

УДК 621.396.677.7

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ X-ОБРАЗНЫХ ЩЕЛЕЙ В ВОЛНОВОДЕ С КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКОЙ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ВСТАВКАМИ

Н.К. Блинова, Л.П. Яцук, А.В. Селютин

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, Харьков, 61022, пл. Свободы, 4

e-mail: Natalya.K.Blinova@univer.kharkov.ua,

e-mail: Ludmyla.P.Yatsuk@univer.kharkov.ua

Поступила в редакцию 3 марта 2011 г.

Исследованы возможности управления поляризационными и энергетическими характеристиками X-образных щелей, прорезанных в широкой стенке в прямоугольного волновода с комплексной нагрузкой на конце и диэлектрической неоднородностью на входе волноводной секции со щелью. Проведены расчетные и экспериментальные исследования энергетических и поляризационных характеристик для таких систем. Изменение параметров: диэлектрической неоднородности, положения ее относительно щели и изменение комплексной нагрузки позволяет настроить X-щель на излучение поля с круговой поляризацией, с высоким коэффициентом излучения и низким КСВН на входе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: крестообразные волноводно-щелевые излучатели, коэффициент эллиптичности, КСВН, круговая поляризация.

Досліджені можливості управління поляризаційними і енергетичними характеристиками X-подібних щілин прорізаних у широкій стінці прямокутного хвилевода з комплексним навантаженням на кінці і діелектричною неоднорідністю на вході хвилеводної секції зі щілиною. Проведено розрахункові й експериментальні дослідження енергетичних і поляризаційних характеристик для таких систем. Зміна параметрів: діелектричної неоднорідності, положення її відносно щілини і зміна комплексного навантаження дозволяє налаштувати X-подібну щіліну на випромінювання поля з обертовою поляризацією, з високим коефіцієнтом випромінювання і низьким КСХН на вході.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: хрестоподібні хвилеводно-щілинні випромінювачі, коефіцієнт еліптичності, КСХН, обертова поляризація.

The X-slots in a rectangular waveguide with the end complex loading and dielectric inhomogeneity at the waveguide input are considered. Calculation and experimental results of power and polarization descriptions are carried out for such systems. The possibilities of polarization and power characteristics of X-slot control are investigated. The variation of dielectric inhomogeneity and complex end loading parameters allows to obtain the circular polarization, high radiation coefficient and low VSWR level.

KEY WORDS: X-slots, ellipticity coefficient, VSWR level, circular polarization.

В микроволновой технике находят все большее применение антенны, излучающие и принимающие электромагнитные волны с вращающейся поляризацией, в идеальном случае круговой. Значительный интерес представляют собой антенны круговой поляризации, выполненные на основе волноводно-щелевых излучателей в виде X-образных щелей. X-образный излучатель состоит из двух ортогональных прямоугольных пересекающихся щелей, центр которых располагают обычно в точке близкой к точке x_0 - круговой поляризации магнитного вектора поля внутри волновода. Предполагалось, что щель с центром в этой точке должна излучать поле с круговой поляризацией. Такой X-образный излучатель был экспериментально исследован в работе [1], в которой показано, что коэффициент эллиптичности γ поля, излучаемого резонансной X-образной щелью с центром в точке x_0 , не достигает значения близкого к единице. Он равен примерно 0,7, что обусловлено взаимной связью ортогональных щелей по внутреннему пространству внутри волновода [2]. В работах [3-5] были исследованы одиночные X-образные излучатели и система таких излучателей в волноводе с произвольным коэффициентом отражения от нагрузки. Показано, что нагрузку с управляемым модулем и фазой коэффициента отражения можно использовать для настройки как одиночной X-образной щели, так и многощелевой системы для излучения ими поля с круговой поляризацией. Удастся получить значение коэффициента

эллиптичности поля одиночного излучателя выше 0,9 ($\tau \cong 0,96$). Однако при этом КСВН на входе волновода достигает значения, равного 1,42 [6]. Целью настоящей статьи является исследование возможности улучшения энергетических характеристик X-образного щелевого излучателя при сохранении круговой поляризации излучаемого им поля с помощью согласующих элементов в виде двух диэлектрических вставок на входе волновода также и экспериментальная проверка правильности построенных алгоритмов расчета.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается система, состоящая из волноводной секции с X-образной щелью, прорезанной в широкой стенке прямоугольного волновода, согласующего устройства в виде двух диэлектрических вставок на входе, полностью заполняющих поперечное сечение волновода, и нагрузки в конце волновода с произвольным коэффициентом отражения. Диэлектрические вставки выбирались одинаковой толщины d_2 с одинаковой диэлектрической проницаемостью ε и расстоянием d_3 друг от друга. Расстояния d_4 от центра щели до второй диэлектрической вставки и d_5 до оконечной нагрузки варьировались с целью изменения фазы отраженных от них волн.

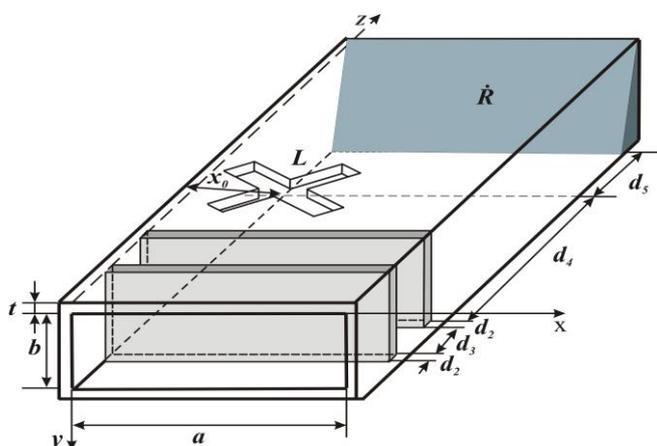


Рис.1. Геометрия системы

Исследования того, как изменяется согласование волновода в зависимости от выбора толщины диэлектрика d_2 , его диэлектрической проницаемости ε расстояний d_3 , d_4 , d_5 и коэффициента отражения от произвольной нагрузки в известной нам литературе не встречались. В работах [7-9] рассматривались согласующие волноводные устройства с двумя диэлектрическими вкладышами, согласование достигалось перемещением вкладышей вдоль волновода и изменением расстояния между ними. Поставлена цель оптимизации геометрии системы и её электрических параметров для получения максимального коэффициента эллиптичности и минимального КСВН. Задача решалась методом последовательных приближений, разработанных в [4, 5, 10] и модифицированным для решения поставленной задачи. В отличие от работ [4,5,10], в рассматриваемой системе на каждом шаге последовательных приближений учитывалось отражение волн от диэлектрических вставок и прохождение через них в сторону генератора. Коэффициенты отражения и прохождения для указанной диэлектрической неоднородности получены в результате решения соответствующей электродинамической задачи. Для исследования физических закономерностей рассеяния электромагнитных полей на сложных волноводно-щелевых неоднородностях в виде крестообразной щели в волноводе в присутствии диэлектрических вставок вблизи неё и произвольной нагрузки в конце волновода были построены алгоритмы и составлены программы расчета энергетических и поляризационных характеристик таких систем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведен расчет энергетических и поляризационных характеристик системы, представленной на рис.1, с целью исследования возможности их улучшения. Расчеты проведены для системы, состоящей из X-образной щели длиной $L_1=L_2=14$ мм, прорезанной в волноводе 23×10 мм на расстоянии $x_0=5,25$ мм от узкой стенки. Были выбраны следующие параметры согласующей секции: $d_2=3$ мм; $\varepsilon=2,1$; $d_3=3$ мм. Параметры: d_4 , d_5 , и модуль коэффициента отражения от нагрузки варьировались с целью получения высокого коэффициента эллиптичности системы и минимального КСВН на входе. Расчет энергетических и поляризационных характеристик системы проведен на резонансной частоте щели $f=10,55$ ГГц.

Результаты расчета зависимостей коэффициентов излучения $|S|^2$, эллиптичности γ и КСВН на входе от изменения фазы волны отраженной от нагрузки на резонансной частоте представлены на рис.2-4 соответственно. На этих рисунках кривые 1 – соответствуют расчету характеристик X-образной щели в бесконечном полом волноводе; кривые 2 – X-образной щели в полубесконечном волноводе с комплексной нагрузкой; кривые 3 – X-образной щели с согласующим устройством, и комплексной нагрузкой; маркерами отмечены экспериментальные данные и обозначены на рис. 3-4 номерами 4 и 5.

Для X-образной щели в полубесконечном волноводе с комплексной нагрузкой оптимальным оказался модуль коэффициента отражения от неё $|R|=0,316$, который при специальном подборе фазы коэффициента отражения от неё позволил повысить коэффициент эллиптичности от $\gamma=0,72$ (рис.3 кривая 1) до $\gamma=0,94$, (кривая 2), однако при этом КСВН=1,42 (рис.4., кривая 2).

Для X-образной щели с согласующим устройством, и комплексной нагрузкой оптимальным оказался модуль коэффициента отражения от неё $|R|=0,2$, что позволило получить примерно круговую поляризацию $\gamma=0,98$ (рис.3., кривая 3) при специальном подборе фазы коэффициента отражения от неё, а использование согласующей секции при подборе оптимального расстояния $d_4 = 0,86 * \lambda_g$, позволило уменьшить КСВН до величины 1,26 (рис.4, кривая 3) и увеличить коэффициент излучения до $|S|^2 > 0,8$ (рис.2, кривая 3).

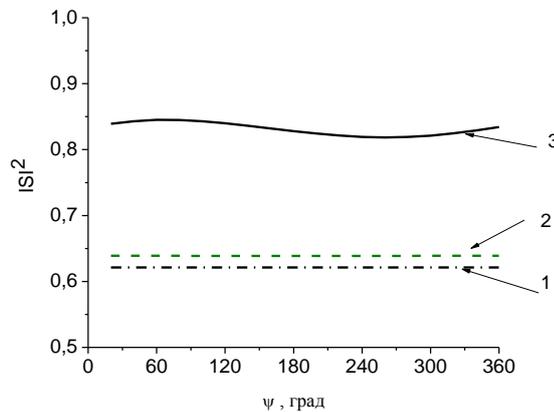


Рис. 2. Зависимость коэффициента излучения X-образной щели от фазы волны, отраженной от нагрузки

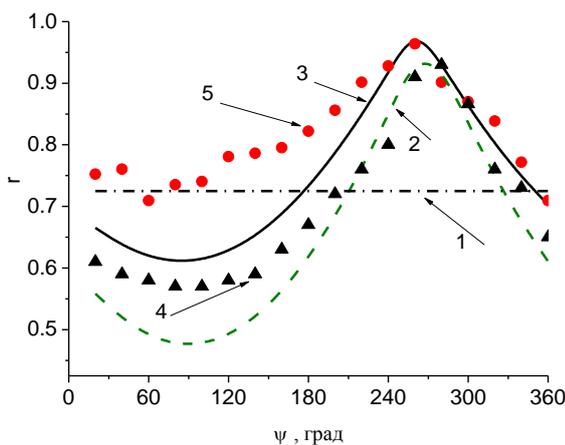


Рис. 3. Зависимость коэффициента эллиптичности X-образной щели от фазы волны, отраженной от нагрузки

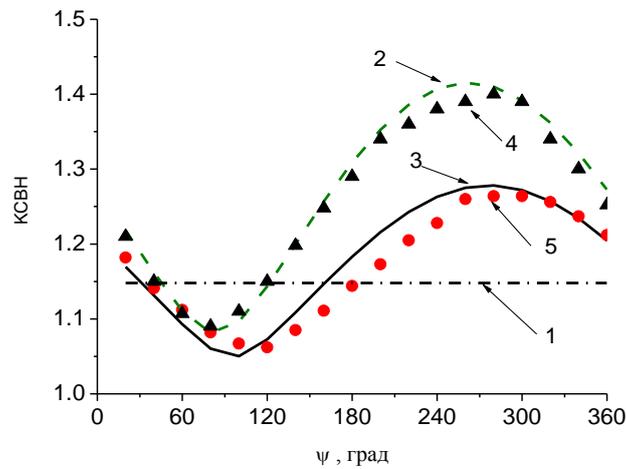


Рис. 4. Зависимость КСВН X-образной щели от фазы волны, отраженной от нагрузки

Для проверки правильности построенных алгоритмов расчета энергетических и поляризационных характеристик системы были проведены экспериментальные исследования этих характеристик на установке, схема которой показана на рис.5. Проведены измерения КСВН на входе системы и коэффициента эллиптичности, в зависимости от фазы отраженной волны от нагрузки (или от смещения поршня).

В качестве экспериментального макета использовалась X-образная щель, состоящая, как было указана выше, из двух ортогональных прямоугольных пересекающихся щелей длиной $L_1=L_2=14$ мм, прорезанной в волноводе сечением 23×10 мм на расстоянии $x_0=5,25$ мм от узкой стенки. Волновод возбуждался на частоте $f=10,55$ ГГц от генератора типа ГКЧ-61. С помощью измерителя КСВН и ослабления типа Я2Р-67 исследовались согласование макета и в комплексе с поляриметром – коэффициент эллиптичности в дальней зоне поля, излучаемого X-образной щелью. Комплексная нагрузка в конце волновода представляла собой аттенюатор типа Д5-10 и стоящий за ним короткозамыкающий поршень.

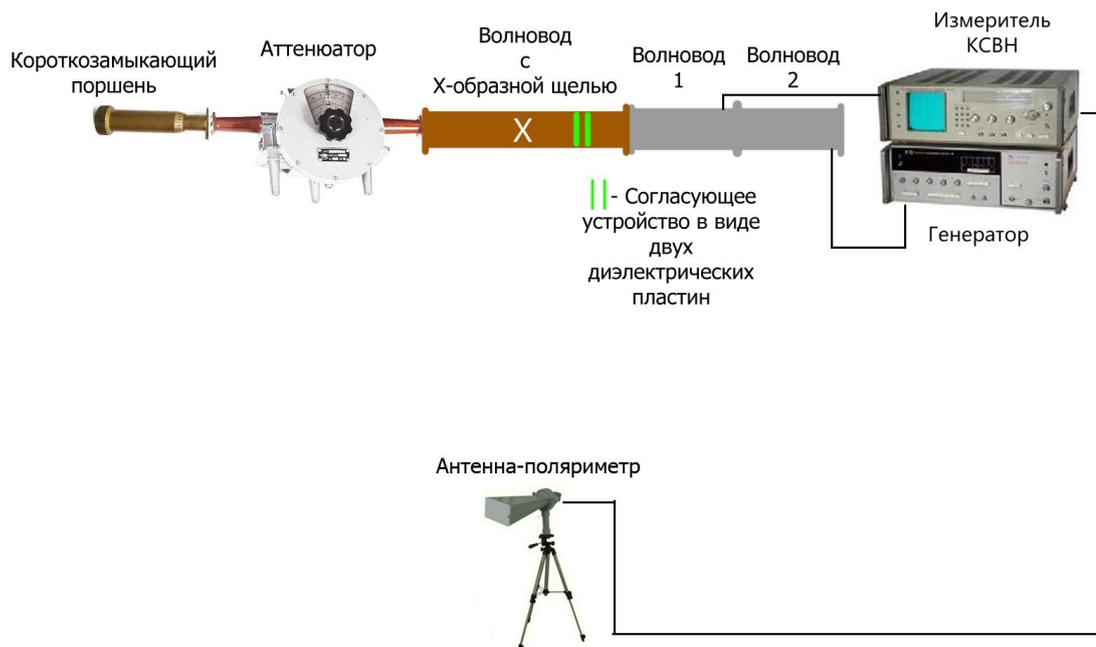


Рис.5. Схема эксперимента

С помощью аттенуатора изменялась амплитуда отраженной волны, а изменением положения поршня d_5 регулировалась фаза этой волны. Для щели в волноводе с комплексной нагрузкой модуль коэффициента отражения от неё был выбран $|R|=0,316$, это соответствовало 4,75 дБ затухания по шкале аттенуатора. Для щели в волноводе с согласующей секцией и комплексной нагрузкой величина коэффициента отражения от нагрузки была выбрана $|R|=0,2$, это соответствовало 8,05 дБ затухания по шкале аттенуатора. Перед щелью на расстоянии $d_4=0,86*\lambda_g$ находились две диэлектрические вставки толщиной $d_2=3\text{мм}$ с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=2,1$; расстояние между ними $d_3=3\text{мм}$.

Экспериментальные кривые на рис.3-4 отмечены маркерами и соответствуют системе в виде щели в волноводе с комплексной нагрузкой (кривые 4) и щели в волноводе с согласующей секцией и комплексной нагрузкой (кривые 5). Видно, что используя управляемые нагрузки можно настроить систему с Х-образной щелью на излучение поля с поляризацией близкой к круговой $r=0,98$ (рис.3, кривая 5), а дополнительно используя согласующие элементы в виде диэлектрических пластин можно уменьшить КСВН системы на входе до уровня 1,25 (рис.4, кривая 5), сохраняя круговую поляризацию. Видно, что результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными.

ВЫВОДЫ

Проведены расчетные и экспериментальные исследования энергетических и поляризационных характеристик для систем, состоящих из:

а) Х-образного щелевого излучателя и управляемой по модулю и фазе нагрузки в конце волновода;

б) Х-образного щелевого излучателя, управляемой по модулю и фазе нагрузки в конце волновода и согласующих элементов в виде двух диэлектрических вставок на входе волновода.

Показано, что применяя диэлектрические неоднородности в волноводе с Х-образной щелью и комплексные нагрузки в конце волновода можно получить высокий уровень коэффициента эллиптичности Х-образных щелей при хорошем согласовании на входе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Simmons A.J. Circularly polarized slot radiators // IRE Trans. - 1957.-Vol.AP-5, №1.-P.31-36.
2. Яцук Л.П. и др. Возбуждение прямоугольного волновода наклонной и крестообразной щелями // Антенны. -1975.- Вып.22.-С.46-60.
3. Яцук Л.П. Х-образная щель в волноводе с отражающей нагрузкой на конце // Всеукр.межвед.науч.техн.сб. Радиотехника.-Харьков:-1997.-вып.102.-с. 47-54.
4. Блинова Н.К. и др. Линейная волноводно-щелевая антенна с управляемым коэффициентом эллиптичности // Вісник Харківського національного університету. -Радіофізика та електроніка.- № 544. - 2002.- С. 24-28.
5. Яцук Л.П. и др. Линейная система Х-щелей в волноводе с произвольной отражающей нагрузкой. // 7-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'1997). Материалы конф. (Севастополь, 15—18 сент. 1997 г.). Севастополь : Вебер, 1997. С. 502-503.
6. Блинова Н.К., Яцук Л.П. Управление поляризационными и энергетическими характеристиками Х-образных щелей в прямоугольном волноводе с помощью диэлектрических неоднородностей // 21-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011). Материалы конф. (Севастополь, 12—16 сент. 2011 г.). Севастополь : Вебер, 2011. С. 589-590.
7. Линии передачи сантиметровых волн: Пер.с англ./ Под ред. Г.А Ремеза –М.: Изд.Сов. Радио- 1951.-Ч. 2.-342с.
8. Валитов Р.А., Стретинский В.Н. Радиоизмерения на сверхвысоких частотах. .-М.: Изд. МОСССР.- 1958.-412с.
9. Вайсфлор А. Теория цепей и техника измерений в дециметровом и сантиметровом диапазонах.-М.: Изд. Сов.Радио -1961.-424 с.
10. Яцук Л.П. и др. Математическая модель линейной системы щелей в волноводе с произвольной отражающей нагрузкой //Радиотехника (Москва).-1992.-N.7-8.С.73-78.