

А. А. Скворцов

(г. Саратов, Саратовский государственный технический
университет им. Ю.А. Гагарина)

A. A. Skvortsov (Saratov, Saratov state technical university named after Gagarin Y. A.)

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРЕДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ ПО КООКСИАЛЬНО-СЕКТОРНОМУ ВОЛНОВОДУ

TO THE DEFINITION OF BREAKDOWN POWER TRANSMITTED
THROUGH COAXIAL-SECTOR WAVEGUIDE

Получено квазианалитическое выражение для расчета предельной мощности, переносимой основной волной по коаксиально-секторному волноводу с однородным диэлектрическим заполнением. Приводятся результаты квазианалитического расчета нормированной предельной передаваемой по полному коаксиально-секторному волноводу мощности при различных значениях его геометрических размеров и рабочей длины волны, которые могут быть использованы при построении СВЧ-устройств различного назначения, выполненных на основе рассматриваемой направляющей системы.

Quasi-analytical expression for calculation of breakdown power transmitted by the dominant mode of coaxial-sector waveguide with homogeneous dielectric filling is obtained. Results of quasi-analytical calculation of normalized breakdown power, transmitted by hollow coaxial-sector waveguide for different values of its geometrical sizes and operating wavelength, which can be used in building microwave devices of different application performed on the basis of considered transmission system are represented.

Ключевые слова: предельная мощность, основная волна, коаксиально-секторный волновод, прямоугольный волновод, квазианалитическая методика.

Keywords: breakdown power, dominant wave, coaxial-sector waveguide, rectangular waveguide, quasi-analytical technique.

Интерес разработчиков радиоэлектронной аппаратуры к исследованию электродинамических параметров коаксиально-секторного волновода (КСВ) обусловлен тем, что он обладает рядом преимуществ по сравнению с направляющими системами (НС) простых поперечных сечений и находит широкое применение в качестве базовых элементов микроволновых устройств различного назначения [1–3]. Одним из важных электродинамических параметров, связанных с оценкой практической пригодности применения КСВ для построения тех или иных СВЧ-систем, является предельная мощность, передаваемая по нему основной волной.

Определение предельной мощности, переносимой основной волной по

КСВ, на основе точного аналитического решения внутренней краевой задачи электродинамики затруднено из-за сложной конфигурации поперечного сечения рассматриваемой НС, поэтому для решения волнового уравнения необходимо применять численные или квазианалитические (приближенно-аналитические) методы. В отличие от более универсальных численных подходов, связанных с использованием громоздкого математического аппарата, затрудняющего применение полученных результатов для практических целей, квазианалитические методики (КМ) обладают наглядностью, возможностью выявить общие закономерности распространения электромагнитных волн в КСВ и сравнительной простотой вычислений [1, 4–7].

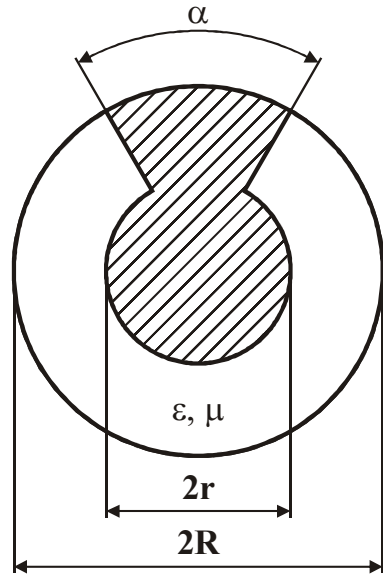


Рис. 1. Поперечное сечение КСВ

Исследование структуры поля основной волны, распространяющейся в КСВ показало, что данную НС можно рассматривать как прямоугольный волновод (ПрВ), свернутый в поперечной плоскости по дуге окружности, у которого размер широкой стенки равен $(\pi - \alpha/2)(R + r)$, а узкой – $R - r$ [4–7]. С учетом сказанного предельную мощность, переносимую основной волной по КСВ с однородным диэлектрическим заполнением, можно рассчитать, используя известную методику определения пропускной способности ПрВ [8], по формуле

$$P_{\text{пред}} = \frac{E_{\text{проб}}^2 (\pi - \alpha/2)(R^2 - r^2)}{4Z_c} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{c1}}\right)^2}, \quad (1)$$

где
$$\lambda_{c1} = (2\pi - \alpha)(R + r)\sqrt{\epsilon\mu} \quad (2)$$

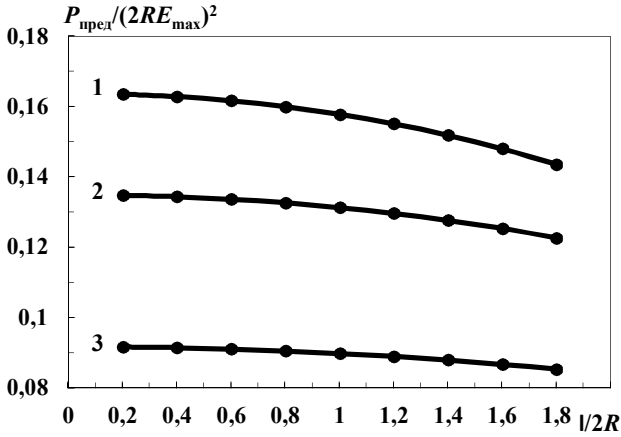
– критическая длина основной волны КСВ с однородным диэлектрическим заполнением [4];

$$Z_c = \sqrt{\frac{\mu\mu_0}{\epsilon\epsilon_0}} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}, \quad (3)$$

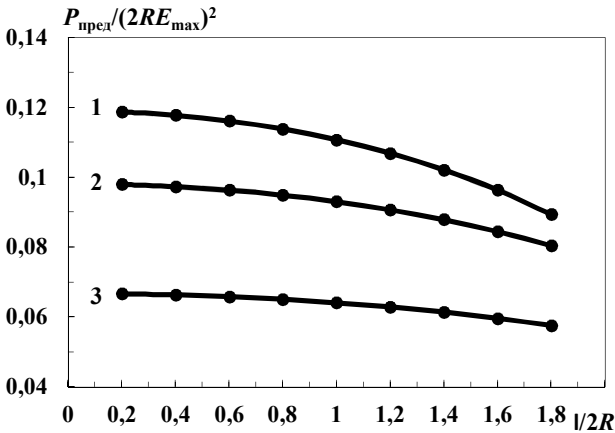
– характеристическое сопротивление диэлектрического материала, заполняющего КСВ;

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (4)$$

– характеристическое сопротивление воздушного заполнения; $E_{\text{проб}}$ – амплитуда напряженности электрического поля основной волны в КСВ, при которой наступает пробой; ϵ и μ – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости материала, заполняющего КСВ.



а)



б)

Рис. 2. Зависимость нормированного коэффициента затухания в металлических стенках КСВ от $\lambda/2R$ при $\alpha=30^\circ$ (а) и $\alpha=120^\circ$ (б) и различных r/R : 1 – $r/R=0,3$; 2 – $r/R=0,5$; $r/R=0,7$

Анализ выражений (1)–(4) показывает, что предельная мощность, переносимая основной волной по КСВ, зависит как от размеров его поперечного сечения и электрофизических свойств диэлектрического заполнения, так и от рабочей длины волны.

На основе рассмотренной выше КМ проведен расчет предельной

передаваемой по КСВ мощности при различных значениях его геометрических размеров, электрофизических параметров однородного диэлектрического заполнения и рабочей длины волны. В качестве примера, дающего наглядное представление о характере изменения пропускной способности КСВ ($\varepsilon = \mu = 1$), на рис. 2 представлены результаты квазианалитического расчета нормированной предельной мощности, переносимой основной волной по рассматриваемой НС, полученные по формулам (1)–(4) при различных значениях α , r/R и $\lambda/2R$. Как видно из рис. 2, при $\alpha = \text{const}$ с уменьшением отношений r/R и $\lambda/2R$ повышается пропускная способность КСВ. Из рис. 2 также следует, что при $r/R = \text{const}$ и $\lambda/2R = \text{const}$ с уменьшением α увеличивается нормированная предельная передаваемая по КСВ мощность.

Таким образом, полученное в настоящей работе соотношение, позволившее установить в явном виде квазианалитическую зависимость предельной мощности, передаваемой основной волной по КСВ, от его геометрических размеров, электрофизических параметров однородного диэлектрического заполнения и рабочей длины волны, может быть использовано при разработке СВЧ-устройств, выполненных на основе анализируемой НС.

Список литературы

1. Коломейцев, В.А. Микроволновые системы с равномерным объемным нагревом. Ч.1. / В. А. Коломейцев, В. В. Комаров. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1997. – 160 с.
2. Антоненко, Ю. В. Преобразование поляризации электромагнитных волн на отражательной решетке из закороченных коаксиально-секторных волноводов / Ю. В. Антоненко, А. В. Грибовский // Радиофизика и радиоастрономия. – 2011. – Т. 16. – № 1. – С. 82–89.
3. Сомов, В.А. Коаксиально-секторная антенна для генератора с магнитной изоляцией / В. А. Сомов, Ю. В. Ткач, А. Ф. Ляховский // Электромагнитные явления. 1998. – Т. 1, № 4. – С. 474–482.
4. Скворцов, А.А. Квазианалитический расчет критической длины основной волны коаксиально-секторного волновода // Проблемы управления, обработки и передачи информации: сб. тр. V Междунар. юбилейн. науч. конф. – Саратов: ООО СОП «Лоди», 2017. – С. 259–261.
5. Скворцов, А.А. Квазианалитический расчет критической длины первой высшей волны коаксиально-секторного волновода / А. А. Скворцов, М. Д. Иванов // САПР и моделирование в современной электронике: сб. науч. тр. I Международной научно-практической конференции. – Брянск: БГТУ, 2017. – С. 224–227.
6. Скворцов, А.А. Квазианалитические выражения для расчета волнового сопротивления коаксиально-секторного волновода // Антенны. – 2017. – Вып. 8. – С. 26–29.
7. Скворцов, А.А. Об оценке коэффициента широкополосности коаксиально-секторного волновода // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Тамбов: Изд-во Першина Р. В., 2019. – С. 157-158.
8. Лебедев, И. В. Техника и приборы СВЧ / И. В. Лебедев. – М.: Высш. Школа, 1970. – Т. 1. – 440 с.

Материал поступил в редколлегию 04.08.19.