

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ МЕАНДРОВЫХ ЛИНИЙ

Г. Г. Грачёв, В. А. Калошин

Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН

Получена 8 декабря 2011 г.

Аннотация: Исследуются 2 вида делителей мощности – планарный и пространственный, реализованных на основе однопроводниковой ленточной меандровой линии (ЛМЛ) с прямоугольным меандром. Исследования проведены с использованием 2-х численных методов – метода моментов (ММ) и метода конечных элементов (МКЭ).

Ключевые слова: делитель мощности, меандровая линия, устройства СВЧ.

Abstract. Two types of power dividers – planar and 3-dimensional - on the base of single strip meander line were developed and investigated. Investigation was conducted by numerical simulations on the base of the FEM and MM.

Keywords: power dividers, microwave elements, meander line.

Введение

В данной работе приводится исследование делителей мощности на основе ленточной меандровой линии (далее ЛМЛ), выполненной в виде прямоугольного меандра (рис.1). Эта линия поверхностной волны была предложена в [1]. Дисперсионные свойства таких линий были исследованы в работе [2], а в работе [3] рассмотрена задача их возбуждения.

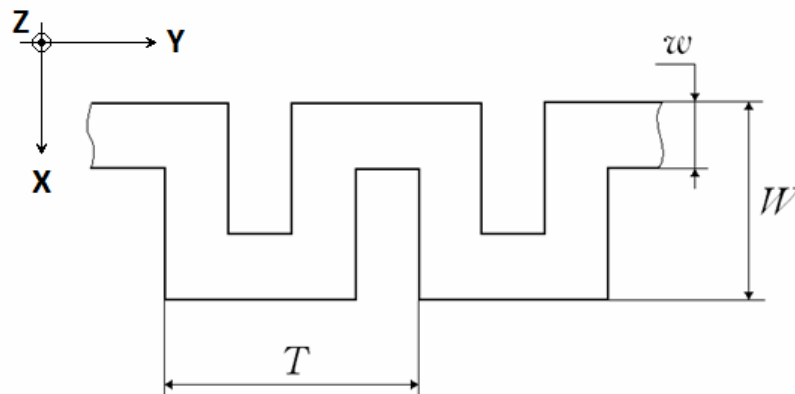


Рис. 1. ЛМЛ с прямоугольным меандром. T – период меандра, W – ширина линии, w – ширина полоска.

Целью данной работы является исследование 2 видов делителей мощности: планарного делителя, конструкция которого расположена полностью в плоскости ленты ХУ (рис. 2а) и пространственного, деление мощности в котором осуществляется на каналы, расположенные в плоскости, ортогональной ЛМЛ YZ (рис. 2б). Планарный делитель не симметричен, поскольку ЛМЛ не обладает симметрией относительно плоскости YZ, – один из каналов (ЛМЛ2 на рис.2а) является как бы продолжением входного, а другой (ЛМЛ3 на рис. 2б) – зеркальным ему. Пространственный делитель обладает симметрией относительно плоскости ХУ. Данное исследование проводится для делителей мощности на 2 канала.

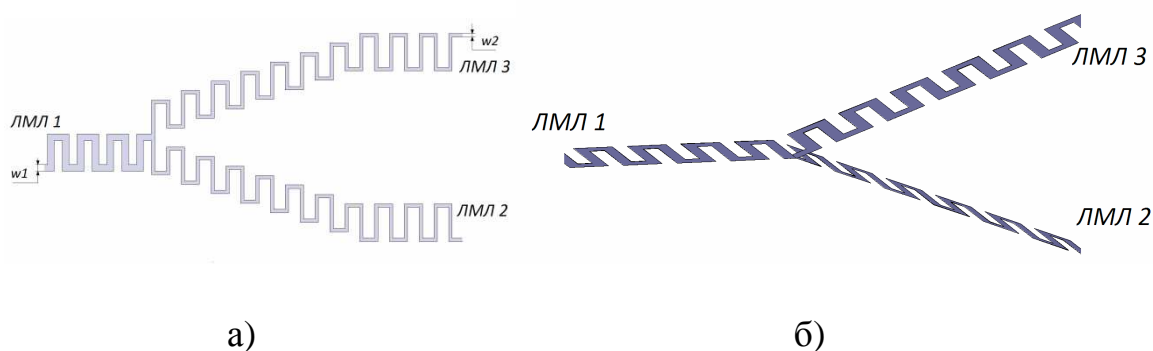


Рис. 2. Модели планарного (а) и пространственного (б) делителей мощности на основе ЛМЛ в виде прямоугольного меандра. ЛМЛ1 – входной канал, ЛМЛ2 и ЛМЛ3 – выходные.

Исследование проведено при помощи численного моделирования с использованием двух методов - метода конечных элементов (МКЭ) и метода моментов (ММ). ММ был использован для нахождения параметров ЛМЛ, обеспечивающих хорошее согласование с коаксиальным возбудителем и нахождения геометрических параметров ЛМЛ и рабочего частотного диапазона удобных для дальнейшего лабораторного изучения устройств построенных на ЛМЛ. Собственно исследование делителей проведено с помощью МКЭ.

Численный расчёт выполнен для делителей с коаксиальными переходами на каждом канале. Для получения значений полных потерь мощности волны в делителе из полученных результатов были вычтены потери, рассчитанные для эквивалентной модели возбудителей ЛМЛ. Для учёта мощности, отражённой от

возбудителей, которая для эквивалентной модели оказалась не меньше -25 дБ, при расчёте птерь делителя была введена соответствующая поправка.

В первой части работы проведено исследование дисперсионных характеристик планарного делителя мощности в зависимости от ширины полоска выходных ЛМЛ при фиксированном значении угла между ними -18° и в зависимости от угла между выходными ЛМЛ при фиксированной ширине ленты выходных каналов $w_2=1,8$ мм. Далее исследовались дисперсионные характеристики пространственных делителей мощности (рис. 2б) в зависимости от угла между выходными каналами, а так же их зависимость от величины зазора между входным каналом ЛМЛ1 и одним из выходных – ЛМЛ3 (рис.3).

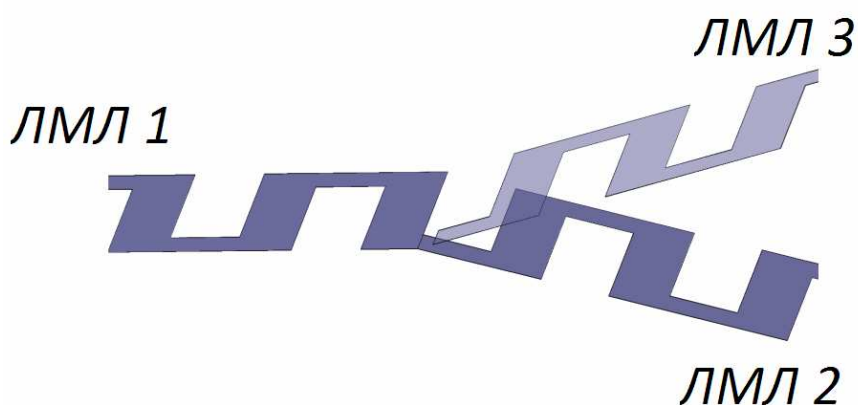


Рис. 3. Бесконтактный пространственный делитель мощности.

1. Планарный делитель мощности на ЛМЛ

Частотные характеристики полных потерь и величины отражённой мощности приведены на рис. 4 и 5, соответственно. Как можно видеть из приведённых результатов, величина отражённой мощности и общие потери в делителе с уменьшением ширины полоска падают. При этом наблюдается линейная зависимость потерь (в дБ) на излучение от ширины полоска. Колебательный характер дисперсионных характеристик обусловлен интерференцией отраженных от возбудителей волн, которую исключить не удалось поскольку учёт потерь в возбудителях проводился энергетически, без учета фаз отраженных волн.

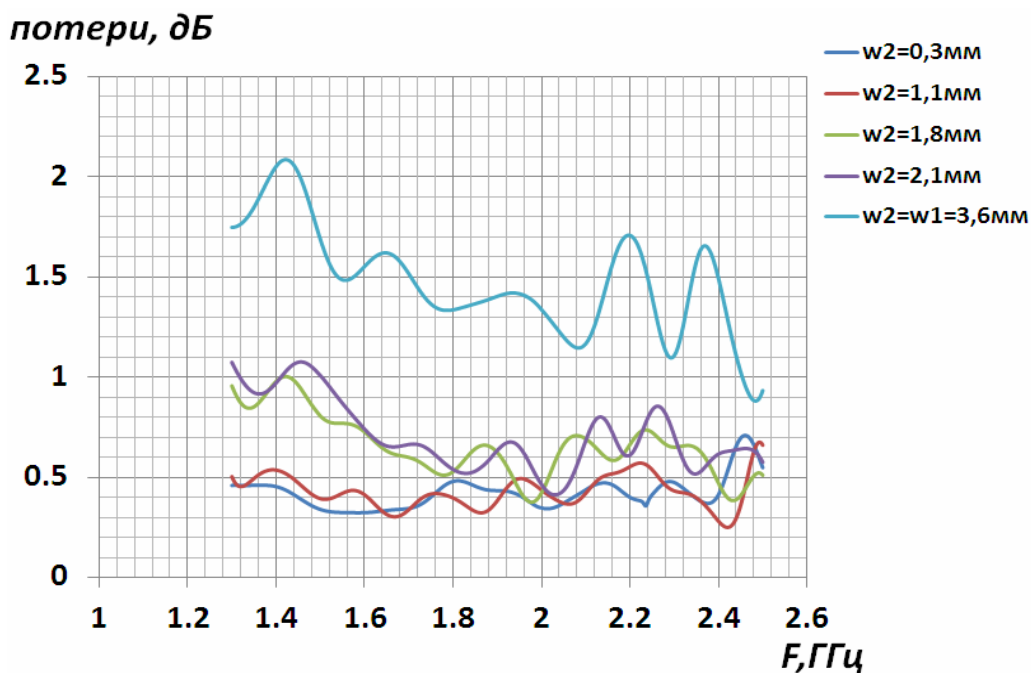


Рис. 4. Частотная характеристика потерь мощности планарного делителя на ЛМЛ. Вход делителя – ЛМЛ с шириной ленты $w_1 = 3,6$ мм. Голубой график – ширина ленты ЛМЛ выходных каналов $w_2 = w_1 = 3,6$ мм; сиреневый график – $w_2 = 2,1$ мм; жёлтый график – $w_2 = 1,8$ мм; красный – $w_2 = 1,1$ мм; синий – $0,3$ мм.

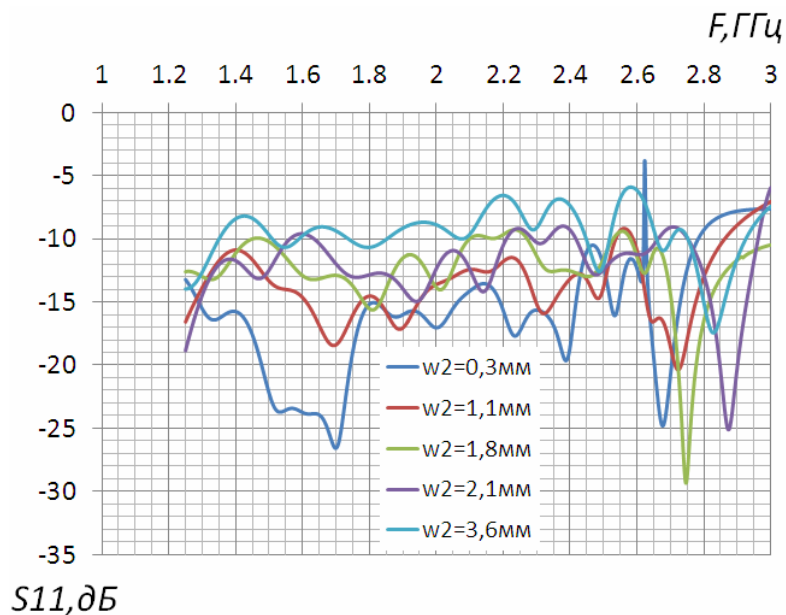


Рис. 5. Частотная характеристика отражённой мощности в планарных делителях на ЛМЛ в зависимости от ширины ленты выходных каналов w_2 : Голубой график – $w_2 = w_1 = 3,6$ мм; сиреневый график – $w_2 = 2,1$ мм; жёлтый график – $w_2 = 1,8$ мм; красный – $w_2 = 1,1$ мм; синий – $0,3$ мм.

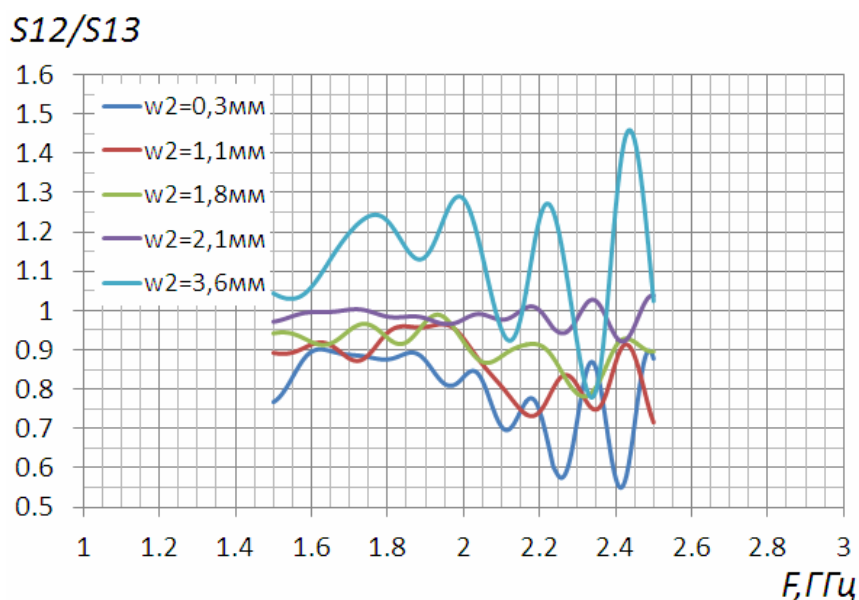


Рис. 6. Частотная характеристика коэффициента деления мощностей в планарных делителях на ЛМЛ в зависимости от ширины полоска выходных каналов w_2 : Голубой график – $w_2 = w_1 = 3,6 \text{ мм}$; сиреневый график – $w_2 = 2,1 \text{ мм}$; жёлтый график – $w_2 = 1,8 \text{ мм}$; красный – $w_2 = 1,1 \text{ мм}$; синий – $0,3 \text{ мм}$.

На рис. 6 приведены частотные характеристики коэффициента деления мощности S_{12}/S_{13} для делителей с разными значениями ширины полосков выходных ЛМЛ. Как можно видеть из рисунка, коэффициент деления в полосе частот достаточно сильно отличается от 1. Неравенство деления мощности в планарных делителях обусловлено отсутствием симметрии ЛМЛ в плоскости YZ . Наиболее равномерное деление мощности происходит в делителе с шириной полоска выходных ЛМЛ $w_2 = 2,1 \text{ мм}$, причём с увеличением или уменьшением w_2 , большая часть мощности ответвляется либо в один либо другой канал.

На рис. 7 приведены частотные характеристики потерь мощности в делителе при углах между выходными каналами 18, 25, 20, 25 градусов. Как видно из графиков, потери мощности нелинейно растут с увеличением угла, при этом при небольших углах в диапазоне частот 1,3 – 2 ГГц с увеличением угла на 5° наблюдается рост потерь на 0,1 – 0,2 дБ. Отметим так же, что изменение потерь с частотой при разных углах делителя происходит синфазно, следовательно фазовое смещение в таких делителях слабо зависит от угла между выходными каналами. Величина отражённой мощности, как следует из

характеристик, приведённых на рис. 8, с увеличением угла растёт мало – на 0,1-0,2 дБ каждые 5', не превышая величины -9дБ в исследованной области.

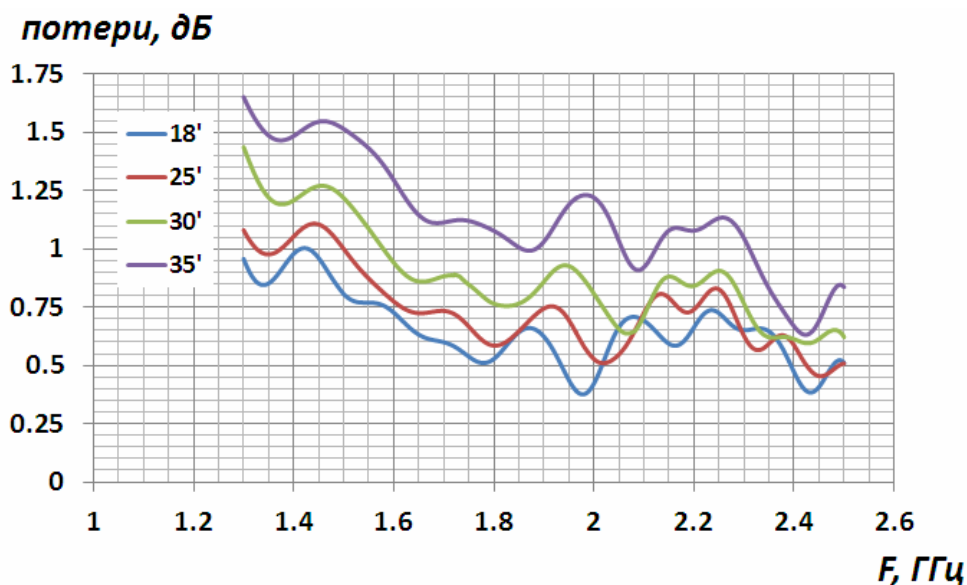


Рис.7. Частотная характеристика потерь мощности в планарном делителе мощности на ЛМЛв зависимости от угла между выходными каналами – 18' – голубой, 25' – красный, 30' – жёлтый и 35' – сиреневый графики.

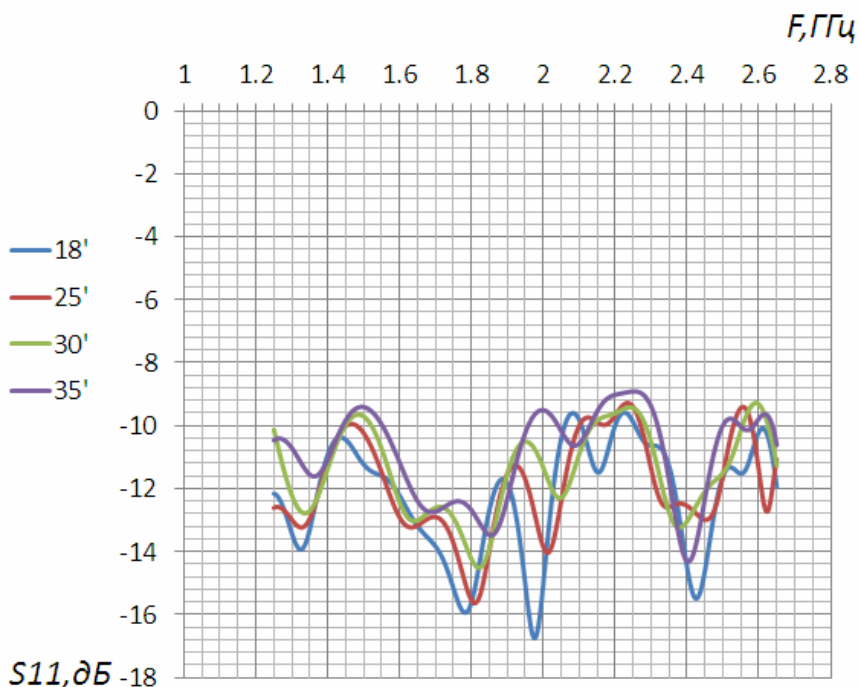


Рис. 8. Частотная характеристика величины отражённой мощности в планарном делителе на ЛМЛ в зависимости от угла между выходными каналами: – 18' – голубой, 25' – красный, 30' – жёлтый и 35' – сиреневый графики.

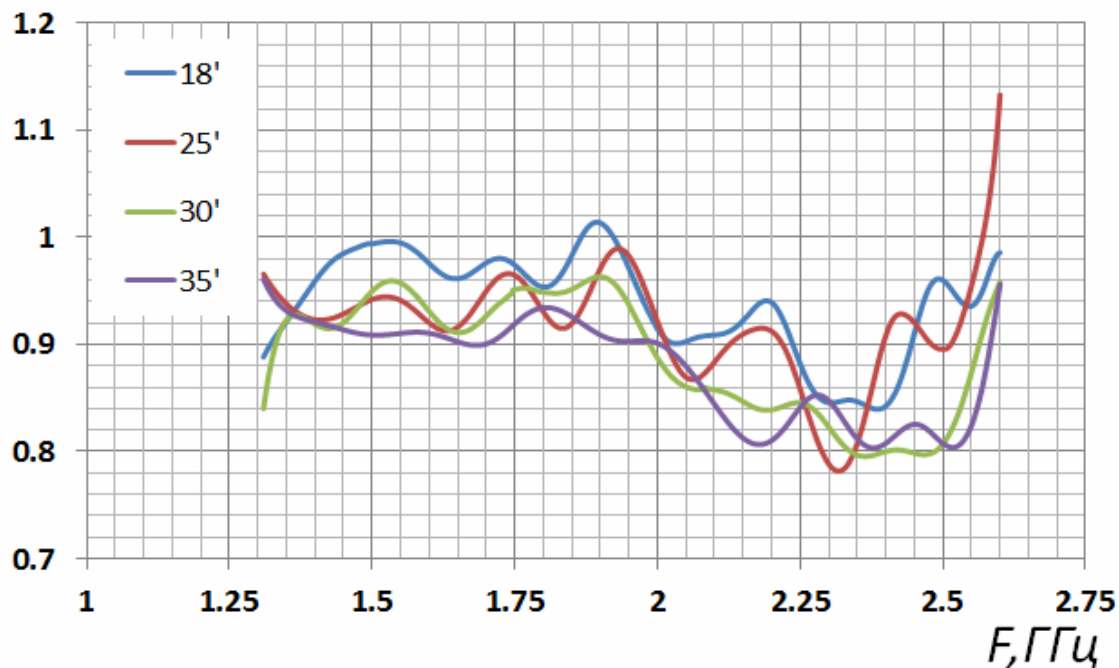
S_{12}/S_{13} 

Рис. 9. Частотная характеристика коэффициента деления мощности в планарном делителе на ЛМЛ в зависимости от угла между выходными каналами: – 18' – голубой, 25' – красный, 30' – жёлтый и 35' – сиреневый графики.

На рис.9 приведены частотные зависимости коэффициента деления мощности от угла между выходными каналами. Как видно из приведённых результатов, S_{12}/S_{13} с ростом частоты с 1,25 ГГц до 2,6 ГГц меняется в пределах от 1 до 0,8 и слабо зависит от угла между выходными каналами.

2. Пространственный делитель мощности

Дисперсионные характеристики пространственного делителя мощности приведены на рис. 10-12.

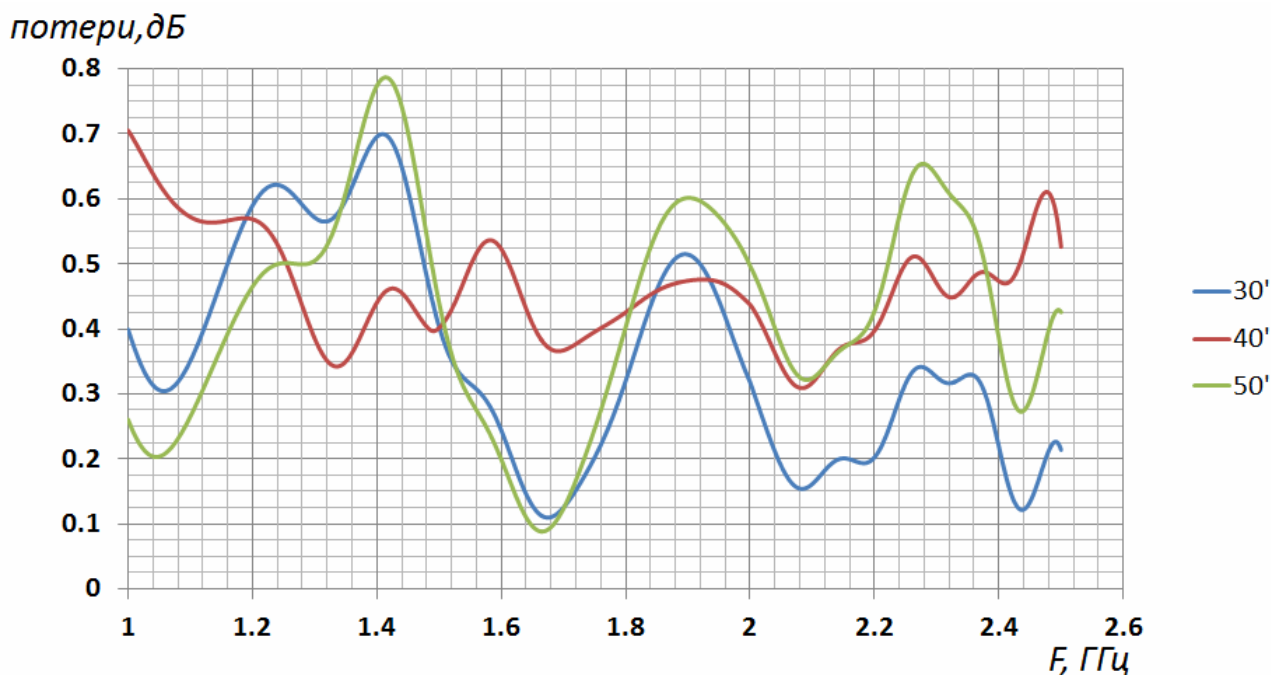


Рис.10. Частотная характеристика потерь мощности в пространственном делителе мощности на ЛМЛ-П в зависимости от угла между выходными каналами: 30°, 40°, 50° – жёлтый, синий и красный графики соответственно.

На рис. 10 приведены частотные зависимости потерь мощности в пространственных делителях с углами между выходными каналами 30, 40 и 50 град. Из графиков видно, что потери мощности в таком делителе весьма малы, при этом с изменением частоты их величина колеблется между значениями 0 - 0,7дБ.

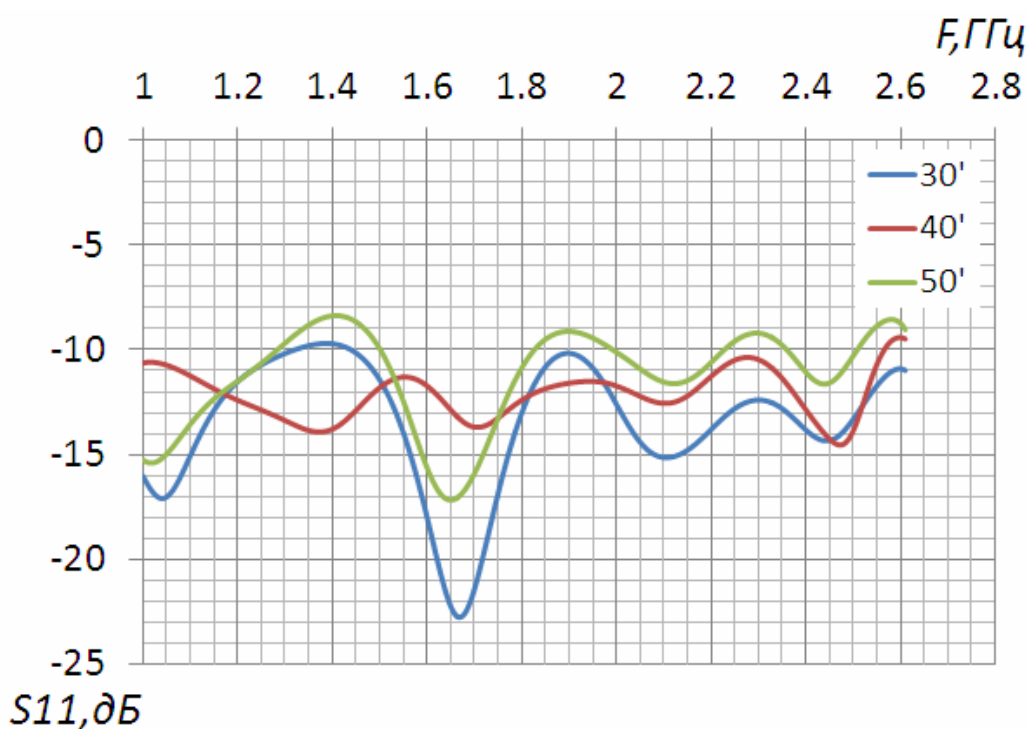


Рис. 11. Частотная характеристика величины отражённой мощности в зависимости от угла между выходными каналами: 30°, 40°, 50° – голубой, красный и жёлтый графики соответственно.

Как видно из рис. 11, максимальная величина отражённой мощности в таких делителях с увеличением угла между выходными каналами на 10° растёт примерно на 1дБ.

Частотная зависимость коэффициента деления в пространственных симметричных делителях на ЛМЛ приведены на рис. 12. Как видно из приведённых результатов, мощности волн симметричных каналов таких делителей равны, а смещение фазы волны в таких делителях зависит от угла между выходными ЛМЛ, что видно по колебаниям дисперсионных характеристик.

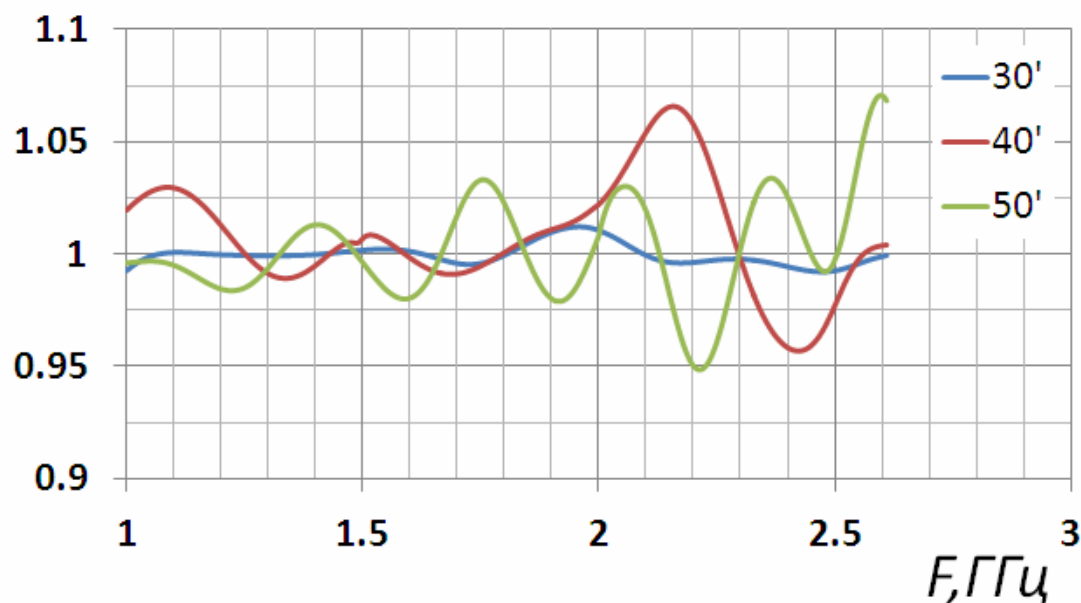
S_{12}/S_{13} 

Рис. 12. Частотная характеристика коэффициента деления мощности в зависимости от угла между выходными каналами: 30°, 40°, 50° – голубой, красный и жёлтый графики соответственно.

Результаты исследования характеристик пространственных делителей, где один из выходных каналов (ЛМЛЗ) не имеет гальванической связи с входным (Рис.3), приведены на рис. 13-15. Исследование проводилось для модели с углом между выходными ЛМЛ = 30°.

На рис. 13 приведены частотные зависимости потерь мощности в безконтактном пространственном делителе. Для сравнения приведены характеристики Как можно видеть, наличие даже маленькой щели ($0,1\text{мм} \approx 1,5 \cdot 10^{-3} \lambda$) приводит к уменьшению потерь с 0,7–0,5 дБ до 0,3–0,2 дБ и величины отражённой мощности в делителе (рис. 14) с -10дБ до -13дБ.

На рис. 15 приведены частотные зависимости коэффициента деления мощности для разных расстояний между входным и одним из выходных каналов. Из графиков видно, что наличие щели приводит к дополнительному сдвигу фаз в делителе, поскольку амплитуда колебаний зависимости S_{12}/S_{13} от частоты с появлением щели становится больше, появляется зависимость среднего значения коэффициента деления от частоты.

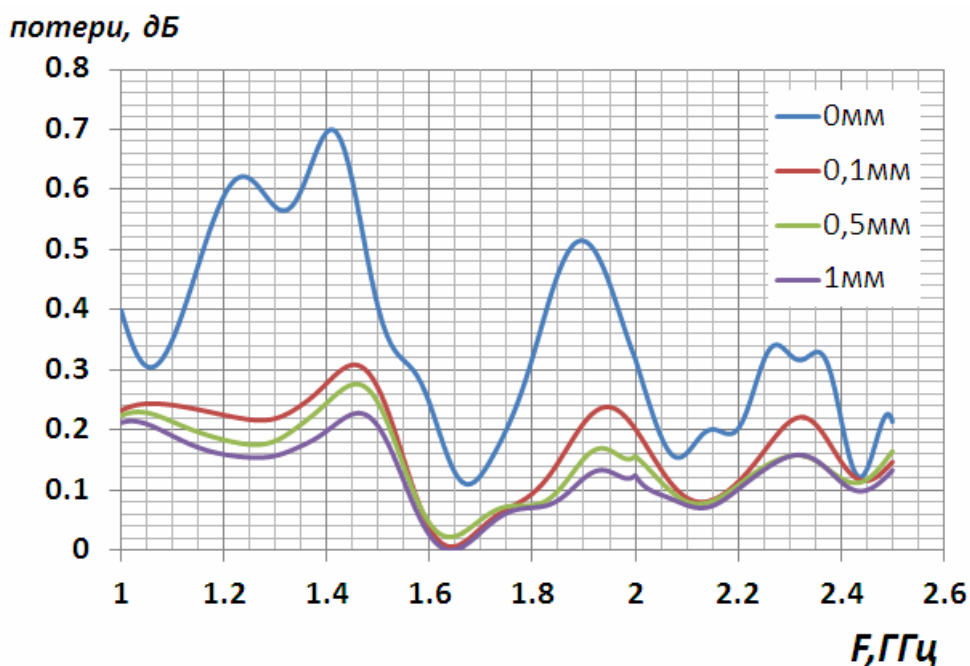


Рис. 13. Частотная характеристика потерь в безконтактном пространственном делителе мощности на ЛМЛ в зависимости от расстояния между основным и одним из выходных каналов: 0, 0,1, 0,5 и 1мм – голубой, красный, жёлтый и сиреневый график соответственно.

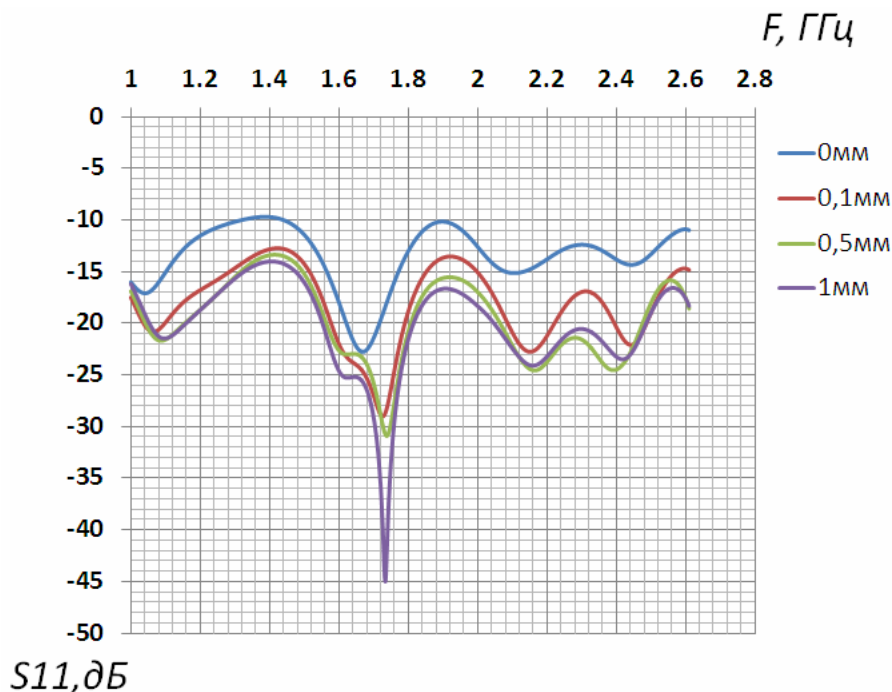


Рис. 14. Частотная характеристика величины отражённой мощности в зависимости от ширины щели: 0, 0,1, 0,5 и 1мм – голубой, красный, жёлтый и сиреневый графики соответственно.

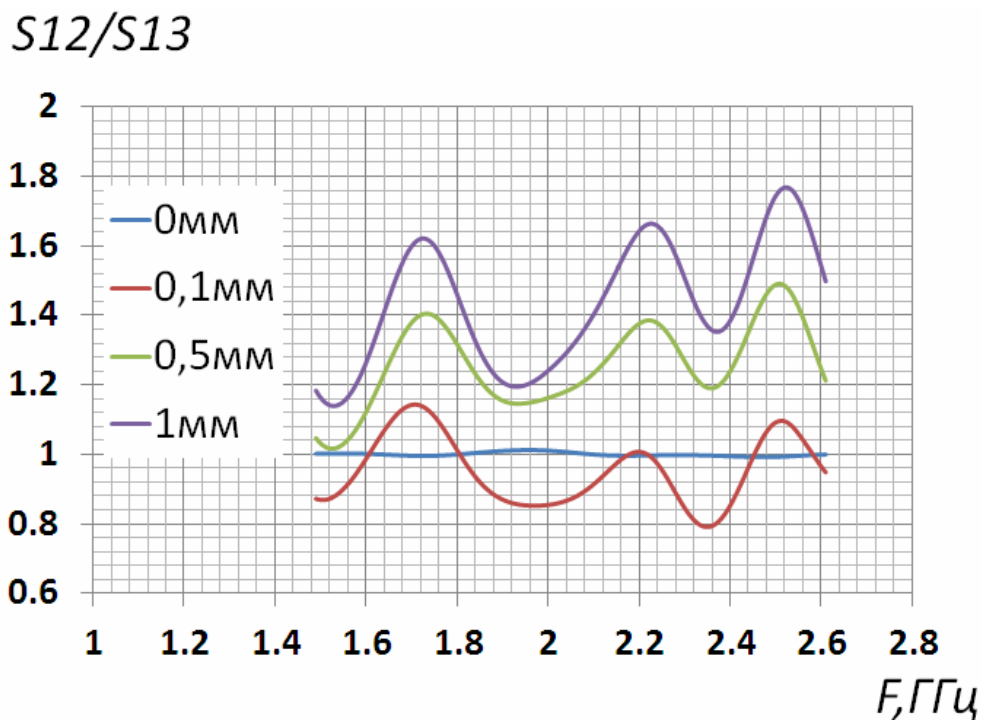


Рис. 15. Частотная характеристика коэффициента деления мощности в зависимости от ширины щели: 0, 0,1, 0,5 и 1 мм – голубой, красный, жёлтый и сиреневый графики соответственно.

Выводы

В данной работе показана возможность создания планарных и пространственных делителей мощности на ЛМЛ. Отличительными особенностями планарных делителей мощности на ЛМЛ является значительное уменьшение ширины полоска выходных ЛМЛ при построении эффективных делителей. Заданный коэффициент деления в них осуществляется путём подбора параметров выходных ЛМЛ, например ширины полоска, как было сделано в настоящей работе. Пространственные делители, в силу симметрии структуры ЛМЛ относительно плоскости полоска, реализуют равное деление мощности между выходными каналами. Заданный коэффициент деления при этом можно получить изменением ширины щели между входным и одним из выходных каналов. В выходных каналах этих делителей возможно сохранение геометрии входной ЛМЛ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 10-07-00709-а.

Литература

1. *Арсеньева Е.М., Калинин В.И., Калошин В.А.* Новые типы линий для радиосвязи в УКВ и СВЧ диапазонах. Труды 3-й Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь», Москва, 2009, (<http://jre.cplire.ru/jre/library/3conference/pdffiles/pd007.pdf>).
2. *Арсеньева Е.М., Калинин В.И., Калошин В.А.* Исследование дисперсионных характеристик поверхностной волны в однопроводниковой меандровой линии. Журнал Радиоэлектроники, 2011, №1 (<http://jre.cplire.ru/jre/jan11/4/text.pdf>).
3. *Грачёв Г.Г., Калошин В.А.* Исследование двух способов возбуждения меандровых линий. Журнал Радиоэлектроники, 2011, №3 (<http://jre.cplire.ru/jre/mar11/5/text.pdf>).