

09

Дисперсионные характеристики поверхностной волны ленточной гофрированной линии

© Е.М. Арсеньева, В.И. Калиничев, В.А. Калошин

Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, Москва
E-mail: vak@cplire.ru

Поступило в Редакцию 2 июля 2010 г.

Исследованы дисперсионные характеристики новой линии с малыми потерями УКВ–СВЧ диапазонов электромагнитных волн: ленточной гофрированной линии. С использованием метода конечных элементов проведено численное моделирование замедления и потерь основной моды линии в зависимости от ширины ленты и глубины гофра в широкой полосе частот.

В начале прошлого века А. Зоммерфельдом было теоретически показано, что однопроводная линия в виде круглого металлического провода может вести поверхностную волну [1]. Потери и замедление в такой линии при использовании металла с высокой проводимостью малы. Малое замедление однопроводной линии Зоммерфельда приводит к сильному излучению на изгибах. Для увеличения замедления в такой линии в работе [2] было предложено нанести на провод слой диэлектрика. Сравнительно недавно в работе [3] была предложена однополосковая (ленточная) линия на диэлектрической подложке, а в работе [4] — металлическая ленточная линия, в которой замедление, как и в линии Зоммерфельда [1], обеспечивается за счет конечной проводимости металла. Первая из них, как показано в работе [5], имеет малые потери и относительное замедление (относительно основной моды диэлектрической подложки) в СВЧ-диапазоне. Вторая линия, как показано в работе [4], обладает очень малыми потерями и замедлением в УКВ-диапазоне. В то же время хорошо известно, что малое замедление поверхностной волны приводит к большим потерям на изгибах [6].

К числу известных линий поверхностной волны с сильным замедлением относятся линии с гофрированной металлической поверхностью, исследование которых началось с середины прошлого века и продолжается по настоящее время [7–10]. Наиболее широкое применение

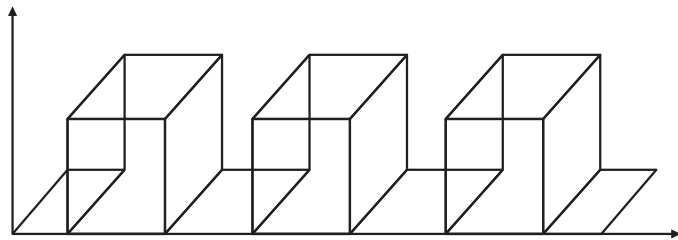


Рис. 1. Ленточная линия с прямоугольным профилем гофра.

такие линии в виде гофрированных волноводов получили в вакуумной электронике [8]. Еще одно применение — антенны поверхностной волны [9]. Следует отметить, что во всех этих линиях для формирования поверхностной волны используется односторонняя гофрированная поверхность.

В данной работе проведено исследование дисперсионных характеристик ленточной линии, две гофрированные стороны которой формируют поверхностную волну.

Исследуется линия из медной ленты с прямоугольным профилем гофра (рис. 1). Для исследования используется численное электродинамическое моделирование на основе метода конечных элементов. Для этого линия помещается внутри прямоугольного идеально проводящего резонатора. Анализ резонансных частот позволяет определить фазовую скорость в линии, а добротность колебания — тепловые потери. При достаточно большом удалении линии от боковых стенок резонатора эти характеристики совпадают с соответствующими характеристиками открытой линии.

На рис. 2 представлены результаты численного моделирования коэффициента замедления основной моды линии, равного отношению фазовой скорости этой моды к скорости света в свободном пространстве, в зависимости от частоты, глубины гофра и ширины ленты. На рис. 2, *a* ширина ленты исследуемой линии составляла 10 мм, период — 12.5 мм, а глубина гофра — 12.5, 7 и 5 мм. На рис. 2, *b* приведены результаты численного моделирования коэффициента замедления основной моды гофрированной линии в зависимости от частоты для глубины гофра и периода, равных 12.5 мм, и для трех значений ширины ленты 20, 10 и 5 мм.

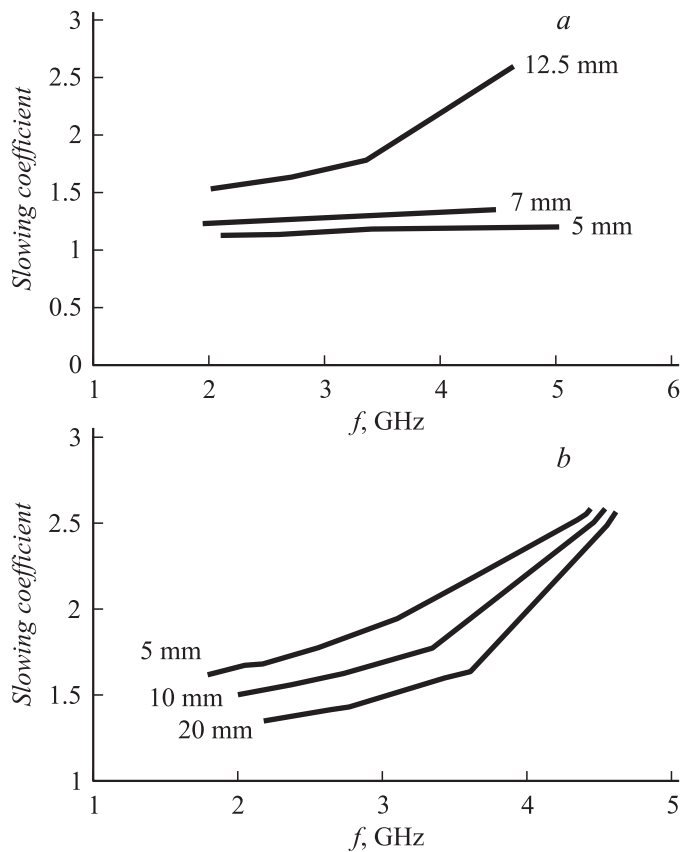


Рис. 2. Зависимость замедления от частоты: *a* — при разной глубине гофра, *b* — при разной ширине ленты.

На рис. 3 приведены результаты численного моделирования затухания основной моды гофрированной линии в зависимости от частоты для разной глубины гофра. На рис. 3, *a* ширина исследуемой линии, как и на рис. 2, *a*, равнялась 10 mm, период — 12.5 mm, а глубина гофра 12.5, 7 и 5 mm. На рис. 3, *b* приведены результаты численного моделирования затухания основной моды гофрированной ленты с глубиной гофра и периода 12.5 mm в зависимости от частоты для ширины ленты

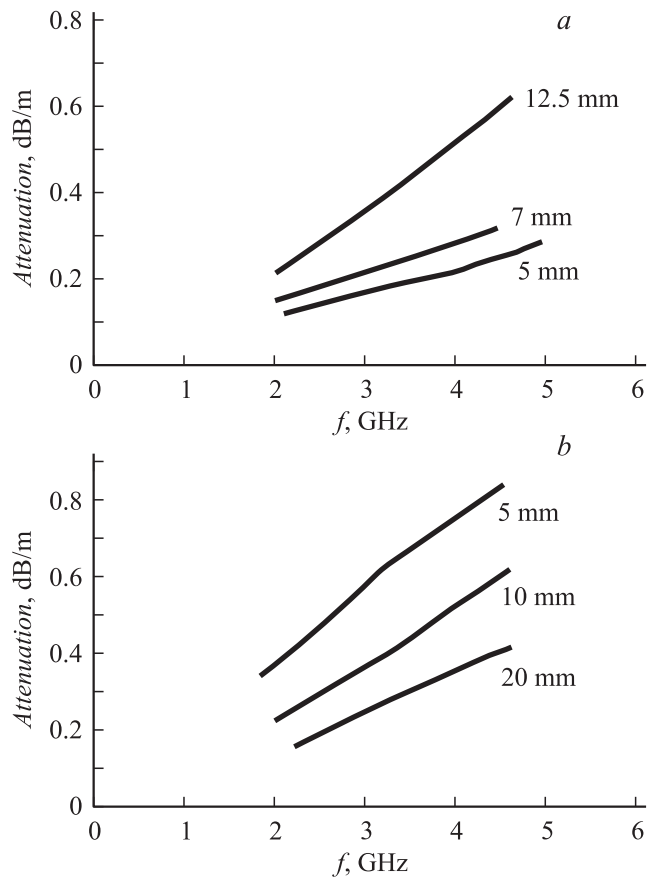


Рис. 3. Зависимость затухания от частоты: *a* — при разной глубине гофра, *b* — при разной ширине ленты.

5, 10 и 20 mm. При проведении численного моделирования толщина ленты составляла $18 \mu\text{m}$. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Как и в одноповерхностных гофрированных линиях, в ленточной гофрированной линии замедление и потери растут с увеличением глубины гофра и частоты, при этом рост резко увеличивается при

приближении глубины канавки к четверти длины волны в свободном пространстве.

2. В отличие от гофрированных полых металлических [8] и диэлектрических волноводов [6] с уменьшением ширины ленточной линии замедление и потери в ней растут.

3. С увеличением частоты разница в замедлении у ленточных гофрированных линий с разной шириной уменьшается, а разница в потерях — нет.

Список литературы

- [1] Зоммерфельд А. Электродинамика. М: ИЛ, 1958. С. 257–264.
- [2] Gubo G. // J. Appl. Phys. 1950. V. 21. P. 1119.
- [3] Шевченко В.В. Микрополосковый волновод. // Авт. свид. SU № 1626282 А1 СССР. Б.И. 1991. № 5. С. 150.
- [4] Fridman M., Fernsler R.F. // IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. 2001. V. 49. N 2. P. 341–348.
- [5] Бирюков В.Л., Калиничев В.И., Калошин В.А., Скородумова Е.А. // Радиотехника и электроника. 2009. Т. 54. № 10. С. 1226–1231.
- [6] Шевченко В.В. Плавные переходы в открытых волноводах. М.: Наука, 1969.
- [7] Rotman W. // Proc. IRE. 1951. V. 39. N 8. P. 192.
- [8] Силин А.В., Сазонов П. Замедляющие системы. М.: Сов. радио, 1966.
- [9] Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терешин О.Н. Антенные УКВ. М.: Связь, 1977. Ч. 2. С. 244–260.
- [10] Арсеньева Е.М., Калошин В.А. // Радиотехника и электроника. 2010. Т. 55. № 2. С. 174–178.