

УДК 621.372.8

DOI: 10.30987/conferencearticle_61c997f0dd6481.95951766

КВАЗИАНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕНКАХ ЛУНАРНОГО ВОЛНОВОДА

Алексей Анатольевич Скворцов

Саратовский государственный технический университет

им. Гагарина Ю. А., доцент, к.т.н., доцент

РФ, Саратов, sotrudniki.1@yandex.ru

Аннотация. Получено выражение для квазианалитического расчета коэффициента затухания, обусловленного потерями в металлических стенках лунарного волновода с однородным диэлектрическим заполнением. Приводятся результаты квазианалитического расчета коэффициента затухания в металлических стенках полого лунарного волновода при различных значениях его геометрических размеров и рабочей длины волны, которые могут быть полезны при синтезе СВЧ-устройств различного назначения, выполненных на основе рассматриваемой направляющей системы.

Ключевые слова: квазианалитический расчет, коэффициент затухания, металлические стенки, лунарный волновод, прямоугольный волновод, критическая длина, основная волна.

QUASI-ANALYTICAL CALCULATION OF THE ATTENUATION COEFFICIENT IN METAL WALLS OF LUNAR WAVEGUIDE

Alexey A. Skvortsov

Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin,

Associate Professor, c.t.s., docent, RU, Saratov, sotrudniki.1@yandex.ru

Abstract. An expression for quasi-analytical calculation of the attenuation coefficient, due to losses in metal walls of a lunar waveguide with homogeneous dielectric filling is obtained. The results of quasi-analytical calculation of the attenuation coefficient in metal walls of hollow lunar waveguide at different values of its geometrical sizes and operating wavelength, which can be useful in synthesis of microwave devices for various applications, based on the considered guide system, are represented.

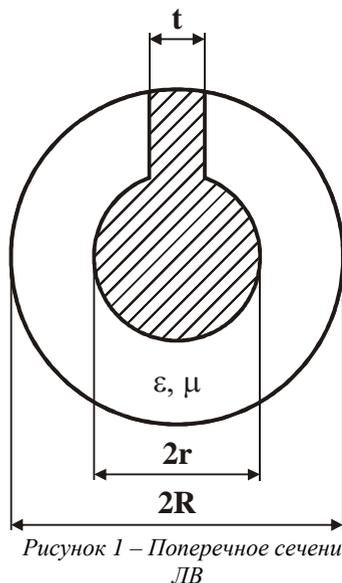
Keywords: quasi-analytical calculation, attenuation coefficient, metal walls, lunar waveguide, rectangular waveguide, cutoff wavelength, dominant mode.

В настоящее время лунарный волновод (ЛВ), превосходящий по ряду электродинамических параметров и характеристик линии передачи (ЛП) простых поперечных сечений, находит все большее применение в элементной базе отвечающих современным требованиям микроволновых систем различного назначения, включая СВЧ-устройства для термообработки диэлектрических материалов [1]. Поскольку базовые элементы, выполненные на основе ЛВ, функционируют, в большинстве случаев, в одноволновом режиме, важной инженерной задачей, возникающей при оценке практической пригодности применения анализируемой ЛП для синтеза тех или иных микроволновых систем, является определение коэффициента затухания основной волны в рассматриваемой направляющей системе (НС).

© Скворцов А.А., 2021

САИП и моделирование в современной электронике. С. 300 – 304.

Определение коэффициента затухания основной волны в анализируемой НС на основе точного аналитического решения внутренней краевой задачи электродинамики затруднено в силу сложной конфигурации поперечного сечения ЛВ, поэтому для решения волнового уравнения необходимо применять численные или приближенно-аналитические (квазианалитические) методы. Применение численных подходов [1–5], к которым относятся, например, метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод интегральных уравнений, метод частичных областей, вариационный метод и некоторые другие, к расчету коэффициента затухания основной волны в ЛВ, несмотря на их универсальность, сопряжено с использованием громоздкого математического аппарата, затрудняющего



применение полученных результатов для синтеза СВЧ-устройств на основе рассматриваемой ЛП. В отличие от численных подходов методики квазианалитического расчета (КР) электродинамических параметров ЛВ обладают наглядностью, возможностью выявить общие закономерности распространения электромагнитных волн в рассматриваемой НС и относительной простотой вычислений [1, 5–10].

Проведенный анализ структуры поля основной волны, распространяющейся в ЛВ, показал, что данную ЛП можно рассматривать как прямоугольный волновод (ПрВ), свернутый в поперечной плоскости по дуге окружности [5–10]. Поэтому КР коэффициента затухания основной волны в ЛВ можно провести, исходя из его замены на эквивалентный ПрВ, у которого размер широкой стенки равен $\pi(R+r)-t$, а узкой – $R-r$, с использованием соотношений, приведенных в работе [2].

В случае, когда ЛВ заполнен диэлектрическим материалом с пренебрежимо малыми потерями, рассеивание электромагнитной энергии при распространении основной волны в рассматриваемой ЛП обусловлено в основном коэффициентом затухания в ее металлических стенках, который можно определить по формуле

$$\alpha_m = \frac{R_s}{Z_c(R-r)\sqrt{1-(\lambda/\lambda_{cl})^2}} \left[1 + \frac{2(R-r)}{\pi(R+r)-t} \left(\frac{\lambda}{\lambda_{cl}} \right)^2 \right], \quad (1)$$

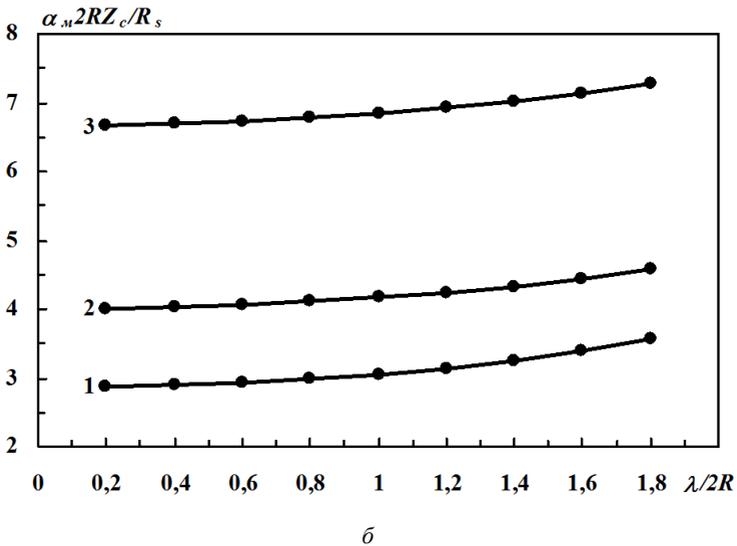
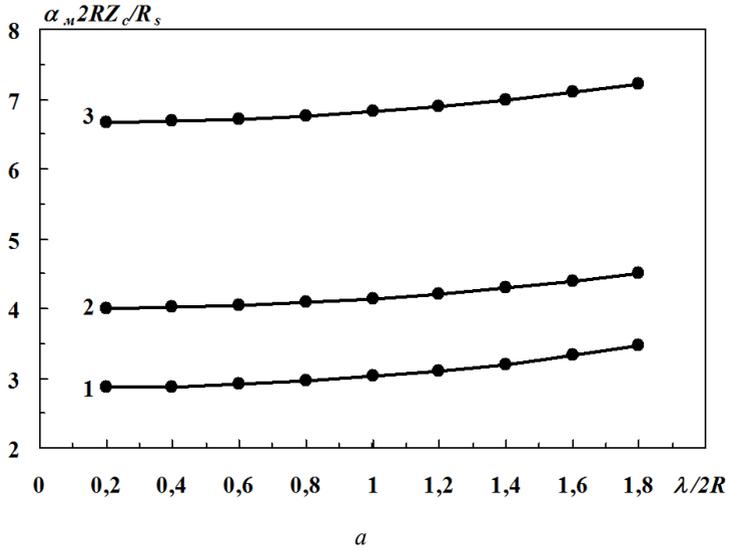


Рисунок 2 – Зависимость нормированного коэффициента затухания в металлических стенках ЛВ от $\lambda/2R$ при $t/2R=0,1$ (а) и $t/2R=0,2$ (б) и различных r/R : 1 – $r/R = 0,3$; 2 – $r/R=0,5$; $r/R=0,7$

в которой

$$\lambda_{c1} = 2[\pi(R+r) - t] \sqrt{\varepsilon\mu} \quad (2)$$

– критическая длина основной волны, анализируемой НС с однородным диэлектрическим заполнением [5, 7];

$$R_s = \sqrt{\frac{\pi f \mu_m \mu_0}{\sigma_m}}, \quad (3)$$

μ_m и σ_m – поверхностное активное сопротивление, относительная магнитная проницаемость и проводимость металлических стенок ЛВ;

$$Z_c = \sqrt{\frac{\mu\mu_0}{\varepsilon\varepsilon_0}} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}, \quad (4)$$

ε и μ – характеристическое сопротивление, относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости материала, заполняющего рассматриваемую волноведущую структуру;

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \quad (5)$$

– характеристическое сопротивление воздушного заполнения; ε_0 и μ_0 – электрическая и магнитная постоянные.

Из выражений (1)–(5) следует, что коэффициент затухания в металлических стенках ЛВ зависят не только от размеров поперечного сечения и электрофизических свойств диэлектрического заполнения и проводящих поверхностей рассматриваемой НС, но и от рабочей длины волны.

На основе рассмотренных выше соотношений проведен КР коэффициента затухания в металлических стенках ЛВ при различных значениях его геометрических размеров, электрофизических параметров однородного диэлектрического заполнения и рабочей длины волны. В качестве примера, дающего наглядное представление о характере рассеивания электромагнитной энергии основной волны в проводящих поверхностях ЛВ ($\varepsilon = \mu = 1$), на рис. 2 представлены результаты КР нормированного коэффициента затухания в металлических стенках рассматриваемой НС, полученные по формулам (1)–(5) при различных значениях $t/2R$, r/R и $\lambda/2R$. Из рис. 2 следует, что с увеличением отношений r/R и $\lambda/2R$ при $t/2R = \text{const}$ возрастает затухание основной волны в металлических стенках ЛВ.

Проведенные на основе полученных в настоящей работе квазианалитических выражений исследования, позволили установить в явном виде зависимость коэффициента затухания в металлических стенках ЛВ от его геометрических размеров, электрофизических параметров однородного диэлектрического заполнения и рабочей длины волны и могут быть использованы при синтезе СВЧ-устройств различного назначения на основе анализируемой НС. Необходимо также заметить, что рассмотренная в настоящей работе квазианалитическая методика может быть в дальнейшем с успехом адаптирована для расчета коэффициента затухания в металлических стенках ЛВ с неоднородным диэлектрическим заполнением.

Список литературы

1. *Коломейцев В. А., Комаров В. В.* Микроволновые системы с равномерным объемным нагревом. Ч.1. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1997. 160 с.
2. *Григорьев А. Д.* Электродинамика и микроволновая техника. СПб: Лань, 2007. 704 с.
3. Расчет характеристик линий передачи / *В. Б. Каток, В. И. Лозяной, А. Б. Олексенко и др.* Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1985. 100 с.
4. Волноводы сложных сечений / *Г. Ф. Заргано, В. П. Ляпин, В. С. Михалевский и др.* М.: Радио и связь. 1986. 124 с.
5. *Вольман В. И., Каток В. Б.* Волноводы, обладающие широкой полосой одноволнового режима // Радиотехника и электроника. 1978. № 2. С. 285–290.
6. *Скворцов А. А.* О методике квазианалитического расчета критической длины первой высшей волны лунарного волновода // Современные проблемы биофизики, генетики, электроники и приборостроения: материалы IV Всероссийского семинара памяти профессора Ю. П. Волкова. Саратов: Саратовский источник, 2018. С. 80–83.
7. *Скворцов А. А.* К определению критических длин основной и первой высшей волн лунарного волновода // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы VI Междунар. научн.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов: Изд-во Першина Р. В., 2019. С. 155–156.
8. *Скворцов А. А.* Квазианалитическая оценка коэффициента широкополосности лунарного волновода // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы VII Междунар. научн.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов: Изд-во Першина Р. В., 2021. С. 89–91.
9. *Скворцов А. А.* Квазианалитические выражения для определения волнового сопротивления лунарного волновода с однородным диэлектрическим заполнением // Вопросы электротехнологии. 2017. № 3. С. 86–89.
10. *Скворцов А. А.* Квазианалитическая оценка предельной мощности, передаваемой по лунарному волноводу // САПР и моделирование в современной электронике: сб. науч. тр. IV Международной научно-практической конференции. Брянск: БГТУ, 2020. С. 416–419.

Материал принят к публикации 11.10.21.