

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ОДНОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ

Г. Г. Грачев, В. И. Калинин, В. А. Калошин

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

Получена 14 января 2010 г.

Аннотация. Предложены и исследованы два типа делителей мощности (последовательный и параллельный) на основе однополосковой линии. Исследование проведено путем численного моделирования на основе метода конечных элементов. Проведено сопоставление результатов численного исследования и физического эксперимента.

Ключевые слова: делитель мощности, однополосковая линия, метод конечных элементов.

Введение

В сантиметровом и более коротковолновых диапазонах волн микрополосковая линия (МПЛ) обладает высокими омическими потерями. В качестве альтернативы МПЛ в работе [1] была предложена однополосковая линия (ОПЛ) или в терминах работы [1] - микрополосковый волновод. Поперечное сечение ОПЛ приведено на рис.1. Исследования дисперсионных свойств, потерь и способов возбуждения проведено в работах [2-8]. В работах [9,10] были исследованы некоторые типы излучателей на основе ОПЛ. Однако, для построения печатных схем СВЧ и антенных решеток, необходимо провести исследование возможности построения эффективных делителей мощности. В настоящей работе приведено численное моделирование (методом конечных элементов) различных конструкций делителей мощности на основе ОПЛ. Приводятся результаты

экспериментального исследования делителей с последовательным ответвлением мощности.

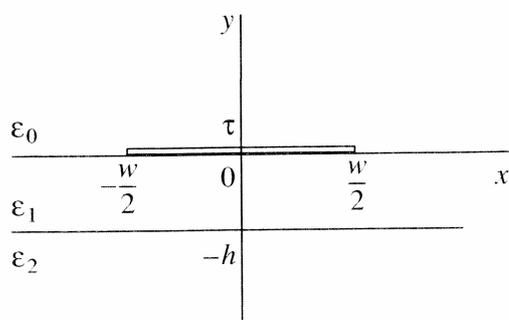


Рис.1. Поперечное сечение ОПЛ

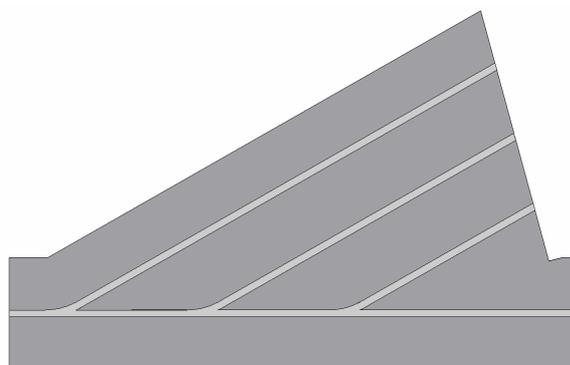


Рис.2. Последовательный односторонний делитель мощности с гальванической связью

1. Делители мощности с с последовательным ответвлением

В делителях мощности с последовательным ответвлением парциальная мощность из основного, прямолинейного канала, последовательно отводится в боковые каналы, расположенные под углом к основному. Такое ответвление может быть выполнено как гальванически, т.е. путем электрического контакта основного и боковых каналов (рис.2), так и бесконтактно, путем формирования зазора между основным и боковым каналами на одной стороне подложки (рис.3) или на разных сторонах подложки (рис.4). Следует отметить, что в последовательных делителях угол между основным и боковыми каналами с одной стороны должен быть достаточно большим, что бы обеспечить заданное количество каналов при заданной длине делителя, а с другой стороны - достаточно малым, что бы обеспечить приемлемую величину отражённой мощности. В результате компромисса в исследованных моделях угол был выбран равным 30 градусам.

Исследовались делители на основе симметричной ОПЛ ($\epsilon_2=\epsilon_0=1$) с диэлектрической проницаемостью волноведущего слоя $\epsilon_1=2,25$ (полипропилен), толщиной $h=0,6\text{мм}$, шириной и толщиной идеально проводящего полоска w и $\tau=2,6\text{ мм}$ и $0,035\text{мм}$ соответственно. Исследование проводилось на частоте $f=11,5\text{ГГц}$.

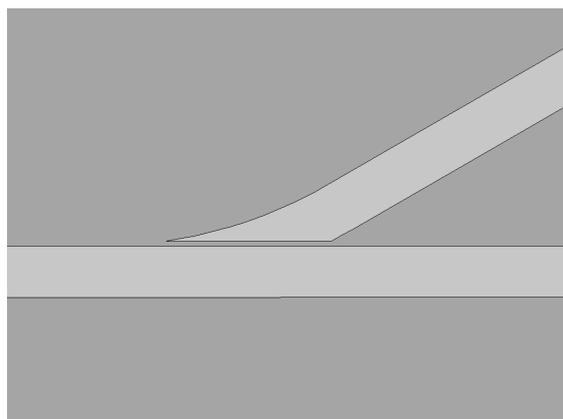


Рис.3. Последовательный односторонний делитель мощности с зазором

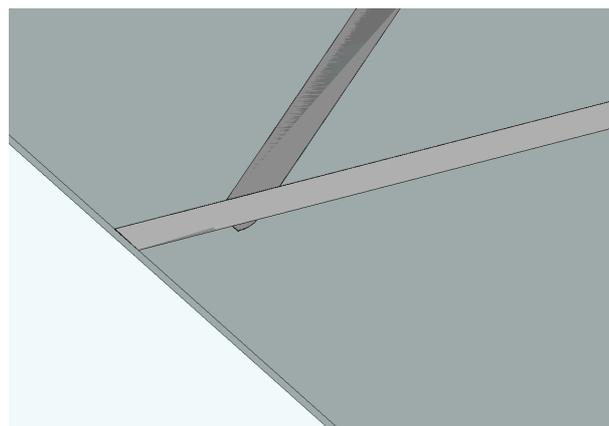


Рис.4. Последовательный двухсторонний делитель

Результаты расчётов приведены в таблице 1, где первая колонка относится к делителю с нулевым зазором (с гальванической связью). Отметим, что делители с гальванической связью широко используются в интегральных схемах СВЧ на основе МПЛ. В нашем случае они дают самую высокую величину излученной и отраженной мощностей. При этом величина ответвлённой мощности так же является максимальной (Таб.1).

Таблица 1

Величина зазора, мкм	0	40	60	80	100	150
Отражённая мощность, дБ	-21.1	-23.6	-24.4	-24.5	-24.7	-26.2
Ответвлённая мощность, дБ	-4.81	-5.62	-5.95	-6.07	-6.22	-6.56
Мощность излучения, дБ	-7.7	-8.65	-9.03	-9.07	-9.36	-9.75

Результаты, приведённые в таблице 1 для отражённой, излучённой и ответвлённой мощностей в зависимости от величины зазора представлены на рис.5 соответственно синей, красной и зелёной линиями. Голубой линией на том же рисунке приведена аналогичная зависимость для отношения излучённой к ответвлённой мощности. Видно, что это отношение почти не зависит от величины зазора. Следствием этого является независимость потерь на излучение от числа выходных каналов данного делителя.

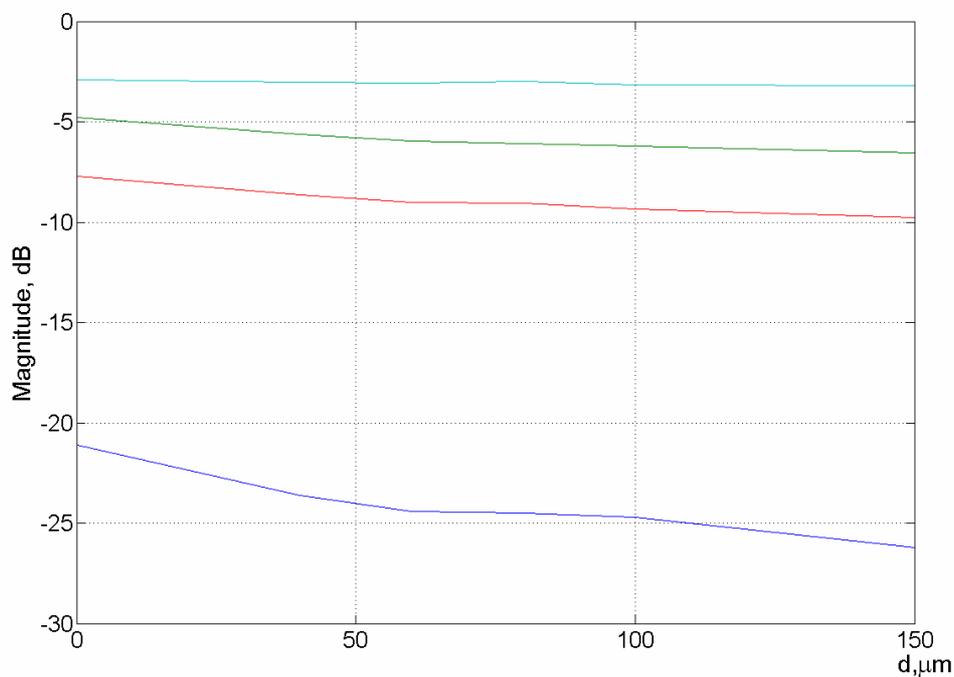


Рис. 5. Зависимости характеристик последовательных односторонних делителей от ширины зазора между основным и боковым каналами.

Таблица 2

	Двухсторонний делитель	Односторонний делитель с зазором 50мкм
Коэффициент отражения, дБ	-27	-24,0
Относительная ответвлённая мощность, дБ	-5.77	-5.78

Мощность излучения, дБ	-9.03	-8,84
------------------------	-------	-------

Так же был исследован двухсторонний делитель (с выходным каналом на другой стороне подложки) (рис. 4). Результаты моделирования приведены в первом столбце таблицы 2. Во втором столбце для сравнения приведены результаты для исследованного выше делителя с зазором 50 мкм, который имеет практически такой же уровень ответвлённой мощности. Как видно из таблицы 2 двухсторонний делитель имеет несколько лучшие параметры, однако его преимущества незначительны.

2. Параллельные делители мощности

В данном разделе исследуется параллельный делитель мощности (рис.6), конструкция которого представляет собой переход в виде планарного рупора от одномодовой к многомодовой ОПЛ, которая далее разветвляется на несколько одномодовых ОПЛ.

Согласование и излучение в данной конструкции делителей мощности зависит, очевидно, как и в предыдущем случае, от его геометрических параметров: угла раствора рупора, его длины и количества выходных каналов.

Исследовалась конструкция параллельного делителя на 5 выходных каналов, расположенных под углом 12 градусов друг к другу (рис.6).

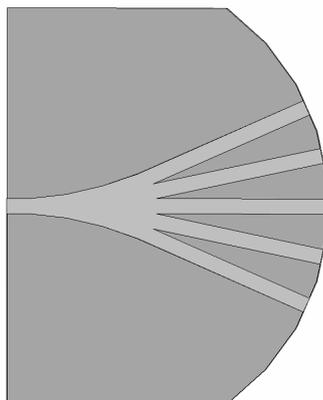


Рис. 6. Параллельный делитель мощности

Был исследован делитель на основе симметричной ОПЛ ($\epsilon_2=\epsilon_0=1$) с диэлектрической проницаемостью волноведущего слоя $\epsilon_1=2,25$ (полипропилен), толщиной $h=0,5$ мм, шириной полоска $w=1$ мм и, толщиной $\tau=0,035$ мм. Исследование проводилось на частоте $f=60$ ГГц.

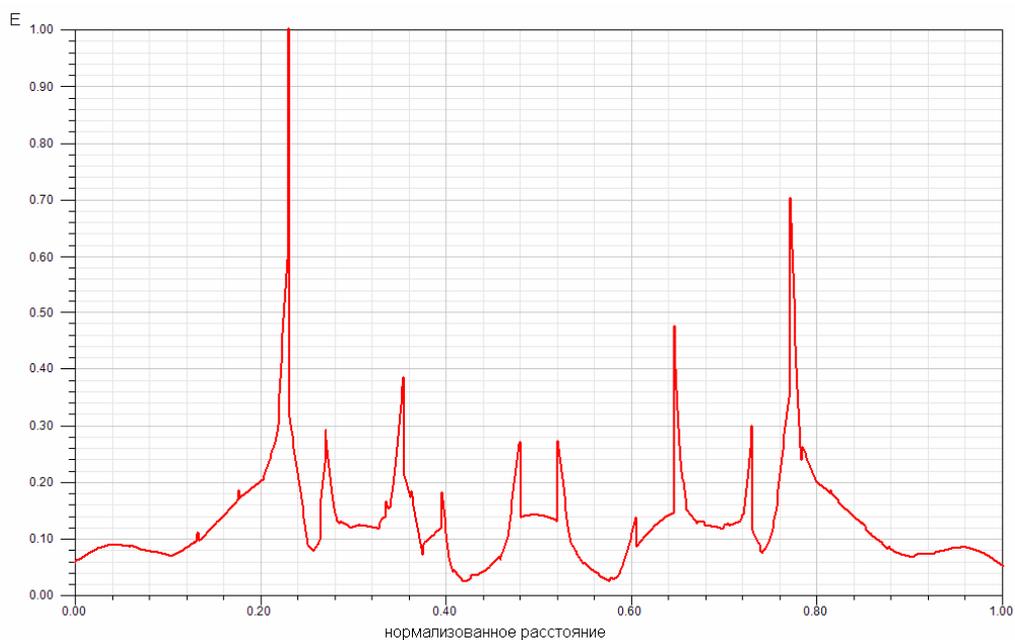


Рис.7. Амплитудное распределение напряжённости электрического поля на выходе параллельного делителя

На рисунке 7 приведено амплитудное распределение нормированной напряжённости электрического поля на выходе описанного выше делителя.

Как следует из рисунка, окончательного распределения мощности по каналам делителя не произошло. Однако уже хорошо видно, что мощность делится между каналами неравномерно, при этом минимальная мощность оказывается в центральном элементе. Несимметричность распределения напряженности электрического поля относительно центра делителя объясняется ограничением точности численного метода.

Результаты моделирования параллельного делителя приведены в первом столбце таблицы 3. Для сравнения, во втором столбце приводятся результаты исследования последовательного делителя мощности на 4 канала с зазорами 40, 80 и 160 мкм.

Таблица 3

Относительная мощность, дБ	Параллельный делитель	последовательный делитель
в центральном канале	-10.2	-8.15
в первом боковом канале	-8.7	-4.58
во втором боковом канале	-9.15	-7.12
в третьем боковом канале	-	-10.1
Отражённая мощность	-10.9	-35.2
Излучённая мощность	-5.09	-6.85

Из результатов, приведённых в таблице 3, следует, что потери на излучение и потери на отражение в параллельном делителе больше аналогичных потерь в последовательном делителе. К тому же в параллельном делителе поверхность одинаковой фазы принципиально не плоская, что создаёт дополнительные сложности при реализации антенных решёток.

3. Экспериментальное исследование

В соответствии с результатами численного моделирования экспериментально исследовались односторонний и двухсторонний делители мощности на 2 канала, оказавшиеся наилучшими по результатам моделирования. Результаты экспериментов для одностороннего делителя с зазором 50мкм приведены на рисунке 8, а для двухстороннего – на рис. 9.

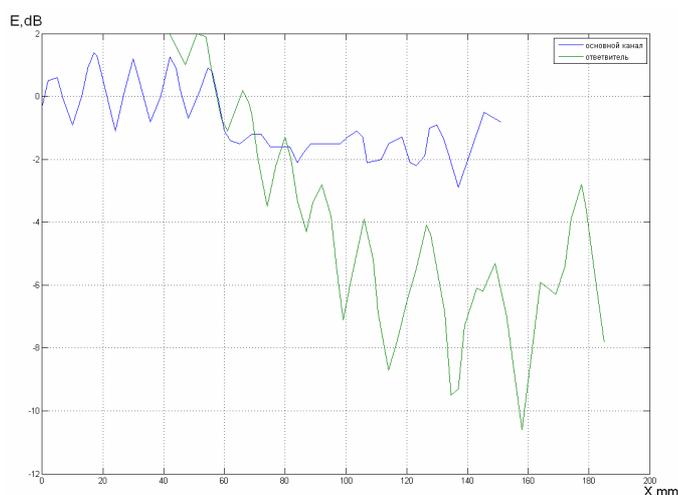


Рис.8. Распределение напряжённости электрического поля по длине основного (синий график) и бокового (зелёный график) каналов одностороннего последовательного делителя мощности.

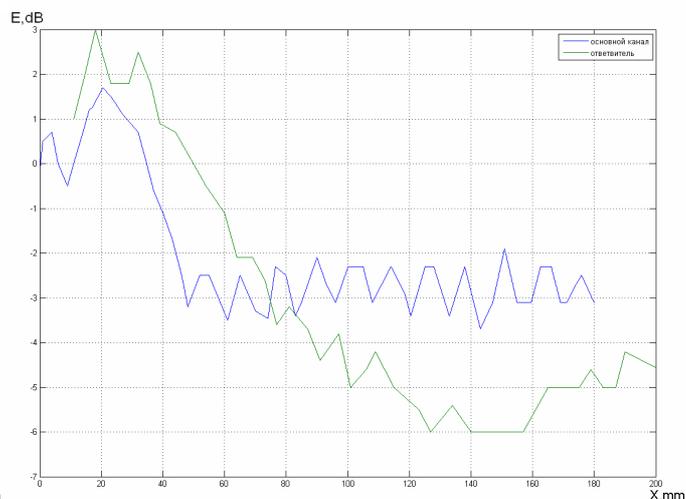


Рис.9. То же, что на Рис.8 для двухстороннего последовательного делителя

На рисунках приведено распределение относительной напряжённости электрического поля по длине основного канала (обозначено синим) и бокового канала (обозначено зелёным).

Колебания измеренной эффективной напряжённости электрического поля свидетельствует о наличии в ОПЛ стоячей волны, наличие которой вызвано отражением от конца ОПЛ и от которого не удалось избавиться в ходе проведения эксперимента. Однако, из рис.8 видно, что средняя величина

напряжённости поля при больших X стабилизируется в основном канале на уровне 1,7-1,8 дБ, а в боковом – на уровне 6 – 7 дБ.

Экспериментальные результаты для последовательного двухслойного делителя приведены на рис.9. В данном эксперименте значение величины напряжённости электрического поля в основном канале стабилизируется на уровне -2.7-2.8 дБ, а в боковом – на уровне 4,5-5,5.

В таблице 4 приведены сравнительные значения параметров однослойного и двухслойного делителей мощности полученных в результате численного исследования и экспериментально.

Таблица 4

	Двухслойный делитель		Однослойный делитель с зазором 50мкм	
	Численный результат	эксперимент	Численный результат	эксперимент
Коэффициент отражения, дБ	-27	-	-24.0	-
Относительная ответвлённая мощность, дБ	-5.77	-5±0.5	-5.78	-6.5±0.5
Мощность излучения, дБ	-9.03	-8.5±1	-8.84	-9.5±1.5

Следует отметить, что результаты экспериментальных исследований обоих делителей хорошо согласуются с численным расчётом, если учесть тот факт, что на величину потерь и ответвления оказывает действие клеевой слой между подложкой и металлическим полоском, внося дополнительные тепловые потери и увеличивая расстояние между основным и боковым каналами ОПЛ.

Отметим также, что величина ответвленной мощности в экспериментальном образце одностороннего делителя для величины зазора 50мкм лучше соответствует результатам численного расчёта для более узких зазоров. Это

связано, по-видимому, с тем, что использованная ручная технология изготовления делителя на ОПЛ не смогла обеспечить требуемой точности.

Выводы

1. Из исследованных типов делителей на основе ОПЛ наиболее перспективным, по-видимому, является делитель с последовательным ответвлением мощности одностороннего типа. К преимуществам этого делителя следует отнести:

- простоту конструкции
- достаточно малую величину отражённой мощности,
- возможность построения произвольного амплитудного распределения,
- возможность простой реализации плоского фазового фронта

2. Основным недостатком всех исследованных типов делителей на основе ОПЛ являются достаточно большие потери на излучение, которые при этом пропорциональны ответвляемой мощности.

3. Главной причиной относительно больших потерь на излучение является малое замедление моды ОПЛ относительно основной моды подложки. Поэтому представляет значительный интерес исследование новых типов однополосковых линий, в частности, с периодической структурой, которые могут обеспечить существенно бóльшие относительные замедления.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 08-07-00327.

Литература

1. *Шевченко В.В.* Микрополосковый волновод: Авт. свид. СССР SU № 1626282 А1 // Б.И. 1991. №5. С. 150.
2. *Темнов В.М.* // Известия Высших Учебных Заведений. Радиофизика. 1991. Т.34. № 3. С. 286.
3. *Шевченко В.В., Грачев Г.Г., Калиничев В.И.* // РЭ. 2005. Т. 50. № 2. С. 162.
4. *Калиничев В.И., Калошин В.А., Скородумова Е.А.* Исследование дисперсионных характеристик однополосковой линии на однослойной подложке// Журнал Радиоэлектроники (<http://jre.cplire.ru>), 2009, № 1.
5. *В.Л. Бирюков, В.И. Калиничев, В.А. Калошин, Е.А. Скородумова* // РЭ, 2009, т. 54, №10, с. 1226–1231.
6. *Г.Г. Грачев, В.В. Шевченко* // РЭ, 2007, т. 52, №6, с. 687–691
7. *Калиничев В.И., Калошин В.А., Скородумова Е.А.* Возбуждение однополосковой линии микрополосковой линией // Журнал Радиоэлектроники (<http://jre.cplire.ru>), 2009, № 1.
8. *Калиничев В.И., Калошин В.А., Скородумова Е.А.* Возбуждение однополосковой линии прямоугольным металлическим волноводом // Журнал Радиоэлектроники (<http://jre.cplire.ru>), 2009, № 1.
9. *Wanchu Hong and Yu-De Lin* // IEEE Trans. Antennas and Propagation. 2004. V. 52. No. 7. P. 1783.
10. *Грачев Г.Г., Калиничев В.И., Калошин В.А., Скородумова Е.А.,* // Журнал Радиоэлектроники (<http://jre.cplire.ru>), 2010, № 1.