

Расчет коэффициента затухания волны первого высшего типа в коаксиальной линии

А.А. Дьяченко

Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А

Аннотация: Показано, что для расчета коэффициента затухания волны первого высшего типа H_{11} , распространяющейся в коаксиальной линии могут быть использованы аналитические соотношения, взятые из теории волноводов. Тестирование полученных аналитических выражений проводилось с привлечением одного из пакетов прикладных программ на методе конечного интегрирования CST Microwave Studio. Достигнуто хорошее согласование численных и аналитических данных.

Ключевые слова: коаксиальная линия, первый высший тип, аналитическое и численное моделирование

1. Введение

Коаксиальные волноведущие структуры очень широко применяются в современной микроволновой и терагерцевой технике, как в качестве самостоятельных линий передачи, так и базовых элементов различных функциональных устройств: фильтров, согласованных нагрузок, аттенюаторов и т.д. Их электродинамические характеристики в основном определяются основной волной ТЕМ, параметры которой хорошо известны [1]. Однако диапазон рабочих частот любой коаксиальной линии передачи (КЛП) определяется критической частотой волны первого высшего типа H_{11} , которая также может распространяться в КЛП. Для расчета этого параметра в настоящее время применяются различные квазианалитические и численные методы. К примеру, в [2] для этих целей был использован метод поперечного резонанса, а критические частоты трех низших H- и E-типов волн КЛП в [3] были установлены с помощью метода конечных разностей во временной области. Исследованию другого важного параметра КЛП, а именно коэффициента затухания посвящено гораздо меньше работ. В частности, в [4] было исследовано влияние потерь во внутреннем и внешнем проводнике КЛП на величину затухания волн высшего типа. Метод возмущений и метод конечных элементов были использованы в [5] для расчета постоянных распространения типов волн H_{11} и E_{01} в КЛП.

2. Вывод аналитической модели расчета коэффициента затухания

В [1] было дано обоснование подхода к расчету критической длины волны первого высшего типа КЛП, базирующегося на аналогии в распределении поля этой волны и волны H_{20} изогнутого прямоугольного волновода (ПрВ), размеры которого связаны с размерами КЛП следующим образом:

$$a \approx \pi(r + R); \quad b = R - r \quad (1)$$

где a и b - размеры широкой и узкой стенок ПрВ; R и r - радиусы внешнего и внутреннего проводников КЛП. Тогда, критическая длина волны H_{11} -типа:

$$\lambda_c = \pi(r + R) \quad (2)$$

В данной работе с привлечением точных аналитических данных, установленных в [6] в ходе решения трансцендентного уравнения и методов аппроксимации, заложенных в системе математических расчетов MATLAB, было получено еще одно выражение для расчета критической длины волны H_{11} КЛП:

$$\frac{\lambda_c}{R} = -2.676\left(\frac{r}{R}\right)^3 + 4.7168\left(\frac{r}{R}\right)^2 + 0.7808\left(\frac{r}{R}\right) + 3.3998, D = 0.9998 \quad (3)$$

где D - коэффициент определения. Причем оба выражения (2) и (3) дают хорошее совпадение в пределах вариаций $0,1 \leq r/R \leq 0,9$.

Далее используя тот же подход что и в [1], примем допущение о возможной аналогии постоянных затухания двух волн высшего типа: волны H_{11} КЛП и волны H_{20} ПрВ. Тогда можно воспользоваться теорией волноводов и определить коэффициент затухания первого высшего типа КЛП как:

$$\alpha_{11}^{TE} = \frac{0.793(R(2\lambda^2 + \pi\lambda_c^2) - r(2\lambda^2 - \pi\lambda_c^2))}{\pi\lambda_c(R^2 - r^2)\sqrt{\sigma\lambda(\lambda_c^2 - \lambda^2)}} \quad (4)$$

где σ - электропроводность металлических стенок КЛП, λ - длина волны источника.

При этом значение критической длины волны в (4) можно найти с помощью (3).

3. Тестирование полученных результатов

Для тестирования соотношения (4) в данной работе была построена трехмерная численная модель регулярного отрезка стандартной КЛП ($R = 3,5$ мм; $r = 0.1R \dots 0.9R$) и методом конечного интегрирования, реализованного в пакете программ CST Microwave Studio были найдены зависимости постоянной затухания волны H_{11} в КЛП от изменяющихся длины волны (λ/λ_c) и размеров r/R .

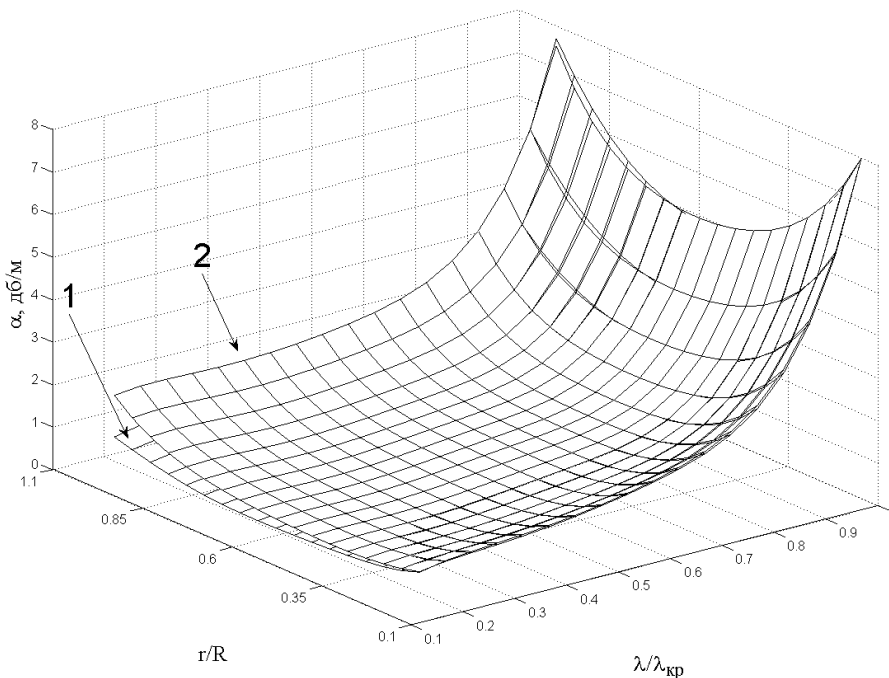


Рисунок 1. Зависимости постоянной затухания волны H_{11} в КЛП от нормированной длины волны (λ/λ_c) и размеров r/R : 1-численный метод (CST), 2-аналитический метод основанный на формуле (4)

Таким образом, проведенные исследования показали, что для анализа затухания волны первого высшего типа, распространяющейся в КЛП в первом приближении могут быть адаптированы аналитические соотношения из теории волноводов.

Список литературы

1. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика. - М.: Радио и связь, 2000 - 536 с.
2. Green H.Y. Determination of the cutoff of the first higher order mode in a coaxial line by the transverse resonance technique // IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques. - 1989. - Vol. 37. -N 10. -P. 1652-1653.
3. Pandey A.K., Adinarayanan K., Chakrabarty S.B., Kumar A., Sharma S.B. Higher order mode analysis of circular coaxial waveguides using finite difference // Indian J. Radio and Space Physics. -2205. -Vol. 34. -P. 285-288.
4. Jiao C.-Q., Zheng N., Luo J.-R. A comparison of the attenuation of high-order mode in coaxial waveguide due to inner and outer conductor losses // J. Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves. - 2010. - Vol. 31. -P. 858-865.
5. Hung C.-L., Yeh Y.S. The propagation constants of higher-order modes in coaxial waveguides with finite conductivity // Int. J. Infrared and Millimeter Waves.- 2005. - Vol. 26. - N 1. - P. 29-39.
6. Саусворт Д.К. Принципы и применения волноводной передачи. - М.: Советское радио, 1955 - 700 с.
7. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники - М.: Советское радио, 1967 - 652 с.