

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНО-ЩЕЛЕВЫХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОЛНОВОДНЫХ ФИЛЬТРОВ СВЧ

Мосейчук Р.С., Копылова Н.А.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Копылов А.Ф.

*Сибирский федеральный университет*

Целью настоящей работы являлось исследование амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), фазочастотных характеристик (ФЧХ) и частотных характеристик группового времени запаздывания (ГВЗ) резонансно-щелевых топологических структур, представляющих собой продольные или поперечные щели в металлических мембранах, устанавливаемых в поперечных сечениях волноводов. Нам представляется, что такие структуры позволят выполнить на их основе СВЧ волноводные фильтры, обладающие АЧХ, ФЧХ и ГВЗ, удовлетворяющие ряду требований, реализация которых невозможна при использовании иных принципов построения фильтров СВЧ. Это относится, в частности, к возможности сочетания больших величин затухания в совокупности с приемлемыми (минимальными) фазовыми характеристиками и характеристиками ГВЗ при относительно небольших габаритах фильтрующих систем такого типа по сравнению с традиционными штыревыми волноводными фильтрующими системами.

Необходимость в таких исследованиях возникает несмотря на большое количество работ, посвященных разработке и исследованию волноводных СВЧ фильтров, использующих резонансно-щелевой принцип построения звеньев, так как всегда актуальной остается необходимость разработки и реализации таких устройств для собственного использования.

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования АЧХ, ФЧХ и ГВЗ продольных и поперечных щелей, выполненных в металлических латунных мембранах, устанавливаемых в поперечное сечение волновода размером 35x15 мм. Рисунок конструкции таких щелевых мембран (топологических структур) представлен на рис. 1. На этом рисунке координата  $X$  соответствует размеру вдоль широкой стенки волновода, а координата  $Y$  – размеру вдоль узкой стенки.

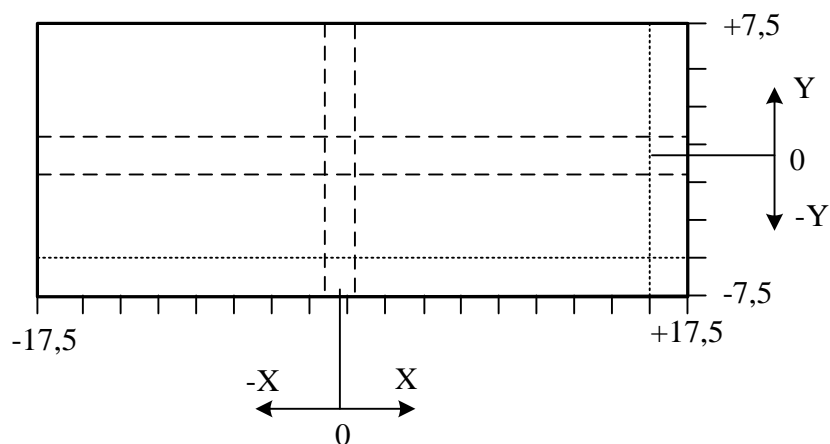


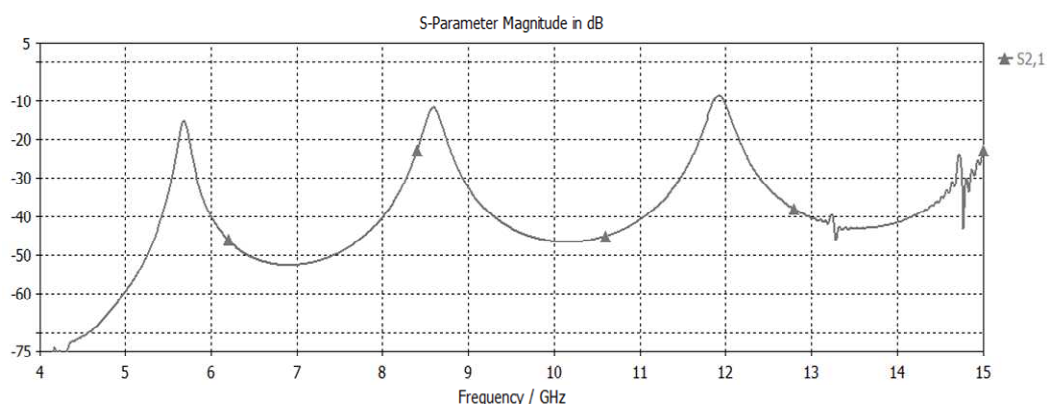
Рис. 1 Схематическое изображение латунной мембраны в прямоугольном волноводе сечением 35x15 мм

Начала координат по оси  $X$  и оси  $Y$  приняты в центре волновода; при этом положительные отклонения размеров топологических структур будут положительными вправо по оси  $X$  и вверх по оси  $Y$ , а отрицательные – соответственно влево по оси  $X$  и вниз по оси  $Y$  относительно этого принятого центра (начала координат).

Исследуемые топологические структуры представляли собой две группы щелевых латунных мембран, устанавливаемых в поперечное сечение волновода  $35 \times 15$  мм. Первая группа мембран имела горизонтальные (продольные относительно широкой стенки волновода) щелевые топологии размерами 2 мм по ширине и длиной, равной длинной стенке волновода. Вторая группа мембран имела вертикальные (поперечные относительно широкой стенки волновода) щелевые топологии размерами также 2 мм по ширине и длиной, равной широкой стенке волновода. Эти щели обозначены на рис. 1 штриховыми линиями.

Моделирование проводилось с помощью программы CST-studio для диапазона частот 4-15 ГГц. Вначале рассчитывались АЧХ, ФЧХ и ГВЗ коэффициента передачи (параметра  $S_{21}$ ) поперечных щелей шириной 2 мм, начиная с начала координат при  $X=0$ , с шагом 2 мм (на последнем шаге вправо и влево относительно начала координат шаг имеет величину 1 мм). Далее рассчитывались АЧХ, ФЧХ и ГВЗ коэффициента передачи (параметра  $S_{21}$ ) продольных щелей шириной 2 мм, начиная с начала координат при  $Y=0$ , с шагом 2 мм (на последнем шаге вверх и вниз относительно начала координат шаг равен 1 мм).

Результаты моделирования для поперечных щелей показали ряд резонансов на АЧХ параметра  $S_{21}$ , представляющих собой полосы пропускания. При наибольшем удалении от центра сечения волновода потери на резонансных пиках составляли от 30 до 5 дБ, при этом потери росли по мере удаления от центра волновода. Наименьшие потери имели место в том случае, когда поперечная щель располагалась в центре волноводного сечения. АЧХ, ФЧХ и ГВЗ коэффициента передачи (параметра  $S_{21}$ ) для этого случая представлены на рис. 2 *а, б, в*, соответственно. Как видно из кривой АЧХ, в этом случае расчетные потери вертикальной щели на пиках резонансных кривых невелики, и такая структура поперечной щели в мембране, установленной в поперечном сечении волновода вполне может быть использована для реализации базового элемента полосно-пропускающих фильтров.



*а*

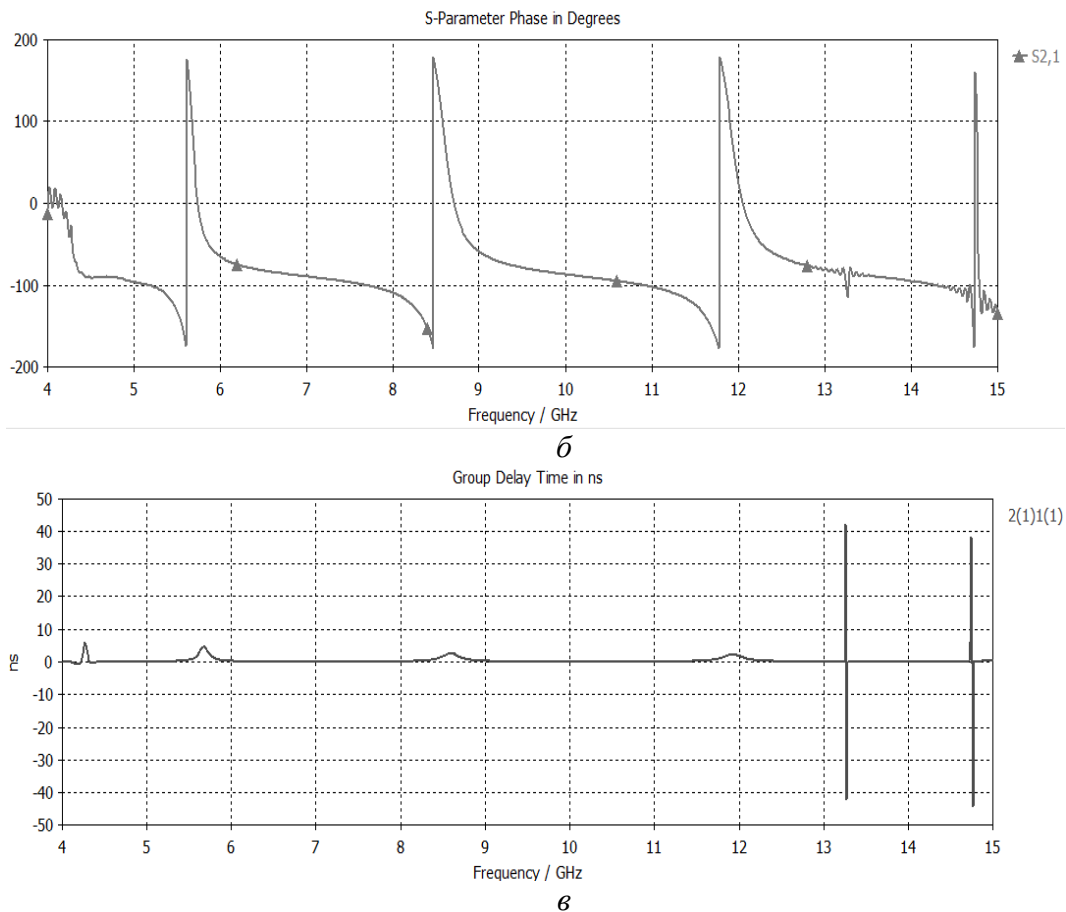
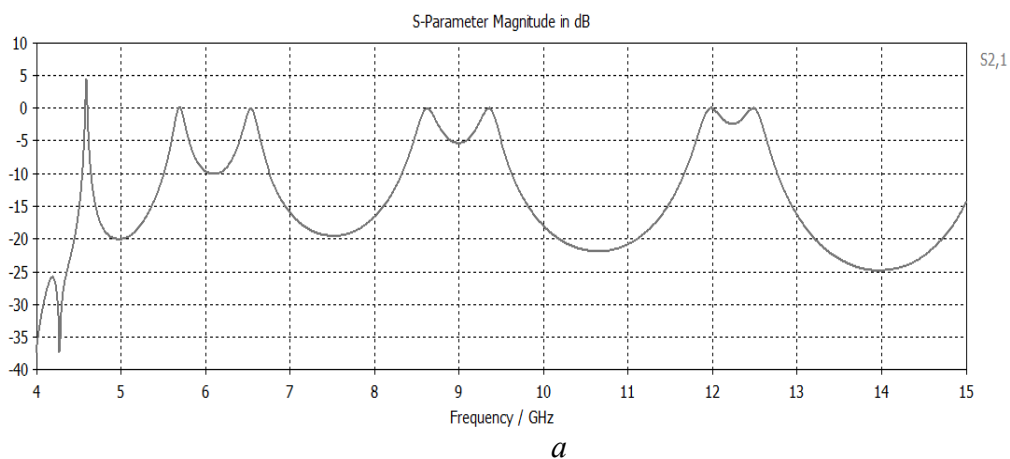


Рис. 2. АЧХ (а), ФЧХ (б) и ГВЗ (в) коэффициента передачи (параметра  $S_{21}$ ) для случая расположения поперечной щели резонансной мембраны в центре сечения волновода

Аналогичная картина наблюдалась при исследовании АЧХ, ФЧХ и ГВЗ коэффициента передачи  $S_{21}$  для случаев продольных щелей: указанные характеристики показывали ряд резонансов, соответствующих полосам пропускания, при этом приемлемо низкими потерями эти резонансы обладали в том случае, когда щель в мембране, установленной в поперечном сечении волновода, располагалась в центре волновода. На рис. 3 а, б, в показаны соответственно АЧХ, ФЧХ и ГВЗ коэффициента передачи  $S_{21}$  для продольной щели, расположенной в центре сечения волновода.



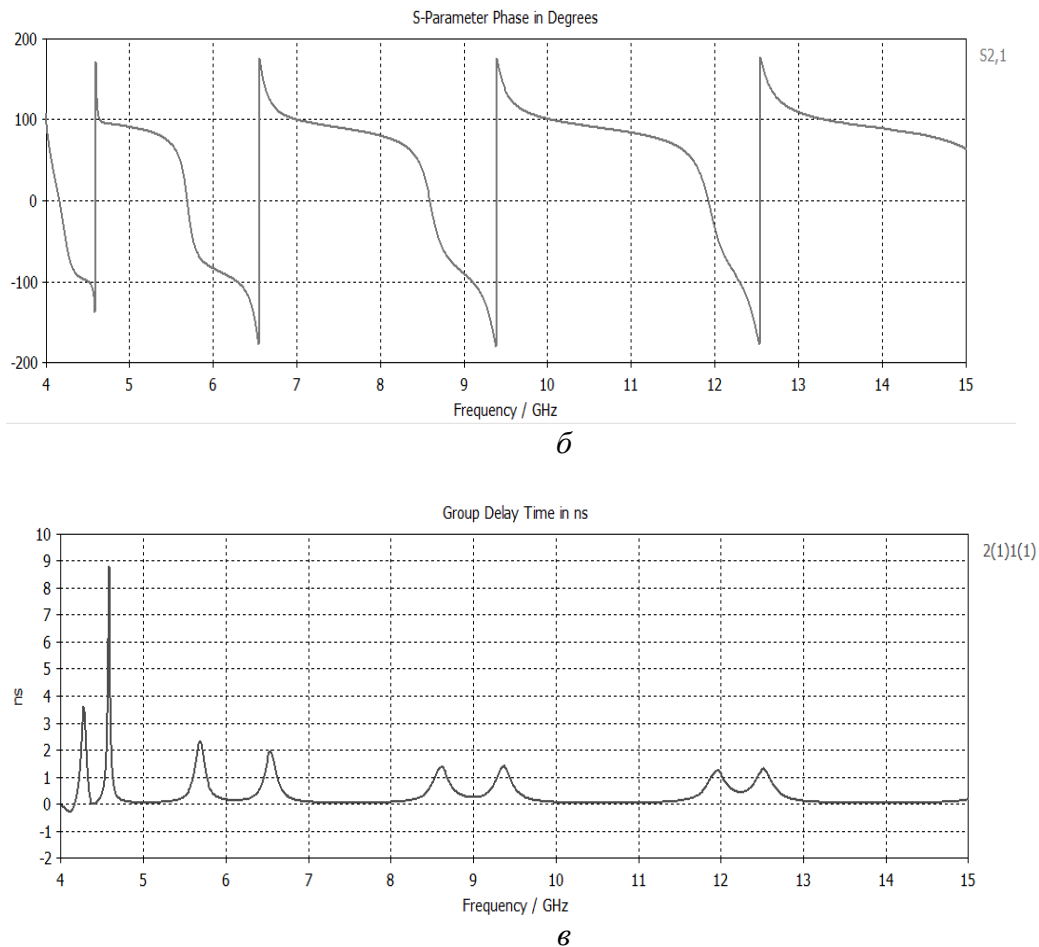


Рис. 3. АЧХ (а), ФЧХ (б) и ГВЗ (в) коэффициента передачи (параметра  $S_{21}$ ) для случая расположения продольной щели резонансной мембраны в центре сечения волновода

Кроме неплохих результатов, полученных для АЧХ, ФЧХ и ГВЗ коэффициента передачи  $S_{21}$ , интересным, на наш взгляд, является то, что возбуждение резонансов в поперечной щели прямоугольного волновода является индуктивным, так как поперечная щель пересекает силовые линии магнитного поля волновода, а возбуждение резонансов в продольной щели прямоугольного волновода является ёмкостным, так как продольная щель пересекает силовые линии электрического поля волновода. Этот факт может сыграть важную роль в построении фильтров СВЧ на основе использования резонансных свойств поперечных щелевых структур с индуктивным возбуждением, поскольку именно такой тип возбуждения предпочтителен для реализации фильтров с наибольшей добротностью; при этом индуктивное возбуждение в представленной конструкции не вызывает технологических проблем.

Нам представляется, что полученные результаты моделирования показывают возможность реализации СВЧ волноводных фильтров с малыми потерями на продольных и поперечных резонансно-щелевых топологических структурах, выполненных в металлических мембранах, установленных в поперечное сечение прямоугольного волновода как с индуктивным возбуждением (поперечная щель), так и с ёмкостным возбуждением (продольная щель).