

УДК 621.372.85

## ПРИБЛИЖЕННАЯ 3D МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ВОЛНОВОДНЫХ КРЕСТООБРАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ С ДИЭЛЕКТРИКОМ

А. В. СТРИЖАЧЕНКО

*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина,  
Украина, Харьков, 61077, пл. Свободы, 4*

**Аннотация.** В работе предложена трехмерная электродинамическая модель гибридных электромагнитных колебаний в волноводном соединении цилиндрической–прямоугольной волноводы с диэлектрическим заполнением цилиндрического волновода. Для решения векторной задачи применен метод частичных областей с выделением общей области связи волноводов и представлением поля в ней в виде суперпозиции полей парциальных собственных волн волноводов. Проведена классификация собственных типов колебаний: собственных резонансов разветвления на запердельных модах и резонансов волноводно-диэлектрического типа. Исследуемая структура может использоваться для измерения электрических параметров диэлектрических образцов как цилиндрической, так и прямоугольной формы поперечного сечения. Так как спектральные характеристики разветвления в основном определяются размером центральной области связи волноводов и электрическими параметрами той части диэлектрика, который там находится, то измерения носят локальный характер.

**Ключевые слова:** волноводное разветвление; гибридное колебание; электродинамическая модель; диэлектрик

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Электромагнитным колебаниям в крестообразных и Т-образных волноводных разветвлениях посвящено значительное число работ [1–8]. Исследовались свободные колебания в разветвлении прямоугольных волноводов [1], аксиально-симметричные и несимметричные колебания в разветвлении цилиндрических волноводов [2], а также квазисобственные колебания в сочленениях и разветвлениях волноводов [3]. Это объясняется их широким использованием в технике сверхвысоких частот (СВЧ) в качестве составных частей пассивных и активных приборов [4], измерительных устройств для определения электрических параметров диэлектриков [5].

Задачи о разветвлениях с различной формой поперечного сечения волноводов относятся к категории наиболее сложных векторных краевых задач. Это связано с представлением полного поля в виде суперпозиции полного набора полей  $H$  и  $E$  типов волн во всех волноводах. Работы [4, 6, 7] посвящены точному моделированию незаполненных тройниковых и других соединений волноводов. В [4] в дополнение к методу частичных областей (МЧО) использована концепция расширенного граничного условия, означающая, что если поля непрерывны на искусственно введенной граничной поверхности внутри замкнутого объема, то они должны быть непрерывны и на других поверхностях в этом объеме. Эта концепция облегчает анализ сложных краевых задач с ис-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стрижаченко, А. В. Электродинамика волноводных разветвлений с анизотропным заполнением. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 51, № 8, С. 55–61, 2008. URI: <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347008080074>.
2. Макеев, Ю. Г.; Рудь, Л. А.; Острицкая, С. Ю. Собственные аксиально-несимметричные колебания разветвления круглого и радиального волноводов. *Радиотехника и электроника*, Т. 39, № 10, С. 1497–1502, 1994.
3. Шестопалов, В. П.; Кириленко, А. А.; Рудь, Л. А. *Резонансное рассеяние волн. Волноводные неоднородности*. К.: Наукова думка, 1986.
4. Wu, K.-L.; Yu, M.; Sivadas, A. Novel modal analysis of a circular-to-rectangular waveguide T-junction and its application to design of circular waveguide dual-mode filters. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 50, No. 2, P. 465–473, 2002. DOI: [10.1109/22.982225](https://doi.org/10.1109/22.982225).
5. Strizhachenko, A. V. The measurement of permittivity tensor of uniaxial crystals with tetragonal and hexagonal symmetry at microwaves. *Electrical Power Eng. Frontier*, Vol. 2, No. 1, P. 17–21, 2013. URI: <http://www.academicpub.org/epf/paperInfo.aspx?PaperID=13820>.
6. Кириленко, А. А.; Кулик, Д. Ю.; Шешенко, С. А. Ключевой алгоритм метода частичных областей в анализе резонансных штырей, тройниковых, турникетных и некоторых других многоплечих соединений. *Радиофизика и электроника*, Т. 7, № 4, С. 11–18, 2016. DOI: [10.15407/rej2016.04.011](https://doi.org/10.15407/rej2016.04.011).
7. Krauss, P.; Arndt, F. Rigorous mode-matching method for the modal analysis of the T-junction circular to sidecoupled rectangular waveguide. *Proc. IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, 16–20 May 1995, Orlando, FL, USA. IEEE, 1995, P. 1355–1358. DOI: [10.1109/MWSYM.1995.406222](https://doi.org/10.1109/MWSYM.1995.406222).
8. Рудь, Л. А.; Сиренко, Ю. К.; Шестопалов, В. П.; Яшина, Н. П. Алгоритмы решения спектральных задач, связанных с открытыми волноводными резонаторами. Х.: ИРЭ АН УССР, 1986, 26 с. Препринт № 318/ НАН Украины, «Институт радиофизики и электроники».
9. Макеев, Ю. Г.; Моторненко, А. П. Собственные электромагнитные колебания в резонаторе на за-предельных волноводах. *ЖТФ*, Т. 69, № 4, С. 84–88, 1999. URI: <http://journals.ioffe.ru/articles/36026>.

Поступила в редакцию 25.10.2016

После переработки 19.10.2017