

ГОУ ВПО ОмГУ им. Ф.М. Достоевского

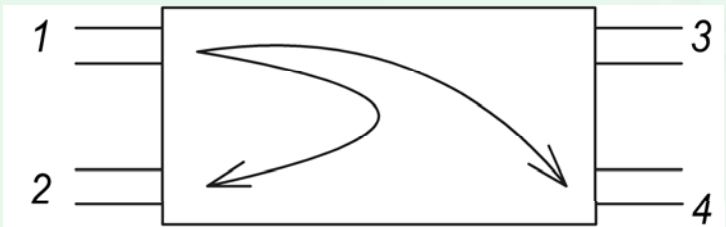
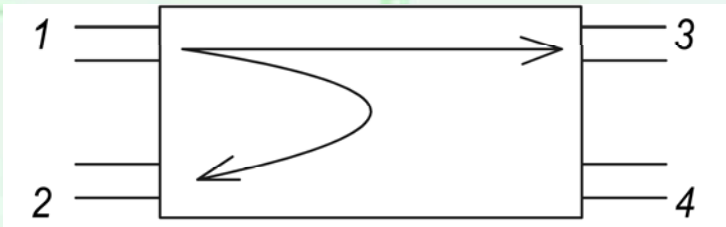
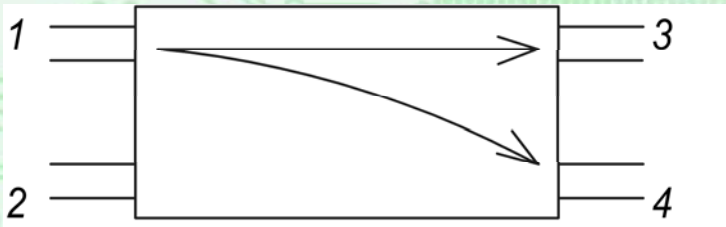
Научно-технический семинар

«Современные проблемы радиофизики и радиотехники»

# Конструкции малогабаритных направленных ответвителей, выполненных на основе многослойных диэлектриков

Начальник НИЛ 234 ОАО «ОНИИП»,  
аспирант КЭФир  
ОмГУ им. Ф.М. Достоевского  
Абрамова Е.Г.

# Направленный ответвитель



$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix}$$

1 Одно из плеч развязано

$$S_{12} = S_{21} = S_{34} = S_{43} = 0,$$

2 Идеальное согласование всех плеч

$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = S_{44} = 0,$$

3 Обратимость НО

$$S_{13} = S_{31}, S_{14} = S_{41}, S_{23} = S_{32}, S_{24} = S_{42};$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & S_{13} & S_{14} \\ 0 & 0 & S_{23} & S_{24} \\ S_{13} & S_{14} & 0 & 0 \\ S_{32} & S_{24} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

# Параметры направленного ответвителя

- Переходное ослабление

$$C_{14} = 10 \lg \left( \frac{P_1}{P_4} \right),$$

- Направленность

$$C_{42} = 10 \lg \left( \frac{P_4}{P_2} \right),$$

- Развязка

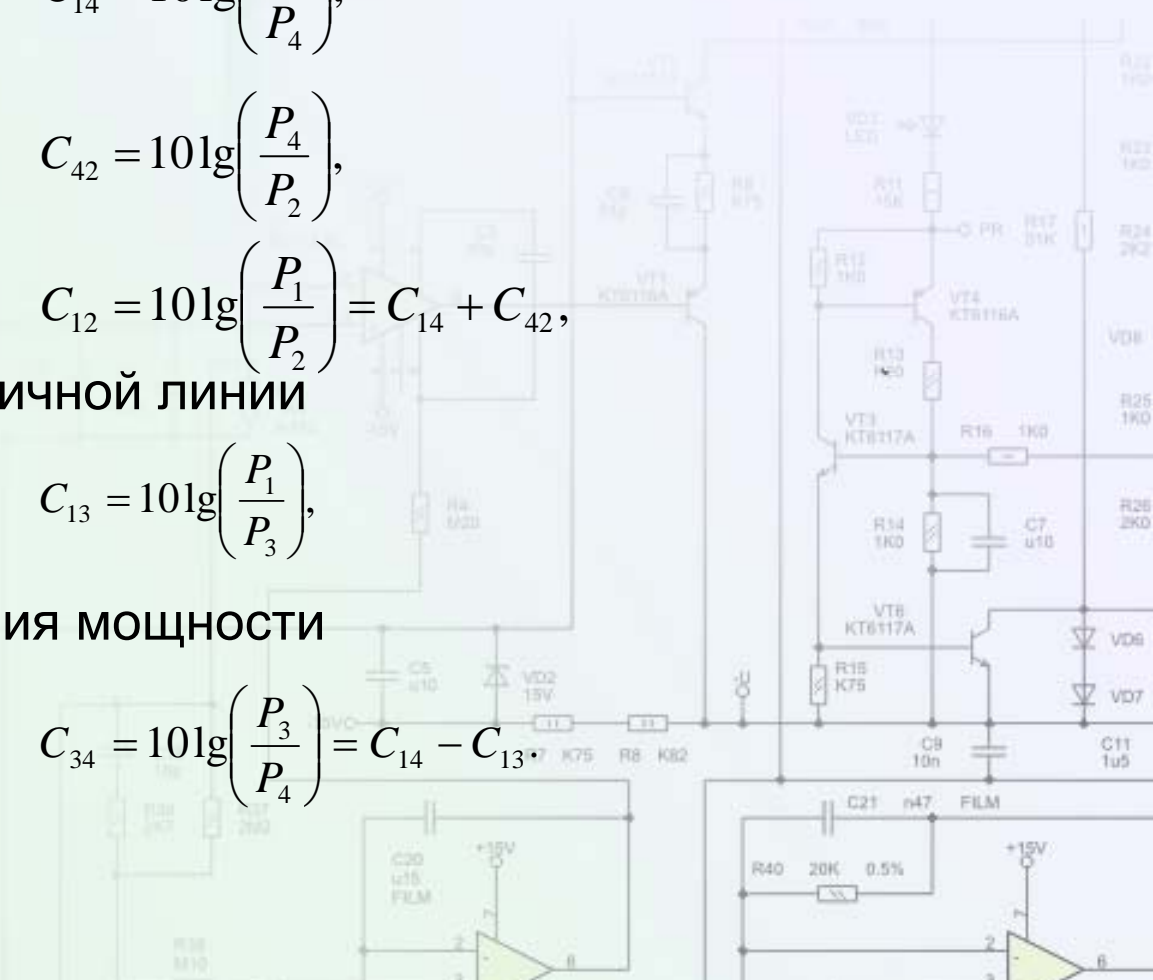
$$C_{12} = 10 \lg \left( \frac{P_1}{P_2} \right) = C_{14} + C_{42},$$

- Рабочее затухание первичной линии

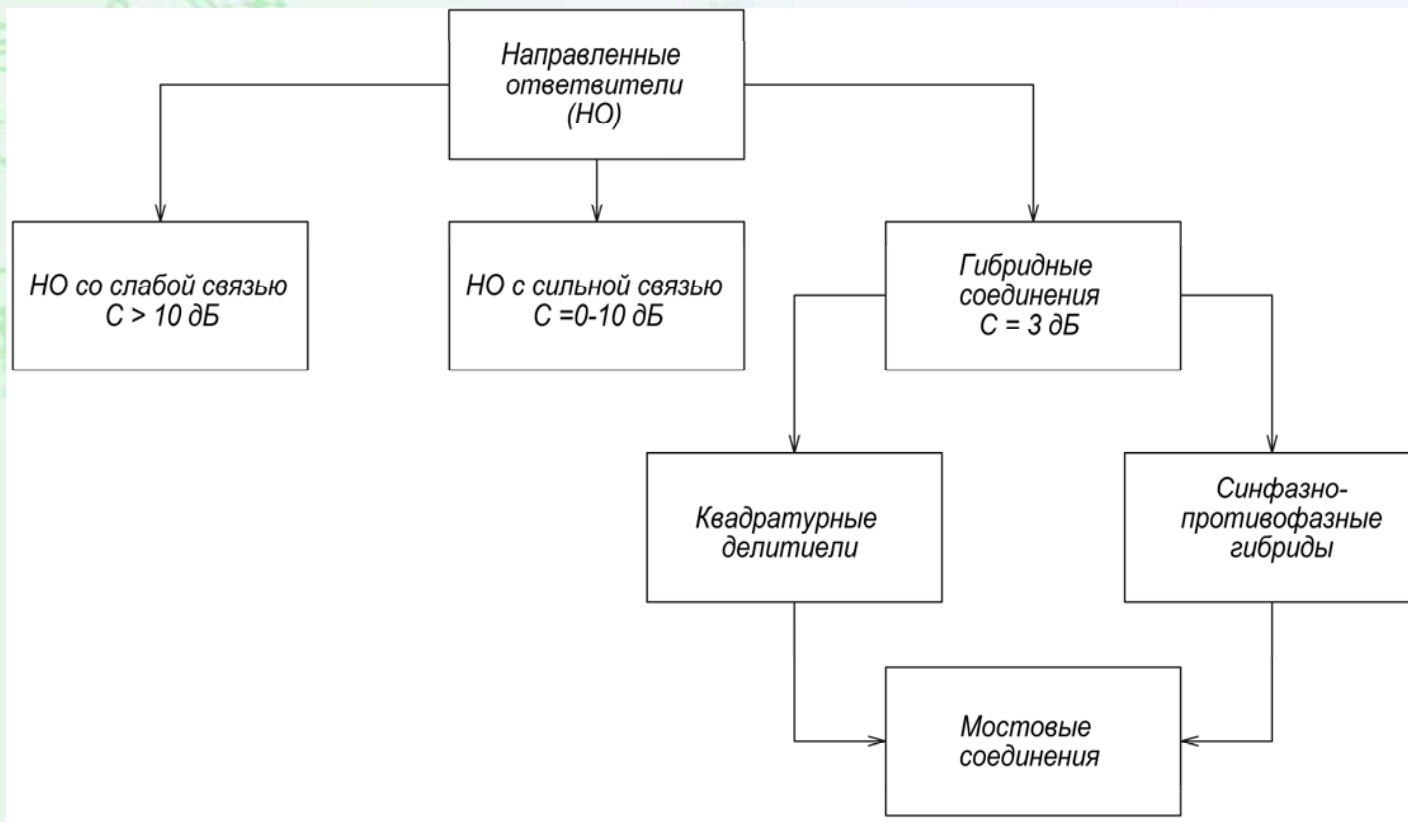
$$C_{13} = 10 \lg \left( \frac{P_1}{P_3} \right),$$

- Неравномерность деления мощности

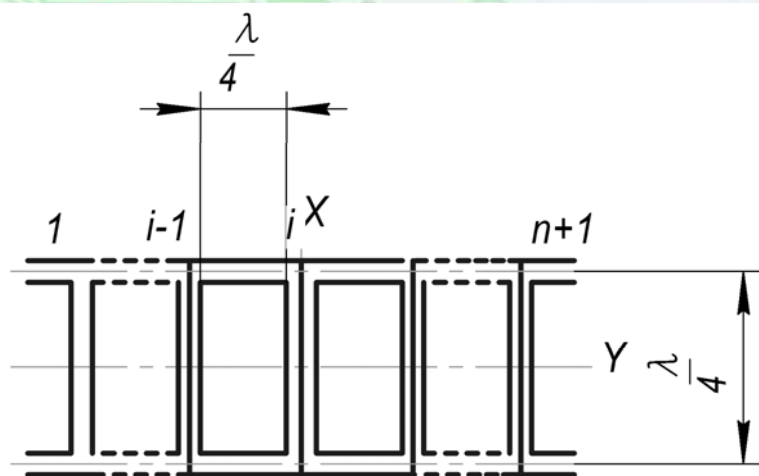
$$C_{34} = 10 \lg \left( \frac{P_3}{P_4} \right) = C_{14} - C_{13}.$$



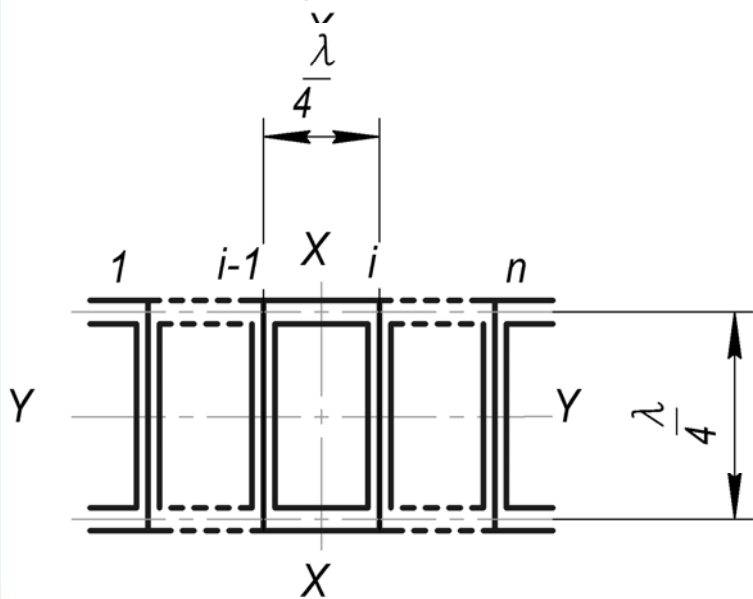
# Классификация направленных ответвителей



# Шлейфные направленные ответвители



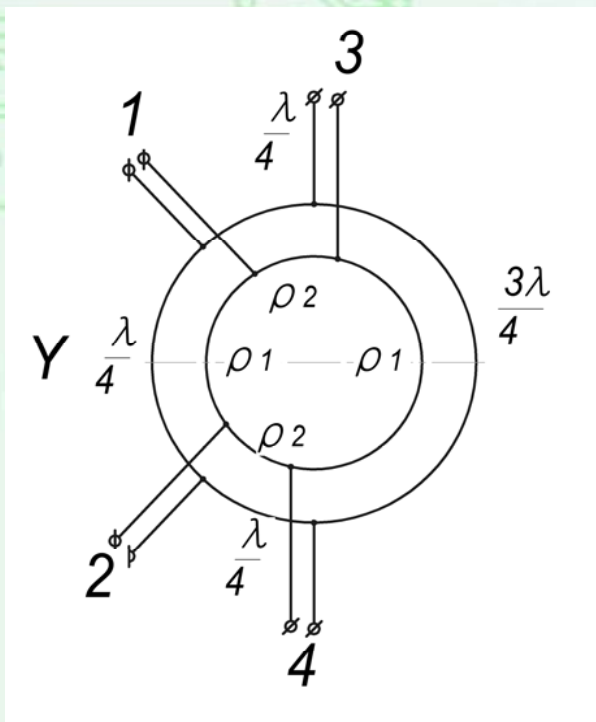
Ответвители с нечетным ( $n+1$ ) числом шлейфов



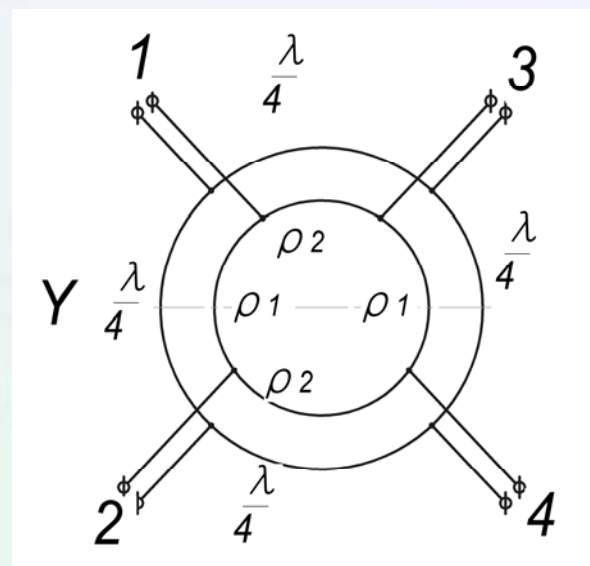
Ответвители с четным  $n$  числом шлейфов



# Синфазно-противофазные гибриды на основе мостовых схем



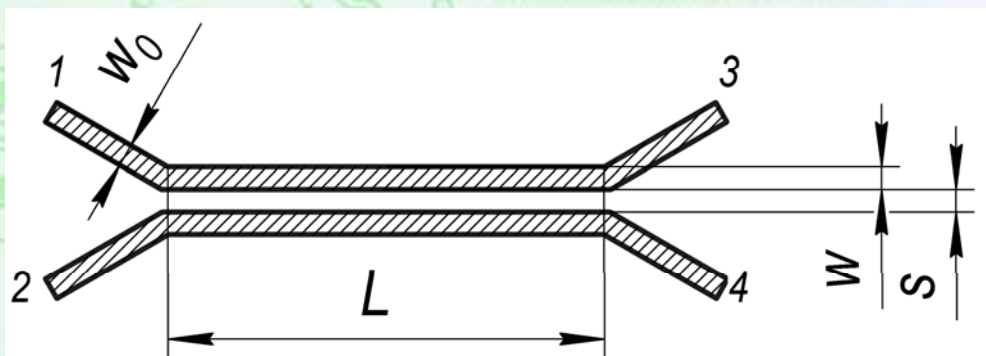
Гибридное кольцо длиной  $\frac{3}{4}\lambda$



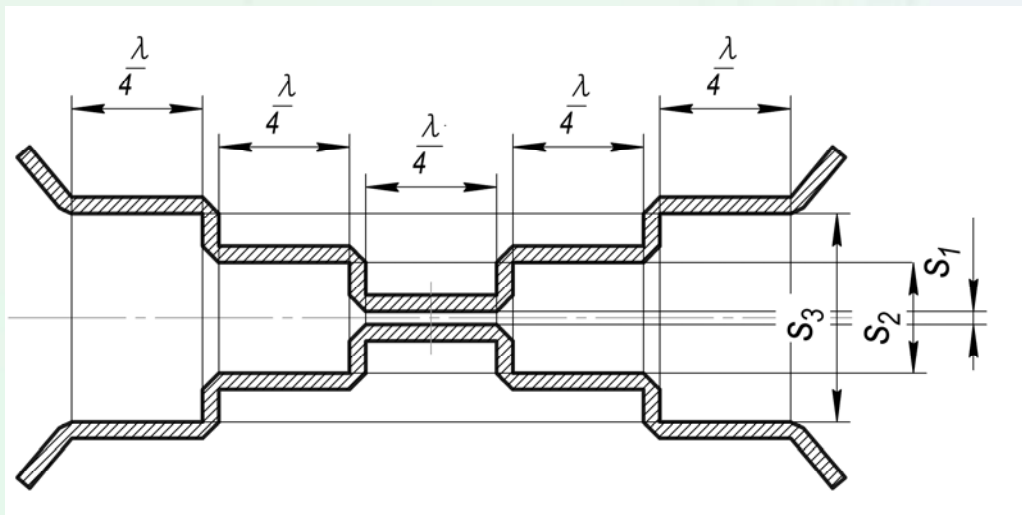
Гибридное кольцо длиной  $\lambda$



# Направленные ответвители на связанных линиях



Односекционный НО на связанных линиях



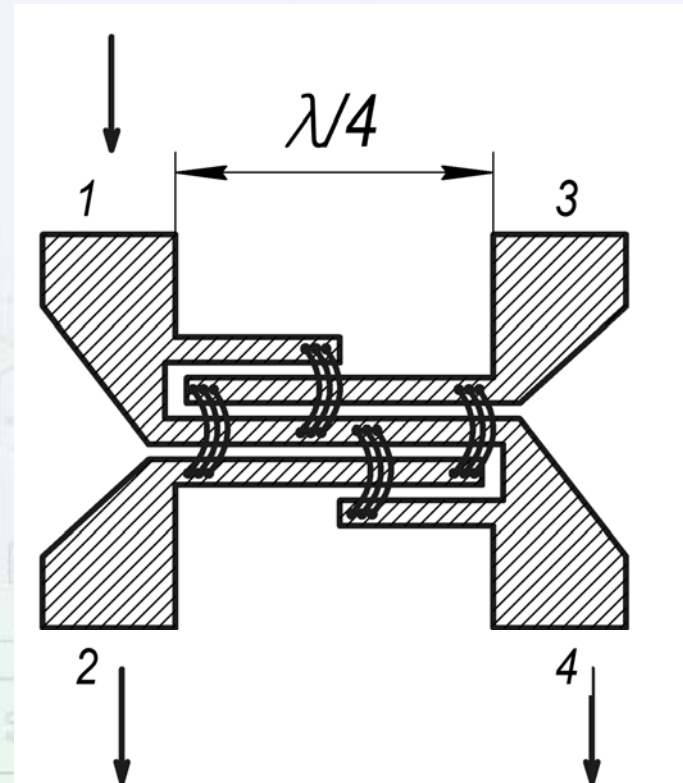
Многосекционный НО на связанных линиях



# Квадратурные делители на связанных линиях

- **Ответвитель Ланге**

При возбуждении плеча 1 часть энергии передается в плечо 2, а оставшаяся часть – в плечо 4. Сдвиг фаз между волнами в плечах 2 и 4 равен  $90^\circ$ . Поэтому ответвитель Ланге относится к ответвителям квадратурного типа. При подаче мощности в плечо 1 в плечо 3 мощность не поступает, т.е. плечо 3 развязано. В данной структуре ширина всех проводников и все зазоры между ними одинаковы. Экспериментально показано, что отклонение фазового сдвига между волнами в выходных плечах от  $90^\circ$  в самом худшем случае не превышает  $2^\circ$ .

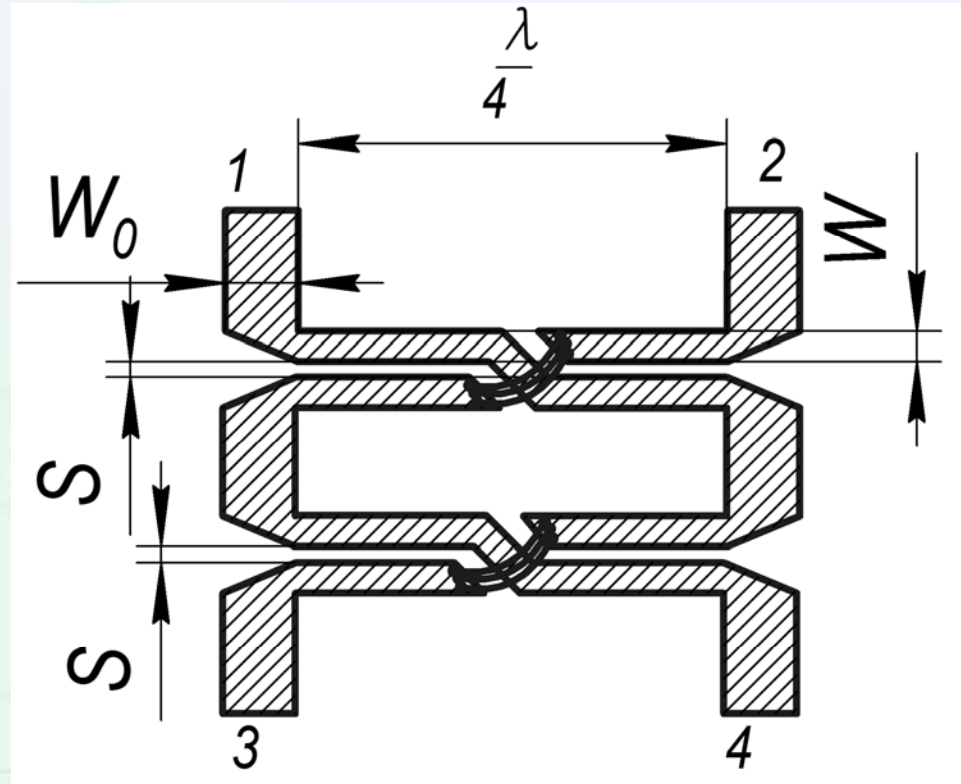




# Квадратурные делители на связанных линиях

- **Тандемное включение направленных ответвителей**

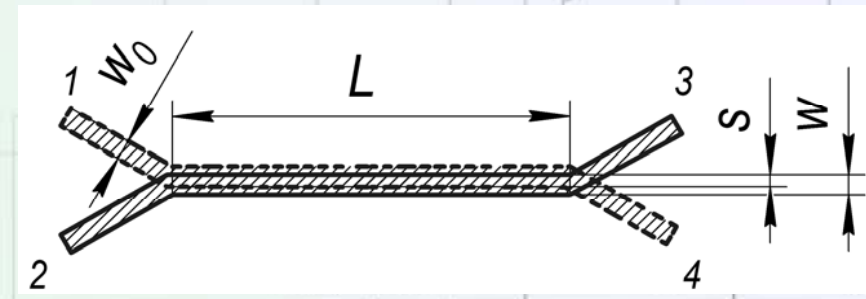
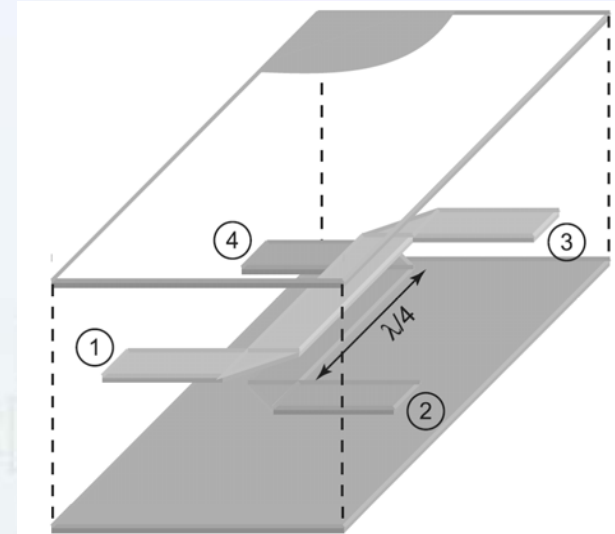
Плечи 1 и 2 являются развязанными (соответственно развязаны плечи 3 и 4); сигнал, поступающий в плечо 1, делится между плечами 3 и 4. Тандемный НО является менее чувствительным к геометрическим отклонениям по сравнению с обычным НО на связанных линиях и обеспечивает большую широкополосность. Однако имеет значительно большие габариты.



# Квадратурные делители на связанных линиях

- **Направленные ответвители с лицевой связью на СПЛ**

Можно получить ответвление 3 дБ, используя только одну область связи, выполненную на симметричной полосковой линии. Такая конструкция является наиболее простой, малогабаритной и технологичной.



# Расчет однозвенного направленного ответвителя с лицевой связью и уровнем переходного затухания 3 дБ

$$Z_0 = \sqrt{Z_{0e} \cdot Z_{0o}},$$

Условие полного согласования ответвителя с нагружающей его линией передачи

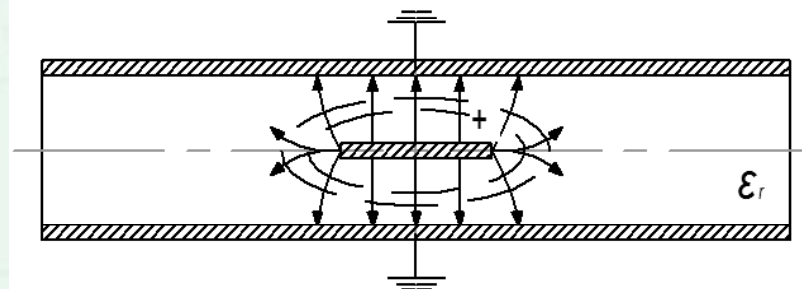
$$Z_{0e} = Z_0 \sqrt{\frac{1+c}{1-c}},$$

Сопротивление для четного типа колебаний

$$Z_{0o} = Z_0 \sqrt{\frac{1-c}{1+c}},$$

Сопротивление для нечетного типа колебаний

$$C_{12} = 20 \lg c,$$

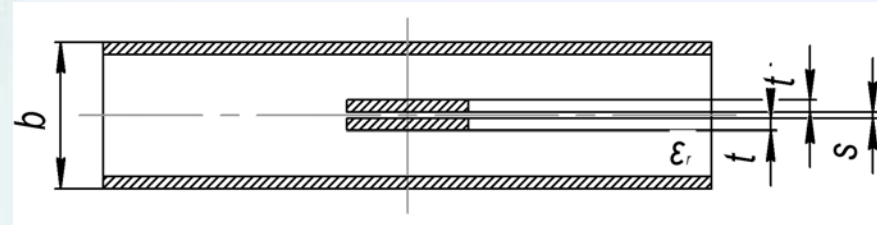


$C_{12}$  – переходное ослабление (на средней частоте диапазона рабочих частот);  
 $c$  – коэффициент связи (на средней частоте диапазона рабочих частот).

# Определение геометрических параметров направленного ответвителя на СПЛ

При условии, что  $(w/b) \cdot (1 - s/b) \geq 0,35$

$$Z_{0e} = \frac{188,3 / \sqrt{\epsilon_r}}{\frac{w/b}{1 - s/b} + \frac{C'_{fe}}{\epsilon}}, \quad Z_{0e} = \frac{188,3 / \sqrt{\epsilon_r}}{\frac{w/b}{1 - s/b} + \frac{w}{s} \cdot \frac{C'_{fo}}{\epsilon}},$$

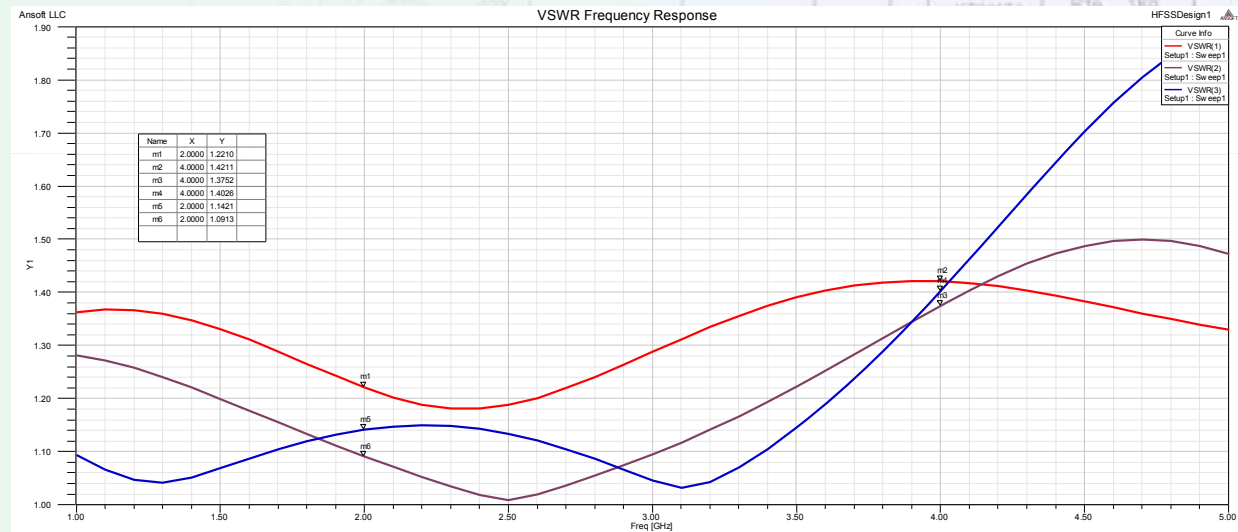
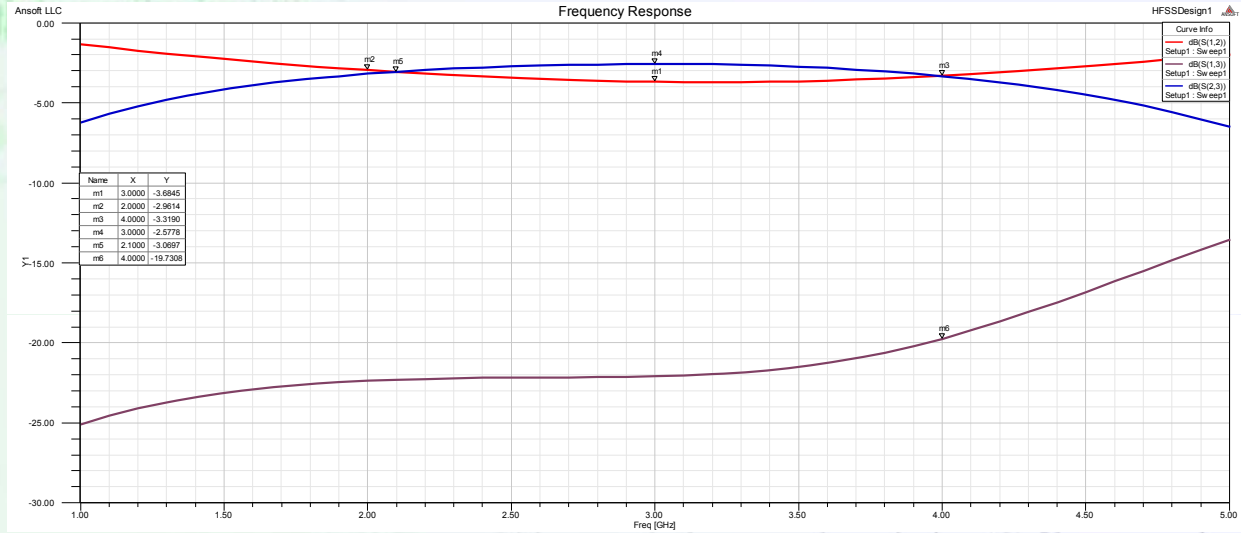
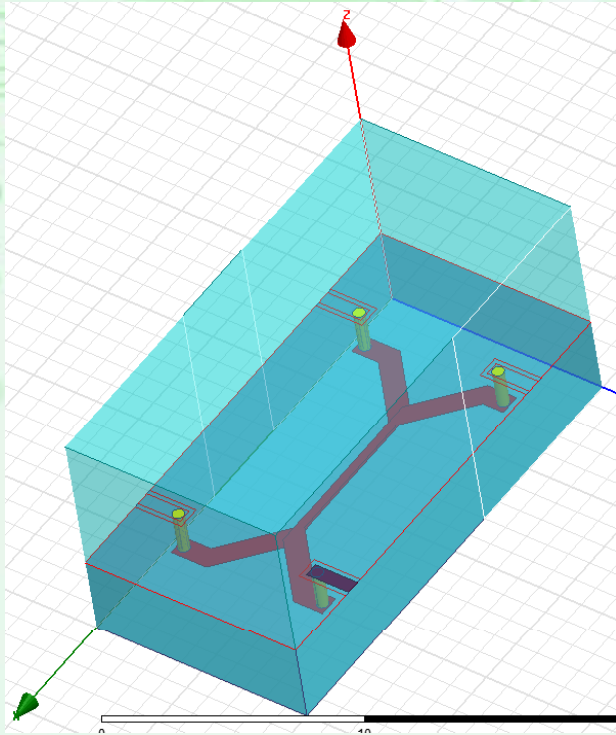


$$b \leq 0,1\lambda$$

Величины  $C'_{fe}$  и  $C'_{fo}$  представляют собой емкости на единицу длины с каждого края полоскового проводника (краевую емкость), которую нужно добавить к плоскопараллельной емкости, чтобы получить точное значение полной емкости полосок относительно заземленных пластин для четного и нечетного типа колебаний (определяются графически в зависимости от величины  $s/b$ ).



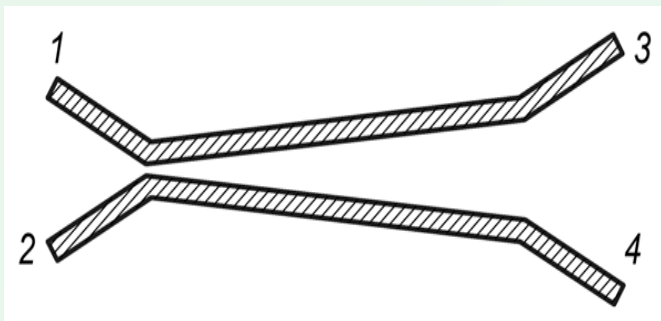
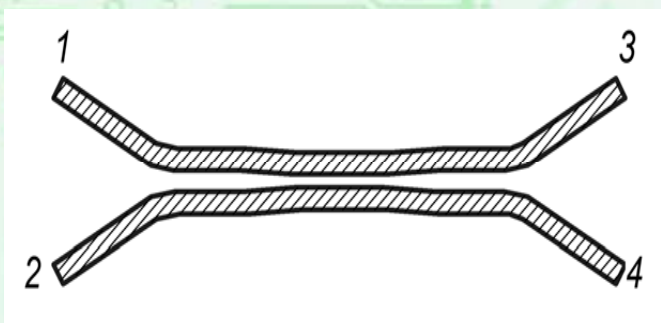
# Моделирование направленного ответвителя 2 – 4 ГГц на СПЛ





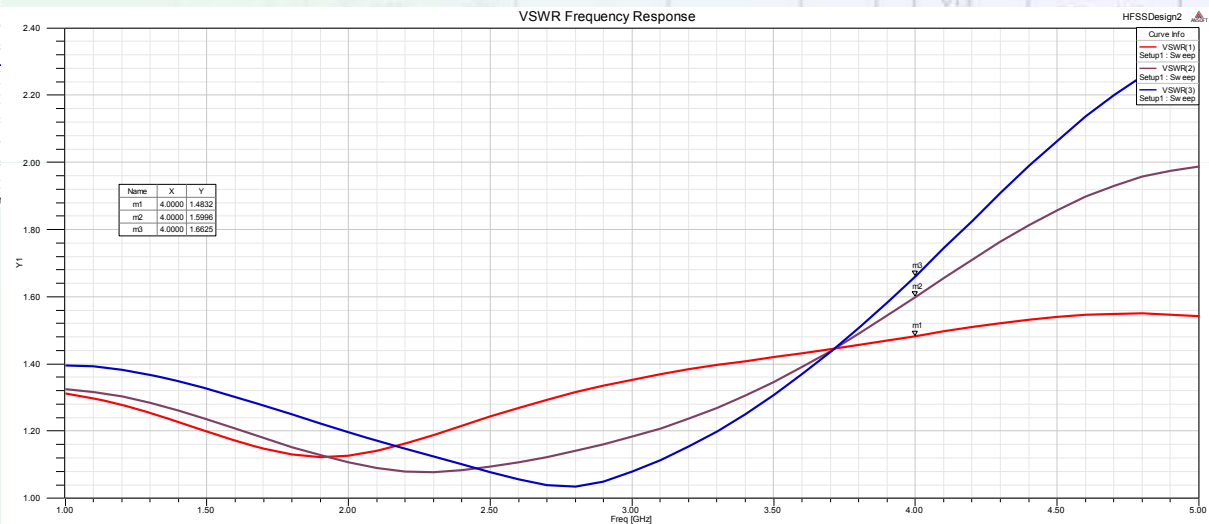
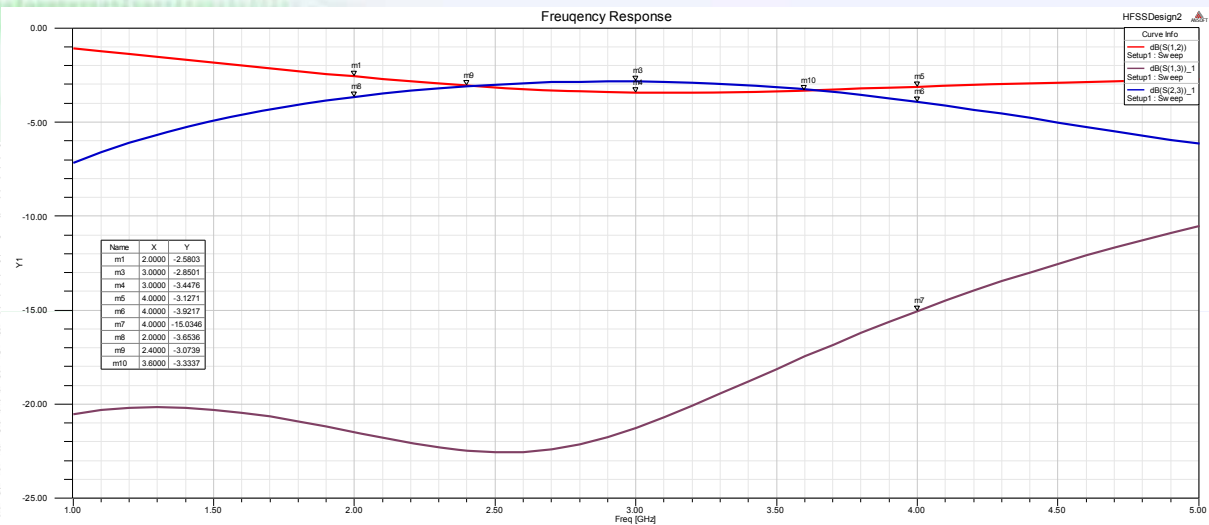
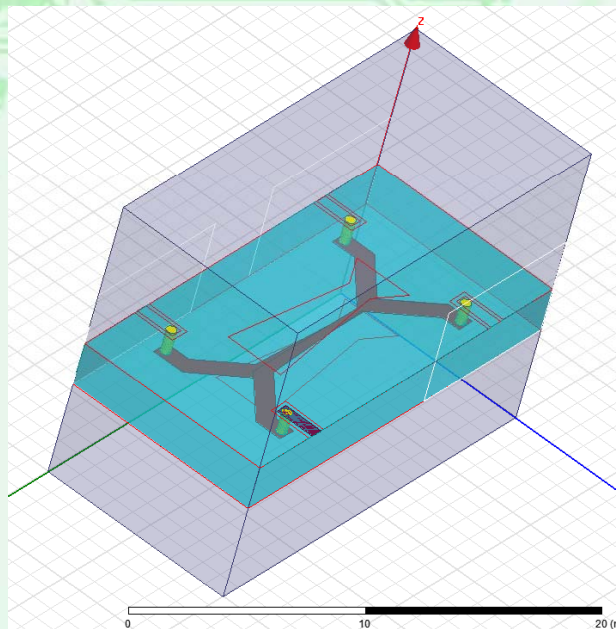
# Моделирование направленного ответвителя 2 – 4 ГГц на СПЛ

## Применение связанных неоднородных линий

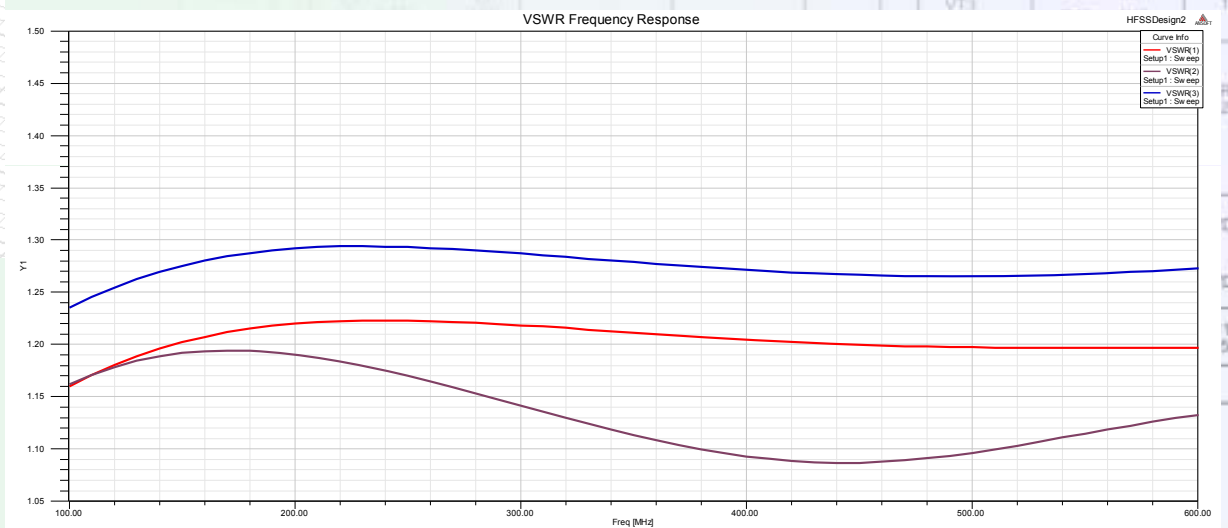
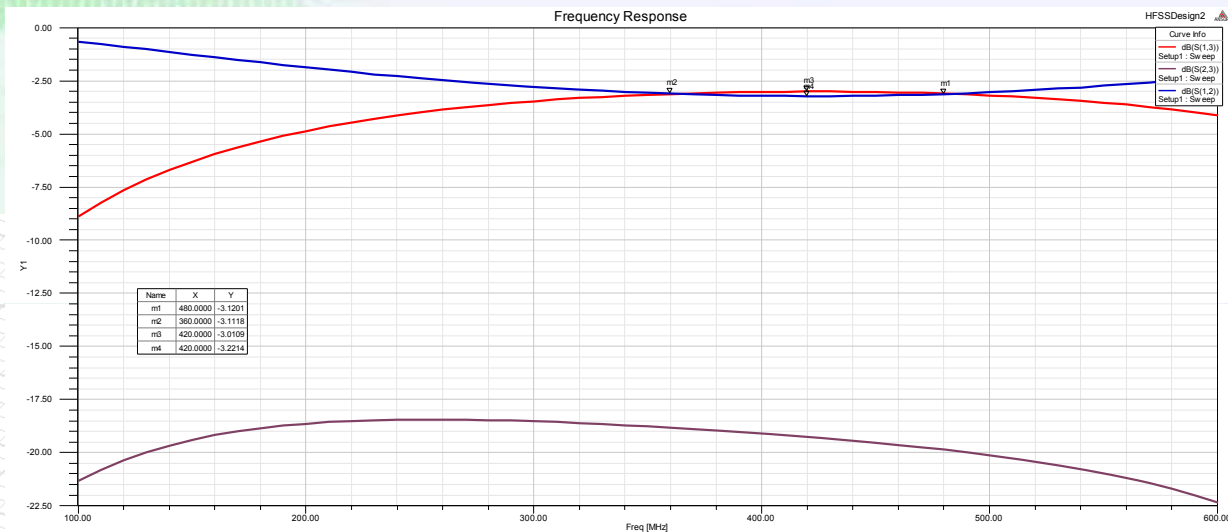
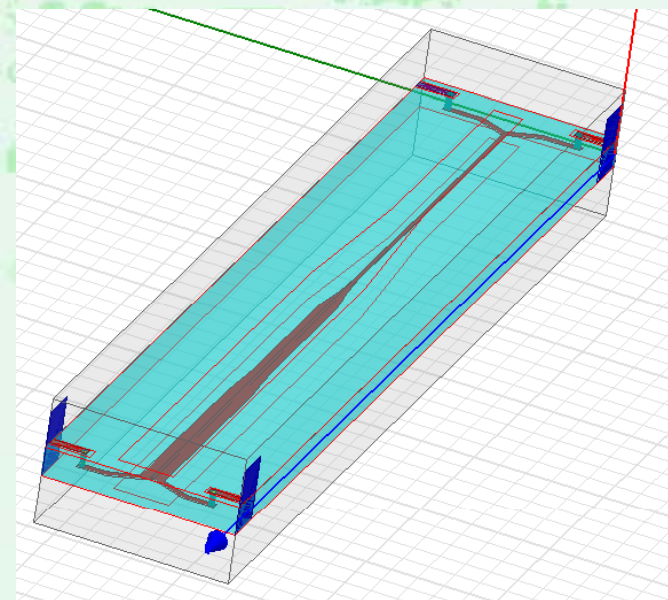


В НО на СНЛ исключены электрические неоднородности, имеющие место в ступенчатых ответвителях, где они возникают в следствие скачкообразного изменения конфигурации связанных линий. Размеры внешнего и внутренних проводников в области связи НО на СНЛ изменяются плавно, это свойство обеспечивает высокую направленность, достигающую 25 – 35 дБ. Уменьшение неоднородностей позволяет реализовать требуемые частотные характеристики переходного затухания в сверхширокой полосе частот.

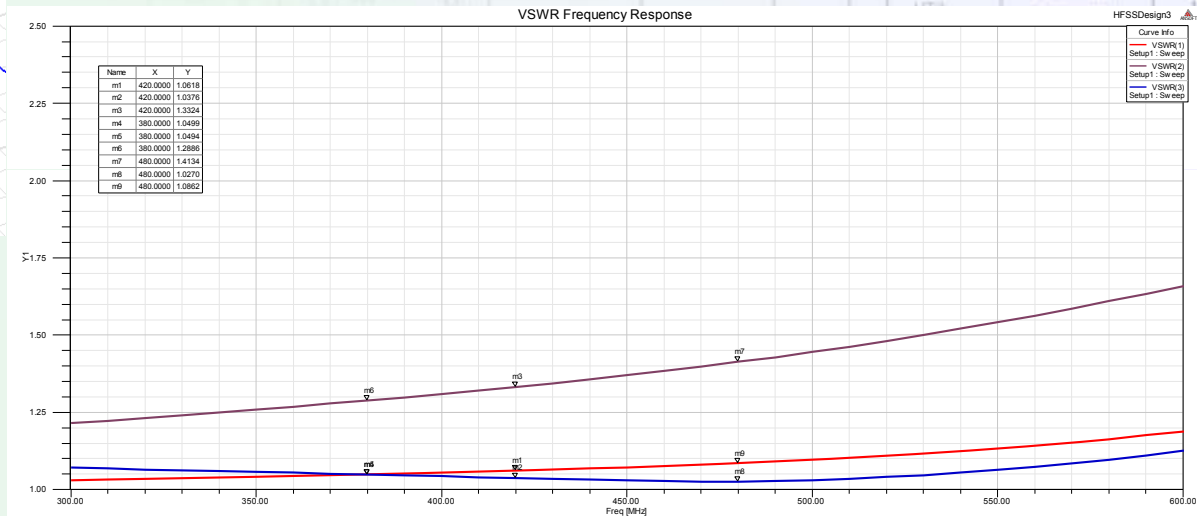
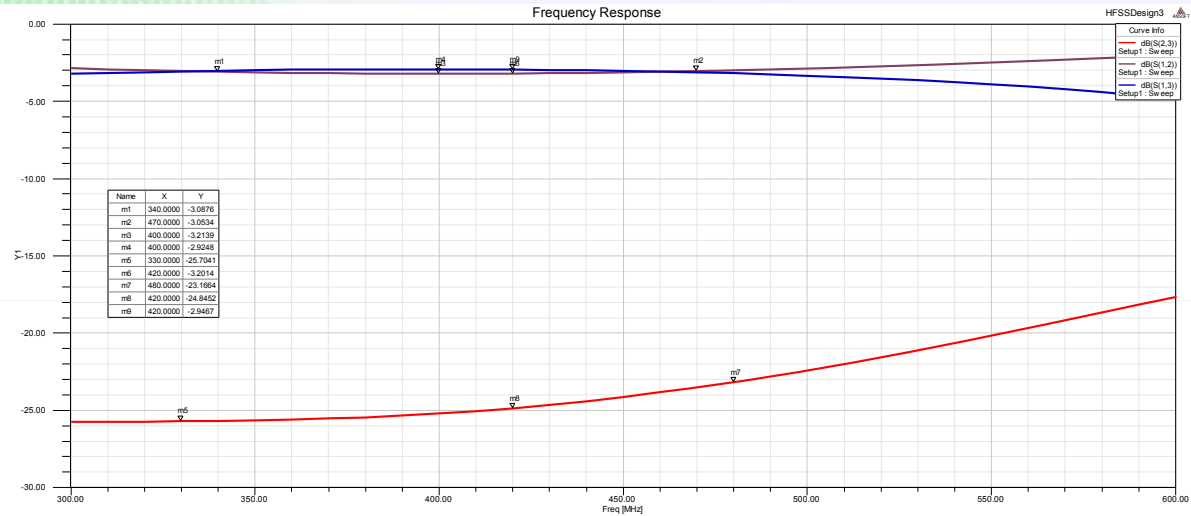
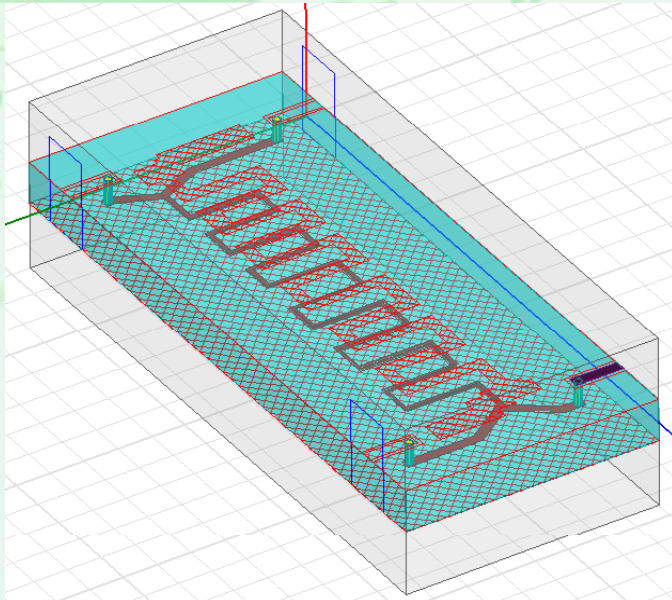
# Моделирование направленного ответвителя 2 – 4 ГГц на СПЛ



# Моделирование направленного ответвителя 380 – 480 МГц на СПЛ

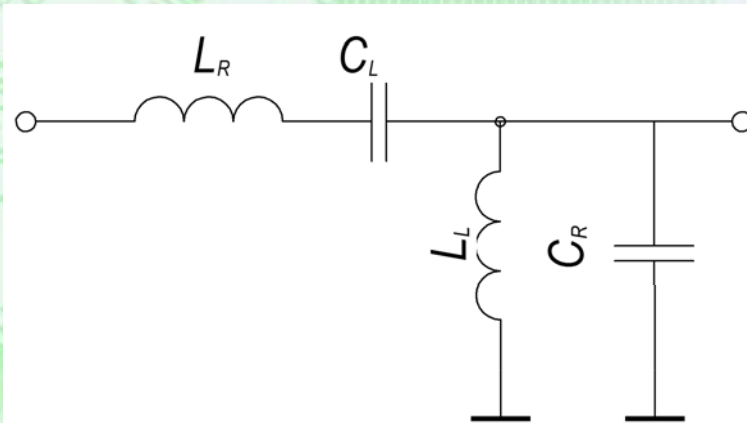


# Моделирование направленного ответвителя 380 – 480 МГц на СПЛ

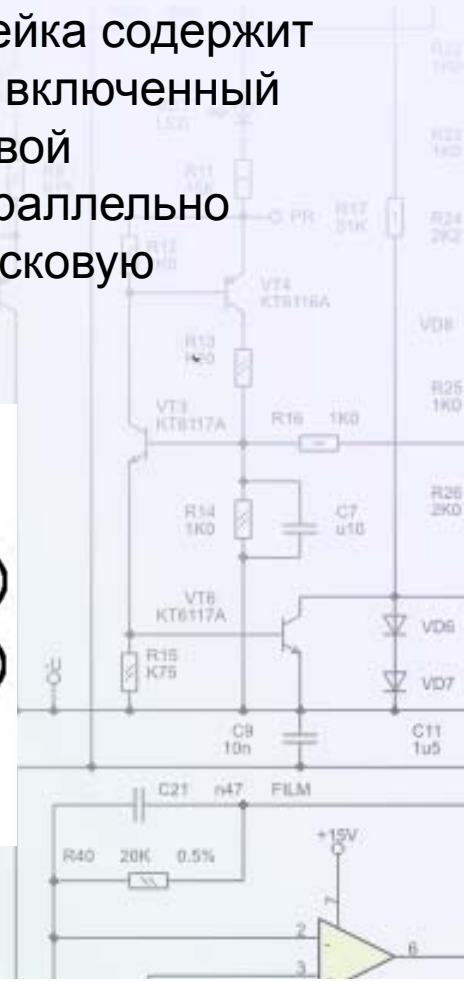
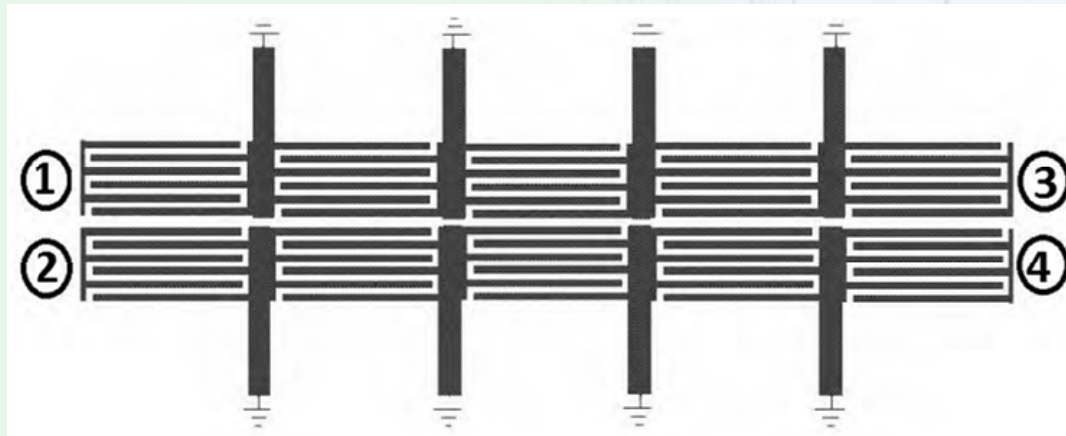




# Направленные ответвители на основе линий с положительной и отрицательной дисперсией



НО состоит из двух цепочек элементарных ячеек. Каждая элементарная ячейка содержит последовательно включенный встречно-штырьевой конденсатор и параллельно включенную полосковую индуктивность.



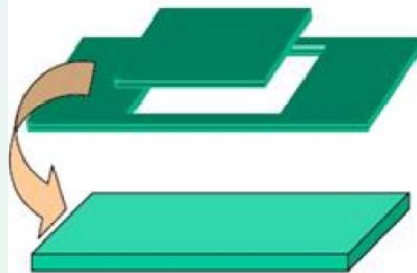


# Многослойные технологии, используемые для создания конструкций на СПЛ

- **Технология многослойной низкотемпературной керамики (LTCC).**

После процесса обжига получается многослойная интегральная схема, представляющая собой совокупность требуемого числа диэлектрических слоев и размещенных между ними плоских токонесущих проводников заданной топологии.

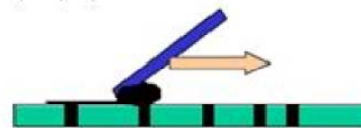
1. Производство и резка "зелёных листов"



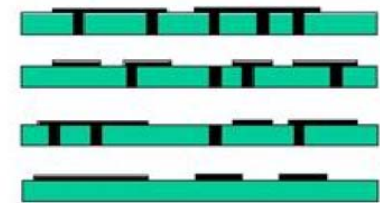
2. Формирование сквозных отверстий



3. Заливка сквозных отверстий  
Трафаретная печать



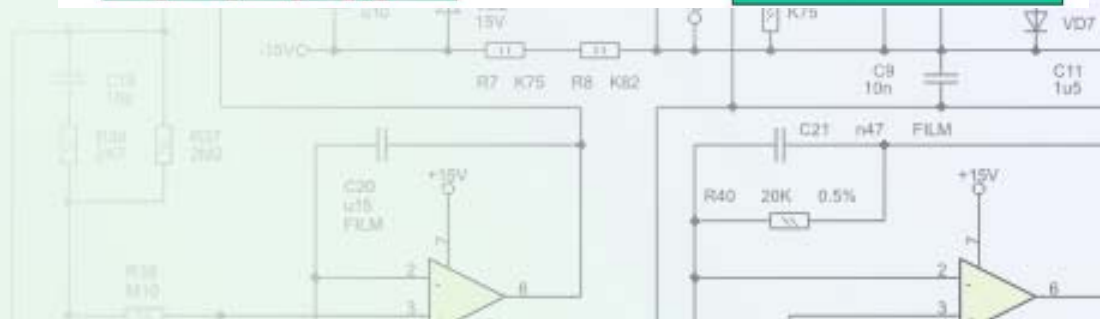
4. Укладка в стопу



5. Ламинирование



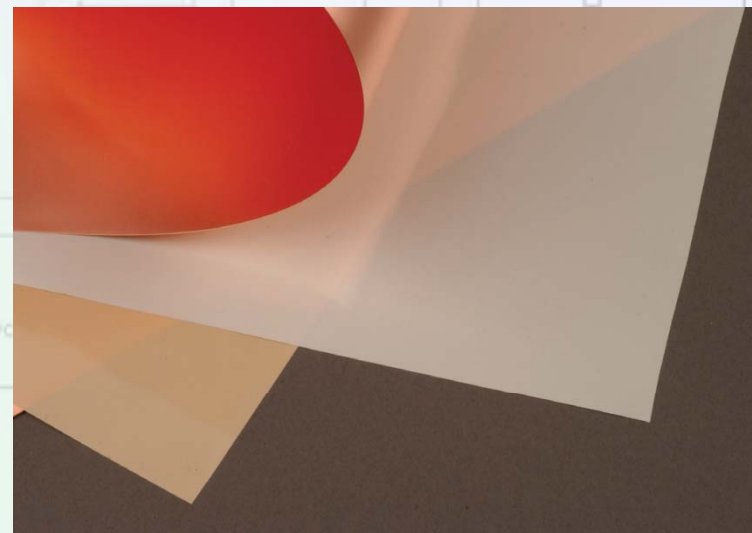
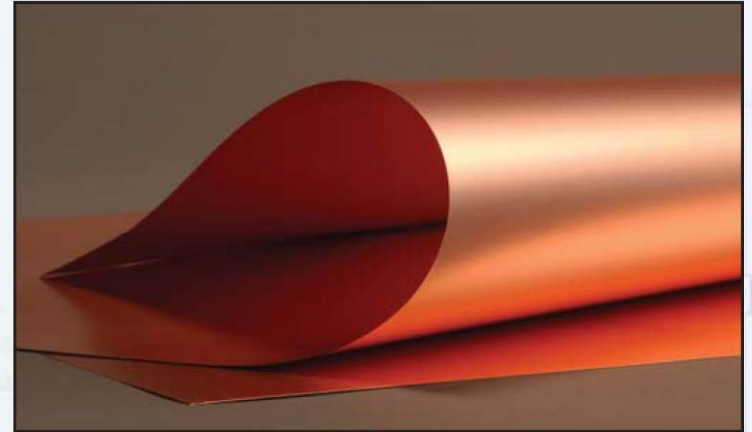
6. Обжиг (850°C)



# *Многослойные технологии, используемые для создания конструкций на СПЛ*

- **Технология жидкокристаллических полимерных материалов (LCP)**

Технология работы с LCP схожа с технологией создания многослойных печатных плат. Однако благодаря малым потерям LCP материалы могут быть использованы для изготовления малогабаритных сверхвысокочастотных устройств (десятки ГГц).



# Многослойные конструкции на основе LCP материалов (Ultralam<sup>®</sup> Rogers)

ULTRALAM 3850 double clad with one side etched off.

ULTRALAM 3908 bonding film

ULTRALAM 3850 double clad

ULTRALAM 3850 double clad

ULTRALAM 3908 bonding film

ULTRALAM 3850 double clad

ULTRALAM 3850 double clad

1 or 2 mil (25mm, 50mm) ULTRALAM 3908 Bonding Film

1,2 or 4 mil (25mm, 50mm, 100mm) ULTRALAM 3850 double clad spacer with both sides etched off

1 or 2 mil (25mm, 50mm) ULTRALAM 3908 Bonding Film

ULTRALAM 3850 double clad

Трехслойная конструкция

Конструкция, содержащая 4 или более слоев



# Список литературы

- Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи, т. 1 [Текст] / Д.Л. Маттей, Л. Янг, Е.М.Т. Джонс, Пер. с англ. под ред. Л.В. Алексеева, Ф.В. Кушнера. – М.: Связь, 1971. – 439 с., ил.
- Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи, т. 2 [Текст] / Д.Л. Маттей, Л. Янг, Е.М.Т. Джонс, Пер. с англ. под ред. Л.В. Алексеева, Ф.В. Кушнера. – М.: Связь, 1972. – 495 с., ил.
- Мещанов, В.П. Автоматизированное проектирование направленных ответвителей СВЧ [текст] / В.П. Мещанов, А.Л. Фельдштейн – М.: Связь – 1980. – с. 144, ил.
- Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р. Синтез четырехполюсников и восьмиполюсников на СВЧ [текст] / А.Л. Фельдштейн, Л.Р. Явич – М.: Связь – 1971. – с. 388, ил.
- Микроэлектронные устройства СВЧ: Учеб. пособие для радиотехнических специальностей ВУЗов [Текст] / Г.И. Веселов, Е.Н. Егоров, Ю.Н. Алехин и др.; Под ред. Г.И. Веселова. – М.: Высш. Шк., 1988. – 280 с., ил.
- Вендик, И.Б. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига [текст] / И.Б. Вендик, Д.В. Холодняк, А.В. Симин // Компоненты и технологии – 2005 - № 5 – с. 190-196.
- Вендик, И.Б. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига. Средства проектирования и реализация пассивных устройств [текст] / И.Б. Вендик, Д.В. Холодняк, А.В. Симин // Компоненты и технологии – 2005 - № 6 – с 210-216.
- Movahhedi, M Coupled-Line Couplers Based on the Composite Right/Left-Handed (CRLH) Transmission Lines [текст] / Masoud Movahhedi and Rasool Keshavarz // Trends in Electromagnetism – From Fundamentals to Applications – 2010 – pp. 251-276.



Спасибо за внимание!

