

НОВЫЕ ТИПЫ ЛИНИЙ ДЛЯ РАДИОСВЯЗИ В УКВ И СВЧ ДИАПАЗОНАХ ВОЛН

Арсеньева Е.М, Калинин В.И., Калошин В.А.

*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
yak@cplire.ru arseneva-evgeniy@mail.ru*

Предложены и исследованы два новых типа линий с малыми потерями: гофрированная и меандровая ленточные линии, которые позволяют обеспечить радиосвязь не только с фиксированными, но и с подвижными объектами. С использованием метода конечных элементов проведено численное моделирование дисперсионных характеристик замедления и потерь основной моды линий в зависимости от параметров в широкой полосе частот

В настоящее время для обеспечения радиосвязи с подвижными объектами используется, как правило, либо открытый радиоканал, либо излучающий коаксиальный кабель. К числу недостатков таких систем относится в первую очередь низкое качество сигнала, связанное с рассеянием и интерференцией излученных сигналов. Этот недостаток особенно сильно проявляется при связи в туннелях. Кроме того, в открытом радиоканале сигналы быстро затухают из-за расходимости излучения и тепловых потерь в дождях, а в излучающем коаксиальном кабеле – из-за излучения и тепловых потерь внутри кабеля. К недостаткам линий связи на основе излучающего коаксиального кабеля относится также их высокая стоимость.

В данной работе предлагаются два новых типа линий для решения задачи обеспечения радиосвязи с фиксированными и мобильными объектами, расположенными на небольшом расстоянии от линии связи. Такая ситуация возникает, например, при связи с подвижными объектами на дороге, в туннеле и т.п. Общим для предложенных в данной работе линий является то, что они являются периодически неоднородными ленточными линиями, а их основная мода является замедленной поверхностной волной. В связи с этим, в отличие от излучающего кабеля, эта мода не излучается вдоль линии и имеет только тепловые потери. Эти потери зависят от величины замедления рабочей моды, диапазона частот и, как будет показано, при надлежащем выборе параметров могут быть весьма малы. Поскольку амплитуда поверхностной волны экспоненциально падает с удалением от линии, даже при не очень хорошем согласовании антенны мобильного абонента с модой линии амплитуда рассеянной волны - невелика и она практически не может повлиять на качество связи. Рассеяние на окружающих предметах, в том числе соседних абонентах, также не может повлиять на качество связи с мобильным объектом, если он не находится в непосредственной близости от рассеивателя, находящегося близко к линии. Влияние рассеяния может быть дополнительно уменьшено за счет антенны, если в качестве последней использовать направленный ответвитель поверхностной волны.

В начале прошлого века А.Зоммерфельдом было теоретически показано, что металлический провод с потерями может вести поверхностную волну [1]. Потери и замедление в такой линии при использовании провода 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. Другой известный способ увеличения замедления – гофрирование поверхности, использовался, главным образом, в закрытых волноводах [3]. Сравнительно недавно в работе [4] была предложена однополосковая (ленточная) линия на диэлектрической подложке, а в работе [5] – ленточная перфорированная линия. Первая из них, как показано в работах [6-7] обладает в 2-3 раза меньшими потерями в СВЧ и миллиметровом диапазонах волн по сравнению с микрополосковой линией, а вторая, как показано в работе [5], обладает малыми потерями в УКВ диапазоне волн.

В данной работе для связи в УКВ и СВЧ диапазонах волн предложены и исследованы меандровая и гофрированная ленточные линии. Каждая из них представляет собой периодически изогнутую металлическую ленту. Меандровая линия изгибается в плоскости ленты (рис.1), а гофрированная – в ортогональной плоскости (рис.2).

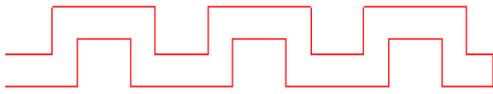


Рис.1. Меандровая планарная линия

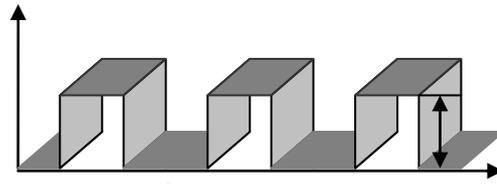


Рис.2. Гофрированная линия

Начнем рассмотрение с исследования дисперсионных характеристик гофрированной линии из медной ленты с прямоугольным профилем гофра (рис.2). На рис.3 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. Фазовая скорость моды находилась в результате построения на основе метода конечных элементов электродинамической модели прямоугольного резонатора с помещенным внутри него отрезком исследуемой линии и определения собственных частот резонатора. Ширина ленты исследуемой линии 10 мм, период – 12,5 мм, а глубина гофра -12,5мм; 7 мм, и 5мм.

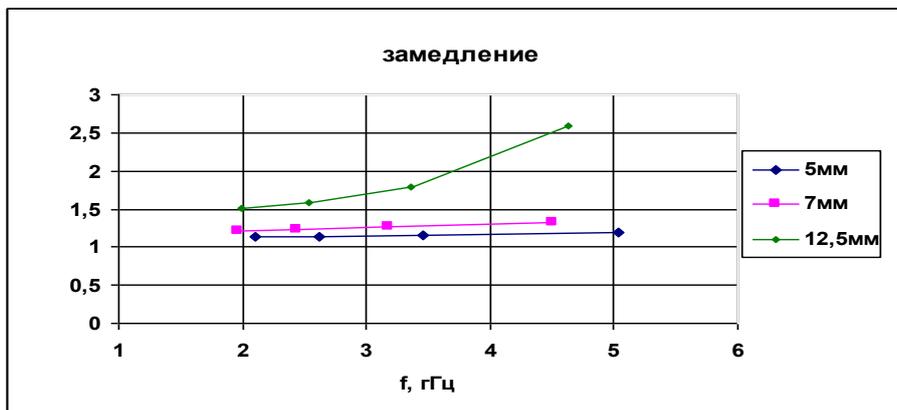


Рис.3. Зависимость замедления от частоты при разной глубине гофра

На рис.4 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.

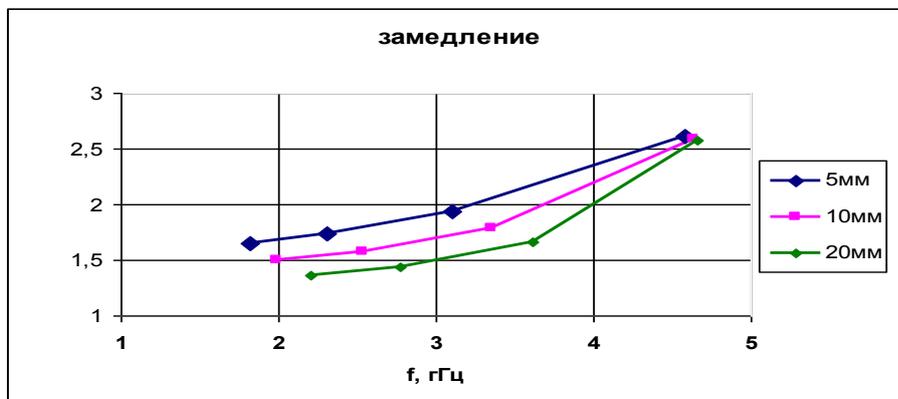


Рис.4. Зависимость замедления от частоты при разной ширине ленты

Необходимо отметить интересный эффект, заключающийся в том, что уменьшение ширины ленты приводит к увеличению коэффициента замедления.

На рис.5 приведены результаты численного моделирования затухания основной моды гофрированной линии в зависимости от частоты для разной глубины гофра. Ширина исследуемой линии, как и на рис.3, равнялась 10 мм, период – 12.5 мм, а глубина гофра 12,5; 7 и 5мм. Для сравнения верняя кривая на рис.5 обозначает частотную зависимость потерь в медной 50-омной коаксиальной линии диаметром 3 мм без учета тепловых потерь в диэлектрике. Как видно из рисунка, даже при этом потери в коаксиальной линии существенно выше, чем в гофрированной ленточной линии при заданных ширине и периоде.

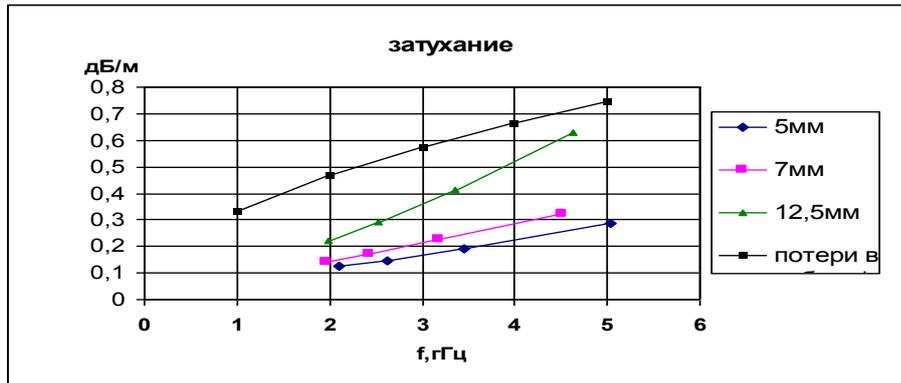


Рис.5. Зависимость затухания от частоты при разной глубине гофра

На рис.6 приведены результаты численного моделирования затухания основной моды гофрированной линии в зависимости от частоты для разной ширины ленты 5, 10 и 20 мм. Период и глубина гофра 12.5 мм.

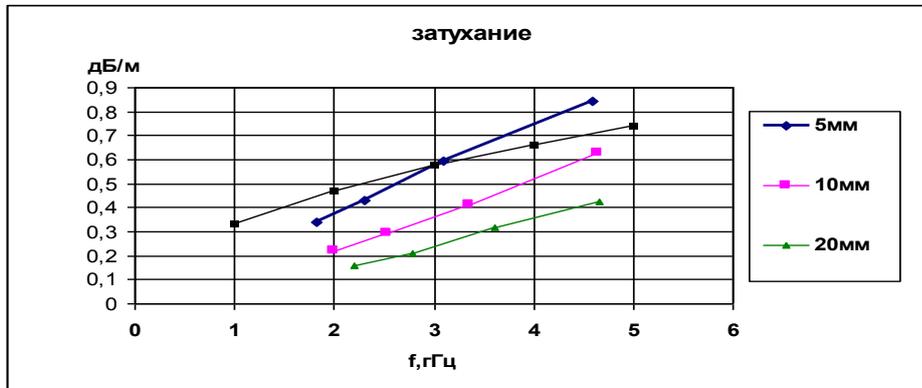


Рис.6 Зависимость затухания от частоты при разной ширине ленты. Период и глубина гофра 12.5 мм

Из рисунка видно, что с уменьшением ширины ленты потери в ней быстро растут, вместе с ростом замедления. При ширине линии 5 мм замедление увеличивается настолько, что потери в такой линии превосходят потери в 50-ом кабеле на частотах выше 3 ГГц.

На рис. 7, 8 представлены аналогичные частотные зависимости замедления и затухания для планарной меандровой линии с прямоугольным профилем (см. рис. 1). Ширина проводника линии 2 мм, толщина полоски 18 мкм. Параметром является ширина линии, равная в данном случае 3, 10 и 20 мм, определяемая как расстояние между центрами смежных горизонтальных полосок. Полная ширина линии, измеряемая между наружными краями этих полосок, на ширину полоски больше и равна, соответственно, 5, 12 и 22 мм.



Рис.7. Зависимость замедления от частоты для меандровой планарной линии при разной ширине

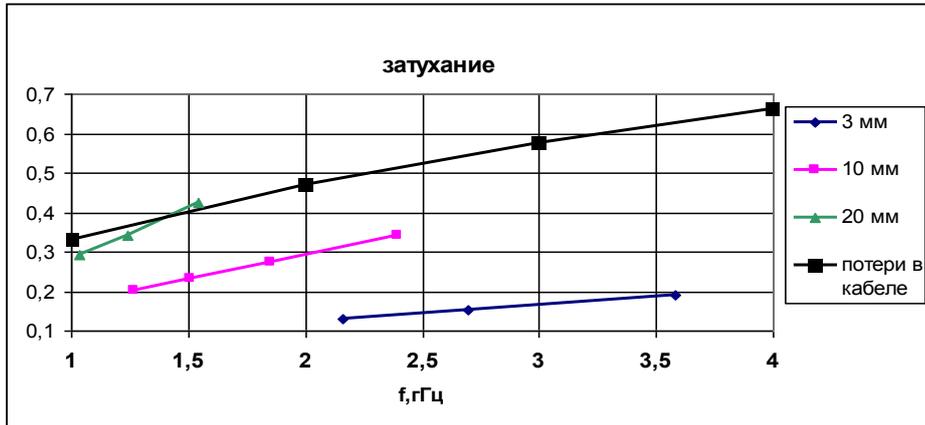


Рис.8. Зависимость затухания от частоты для меандровой планарной линии при разной ширине

Как видно из рис. 7, для данной линии коэффициент замедления быстро увеличивается при увеличении ширины линии. Одновременно происходит увеличение затухания в линии. Из рис. 8 следует, что при ширине линии порядка 10 мм ее затухание идет ниже затухания коаксиальной линии. Для более широкой линии ее затухание быстро возрастает, и при ширине линии 20 мм превосходит затухание в коаксиальной линии, начиная уже с частоты 1.5 ГГц. При ширине линии менее 10 мм ее затухание существенно снижается, но при этом происходит и уменьшение коэффициента замедления до уровня, при котором практическое использование такой линии может стать затруднительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Зоммерфельд, Электродинамика, М.:ИЛ, 1958. С.267-264.
2. G.Gubo, Surface waves and their applications to transmission lines, J.Appl.Phys., 1950, V.21, P.1119.
3. Р.А.Силин, В.П.Сазонов, Замедляющие системы, М.:Сов. Радио, 1966, 632 с.
4. В.В. Шевченко, Микрополосковый волновод: Авт. свид. SU № 1626282 А1 СССР // Б.И. 1991. №5. С. 150.
5. M. Friedman, R. F. Fernsler, Low-Loss RF Transport Over Long Distances, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, 2001, V. 49, No 2, P.341-348.
6. Е.М.Арсеньева, В.И.Калиничев, В.А.Калошин, Дисперсионные характеристики однополосковой линии на однослойной диэлектрической подложке// ЖРЭ, 2008, №12
7. В.Л. Бирюков, В.И. Калиничев, В.А. Калошин, Е.А. Скородумова, Исследование дисперсионных характеристик полосковых линий передачи в сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн// Радиотехника и электроника, 2009, Т. 54, №10.С.1226-1231

8. Е.М.Арсеньева, В.И.Калиничев, В.А.Калошин, Поверхностные волны над трапециевидно гофрированной поверхностью//ЖРЭ, 2008, №6.
9. E.M.Arsenyeva, V.I.Kalinichev, V.A.Kaloshin Surface waves in trapezoidal corrugated strip line// Proc. of 12 Int. Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory, June 2008, Odesa
10. Е.М.Арсеньева, В.А.Калошин, Поверхностные волны над трапецидально гофрированной поверхностью//// Радиотехника и электроника, 2010, Т. 55, №1 (в печати)