

УДК 631.391

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОМ ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ

МИРЗОЕВА КЯМАЛЯ МИРПАША ГЫЗЫ

*Азербайджанский Технический Университет***EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PARAMETERS NONREGULAR ELEMENTS IN MICROWAVE RECTANGULAR**

MIRZOYEV KAMALA MIRPASHA gyzy

Azerbaijan Technical University

Аннотация. Проведено экспериментальное исследование в прямоугольном одноволновом волноводе различных нерегулярных элементов: индуктивной, емкостной и резонансной диафрагм, индуктивного штыря. Проведено расчет на ПЭВМ теоретических зависимостей от частоты коэффициента стоячей волны (КСВ) исследуемых нерегулярных элементов. Сопоставлены результаты экспериментальных исследований и теоретических расчетов.

Annotation. An experimental study of single-wave in a rectangular waveguide various irregular elements: inductive, capacitive and resonant diaphragms, the inductive probe. A theoretical calculation on a PC depending on the frequency standing wave ratio (VSWR) study of irregular elements. Comparing the results of experimental studies and theoretical calculations.

При экспериментальном исследовании необходимо изучить основные свойства и параметры исследуемых нерегулярных элементов в прямоугольном одноволновом волноводе.

1. Следует обратить внимание на то, что в прямоугольном одноволновом волноводе на нерегулярном элементе возникает сложное электромагнитное поле, состоящее в общем случае из трех бегущих волн основного типа H_{10} (падающей от генератора, отраженной нерегулярным элементом и прошедшей через нерегулярный элемент) и бесконечного множества местных затухающих полей высших типов. С практической точки зрения основной интерес представляет учет влияния нерегулярного элемента на распространение по волноводу рабочей волны основного типа H_{10} . В такой постановке задачи можно заменить волновод с волной H_{10} эквивалентной ему длинной линией, в которой распространяются волны условных напряжения и тока, а нерегулярный элемент заменить его эквивалентной схемой (схемой замещения), состоящей из сосредоточенных реактивных и активных элементов и включенной в эквивалентную длинную линию [1]. Представление реального волноводного тракта эквивалентной схемой в виде длинной линии с включенными в эту линию схемами замещения отдельных нерегулярных элементов позволяет с помощью сравнительно простых методов теории линейных электрических цепей рассчитать прохождение волны рабочего типа H_{10} по всему тракту и носит название метода эквивалентных схем. При этом, в частности, коэффициент отражения по напряженности электрического поля волны H_{10} от нерегулярного элемента оказывается равным коэффициенту отражения по условному напряжению от схемы замещения этого элемента, включенной в эквивалентную длинную линию. Важно понимать, что параметры эквивалентной схемы нерегулярного элемента, определяющие прохождение волны H_{10} по прямоугольному волноводу, могут быть определены либо на основании решения соответствующей электродинамической задачи, либо на основании эксперимента. Таким образом, эквивалентная схема является только одним из способов представления уже готового решения волноводной задачи, полученного другим методом (теоретическим или экспериментальным).

2. Все исследуемое в работе нерегулярные элементы (индуктивная, емкостная и резонансная диафрагмы, индуктивный штырь) имеют однотипную эквивалентную схему. Она изображена на рис. 1 и представляет собой реактивную проводимость iB , которая включена параллельно в длинную линию, эквивалентную волноводу с волной H_{10} и имеющую волновую проводимость Y_B . Эту проводимость можно считать равной характеристической проводимости Y_c бегущей волны H_{10} . Согласно приведенной схеме в сечении AA, в котором расположена диафрагма или штырь, подключена параллельно линии результирующая проводимость, нормированное значение которой

$$\hat{Y}_{AA} = \underline{Y}_{AA} / Y_B = 1 + iB. \quad (1)$$

Выразив согласно теории длинных линий коэффициент отражения \underline{Y}_{AA} через нормированную проводимость и воспользовавшись (1), получим

$$\underline{\rho}_{AA} = \frac{1 - \hat{Y}_{AA}}{1 + \hat{Y}_{AA}} = - \frac{iB}{2 + iB}. \quad (2)$$

Этому коэффициенту отражения соответствует коэффициент стоячей волны

$$K_{c.v.} = \frac{1 + |\underline{\rho}_{AA}|}{1 - |\underline{\rho}_{AA}|} = - \frac{\sqrt{4 + B^2} + |B|}{\sqrt{4 + B^2} - |B|}. \quad (3)$$

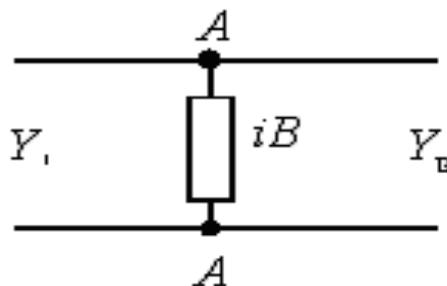


Рисунок 1 - Нерегулярный элемент

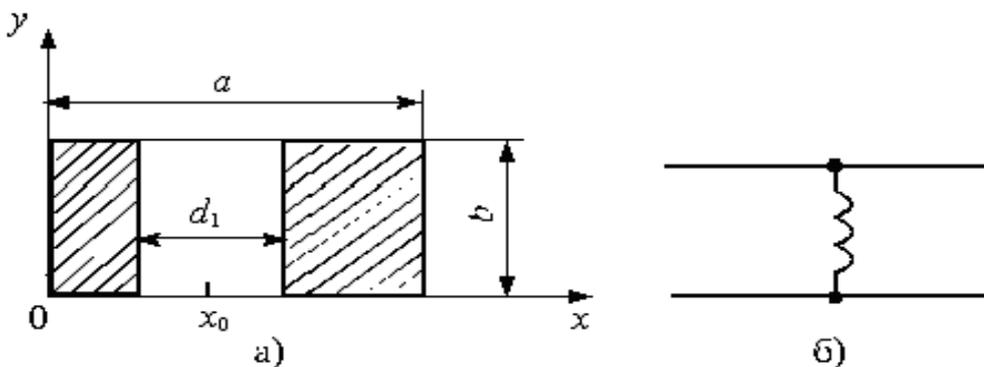


Рисунок 2 - Геометрические параметры диафрагмы

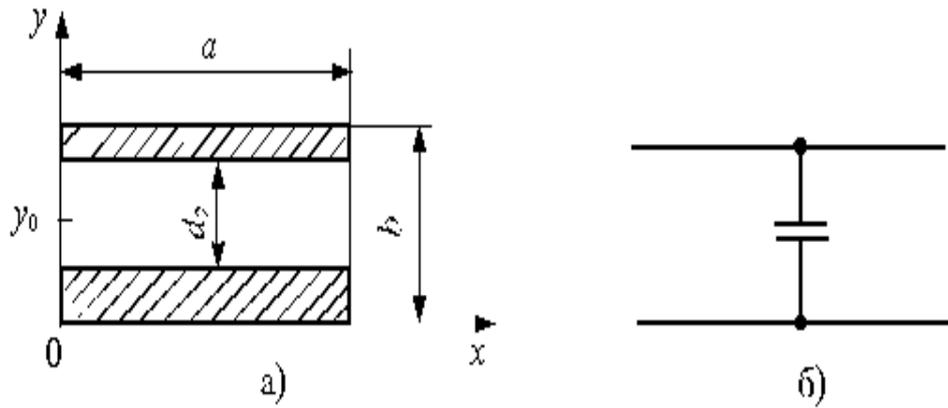


Рисунок 3 - Геометрические параметры диафрагмы, края которой параллельны широким стенкам волновода

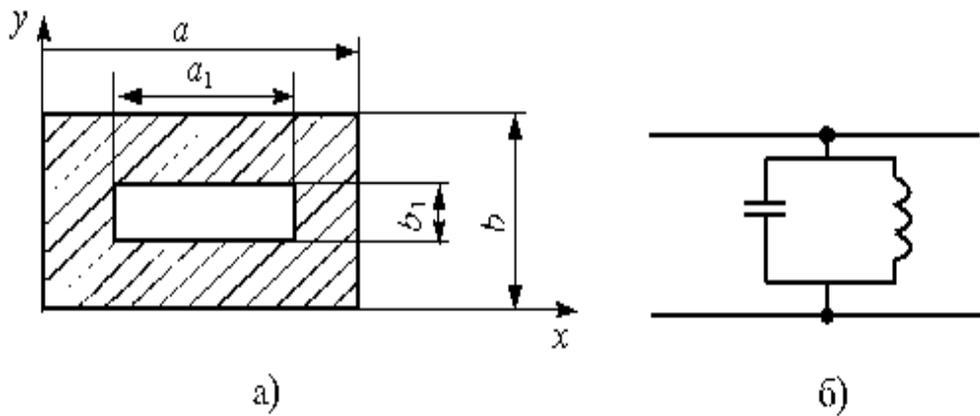


Рисунок 4 - Диафрагма, которую можно рассматривать как результат совмещения в одном и том же поперечном сечении волновода симметричных индуктивной и емкостной диафрагм

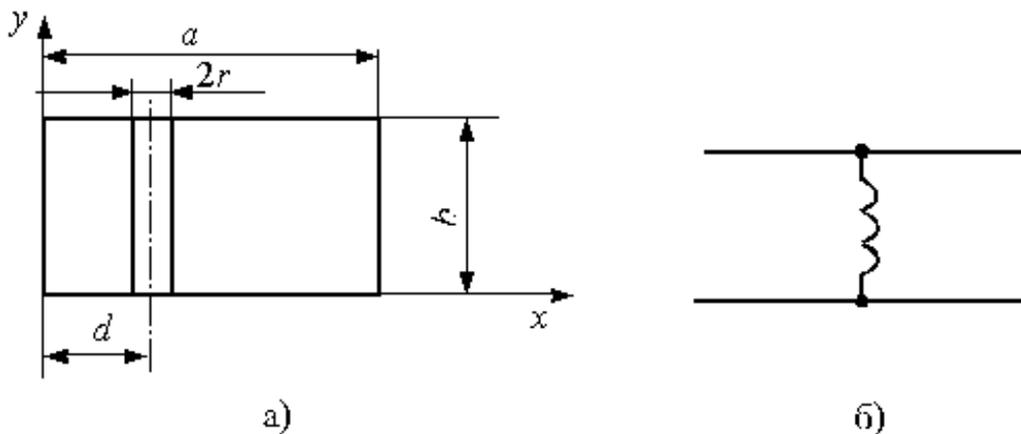


Рисунок 5 - Геометрические параметры штыря диаметром $2r$, соединяющего широкие стенки волновода

Если для конкретного вида нерегулярного элемента известна теоретическая частотная зависимость $B(f)$, то в соответствии с (3) нетрудно рассчитать также теоретическую частотную характеристику КСВ этого элемента. С другой стороны, частотная характеристика $K_{СВ}(f)$ нерегулярного элемента может быть легко измерена экспериментальным путем. Сопоставление теоретической и экспериментальной

зависимостей $K_{C,B}(f)$ показывает, насколько точны теоретические формулы для определения B .

3. Диафрагма в волноводе представляет собой тонкую поперечную металлическую перегородку с отверстием. На рис.2,а указаны геометрические параметры диафрагмы, края которой параллельны узким стенкам волновода (x_0 — координата середины отверстия). Эквивалентная реактивность такой диафрагмы имеет для волны H_{10} индуктивный характер (рис.2,б), вследствие чего эту диафрагму называют индуктивной. Ее нормированная проводимость определяется приближенным выражением

$$\hat{B} = - \left[\left(\cos ec \frac{\pi d_1}{2a} \cos ec \frac{\pi x_0}{a} \right)^2 - 1 \right] \quad (4)$$

Здесь и далее λ — есть длина волны поля H_{10} в волноводе, которая выражается соотношением

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a} \right)^2}} \quad (5)$$

где c/f — длина волны в безграничной среде, параметры которой совпадают с параметрами среды, заполняющей в случае симметричной индуктивной диафрагмы $x_0 = a/2$ и вместо (5) имеем

$$\hat{B} = - \frac{\Lambda}{a} ctg^2 \frac{\pi d_1}{2a} \quad (6)$$

4. На рисунке 3,а указаны геометрические параметры диафрагмы, края которой параллельны широким стенкам волновода (y_0 — координата середины отверстия). Эквивалентная реактивность такой диафрагмы имеет для волны H_{10} емкостной характер (рис.3,б), вследствие чего эту диафрагму называют емкостной. Ее нормированная проводимость определяется приближенным выражением

$$\hat{B} = \frac{4b}{\Lambda} \ln \left(\cos ec \frac{\pi d_2}{2b} \cos ec \frac{\pi y_0}{b} \right) \quad (7)$$

В случае симметричной емкостной диафрагмы $y_0 = b/2$ и вместо (7) получаем

$$\hat{B} = - \frac{4b}{\Lambda} \ln \left(\cos ec \frac{\pi d_2}{2b} \right) \quad (8)$$

Здесь исследуются симметричные диафрагмы.

5. На рисунке 4,а изображена диафрагма, которую можно рассматривать как результат совмещения в одном и том же поперечном сечении волновода симметричных индуктивной и емкостной диафрагм. Для волны H_{10} такая диафрагма имеет эквивалентную схему в виде параллельного колебательного контура (рисунке 4,б). Если размеры a_1 и b_1 прямоугольного отверстия этой диафрагмы удовлетворяют соотношению

$$\frac{a_1}{b_1} = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a_1}\right)^2} \approx \frac{a}{b} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}. \quad (9)$$

то диафрагма становится резонансной, т.е. ее эквивалентная проводимость оказывается равной нулю. Волна H_{10} частоты $f \cdot p = c/\lambda$ (где λ - длина волны, фигурирующая в уравнении (9)) проходит через резонансную диафрагму без отражения, так как в этом случае волны, отраженные от эквивалентных индуктивности и емкости (рис.4,б), имеют одинаковые амплитуды и противоположные фазы и компенсируют друг друга. Очевидно, что при заданных a, b одно уравнение (9) не может определить однозначно два размера a_1 и b_1 диафрагмы. Согласно (9) предельные случаи резонансной диафрагмы таковы: $a_1 = a, b_1 = b$ (диафрагма отсутствует).

6. На рисунке 5,а указаны геометрические параметры штыря диаметром $2r$, соединяющего широкие стенки волновода. Эквивалентная реактивность такого штыря имеет для волны H_{10} индуктивный характер (рис.5, б), вследствие чего этот штырь называют индуктивным. Его нормированная проводимость при малом диаметре ($r \ll a$) определяется приближенным выражением

$$\hat{B} = - \frac{2 \left(\frac{a}{r} \sin^2 \frac{\pi d}{a} \right)}{\ln \left(\frac{2a}{\pi r} \sin \frac{\pi d}{a} \right) - \sin^2 \frac{\pi d}{a} \left(2 + \frac{k^2 a^2}{\pi^2} \right) + k^2 d^2 \left(\frac{3}{2} + \frac{\pi^2 d^2}{36 a^2} - \ln \frac{2\pi d}{a} \right)} \quad (10)$$

где k - волновое число.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Проведено экспериментальное исследование в прямоугольном одноволновом волноводе различных нерегулярных элементов: индуктивной, емкостной и резонансной диафрагм, индуктивного штыря.

2. Проведено расчет на ПЭВМ теоретических зависимостей от частоты коэффициента стоячей волны (КСВ) исследуемых нерегулярных элементов.

3. Сопоставлены результаты экспериментальных исследований и теоретических расчетов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исмибейли Э.Г., Исламов И.Дж. Разработка и исследование математических моделей электромагнитного поля прямоугольного волновода при нелинейной трактовке. Материалы докладов 46-й Юбилей. конференции АзГУ, Баку, 2001 г.
2. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ. М.: «Высшая школа», 1990, 475с.
3. Исламов И.Дж. Численное моделирование электромагнитных полей в сверхвысокочастотных элементах и устройствах. Баку, «Элм» 2005, 250с.