характер. В нелинейной среде зависимость между относительной диэлектрической проницаемостью ε и напряженностью электрического поля E является не линейной [5].

Как видно из Рис.1, зависимость между ε и E в области ab можно считать линейной и при этом ε определяется следующим образом:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \kappa E , \quad (7)$$

где κ -угловой коэффициент.

Отложим на оси oE отрезок OB , величина которого равно 1,8 и построим прямую, заданную уравнением (7) (Рис.2). Проведем через точку B параллельно оси OE отрезок, величина которого $BN=3 \cdot 10^5$, и через точку N параллельно оси $o\varepsilon$ отрезок

NM=3,2. Затем проведем прямую VM, которая и является искомой. Она имеет угловой коэффициент $k = 3,2/3 \cdot 10^5$ и отсекает на оси $o\varepsilon$ отрезок величины $\varepsilon=1,8$.

Таким образом, подставляя вышеуказанные данные в (7), получим:

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

Подставляя уравнение (8) в (6), получим

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left[(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E) \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E) \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] + \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left[(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E) \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right] = - \frac{\rho}{\varepsilon_0}. \end{aligned} \quad (9)$$

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА

При расчете электрического поля в некоторой однородной ограниченной области V по заданному распределению источников поля необходимо, чтобы ее решение удовлетворяло граничным условиям на поверхности S, ограничивающая область V. Уравнение (9) относится к эллиптическому типу. Эллиптичность уравнения (9) имеет место при определенных условиях [6]. Поэтому простейшей краевой задачей для расчета поля в области V является удовлетворение условия Дирихле

$$\varphi(x, y, z) = \varphi_0(x, y, z). \quad (10)$$

При подстановке краевых условий (задач) для уравнения (9) необходимо добавлять к выражению (10) условие регулярности потенциала на бесконечности

$$\lim_{(x^2+y^2+z^2) \rightarrow \infty} \varphi(x, y, z) < \infty. \quad (11)$$

Необходимо отметить, что численное решение дифференциального уравнения с частными производными (9) заключается в алгебраизации задачи, т.е. в таком выборе определенной аппроксимации решения и дифференциального оператора, при котором неизвестные коэффициенты в принятой аппроксимации решения определяются из системы алгебраических уравнений.

В последнее время общей теоретической базой почти всех методов, применяемых для расчета параметров электрических полей, стал метод конечных разностей [7], который является одним из самых эффективных и широко применяемых методов решения начальных, краевых или начально-краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных.

Метод конечных разностей довольно успешно применялся и используется в настоящее время для решения широкого круга задач расчета физических полей и процессов и, в частности, электрических.

В случае нелинейной среды при разработке численного алгоритма целесообразно исходить из уравнений поля в интегральной форме. Поэтому уравнение (9) целесообразно привести к интегральной форме. Построение разностной схемы нелинейной краевой задачи относительно компонента φ скалярного электрического потенциала, описывающего распределение электрического поля в области Г показано на Рис.3.

Для того, чтобы решить уравнение (9) необходимо знать начальные и граничные условия для вектора \vec{E} , для скалярного электрического потенциала φ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \alpha_1(x) \quad \text{на участке 1-4,} \\ \frac{\partial \varphi}{\partial x} = 0 \quad \text{на участке 1-2,} \\ \varphi = \chi \quad \text{на участке 2-3,} \\ \varphi = \alpha_2(x) \quad \text{на участке 3-4.} \end{aligned} \quad (12)$$

Здесь $\alpha_1(x), \alpha_2(x)$ - заданные функции, $\chi = const$ также неизвестная величина.

На внутренних границах сред выполняются условия непрерывности.

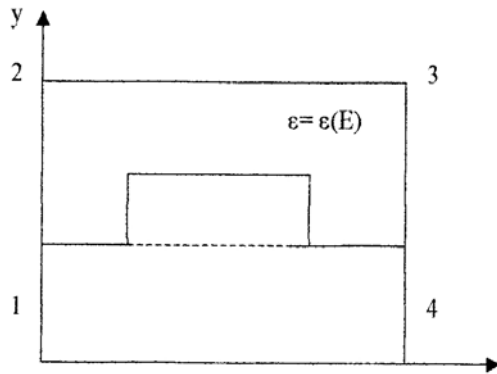


Рис.3.

Расчетная область: 1-4-узлы.

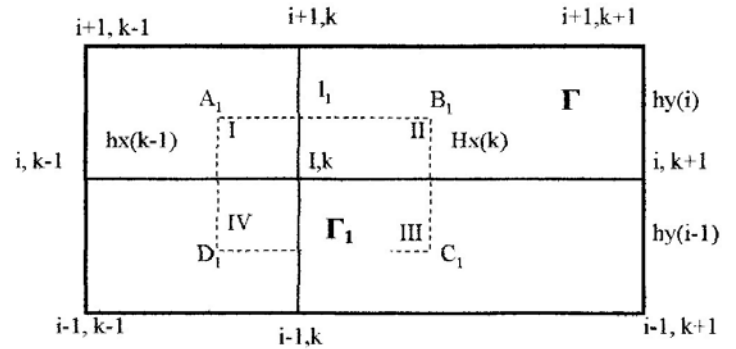


Рис.4.

Внутренний узел сетки: I-IV-подобласти.

С целью упрощения расчетов обратимся к распределению двумерного электрического поля внутри ПВ с воздушным заполнением.

Воспользуясь законом полного тока и применяя соотношения

$$\begin{cases} E_x = -\varepsilon(E) \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E\right) \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \\ E_y = -\varepsilon(E) \frac{\partial \varphi}{\partial x} = -\left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E\right) \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \end{cases} \quad (13)$$

получим уравнение (9) для двумерного электрического поля в интегральной форме

$$\int_l \left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E\right) \frac{\partial \varphi}{\partial y} dx + \int_l \left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E\right) \frac{\partial \varphi}{\partial x} dy = \frac{1}{\varepsilon_0} \iint_{\Gamma} \rho dx dy. \quad (14)$$

В расчетной области Γ (Рис.4) введем нерегулярную сетку с шагом $h_x(k)$, $k=1,2,\dots, n_1-1$, $h_y(i)$, $i=1,2,\dots, n_2-1$ (n_1 -число узлов по оси ОХ, n_2 -число узлов по оси ОУ), так чтобы прямые, образующие сеточную область, проходили по внешним и внутренним границам раздела сред, и обозначим ее через $\bar{\Gamma}$. Рассмотрим произвольный внутренний узел сетки $\bar{\Gamma}(i,k)$ (Рис.4). Пусть узел (i,k) находится в области Γ_1 , ограниченной контуром $l_1(A_1B_1C_1D_1)$. Предполагая [8], что в пределах ячейки сетки плотность объемных зарядов и напряженность электрического поля остаются неизменными, вычислим интегралы, стоящие в левой и правой частях уравнения (14) в области Γ_1 , ограниченной контуром $l_1(A_1B_1C_1D_1)$.

$$\varphi_{i,k} = \frac{I + \gamma_1 \varphi_{i-1,k} + \gamma_2 \varphi_{i,k+1} + \gamma_3 \varphi_{i,k-1} + \gamma_4 \varphi_{i+1,k}}{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4}, \quad (15)$$

$$\begin{cases} \gamma_1 = \frac{\left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i,k-1}\right) h_x(k-1) + \left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i,k}\right) h_x(k)}{2 h_y(i)} \\ \gamma_2 = \frac{\left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i-1,k}\right) h_y(i-1) + \left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i,k}\right) h_y(i)}{2 h_x(k)} \\ \gamma_3 = \frac{\left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i-1,k-1}\right) h_y(i-1) + \left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i,k-1}\right) h_y(i)}{2 h_x(k-1)} \\ \gamma_4 = \frac{\left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i-1,k-1}\right) h_x(k-1) + \left(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i-1,k}\right) h_x(k)}{2 h_y(i-1)}, \end{cases} \quad (16)$$

$$I = I_I hx (k - 1) hy (i) / 4 + I_{II} hx (k) hy (i) / 4 + I_{III} hx (k) hy (i - 1) / 4 + I_{IV} hx (k - 1) hy (i - 1) / 4. \quad (17)$$

Соответственно напряженности электрического поля в точке

$$\chi_2 \left(y_i + \frac{hy(i)}{2}, x_k + \frac{hx(k)}{2} \right)$$

определяются по формулам:

$$E_x = \frac{\varphi_{i,k+1} - \varphi_{i+1,k+1} + \varphi_{i,k} - \varphi_{i+1,k}}{2 hy (i)}, \quad (18)$$

$$E_y = \frac{\varphi_{i+1,k+1} - \varphi_{i,k} + \varphi_{i,k+1} - \varphi_{i+1,k}}{2 hx (k)}, \quad (19)$$

По формуле (15) можно определить значение потенциала в любом внутреннем узле сеточной области по значениям потенциала в четырех соседних узлах.

На разных узлах границы расчетной области Γ (Рис.3) заданы различные граничные условия (12). Для всех участков границы и для угловых точек области необходимо получить свои разностные уравнения. На участке границы 3-4 задано условие Дирихле $\varphi = \alpha_2(x)$ В этом случае потенциал граничного узла определяется один раз, как значение функции $\alpha_2(y)$ в точке y_{i,n_1} . В каждом граничном узле участка 2-3-значения потенциала остаются неизменными и равными χ . На участке границы 1-2-задано условие симметрии $\partial\varphi/\partial x = 0$. Для обхода граничного узла в этом случае выберем контур $l_4(A_4B_4C_4D_4)$ (Рис.5,в). Вычисляя интегралы, стоящие в обеих частях выражения (14), вдоль контура $l_4(A_4B_4C_4D_4)$ и по области Γ_4 , получим:

$$\varphi_{i,1} = \frac{\gamma_1\varphi_{i-1,1} + \gamma_2\varphi_{i,2} + \gamma_4\varphi_{i+1,1}}{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_4}, \quad (20)$$

где

$$\gamma_1 = \frac{(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i-1,1}) hx (1)}{2 hy (i)},$$

$$\gamma_2 = \frac{(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i-1,1}) hy (i-1) + (1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i,1}) hy (i)}{2 hx (1)},$$

$$\gamma_3 = 0,$$

$$\gamma_4 = \frac{(1,8 + 1,066 \cdot 10^{-5} E_{i-1,1}) hx (1)}{2 hy (i-1)}.$$

Рассмотрим случай, когда на участке границы задано условие вида

$$\left. \frac{\partial x}{\partial y} \right|_{1-4} = \alpha_1(x).$$

Контур интегрирования здесь выбирается с таким расчетом, чтобы его нижняя часть проходила по границе расчетной области $l_3(A_3B_3C_3D_3)$ (Рис.5,б).

Производим интегрирование вдоль контура $l_3(A_3B_3C_3D_3)$.

$$\varphi_{1,k} = \frac{\gamma_2\varphi_{2,k} + \gamma_1\varphi_{1,k+1} + \gamma_4\varphi_{3,k} - \gamma}{\gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4}, \quad (21)$$

где $\gamma = \int_{x_k + \frac{hx(k-1)}{2}}^{x_k + \frac{hx(k)}{2}} \alpha_1(x) dx$; $\gamma_1 = 0$; $\gamma_2 = \frac{hy(1)}{2hx(k)}$; $\gamma_3 = \frac{hy(1)}{2hx(k-1)}$; $\gamma_4 = \frac{hx(k-1) + hx(k)}{2hy(1)}$.

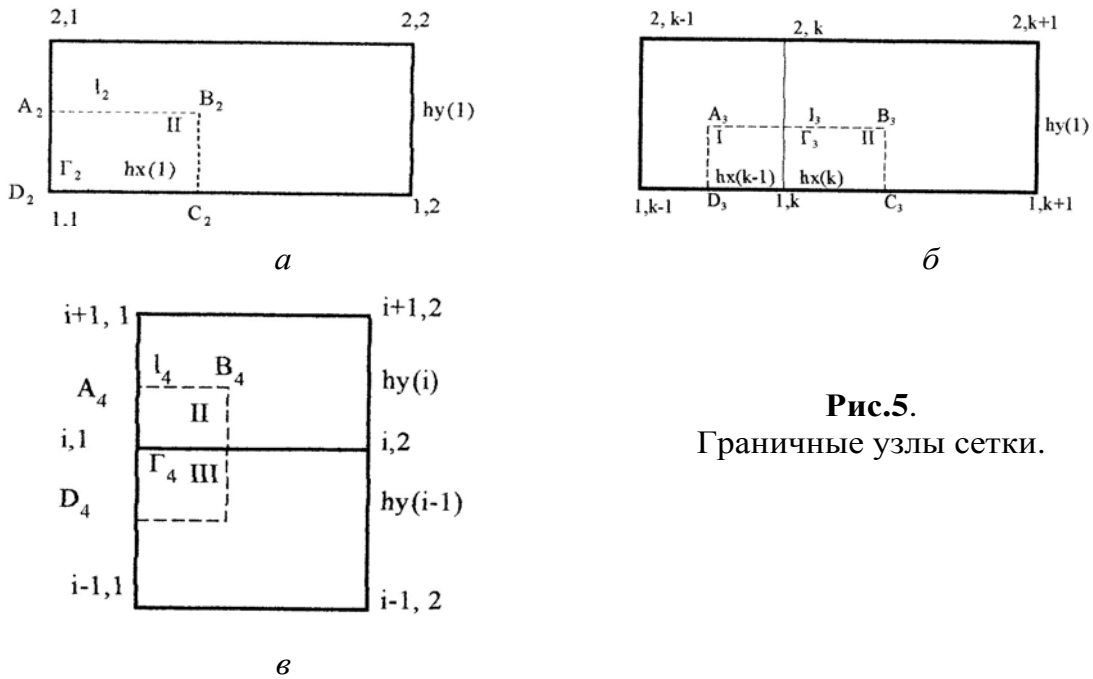


Рис.5.
Граничные узлы сетки.

Для угловой точки 1 (Рис.3)

$$\varphi_{1,1} = \frac{\gamma_2 \varphi_{1,2} + \gamma_4 \varphi_{2,1} - \gamma}{\gamma_2 + \gamma_4}. \quad (22)$$

Здесь контур интегрирования $l_2(A_2B_2C_2D_2)$ (Рис.5,а):

$$\gamma_1 = 0, \gamma_2 = \frac{hy(1)}{2hx(1)}, \gamma_3 = 0, \gamma_4 = \frac{hx(1)}{2hy(1)}, \gamma = \int_{x_1}^{x_1 + \frac{hx(1)}{2}} \alpha_1(x) dx.$$

В точке 4 (Рис.3) разностное уравнение имеет вид:

$$\varphi_{1,n_1} = \frac{\gamma_1 \varphi_{2,n_1} + \gamma_3 \varphi_{2,n_1-1} - \gamma}{\gamma_1 + \gamma_3}. \quad (23)$$

Здесь контур интегрирования l_5 симметричен контуру, изображенному на Рис.5,а:

$$\gamma_1 = \frac{hx(n_1-1)}{2hy(1)}, \gamma_2 = 0, \gamma_3 = \frac{hy(1)}{2hx(n_1-1)}, \gamma_4 = 0, \gamma = \int_{x_{n_1} - \frac{hx(n_1-1)}{2}}^{x_{n_1}} \alpha_1(x) dx.$$

Уравнения (15), (20), (21), (23) образуют разностную схему краевой задачи (9), (12), (14) системы алгебраических уравнений и их целесообразно решать с помощью итерационных методов, в частности, методом последовательной верхней релаксации (метод Янга), т.к. данный метод чрезвычайно прост и легко реализуем.

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ

На основе вышеизложенного математического алгоритма составлена расчетная программа на языке Фортран и произведен расчет напряженности электрического поля ПВ с воздушным заполнением, работающего на частотах 4,9-

7,05ГГц при возбуждении Е-типа и Н-типа волнами. Построены зависимости между напряженностью электрического поля и длиной поперечного сечения ПВ с воздушным заполнением для Е-типа и Н-типа волн (Рис.6,а,б). Эти зависимости позволяют определить распределение электрического поля внутри данного устройства. Следует отметить, что данные зависимости также дают возможность определить связь между электромагнитными и конструктивными параметрами исследуемого устройства.

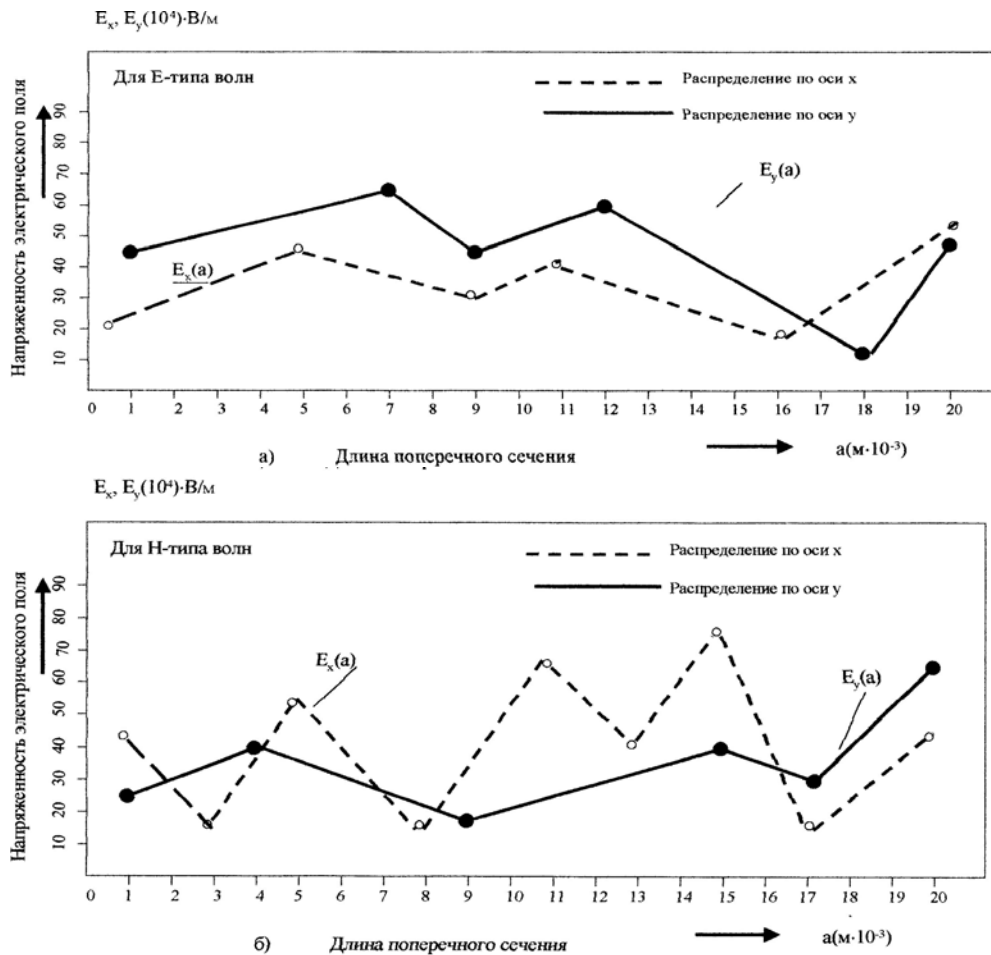


Рис.6.

Зависимость напряженности электрического поля от длины поперечного сечения ПВ с воздушным заполнением для Е-типа (а) и для Н-типа (б) волн.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для установления структуры электрического поля внутри ПВ с воздушным заполнением, а также для проверки полученного дифференциального уравнения с частными производными (9) проведен эксперимент [9,10]. Блок-схема экспериментальной установки приведена на Рис.7.

На ПВ с воздушным заполнением прорезано $n=20$ отверстий, сквозь которые во внутрь ПВ вводится измерительный зонд, при этом измеряется распределение волн вдоль волновода.

Возбуждение ПВ создается СВЧ генератором, работающим в диапазоне 1÷10см. Токи в возбуждающих вибраторах могут совпадать по направлению, либо быть противоположными в зависимости от выбора длин питающих кабелей. Эти длины могут быть сделаны равными, либо могут отличаться половиной длины

волны в кабеле. Электрическое поле измеряется с помощью емкостного зонда, представляющего собой открытую на одном конце коаксиальную линию, внутренний проводник которой выступает на определенную длину.

Частота СВЧ генератора устанавливается по шкале генератора и точно контролируется волномером.



Рис.7.

Блок-схема экспериментальной установки для измерения напряженности поля.

При экспериментальных исследованиях электрического поля внутри ПВ с воздушным заполнением установлены напряженности электрического поля по участкам данного устройства.

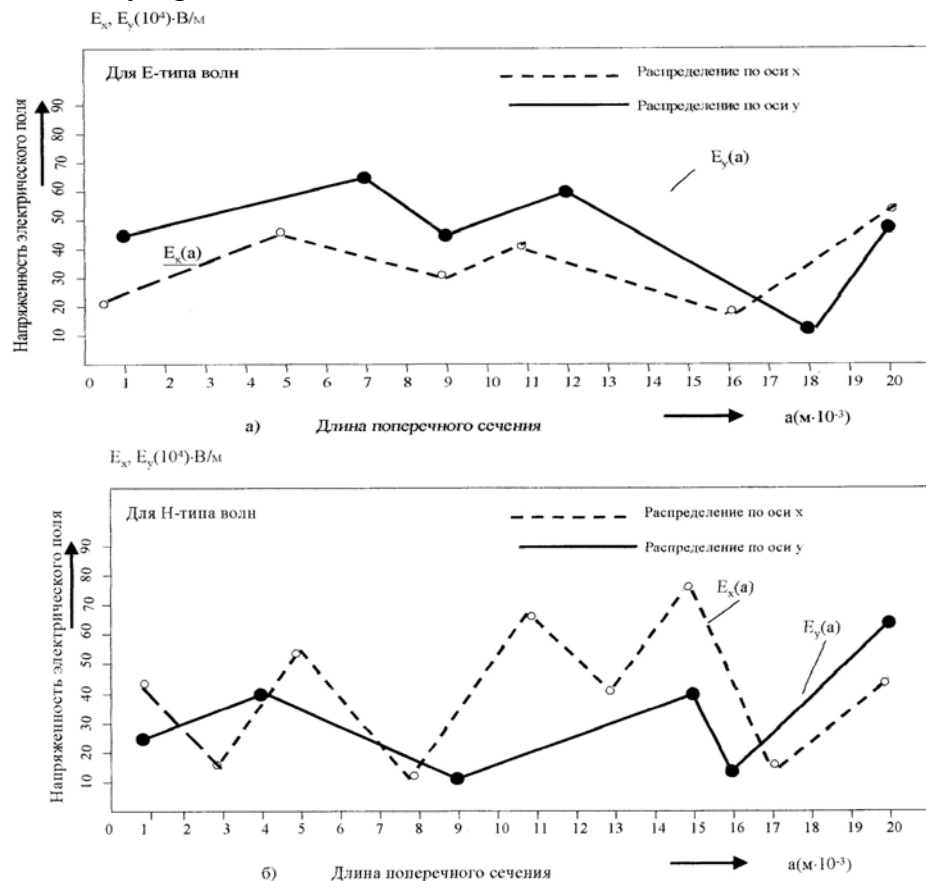


Рис.8.

Зависимости между напряженностью электрического поля и длиной поперечного сечения ПВ с воздушным заполнением для E-типа (а) и H-типа (б) волн по результатам экспериментальных исследований.

На основе полученных экспериментальных данных построены зависимости между напряженностью электрического поля и длиной поперечного сечения ПВ с воздушным заполнением для Е-типа (Рис.8,а) и Н-типа (Рис.8,б) волн. Эти зависимости позволяют определить распределение электрического поля внутри данного устройства.

Необходимо отметить, что для получения истинных значений E необходимо повторить измерения $n > 30$ раз. Поэтому, учитывая эти условия для каждого элементарного участка, измерения повторялись $n = 45$ раз. После получения экспериментальных данных в виде статистического ряда и их анализа исключены грубые ошибки и затем повторялись измерения для таких случаев. Общая погрешность измерений составляет $\pm 4,35\%$. А расхождение между теорией и экспериментом составляет около 5% . Сопоставляя результаты расчета напряженности электрического поля ПВ с воздушным заполнением по формуле (9) с экспериментальными данными, можно убедиться, что расхождения в численных значениях E практически приемлемы. Это обстоятельство доказывает не только верность результатов, полученных по формуле (9), но и подтверждает важное значение предлагаемой формулы, обеспечивающей предельно простое решение сложной задачи.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что при сильных полях среда внутри ПВ с воздушным заполнением ведет себя нелинейно, т. е. относительная диэлектрическая проницаемость среды ϵ является функцией напряженности электрического поля E .
2. Учитывая нелинейность среды, построены новые математические модели электрического поля ПВ с воздушным заполнением, работающего на частотах $4,9 \div 7,05$ ГГц.
3. Полученное нелинейное дифференциальное уравнение решено с помощью метода конечных разностей и определены числовые значения напряженности электрического поля ПВ с воздушным заполнением при возбуждении Е-типа и Н-типа волн.
4. Проведено экспериментальное исследование электрического поля внутри ПВ с воздушным заполнением. При этом подтверждены полученные в работе теоретические результаты. Это доказывает не только верность результатов, но и важное значение предлагаемой формулы, обеспечивающей предельно простое решение сложной задачи.
5. Полученные в работе теоретические и экспериментальные результаты могут быть использованы в различных телебашнях, что предоставляет возможность значительно увеличить производительность труда при контрольно-измерительных операциях.

1. И.Дж.Исламов, *Ученые записки Аз ТУ*, **10** №2 (2001) 69.
2. Э.Г.Исмибейли, И.Дж.Исламов, Ю.Г.Газиев, *4-ая МНПК "Современные информационные и электронные технологии"*, Одесса, (2003) 57.
3. Э.Г.Исмибейли, И.Дж.Исламов, *Материалы 4-ой НТК "Электроника и информатика -2002"* Москва, (2002), 186.
4. В.В.Никольский, *Электродинамика и распространение радиоволн*, Москва, Наука (1973) 607.

5. И.Дж.Исламов, *Исследование и моделирование электромагнитного поля линий передачи сверхвысокочастотного диапазона. Диссертация канд.тех.н. Баку,* (2001) 149.
6. А.А.Березовский, *Лекции по нелинейным краевым задачам математической физики. Киев, Института математики АНУССР,* (1974) 475.
7. Г.И.Марчук, *Методы вычислительной математики, Москва, Наука,* (1989) 608.
8. А.А.Самарский, *Теория разностных схем, Москва, Наука,* (1977) 656.
9. И.Дж.Исламов, *Transaction of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy, XXIII №2* (2003) 142.
10. И.Дж.Исламов, *Материалы докладов 48-ой НТК АзТУ, Баку,* (2001) 55.

MÜHİTİN QEYRİ-XƏTTİLİYİ NƏZƏRƏ ALINMAQLA DÜZBUJAQLI DALĞAÖTÜRƏNİN ELEKTRİK SAHƏSİNİN ƏDƏDİ MODELƏŞDİRİLMƏSİ VƏ TƏJRÜBİ TƏDQIQI

I.J. ISLAMOV

Mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınmaqla hava ilə dolu düzbujaqlı dalğaötürənin elektrik sahəsinin elliptik tipli xüsusi törəmli differensial tənliklərlə təsvir olunan yeni riyazi modelləri alınmışdır. Sonlu fərqlər metodunun tətbiqi ilə hava ilə dolu düzbujaqlı dalğaötürənin elektrik sahəsinin intensivliyinin qiymətləri təyin edilmişdir. Təjrübi tədqiqat aparılmış və nəticədə tədqiq olunan qurğunun elektrik sahəsinin intensivliyinin qiymətləri müəyyənləşdirilmişdir. Hesablamadan və təjrübədən alınan nəticələrin müqayisəsi aparılmış və xətanın 5% ətrafında olduğu müəyyən edilmişdir.

NUMERICAL SIMULATION AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF RECTANGULAR WAVEGUIDE ELECTRICAL FIELD TAKING INTO ACCOUNT NONLINEAR MEANS

I.J. ISLAMOV

The new mathematical models of electrical field of rectangular air filled waveguide was obtained taking into account means nonlinearity. These models were described by electrical differential equation with particular derivative.

By means of finite difference method the value of electrical field intensities of rectangular air filled waveguide was find out. At the results of experiments the electrical field intensities of investigated device was established.

The comparison of experimental and calculated results indicated a good coincide which was in line with 5% error.

Редактор: Ш.Нагиев