

## ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ ПО ВОЗБУЖДЕНИЮ ВОЛНЫ $H_{01}$ В КРУГЛОМ ВОЛНОВОДЕ

Летавин Д.А., Малов Э.Э., Мительман Ю.Е.

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия (62002, Екатеринбург, ул. Мира, 19), тел.: (912) 030-69-39, e-mail: [letavin2010@mail.ru](mailto:letavin2010@mail.ru), [edwardmalov@gmail.com](mailto:edwardmalov@gmail.com)*

В данной работе рассмотрены осесимметричная магнитная волна  $H_{01}$  в круглом волноводе, особенности структуры ее поля, возможности применения аномальных свойств волны  $H_{01}$  на практике, кратко рассмотрены существующие способы возбуждения волны  $H_{01}$  в круглом волноводе такие как: возбуждение с помощью противофазных элементов связи, возбуждение с помощью торцевых щелей связи между прямоугольным и круглым волноводами, преобразование типов волн посредством плавных переходов между волноводами с разными типами волн, возбуждение с помощью цилиндрической щелевой антенны, возбуждение за счет подключения прямоугольного волновода узкой стенкой на закороченный торец круглого волновода. Также рассмотрены пути для получения максимального коэффициента передачи и расширения рабочей полосы устройства возбуждения.

Ключевые слова: волновод, возбуждение электромагнитной волны, магнитная волна.

### OVERVIEW OF EXISTING SOLUTIONS EXCITATION $H_{01}$ WAVE IN THE CIRCULAR WAVEGUIDE

Letavin D.A., Malov E.E., Mitelman Yu.E.

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin», Russian Federation (62002, Ekaterinburg, 19, Mira str.) Ph.: (912)0306939, e-mail: [letavin2010@mail.ru](mailto:letavin2010@mail.ru), [edwardmalov@gmail.com](mailto:edwardmalov@gmail.com)*

In the article axisymmetric magnetic wave  $H_{01}$  in the circular waveguide, features of its field structure, possible implementation of its anomalous characteristics in practical systems are considered. Also existent excitation devices, such as: excitation with antiphased coupling elements, excitation with the frontal slots between rectangular and circular waveguides, modes transformation using taper between waveguides with different modes, excitation using the cylindrical slot antenna, excitation with the rectangular waveguides narrow side on the short-circuited end of the circular waveguide are described. The ways of deriving a maximal coefficient of transmission and widening of the frequency band of the excitation device are proposed.

Keywords: waveguide, the excitation of electromagnetic waves, magnetic wave.

### Введение

Волна типа  $H_{01}$  в круглом волноводе не имеет аналогов в других волноводах, и представляет большой интерес для реализации дальней связи. Данная волна обладает аномальным затуханием – коэффициент затухания монотонно уменьшается с ростом частоты. Это можно объяснить тем, что у других типов волн присутствуют и продольные и поперечные составляющие магнитных полей, которые в свою очередь возбуждают поперечные и продольные токи на стенках, соответственно. У волны  $H_{01}$  при этом отсутствуют продольные токи, наличие которых обуславливает рост потерь с ростом частоты. Основная трудность возбуждения этой волны заключается в том, что волна  $H_{01}$  не является низшей, и поэтому требуется подавить паразитные типы волн, которые будут

распространяться в том же направлении, что и нужная нам волна. На сегодняшний день были предложены различные способы возбуждения данной волны в круглом волноводе.

Волноводы с круглым сечением с волной  $H_{01}$  способны передавать большие мощности. Известно, что при любой передаче электромагнитной энергии ее поток распространяется в пространстве, в частности, по внутренней полости волновода. В случае, когда напряженность электрического поля превышает некоторую максимальную величину, в воздухе возникает разряд. Чем больше площадь поперечного сечения, тем больше энергоёмкость волноводов. С помощью больших труб принципиально возможно передавать миллионы киловатт, причем с учетом малого затухания волны  $H_{01}$  можно обеспечить дальность передачи до нескольких сотен километров. Также круглые волноводы на волне  $H_{01}$  используются для создания узкополосных фильтров, высокодобротных резонаторов и резонансных частотомеров с большой разрешающей способностью при небольшой полосе перестройки.

### **Основная часть**

В работе [1] используется цилиндрическая щелевая антенна, длина окружности которой равна  $\lambda/2$ . За счет того, что данная антенна расположена вдоль оси волновода и установлена через торцевую стенку, такая антенна действует как магнитный диполь, создавая продольное магнитное поле на оси волновода. Достоинством устройства являются малые габариты. К недостаткам устройства относится небольшая полоса частот, т.к. эффективность антенны напрямую зависит от величины длины волны.

Существует также способ [2] на основе возбуждения волновода через три отверстия, расположенные по окружности одно по отношению к другому под углами в 120 градусов. К данным отверстиям с торца подключены прямоугольные волноводы так, что оси их торцевых сечений расположены одна относительно другой под теми же углами, что и щели. Недостаток данного способа заключается в сложности соблюдения расположения осей волноводов в нужном соотношении.

В [3] предложена конструкция перехода от прямоугольного волновода с волной  $H_{10}$  к круглому волноводу с волной  $H_{01}$ , основанная на принципе плавной деформации формы поперечного сечения волновода. Прямоугольный волновод с волной  $H_{10}$  плавно разделяется на два волновода, которые закручиваются на  $90^\circ$  в противоположные стороны. Далее, соединяясь, они образуют волновод с распространяющейся в нем волной  $H_{20}$ , которая преобразуется в волну  $H_{01}$  в круглом волноводе посредством плавного перехода от прямоугольного волновода к круглому, путем закругления боковых стенок и приближения

их размеров к размеру круглого волновода. Недостаток этого способа заключается в том, что переход должен иметь достаточно большую длину для того, чтобы обеспечить необходимую степень чистоты возбуждения волны  $H_{01}$ . Однако, благодаря плавному переходу, устройство может получиться достаточно широкополосным.

В [4] предложен способ возбуждения волны  $H_{01}$  в круглом волноводе, за счет подключения прямоугольного волновода с основной волной узкой стенкой на закороченный торец круглого волновода. Связь между волноводами происходит за счет двух одинаковых отверстий в месте стыка двух волноводов, расположенных на расстоянии в половину длины волны в прямоугольном волноводе. Элементы связи выполнены в виде двух изогнутых под углом в 90 градусов отрезков волновода П-образного или Н-образного сечения. Недостатком этого способа является малая ответвляемая мощность, и как следствие невысокий КПД преобразователя. При этом, использование П-образных или Н-образных волноводов обеспечивает достаточно широкую полосу рабочих частот.

Способ возбуждения, реализованный с помощью отрезка прямоугольного волновода, разветвленного на два параллельных волноводных канала, и элементов связи, создающих противофазные поля, представлен в работе [5]. Элементы связи представляют собой две одинаковых щели в общей стенке волноводов, которые обладают разными фазовыми скоростями и сдвинуты относительно друг друга в направлении распространения волны в волноводе.

В [6] рассмотрена возможность применения двух противофазных диполей для возбуждения волны  $H_{01}$  в круглом волноводе. Принцип действия заключается в возбуждении вибраторов противофазным напряжением, и тем самым создании замкнутого вокруг оси волновода электрического поля, то есть создается условие для распространения волны  $H_{01}$ . Это позволяет значительно расширить полосу частот, т.к. не требуется установка внешнего фазовращателя. Недостатком этого способа является значительная трудность точной установки диполей внутри волновода.

Предложенный в [7] способ состоит в преобразовании волны  $H_{20}$  в прямоугольном волноводе в волну  $H_{01}$  в круглом волноводе через торцевую щель связи. Данный способ заключается в соединении прямоугольного волновода через две торцевые щели с круглым волноводом. Устройство работает за счет противофазного возбуждения этих щелей, благодаря структуре поля  $H_{20}$ , и выбора геометрических размеров прямоугольного волновода так, чтобы выполнялись условия равенства критических частот и, соответственно, фазовых скоростей волн  $H_{20}$  прямоугольного и  $H_{01}$  круглого волновода. Торцевые щели выполнены в

виде двух полуколец. Достоинством этого способа является компактное и простое исполнение устройства и высокое значение коэффициента передачи, однако такой способ возбуждения волны  $H_{01}$  пригоден для работы в относительно узкой полосе частот.

Все вышеописанные способы обеспечивают возбуждение помимо волны  $H_{01}$  также и других мод, и поэтому требуется подавить ряд низших и высших типов волн для которых выполняются условия распространения. Для обеспечения наибольшего коэффициента передачи волны  $H_{01}$ , возможно сделать следующее:

- использовать фильтры специальной конструкции для подавления паразитных типов волн без подавления рабочей;
- использовать для подавления паразитных волн резистивную пленку, благодаря которой все волны, кроме  $H_{0n}$  будут испытывать поглощение.

### **Заключение**

В данной статье сделан краткий обзор существующих способов возбуждения волны  $H_{01}$  в круглом волноводе. Все вышеперечисленные способы можно разделить на две категории:

- Возбуждение нужной волны осуществляется за счет плавной деформации поперечного сечения.
- Возбуждение нужной волны осуществляется за счет использования противофазных элементов связи (щели, диполи).

Дальнейшие исследования направлены на расширение предложенных способов возбуждения.

### **Библиографический список**

[1] А.с. 70668 СССР, Класс 21а, 46. Способ возбуждения волны типа  $H_0$  в круглом радиоволноводе / Д.М. Трусканов (СССР). - № 47/70 353961 ; заявл. 19.04.1947 ; опубл. 30.04.1948. – 2 с. 2 ил.

[2] А.с. 82549 СССР, Класс 21а, 13. Способ возбуждения волны типа  $H_0$  в цилиндрическом резонаторе / Э.Ф. Гергард (СССР). - № 399224 ; заявл. 20.06.1949 ; опубл. 01.01.1950. – 3 с. 1 ил.

[3] Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. В 2-х т. Т. 1./ И.В. Лебедев. М.: Высш. Шк., 1970. 440 с.

[4] А.с. 218253 СССР, Класс 21а, 73. Возбудитель волны  $H_{01}$  в круглом волноводе / Б.Б. Раманускас (СССР). - № 1123206/26-9 ; заявл. 02.01.1967 ; опубл. 17.05.1968, Бюл. № 17. – 2 с. 1 ил.

[5] А.с. 232341 СССР, Класс 21а, 73. Устройство для возбуждения волны типа  $H_{01}$  в цилиндрическом резонаторе / Б.-И. Б. Раманускас (СССР). - № 1177936/26-9 ; заявл. 11.08.1967 ; опубл. 11.12.1968, Бюл. № 1. – 2 с. 1 ил.

[6] Letavin D.A., Mitelman Yu.E. Устройство возбуждения волны  $H_{01}$  в круглом волноводе [H01 mode of circular wave- guide converter]. Taganrog, Radiation and scattering of electromagnetic waves – 2013, conference proceedings, June 2013, PP. 541-545.

[7] Malov E.E., Mitelman Yu.E. Разработка устройства возбуждения волны  $H_{01}$  в круглом волноводе [The development of the excitation device for  $H_{01}$  mode in circular waveguide]. VNKSF-20, Izhevsk, Russia, conference proceedings. PP. 460–462.