

Мультиплексор на основе SIW-технологии

А.И. Тюменцев, Т.С. Тимошенко

АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»

Аннотация: в данной работе показана возможность разработки миниатюрного мультиплексора на основе SIW-технологии. Выполнен предварительный расчет конструкций трех полосовых фильтров на разные частоты. Проведено электромагнитное моделирование рассчитанных конструкций. Представлена конструкция мультиплексора, состоящая из трех полосовых фильтров и корректирующих цепочек. В результате электромагнитного моделирования получены: потери в полосе пропускания менее 3 дБ в каждом канале, изоляция между выходами мультиплексора не менее 50 дБ и затухание за полосой не менее 50 дБ.

Ключевые слова: SIW, мультиплексор, фильтр, LTCC

1. Введение

В настоящее время развитие систем многоканальной связи требует все новых решений в области частотно-разделительных устройств, обеспечивающих их работу. Мультиплексор представляет собой частотно-разделительное устройство, предназначенное для разделения нескольких сигналов на разных частотах. Применение мультиплексоров в системах многоканальной связи, зачастую обуславливает качество принимаемого сигнала. На сегодняшний день применяются разные конструктивные исполнения мультиплексоров: на основе металлических или диэлектрических объемных резонаторов, на основе микрополосковых структур или структур с отводами. Основными преимуществами таких конструкций являются малые потери в полосе пропускания, избирательность и достаточно большая проходная мощность. При этом одни конструкции имеют достаточно большие габаритные размеры, а также сложный процесс подстройки, а другие при малых габаритных размерах не обеспечивают всю совокупность требуемых электрических параметров.

В работе представлена разработка миниатюрного мультиплексора, состоящего из трех полосовых фильтров, выполненных по SIW-технологии в структуре LTCC. Также в работе показан алгоритм перехода от значений номиналов элементов эквивалентной схемы полосового фильтра, выполненного по SIW-технологии, к его конструктивным параметрам. Представлены результаты электромагнитного моделирования мультиплексора, выполненного по SIW-технологии.

2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

В общем виде структурная схема трехканального мультиплексора (далее – триплексер) представляет собой три узкополосных полосовых фильтра одного типа, настроенных на разные рабочие частоты и согласованными по входу корректирующими цепочками (для обеспечения параллельной работы фильтров), как показано на рисунке 1.

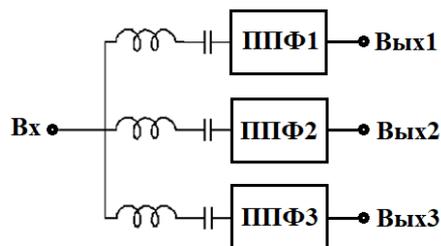


Рисунок 1. Структурная схема триплексера

Полосовые фильтры представляют собой два емкостно-нагруженные объёмные резонатора, выполненные по SIW-технологии, соединенные емкостной связью. Расчетные S-параметры триплексера с полосами пропускания 1710-1880 МГц, 2500-2690 МГц и 3400-3800 МГц приведены на рисунке 2. Эквивалентная схема фильтра на основе емкостно-нагруженного объемного резонатора, представляет собой фильтр на параллельных контурах с емкостной связью и представлена на рисунке 3. Последовательный контур на входе каждого из полосовых фильтров был рассчитан на центральную частоту f_0 и предназначен для корректировки входного сопротивления Z_{in} полосового фильтра, выполненного по схеме на параллельных контурах. Обеспечение монотонного возрастания входного сопротивления позволит скомпенсировать влияние фильтров друг на друга, включенных параллельно по входу.

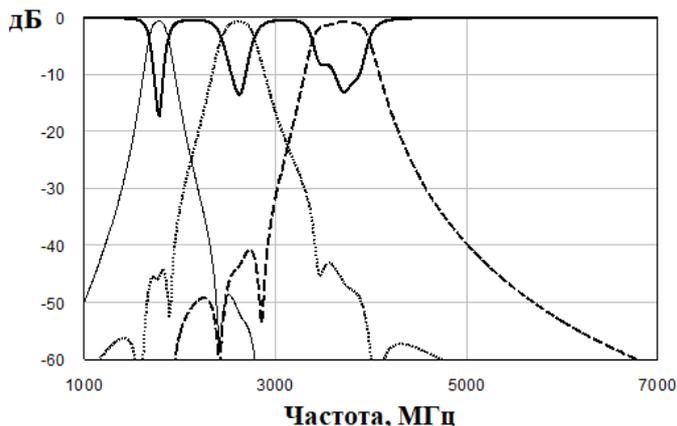


Рисунок 2. S-параметры схемы триплексера

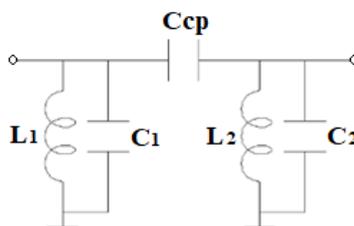


Рисунок 3. Схема полосового фильтра на параллельных контурах с емкостной связью

Одним из наиболее часто применяемых методов проектирования фильтров на связанных контурах является метод перехода от низкочастотного прототипа к полосовому полиномиальному фильтру. Задав граничные частоты полосы пропускания полосового фильтра, параметры элементов эквивалентной схемы с использованием номиналов элементов НЧ фильтра-прототипа могут быть получены как [1]:

$$C_{ср} = \frac{\omega_0}{\omega_1 \omega_2} \sqrt{\frac{(\omega_1 - \omega_2) C_{r2}}{R_2 a_2}} \quad (1)$$

$$C_{r1} = \frac{\alpha_1}{(\omega_1 - \omega_2) R_2} \quad (2)$$

$$C_1 = C_{r1} - C_{12} \quad (3)$$

$$L_1 = \frac{1}{C_{r1} \omega_0^2} \quad (4)$$

где ω_0 – центральная частота полосового фильтра, ω_1 и ω_2 – верхняя и нижняя границы полосы пропускания, а r – элементы прототипа.

В таблице 1 приведены параметры элементов схемы для полосовых фильтров каждого из трех каналов.

Таблица 1. Параметры элементов схемы полосовых фильтров

	C, пФ	C_{ср}, пФ	L, нГн
ППФ1 ($f_1=1710$ МГц, $f_2=1880$ МГц)	14	1.78	0.499
ППФ2 ($f_1=2500$ МГц, $f_2=2690$ МГц)	12.9	1.22	0.266
ППФ3 ($f_1=3400$ МГц, $f_2=3800$ МГц)	5.83	0.29	0.29

Для обеспечения вносимых потерь в полосовых фильтрах не более 3 дБ собственная добротность объемного резонатора должна быть не менее 150-170 единиц. Такие высокие значения добротности резонатора квадратного сечения могут быть получены при отношении $\frac{a}{\lambda_g} \approx 0,12$, тогда для ППФ с центральной частотой $f_0=3600$ МГц, сторона резонатора $a=3,6$ мм [2]. Высота резонатора должна быть такой, чтобы с одной стороны обеспечивать необходимую индуктивность, а с другой стороны обеспечивать затухание в дальней зоне, которое напрямую зависит от высоты резонатора. Также общая высота резонатора ограничена количеством и толщиной слоев LTCC, а максимальная нагрузочная емкость зависит от минимально возможной толщины слоя, тогда для структуры, общая высота $h=1,38$ мм.

Емкость C_1 выполнена в виде зазора между пластиной на конце резонансного штыря и металлизированной крышкой резонатора (рисунок 5а). Исходя из выражения

$$C = \frac{0,885 \epsilon S}{d} \quad (5)$$

сторона пластины квадратного конденсатора, выполненного в структуре LTCC DuPont Green Tare ТМ 951 ($\epsilon_r = 7,8$, $\text{tg} \delta = 0,0015$) с толщиной слоя между обкладками конденсатора 0,043 мм будет равна $a=2,05$ мм.

Так как высота штыря ограничена общей высотой резонатора и толщиной нагрузочного конденсатора, то зная индуктивность металлического стержня резонатора можно оценить его остальные геометрические размеры. Учитывая, что высота стержня $h=1,31$ мм [3]:

$$L_n = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{4l}{d} - 0,75 \right) \quad (6)$$

диаметр круглого штыря $d=2,5$ мм. Сторону квадратного штыря можно найти, принимая d за диаметр описанной окружности. Тогда сторона квадратного штыря $a=1,77$ мм. 3D модель фильтра, состоящего из двух одинаковых емкостно-нагруженных резонаторов с емкостной связью с геометрическими размерами приведена на рисунок 4а.

Емкостная связь между резонаторами $C_{ср}$ выполнена в виде окна в ряде металлических штырей, являющихся эквивалентом цельной металлической стенки. Расчет емкости связи производился по формуле (5), как торцевая емкость, учитывая, что толщина металлизации $0,011$ мм, а расстояние между обкладками конденсаторов $0,6$ мм. Тогда размер диафрагмы равен $2,29$ мм.

Корректирующий контур выполнен в виде интегрального конденсатора емкостью $C=0,15$ пФ и сосредоточенной индуктивности фирмы CoilCraft 0908SQ8N1GL (рисунок 4б). Так как в мультиплексорах входное сопротивление общего порта критично для характеристик устройства, входная и выходная линии рассчитаны, как 50-Омные копланарные линии.

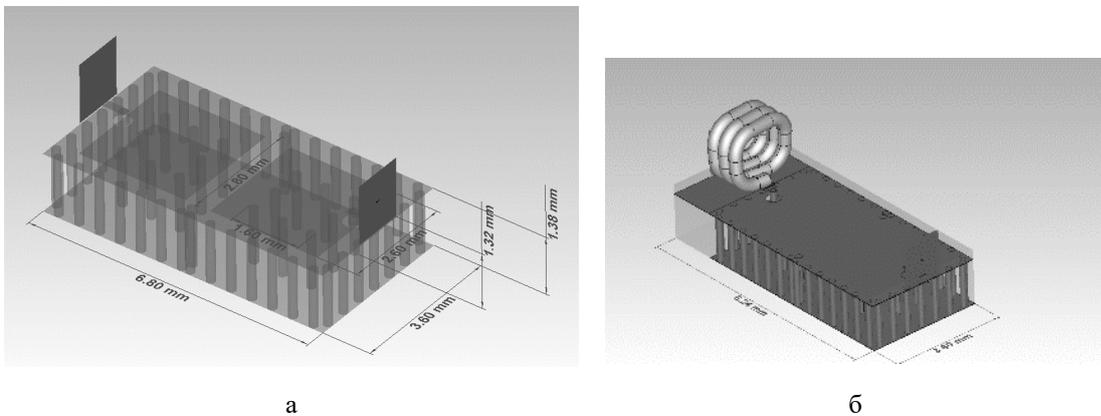
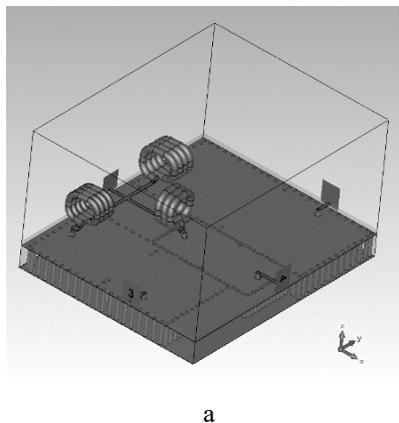
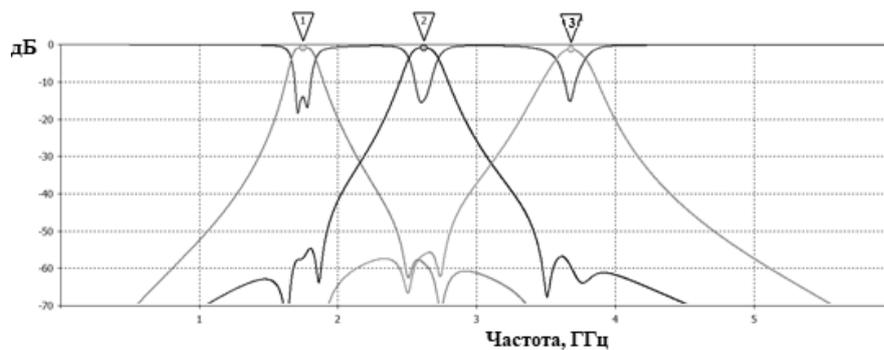


Рисунок 4 3D модель ППФ3 (а), 3D модель ППФ3 с контуром на входе (б)

После расчета ППФ1 и ППФ2 соединение трех фильтров в триплексер происходило итерационным путем, исходя из требуемых характеристик. Подстройка характеристики осуществлялась за счет входного последовательного контура, а также положения фильтров в триплексере друг относительно друга.

Окончательный вариант конструкции триплексера с геометрическими размерами, а также его расчетные S-параметры приведены на рисунок 5а и 5б соответственно.





б

Рисунок 5 3D модель триплексера (а), Расчетные S-параметры 3D модели триплексера (б)

Триплексер имеет вносимые потери: в первом канале 0,9 дБ; во втором канале 0,85 дБ и в третьем канале 1,18 дБ, возвратные потери в каждом из каналов более 15 дБ, а изоляция между выходными портами на центральных частотах более 50 дБ. В силу своих конструктивных особенностей подобные фильтры, выполненные по SIW-технологии, не имеют паразитных резонансов на 2-ой и 3-ей гармониках [2], поэтому в полосе задерживания триплексер имеет затухание более 60 дБ в широком диапазоне частот.

3. Заключение

В работе представлен мультиплексор на три диапазона частот. Разработанный триплексер при габаритных размерах всего лишь 12x14,5x4,5 мм обладает малыми вносимыми потерями в каждой полосе пропускания (не более 2 дБ), высокими уровнями изоляции между выходными портами триплексера – не менее 50 дБ и затуханием за полосой более 60 дБ в широком диапазоне частот.

Список литературы

1. Знаменский А. Е. Электрические фильтры метрового и дециметрового диапазонов. – М.: Связь, 1976. – 280 с.
2. Тургалиев В. М. Емкостно-нагруженные резонаторы и фильтры СВЧ на их основе: Дис. кан. тех. наук – С.- П. – 2015. – 118 с.
3. Пименов, Ю. и др. Техническая электродинамика.– М.: Радио и Связь, 2000.– 536 с.