

Устройство направленного ответвления мощности на связанных нерегулярных линиях для детектора СВЧ

Е.Ф. Иванищева, Э.Ю. Седышев

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Аннотация: В работе рассматриваются вопросы синтеза частотнозависимого делителя сигнала на связанных нерегулярных линиях, исходя из свойств распределенных емкостей на полосковых линиях. В качестве основы предлагаемой конструкции взята распределенная емкость, которая сочетает в себе свойства обычной емкости и связанных линий. Отличие от традиционных НО (на связанных линиях) заключено в том, что свободный порт (холостой ход) связанного элемента имеет высокое волновое сопротивление. Предложена эквивалентная схема устройства, создана компьютерная модель, изготовлены масштабные макеты устройства и проведены многочисленные эксперименты.

Ключевые слова: СВЧ, частотное деление сигнала, распределенная емкость, связанные линии, направленное ответвление

1. Введение

Современная техника микроволнового диапазона постоянно развивается: совершенствуется схемотехника радиоэлектроники; пополняется элементная база (в том числе конструктивных элементов), а также меняется общий взгляд на реализацию конструктива устройств. Так как сегодня для разработчиков уже не стоит первоочередная задача создания отдельных узлов СВЧ (в большинстве своем они уже разработаны), досконально анализируется взаимодействие структур между собой и изучение свойств элементов в различных частотных диапазонах.

Рассматриваемая ранее [1, 2, 3] структура при определенной конфигурации дает разработчику возможность реализовать устройство частотной селекции и направленного ответвления по заданному уровню. В первую очередь следует отметить регулировку полосы пропускания в канале, потому что этот параметр является основой всех фильтровых устройств. Обычно ее расширения добиваются увеличением числа элементов, что усложняет конструкцию и увеличивает области связи при наличии связанных линий. В случае нерегулярных линий возможно создать устройство направленного ответвления в широком диапазоне частот без каскадирования.

Возможность регулировки уровня мощности в канале позволит детектировать сигнал в тракте, при установке независимых детекторов в каждое из плеч (до настоящего времени это нигде не использовалось).

Стоит отметить наличие на рынке радиоэлектроники селективных измерителей электромагнитных полей (селективных детекторов), чья цена соизмерима с самыми дорогими измерительными приборами СВЧ диапазона (анализаторами спектра). В таких приборах измерение уровня излучения в конкретном частотном диапазоне затруднительно. В данной работе предлагается простая структура устройства детектирования уровня излучения СВЧ в различных частотных диапазонах.

2. Свойства распределенных нерегулярных емкостей

В предыдущих работах были изучены свойства нерегулярных распределенных емкостей, которые дают нам понять, что нерегулярные связанные линии имеют частотно-селективные свойства, которые в первую очередь определяются геометрией (Рисунок 1-2) [2]. И если простым коллинеарным разрезом микрополосковой линии мы добиваемся эквивалента фильтра 3-4 порядка, то дальнейшие модификации структуры привели к идее направленного ответвления мощности по заданному уровню.

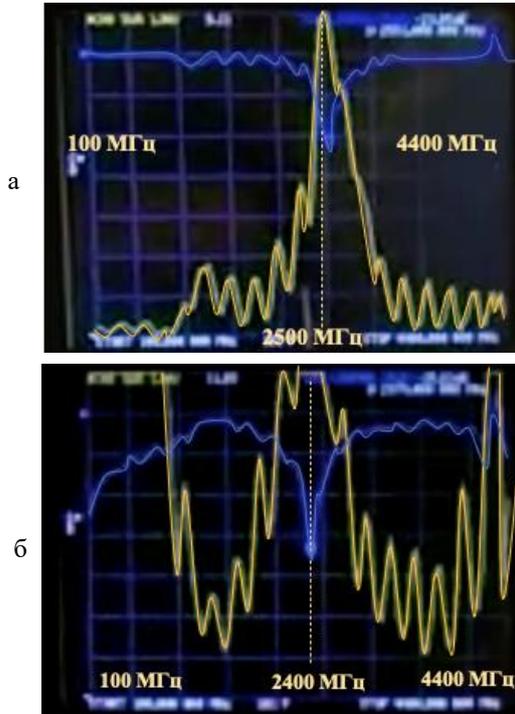


Рисунок 2. ЧХ распределенных нерегулярных емкостей на макете №1 – а, №2 – б



Рисунок 3. Масштабный макет НО

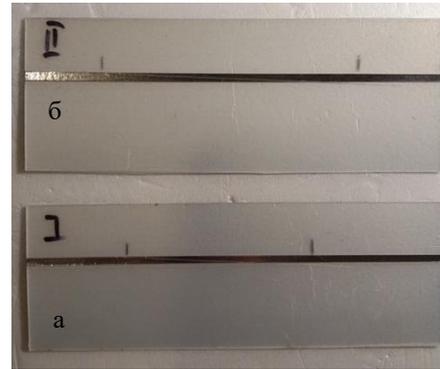


Рисунок 1. Макеты распределенных нерегулярных емкостей

Обратимся к структуре описанной в работе [3] (Рисунок 3). Идея неинвазивного детектирования и ответвления сигнала на связанных нерегулярных линиях, в первую очередь, говорит о наведении токов на линиях 2 и 4, что можно проверить, создав электродинамическую модель в ядре NEC (Рисунок 4).

В приведенной модели учитываются неоднородности линий. Токи наводятся на отводящих плечах 2 и 4, как видно на рисунке 5. Результат моделирования показывает, что при данной конфигурации КСВН=1, то есть питание согласовано с ведущей магистралью, нагруженной на 50 Ом. Мощность излучения при этом пренебрежимо мала.

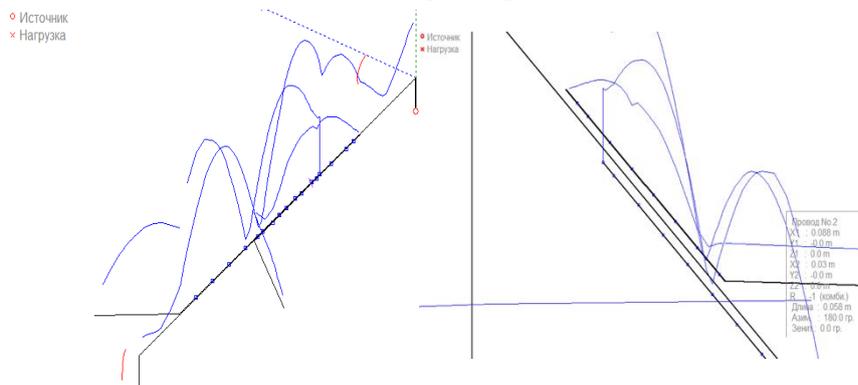


Рисунок 4. Распределение токов структуры НО на связанных нерегулярных линиях

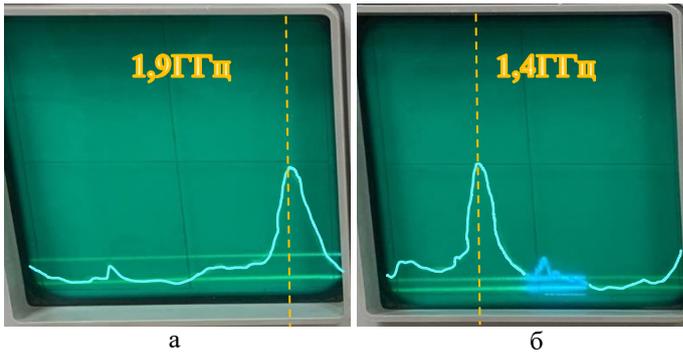


Рисунок 5. ЧХ макета НО по пути 1-2 – а; 1-4 – б

уровню примерно в -5 дБ на различных частотах, соответствующих резонансам на данной длине для отводящих плеч.

3. Моделирование и измерение макета Т-делителя на связанных нерегулярных линиях

Следует отметить, что излучаемая мощность сигнала регулируется, в первую очередь расстоянием между ведущей линией и отводящим плечом. Проведем компьютерное моделирование Т-делителя на связанных нерегулярных линиях:

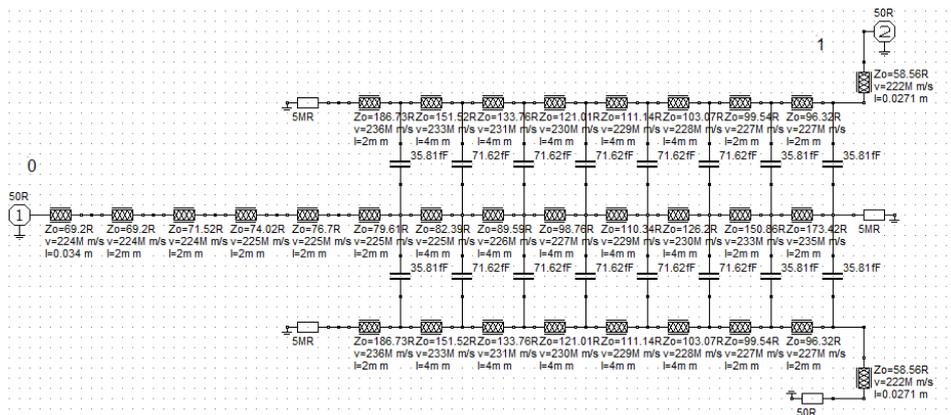


Рисунок 6. Схема Т-делителя с равными плечами

При равном расстоянии от плеч до ведущей линии и при равной длине нерегулярных ответвлений получаем равное деление по мощности. Изменяя длину области связи – меняется частотный диапазон ответвления и деления.

Анализ частотных характеристик Т-делителя показывает, что уровень сигнала в плече зависит от длины области связи. Если длины областей связи нерегулярных линий одинаковы, то сигнал делится поровну – потери -3 дБ в рабочем диапазоне частот, то есть как у классического Т-делителя.

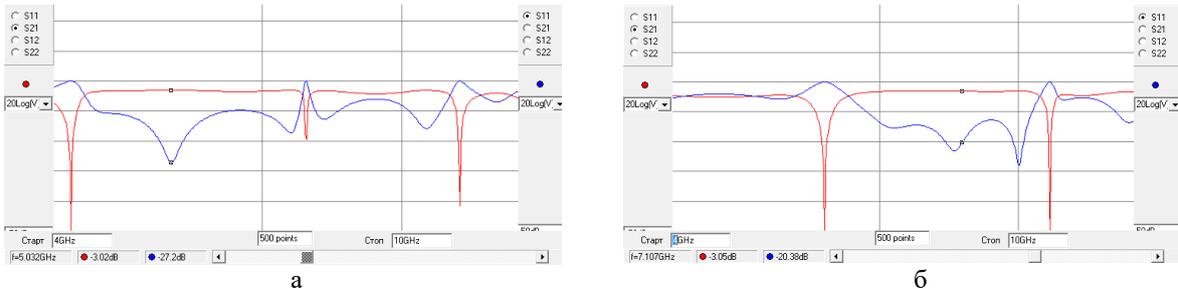


Рисунок 7. ЧХ Т-делителя одинаковыми плечами, но различными областями связи: а – 34 мм, б – 26 мм

При этом обеспечивается гальваническая развязка за счет наличия емкости между связанными линиями, что позволяет использовать питание на активные компоненты структуры без использования развязывающей емкости.

Создадим модель частотнозависимого делителя с плечами различных длин, используя полученный результат (Рисунок 8, 9).

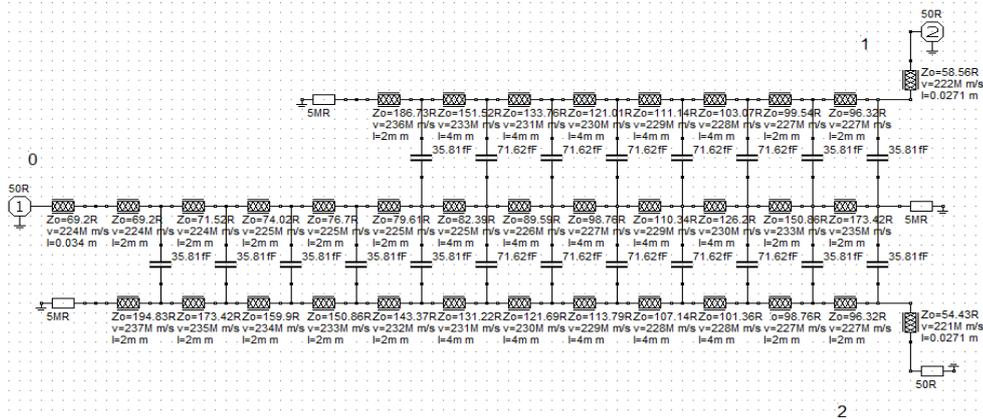


Рисунок 8. Схема частотнозависимого делителя на связанных нерегулярных линиях

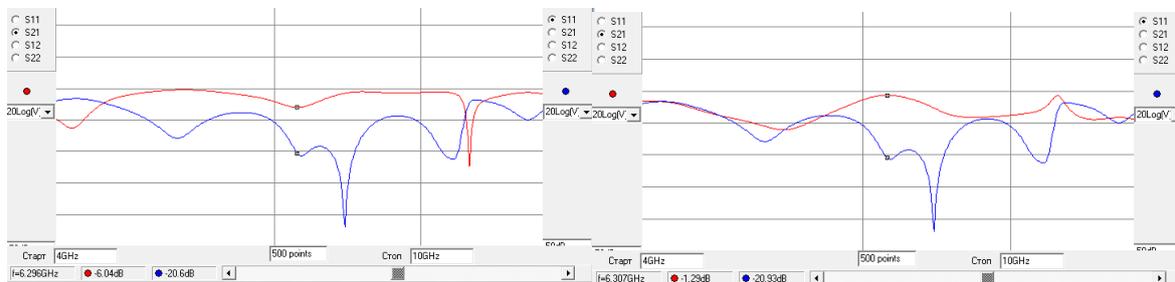


Рисунок 9. ЧХ частотнозависимого делителя на связанных нерегулярных линиях а – плечо 0-2, б – плечо 0-1

В результате эмуляции схемы видно частотное деление сигнала по уровню около -1,5 дБ, что является принципиально более выигрышным относительно классических Т-делителей.

Перейдем от компьютерной модели к физически реализованному макету устройства частотнозависимого делителя на связанных нерегулярных линиях (Рисунок 10). Как и в компьютерной модели одно плечо длиннее второго.

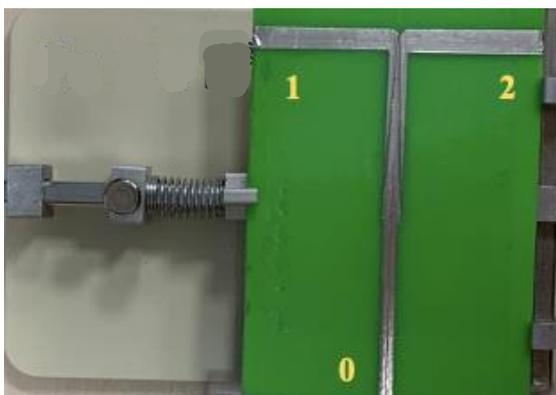


Рисунок 10. Макет делителя на связанных нерегулярных линиях

Измерения проводились в диапазоне 2-4 ГГц, как и в случае модели на некоторых частотных областях наблюдается пересечение ответвленной части мощности, пока что принцип деления в таких областях остается объектом исследования в дальнейших работах, но частотное деление сигнала неоднократно доказано компьютерным моделированием и результатами проведенных экспериментов устройств с различными длинами плеч.

В представленном эксперименте на рисунке 11а сигнал ответвляется в диапазоне 2-3 ГГц по уровню -1,5 дБ, на рисунке 11б в диапазоне 2,6-3,5 ГГц по уровню около -1 дБ. Полученные результаты объясняются возможными отклонениями при реализации макета, в частности длине плеч и неоднородностью линии коллинеарного зазора, образующего емкости.

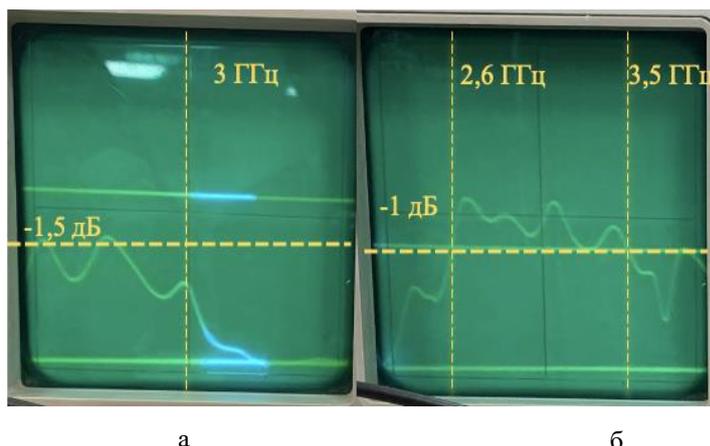


Рисунок 11. Результат измерений делителя на связанных нерегулярных линиях, а – плечо 0-2, б – плечо 0-1

Измерения соответствуют ожиданиям о частотнозависимом делении сигнала структурами на связанных нерегулярных линиях.

Отметим приемлемый уровень сигнала для отведения и дальнейшего контроля. То есть возможно использовать данную структуру для оценки наличия сигнала в линии на конкретной частоте без потерь и задержки в основном тракте.

3. Заключение

Данная структура совмещает в себе возможности равного деления и ответвления сигнала. Основное и важное отличие от стандартных НО на связанных линиях – отсутствие изолированного плеча. На концах исследуемого устройства высокоомные отрезки линий – холостой ход.

В дальнейшем работа над структурой связана с подключением к плечам ответвителя детекторных секций, которые позволят компактно разместить ответвитель в устройстве и контролировать наличие мощности того или иного частотного диапазона в тракте. Компактно разместить ответвитель можно в виде микрополоскового кольца или спирали с различными нерегулярными ответвлениями.

Список литературы

1. Иванищева Е.Ф., Седышев Э.Ю. Моделирование планарной емкости перекрытия в полосковом исполнении : материалы всерос. научно-метод. конф. ПКМ 2021, СПб, 30 нояб. – 2 дек. 2021 г. : СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2021. С. 77 – 83.
2. Иванищева Е.Ф., Седышев Э.Ю. Исследование свойств распределенной емкости на полосковой линии : материалы междунар. научно-метод. конф. АПИНО 2022, СПб, 15 фев. – 16 фев. 2022 г. : СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2021, том 2. С. 572 – 578.
3. Иванищева Е.Ф., Седышев Э.Ю. Устройство направленного ответвления мощности на связанных нерегулярных линиях : материалы всерос. научно-метод. конф. ПКМ 2022, СПб, 6 дек. – 8 дек. 2022 г. : СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2021. С. 56 – 61.
4. Rasool KESHAVARZ, Masoud MOVANNEDI. A Compact and Wideband Coupled-Line Coupler with High Coupling Level Using Shunt Periodic Stubs // RADIOENGINEERING, VOL. 22, NO. 1, APRIL 2013. С. 323 – 327.
5. Вендик О.Г., Зубко С.П., Никольский М.А. Моделирование и расчет емкости планарного конденсатора, содержащего тонкий слой сегнетоэлектрика // Журнал технической физики 1999, том 69. N 4. С. 1 – 7.
6. Малорацкий Л.Г., Явич Л.Р., Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. М. : Советское радио, 1972. 132с.