

# Принцип электродинамического подобия при синтезе перестраиваемых полосовых фильтров СВЧ

Д.А. Смирнова, Э.Ю. Седышев

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

**Аннотация:** в работе рассматривается проектирование перестраиваемого микроволнового преселектора на цилиндрической поверхности. С помощью изменения длины шлейфов устройства частотной селекции происходит изменение центральной частоты полосы пропускания, фильтр перестраивается и работает на других частотах. Приводятся расчетные и экспериментальные характеристики устройства частотной селекции.

**Ключевые слова:** принцип электродинамического подобия, масштабирование, фильтр, преселектор, перестройка центральной частоты, СВЧ

## 1. Введение

На сегодняшний день устройства частотной селекции являются важнейшими компонентами микроволновых устройств. Микроволновые фильтры выделяют полезные составляющие и подавляют нежелательные составляющие сигнала. Управляемые устройства частотной селекции являются важным направлением развития радиоэлектроники, поскольку позволяют сократить количество независимых фильтров, а следовательно, уменьшить массогабаритные характеристики и стоимость микроволновой системы. Разработка и внедрение в практику новых конструкций микроволновых перестраиваемых фильтров имеют важное значение для современной радиоэлектроники, включая системы беспроводной связи, радарные системы, спутниковую связь и т.д.

На практике уже применяются различные электрически управляемые преселекторы СВЧ, которые выполняются на полупроводниках, пьезо- и сегнетоэлектриках и др. [1]. Однако, нужно отметить, ограниченный частотный диапазон, в котором могут работать данные устройства. На частотах свыше 3 ГГц целесообразно использование простых управляемых преселекторов аналогового вида. В данной работе предлагается конструкция преселектора на цилиндрической поверхности с элементами масштабирования.

## 2. Эмуляция и 3D-моделирование микрополоскового преселектора

Принцип электродинамического подобия предполагает сохранение работоспособности устройства при изменении его линейных размеров [2]. В соответствии с данным принципом было решено создать такую конструкцию преселектора, с помощью которой будет возможно перестраивать полосу пропускания устройства путем изменения длины шлейфов.

В качестве исходной конструкции был выбран шлейфный полосно-пропускающий фильтр (ППФ) пятого порядка в режиме холостого хода. Топология полученного фильтра представлена на рисунке 1.

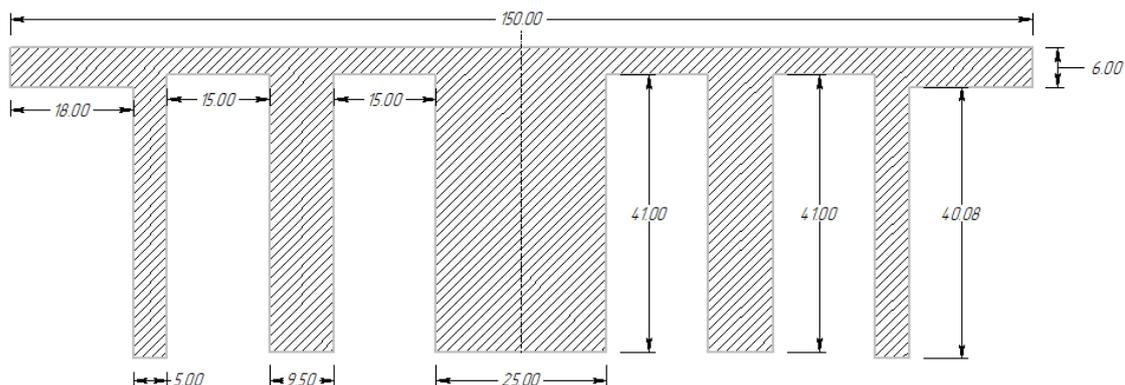


Рисунок 1. Топология микрополоскового ППФ

Принципиальная схема полученного фильтра в программе RFSim99 изображена на рисунке 2.

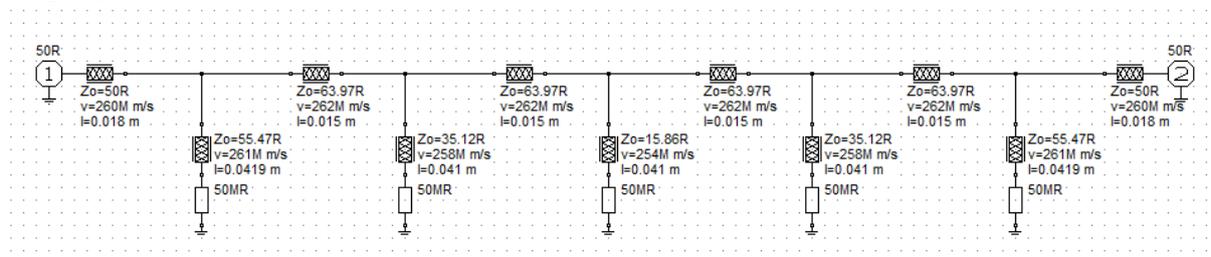


Рисунок 2. Принципиальная схема ППФ

Основные расчетные параметры фильтра: центральная частота 3 ГГц, относительная полоса пропускания 25 %. Результаты эмуляции представлены на рисунке 3.

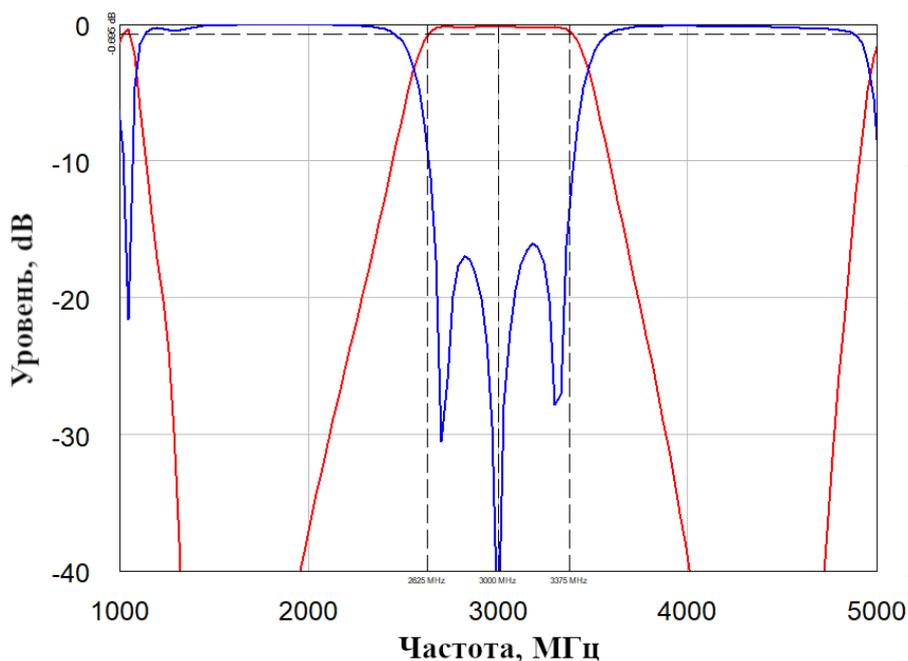


Рисунок 3. S-параметры синтезированного ППФ

В учебной версии TFlexCAD была создана 3D-модель полоскового преселектора, располагающегося на цилиндрической поверхности (рис. 4).

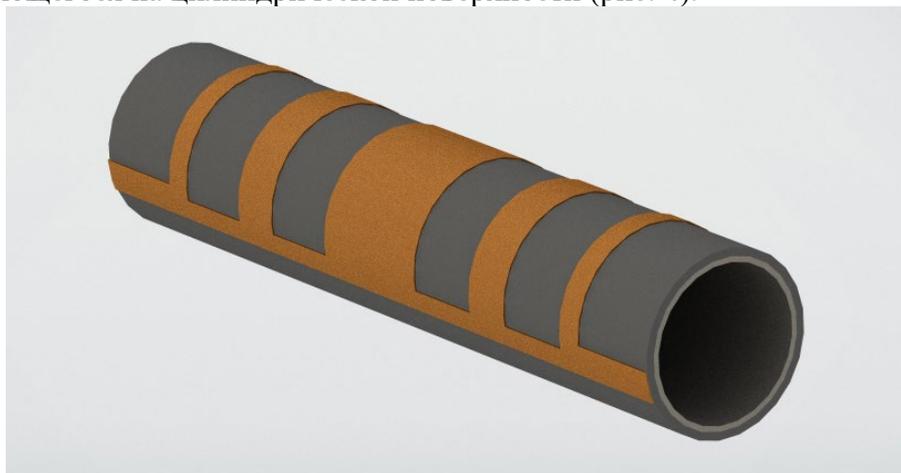


Рисунок 4. 3D-модель полоскового ППФ на цилиндрической поверхности

Визуализация увеличения длины шлейфов представлена на рисунке 5.

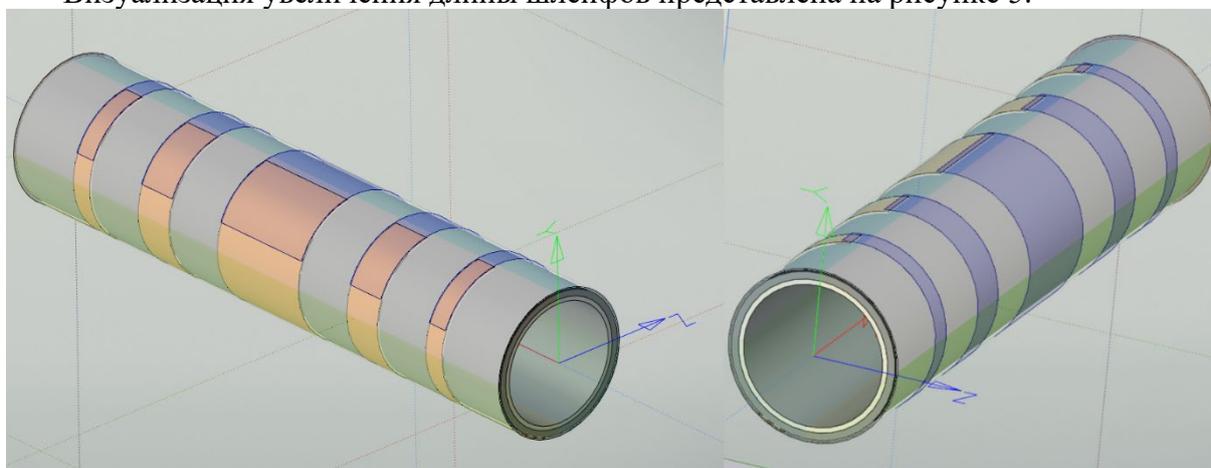
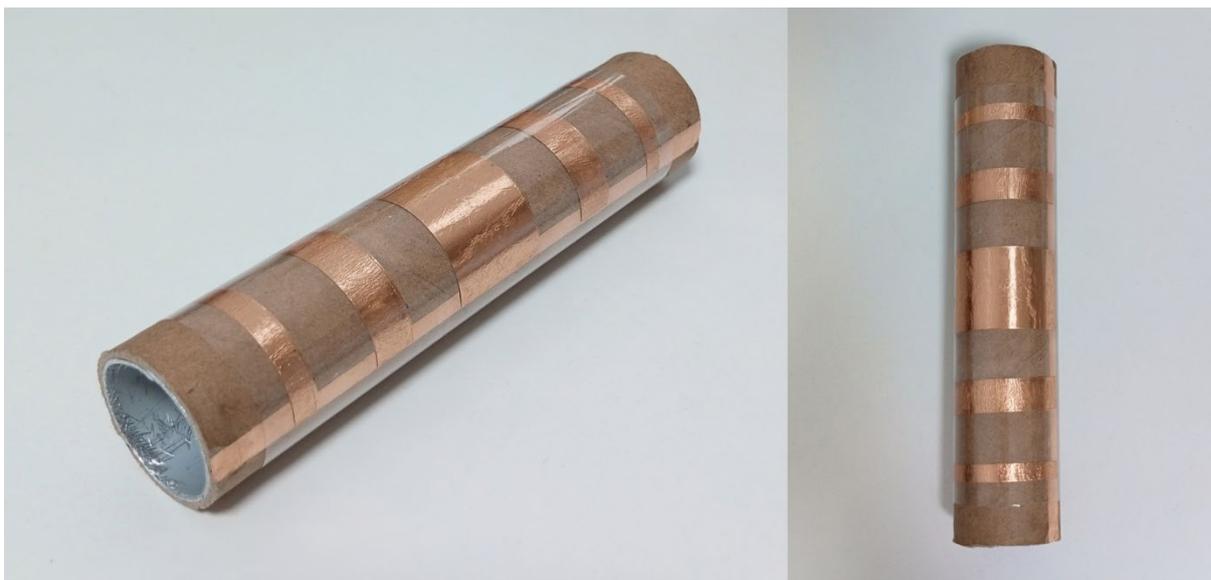


Рисунок 5. Визуализация изменения длины шлейфов

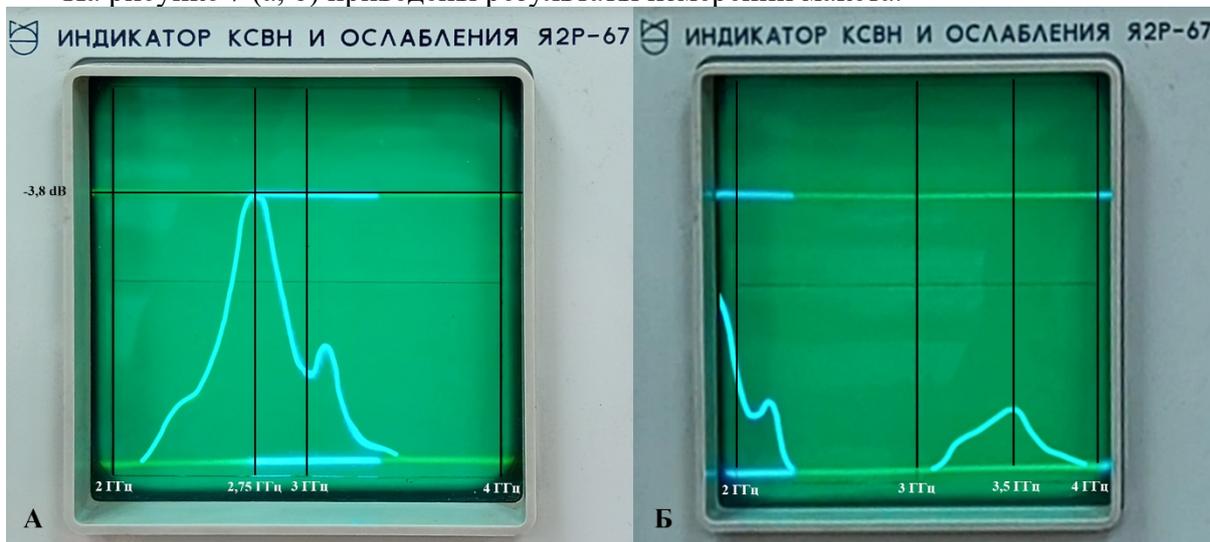
### 3. Экспериментальные результаты

По результатам расчета фильтра был создан макет на цилиндрической подложке с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  порядка 1,45 и толщиной 1,5 мм. Фотографии изготовленного макета приведены ниже (рис. 6).



**Рисунок 6.** Макет преселектора на цилиндрической поверхности

На рисунке 7 (а, б) приведены результаты измерений макета.



**Рисунок 7.** Передаточная характеристика ППФ на цилиндрической поверхности: А – без увеличения шлейфов; Б – с увеличением шлейфов в 1,5 раза

Проведенные измерения показали, что центральная частота фильтра в случае, когда шлейфы не удлинялись (рис. 7а), составила 2,75 ГГц, потери -3,8 dB. Далее шлейфы масштабировались в 1,5 раза, что привело к смещению центральной частоты на 1,95 ГГц (рис. 7б). Также возникла вторая полоса пропускания на кратной частоте (3,5 ГГц). При увеличении длины шлейфов в 2 раза полоса пропускания смещалась за пределы рабочего диапазона измерительного прибора, но при этом вторая полоса на кратной частоте смещалась на 2,75 ГГц. Также нужно отметить изменение относительной ширины полосы пропускания при перестройке фильтра.

Отличие полученной характеристики при измерениях от расчетной связано с недостаточной точностью согласования фильтра и технической сложностью изготовления макета, а также тем, что при моделировании работы преселектора не учитывалось влияние пленки из лавсана с нанесенными на нее шлейфами. Потери возникают из-за материала подложки. Как было выяснено ранее [3] ширина полосы пропускания зависит от волнового сопротивления эйконала и шлейфов. В

предложенной конструкции фильтр масштабировался только по оси Y (длина шлейфов), а ось X (волновое сопротивление шлейфов) и волновое сопротивление эйконала сохранялись неизменными, что, вероятно, стало причиной изменения относительной полосы пропускания при перестройке центральной частоты. Однако данная конструкция выполняет свои функции – при увеличении длины шлейфов происходит перестройка центральной частоты преселектора, что доказывает ее работоспособность.

#### 4. Заключение

По результатам выполненной работы можно сделать вывод о том, что предлагаемая конструкция перестраиваемого полосового фильтра СВЧ на цилиндрической подложке работоспособна. Использование принципа электродинамического подобия позволяет оценить изменения АЧХ в результате масштабирования длины шлейфов. Данная конструкция предназначена для миллиметрового диапазона длин волн.

#### Список литературы

1. Богданова О.В., Холодняк Д.В. Малогабаритные полосно-пропускающие фильтры с электронной перестройкой // Материалы VI Научно-практической конференции «Наука настоящего и будущего», г. С.-Петербург, 2018. – С. 221-225.
2. Гвоздев В.И., Нефёдов Е.И. Объёмные интегральные схемы СВЧ. М.: Наука Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 256 с.
3. Смирнова Д.А., Седышев Э.Ю. Принцип электродинамического подобия при решении инженерных задач микроволновой техники // Сборник научных статей XIII Международной научно-технической и научно-методической конференции «АПИНО», С.-Петербург, 2024.
4. Васяткин М.А., Ланда А.Э., Седышев Э.Ю. Синтез фильтра СВЧ на цилиндрической поверхности // Сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции «АПИНО», С.-Петербург, 2023. – С. 574-578.