

МОЩНЫЕ ПОЛОСОВЫЕ ОБЪЕМНО-РЕЗОНАТОРНЫЕ СВЧ-ФИЛЬТРЫ С МИНИМАЛЬНЫМИ ПОТЕРЯМИ

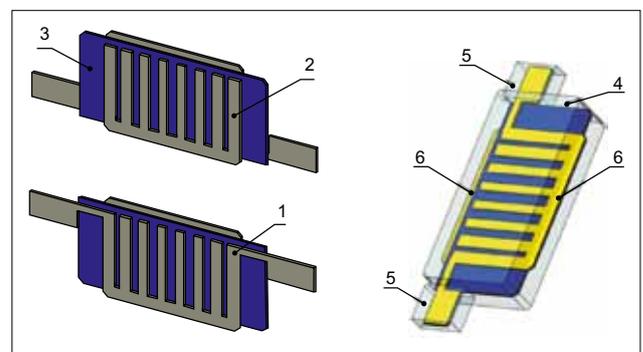
Авторами разработан ряд мощных полосовых фильтров на основе двух встречно направленных гребенок прямоугольных резонаторов с лицевой связью, размещенных в запердельном волноводе и предназначенных для установки в симметричную полосу линию. Приведены результаты расчетов и измерений параметров изготовленных фильтров четырех поддиапазонов частот в L- и S- диапазонах. Фильтры пропускают непрерывную мощность не менее 200 Вт и обеспечивают полуоктавную полосу пропускания полезного сигнала с потерями не более 0,8 дБ, а также подавление второй и третьей гармоник сигнала не менее 60 дБ.

ВВЕДЕНИЕ

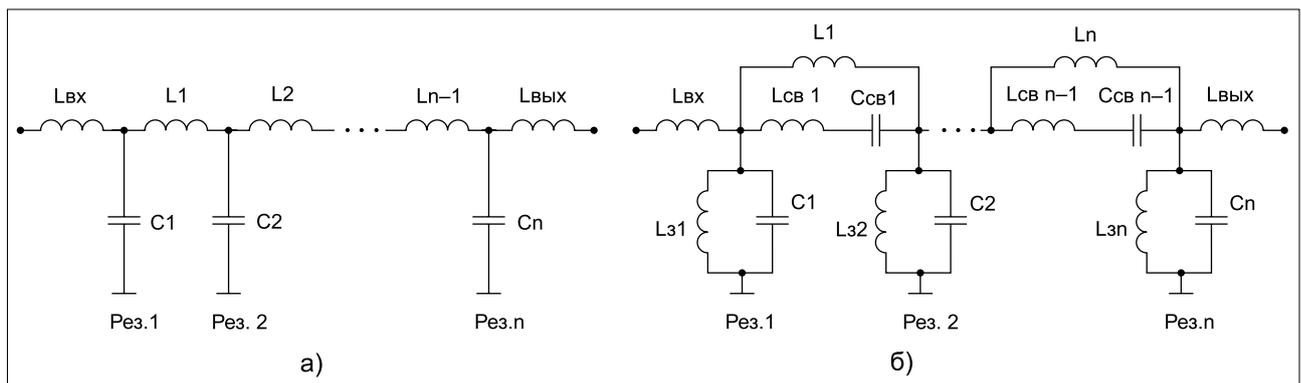
Для подавления высших гармоник сигнала в усилителях мощности широко используют фильтры нижних частот (ФНЧ) на основе различного вида резонаторов. Применение ФНЧ может быть ограничено, если мощность сигнала достигает нескольких десятков ватт, так как необходим хороший отвод тепла от резонаторов фильтра, которые изолированы от теплоотводящей поверхности диэлектрическими слоями с низкой теплопроводностью.

При высоких уровнях мощности СВЧ-сигнала вплоть до нескольких сотен ватт возможно применение встречно-стержневых фильтров (ВСФ), в которых резонаторы (стержни) заземлены на боковых стенках запердельного волновода и тем самым обеспечивают необходимый отвод тепла. Одним из основных недостатков ВСФ является наличие паразитной полосы пропускания в районе третьей гармоники сигнала. Существуют решения, например, показанные в [1], позволяющие расширить полосу заграждения ВСФ, однако технологически такие фильтры сложны в изготовлении и настройке.

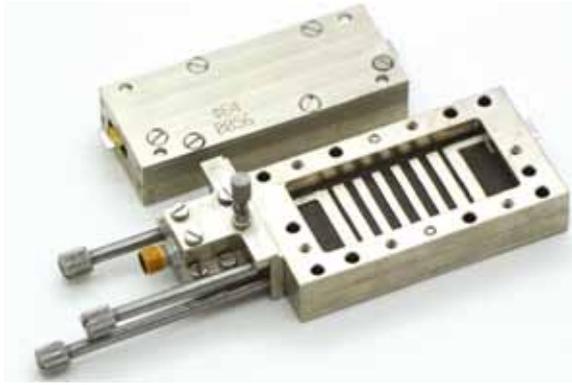
В данной работе предложена конструкция модернизированного ВСФ, обеспечивающая подавление до третьей гармоники сигнала включительно. Разработка фильтров выполнена с ис-



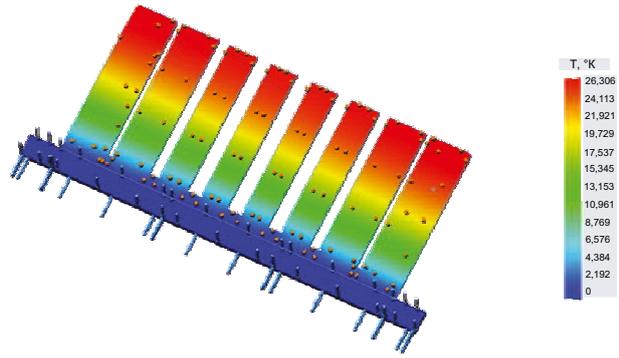
▲ Рис. 1. Конструкция встречно гребенчатого фильтра:
 1 — верхняя гребенка; 2 — нижняя гребенка; 3 — диэлектрик;
 4 — запердельный волновод; 5 — симметричная линия;
 6 — места заземления гребенок



▲ Рис. 2. Эквивалентные схемы фильтров: а — ФНЧ, б — ВГФ



▲ Рис. 3. Конструкция фильтра с контактным устройством



▲ Рис. 4. Тепловой расчет рассеивания тепла одной гребенки фильтра на стенку волновода

пользованием усовершенствованных программ численного моделирования и параметрической оптимизации [2, 3].

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФИЛЬТРА

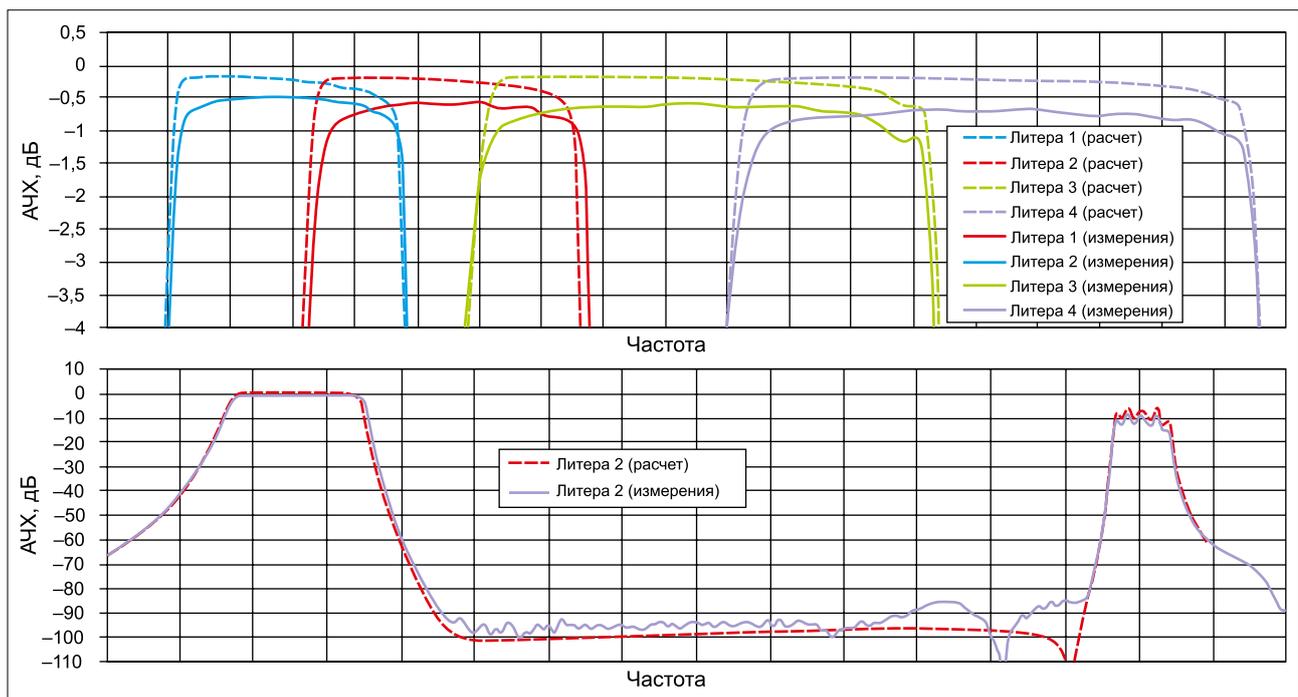
Разработанная конструкция фильтра состоит из нескольких пар встречных прямоугольных резонаторов, связанных между собой сильной лицевой и слабой боковой связями. Резонаторы, объединенные в две гребенки, помещены в прямоугольный заперделный волновод и заземлены на противоположные стенки волновода (рис. 1), что обеспечивает хороший отвод тепла. Для увеличения лицевой связи резонаторов и их точной фиксации относительно друг друга, между ними помещена диэлектрическая подложка с малой удельной диэлектрической проницаемостью (не более 2,3). Конструкция фильтра, который можно условно назвать «встречно-гребенчатый фильтр» (ВГФ), похожа на показанную в [4], но отличается тем, что подложка с объемными резонаторами расположена в волноводе, а резонаторы согласованы с полосковыми выводами.

Отметим, что конструкция ВГФ представляет собой по своей сути аналог ФНЧ на сосредоточенных элементах. Пары встречных резонаторов, связанных между собой силь-

ной лицевой связью, эквивалентны заземленным сосредоточенным емкостям, а слабая лицевая связь между соседними парами резонаторов имеет индуктивный характер. Основная разница между ФНЧ на сосредоточенных элементах и ВГФ заключается в том, что в ВГФ заземлены обе обкладки конденсаторов, образованных гребенками резонаторов, тогда как в ФНЧ заземлена только одна обкладка конденсатора. Эквивалентные схемы ФНЧ и ВГФ приведены на рис. 2а и 2б соответственно.

Синтез ВГФ выполнялся в два этапа. На первом этапе с использованием электростатической модели многопроводной линии с лицевой связью [1] и параметрической оптимизации было определено необходимое количество резонаторов фильтра в гребенке — 8 шт., а также требования к диэлектрической пластине.

Оказалось, что при уменьшении толщины диэлектрика или увеличении диэлектрической проницаемости геометрические размеры фильтра уменьшаются, однако это входило в противоречие с требуемой электрической прочностью фильтра и потерями. С этой точки зрения в реализованной конструкции ВГФ был выбран диэлектрический материал Rogers 5880 толщиной 0,38 мм.



▲ Рис. 5. Сравнение расчетных и измеренных характеристик ВГФ четырех литер. Приведены результаты измерений без учета потерь в контактных устройствах

На втором этапе выполнялся полный электродинамический расчет фильтра методом конечных элементов [2] и корректировались размеры фильтра, полученные на первом этапе, с целью обеспечения минимального уровня вносимых потерь и минимального коэффициента отражения от входа фильтра в заданной полосе пропускания.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПЫТНОЙ ПАРТИИ ФИЛЬТРОВ

Всего было разработано и изготовлено две литеры ВГФ в L-диапазоне и две литеры в S-диапазоне с полосой пропускания полезного сигнала 1/2 октавы. ВГФ состоят из двух полукорпусов из сплава алюминия, в которые устанавливается плата-диэлектрик с напаянными на нее медными гребенками. Измерения ВГФ проводились при помощи специально разработанных контактных устройств, осуществляющих переход с коаксиальной линии на воздушную симметричную линию. Внешний вид фильтров (закрытого и открытого) и присоединенного контактного устройства показаны на рис. 3.

Тепловой расчет показал, что при равномерном выделении 20 Вт мощности на гребенках фильтра, выполненных из медной пластины толщиной 0,5 мм, перегрев гребенок составляет не более 27 К относительно места теплосъема (рис. 4). Загрязнение вторых и третьих гармоник всех литер получилось не хуже чем –80 дБ. Измеренный КСВН всех литер составил не более 1,2 в полосе пропускания. Фильтры имеют запас по полосе пропускания и загрязнения не менее 10% и при правильной сборке не требуют настройки. Сравнение расчетных и измеренных характеристик фильтров приведено на рис. 5.

Изготовленные фильтры были испытаны на воздействие СВЧ-мощности не менее 350 Вт в рабочем диапазоне частот. ВГФ выдержали воздействие и подтвердили правильность выбора конструкции и тепловой расчет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показана конструкция мощных полосовых фильтров, названных «встречно гребенчатыми фильтрами». Фильтры выдерживают непрерывную мощность не менее 350 Вт, эффективно подавляют вторую и третью гармоники и вносят малые потери (не более 0,8 дБ). Приведены результаты расчетов и измерений параметров изготовленных фильтров чектырех поддиапазонов частот в L- и S-диапазонах. ◻

ЛИТЕРАТУРА

1. Геворкян В. М., Перевезенцев С. А. Широкополосные полосно-пропускающие фильтры для трактов высокого уровня средней мощности//Материалы 15-й Международной Крымской конференции. Севастополь. 2015.
2. Радченко В. В. Анализ и синтез СВЧ-устройств на многопроводных полосковых линиях передачи//Материалы 8-й Международной Крымской конференции. Севастополь. 1998.
3. Радченко В. В. Электромагнитное моделирование СВЧ устройств на основе базисных функций высшего порядка//Материалы 21-й Международной Крымской конференции. Севастополь. 2011.
4. Патент РФ № 2237320/28, МПК7 Н01 Р 1/203, опубл. 27.09.2004. Бюл. № 27 Полосно-пропускающий фильтр/Беляев Б. А., Лексиков А. А., Тюрнев В. В., Казаков А. В.