

УДК 621.372.826

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩЕГО ФИЛЬТРА МОБИЛЬНОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРАХ СВЧ

© 2020 г. Л. В. Алексейчик¹*, М. П. Жохова¹, Г. А. Любимова¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Национальный исследовательский университет “МЭИ”, Москва, Россия

*E-mail: alexseychiklv@mpei.ru

Поступила в редакцию 30.08.2019 г.

После доработки 16.09.2019 г.

Принята к публикации 28.10.2019 г.

Проведено моделирование частотных характеристик полосно-пропускающего фильтра (ППФ), предназначенного для тракта мобильной радиорелейной связи см-диапазона длин волн. Фильтр волноводной конструкции выполнен на диэлектрических резонаторах (ДР), для которых определен индивидуальный вклад во вносимые потери в рабочей полосе частот, что позволяет судить о температурных режимах каждого звена фильтра.

DOI: 10.31857/S0367676520020040

Конструкция фильтра выполнена на запердельном прямоугольном (или круглом) волноводе, содержащем ДР, крайние из которых реализуют внешние связи. Синтез пятизвенного чебышевского ППФ включает определение g -параметров, расчет коэффициентов связи между соседними ДР, внешние добротности связи крайних ДР со входными портами [1, 2], а также пересчет значений указанных параметров, выраженных через собственные параметры ДР [3]. Определение вносимых потерь фильтра основано на расчете вынужденных колебаний токов поляризации ДР. По закону распределения вносимых потерь в отдельных звеньях фильтра можно судить о теплопередаче ДР и фильтра в целом [4]. На сегодня имеется значительное число работ по разработке ППФ на ДР [5, 6], однако анализу вносимых потерь по отдельным звеньям фильтра не уделялось достаточного внимания, что и явилось основным предметом рассмотрения в настоящей работе.

Электромагнитное поле $H_{10\delta}$ -типа колебания дискового ДР подобно полю магнитного диполя, поэтому не требуются дополнительные сосредоточенные элементы связи при реализации внешней связи крайних ДР с волноводными портами. Промежуточные ДР, размещенные в запердельном отрезке волновода, устанавлены каскадно на расстояниях между ними, соответствующих заданным коэффициентам взаимной связи ДР по ближайшему полю. При настройке ППФ необходи-

мо учитывать экспериментально наблюдаемые отклонения резонансных частот и собственной добротности ДР в зависимости от места размещения ДР. Устранение расхождений по резонансным частотам ДР обычно осуществляется с помощью введения винтов частотной настройки. Собственная добротность ДР несколько увеличивается от центра запердельного волновода по направлению к портам. Учет этих особенностей позволяет получить более достоверные расчеты частотных характеристик ППФ, согласующиеся с экспериментальными данными. В приближении слабых связей между ДР расчет частотных характеристик ППФ удобно проводить, решая системы уравнений с помощью матрицы передачи ДР, описываемой электрическими токами поляризации [4], определенными через интегральные параметры ДР:

$$\bar{j}_p^{\omega} = \frac{Q_{op}}{\omega_{op} N_p^0 (1 + j\xi_p)} \left(\int_{V_p} \bar{j}_{\omega\omega}^* \bar{E}_p^{ct} dv \right) \bar{j}_p^{\omega\omega},$$

где \bar{E}_p^{ct} [В · м⁻¹] – векторная функция стороннего электрического поля, ответственная за возбуждение тока поляризации ДР, ω_{op} [с⁻¹] – резонансная частота, N_p^0 [Дж] – норма собственного колебания ДР, ξ_p – обобщенная расстройка.

Для звеньев ППФ матрица передачи токов поляризации имеет ленточный тип. В работе требовалось провести синтез чебышевского ППФ с

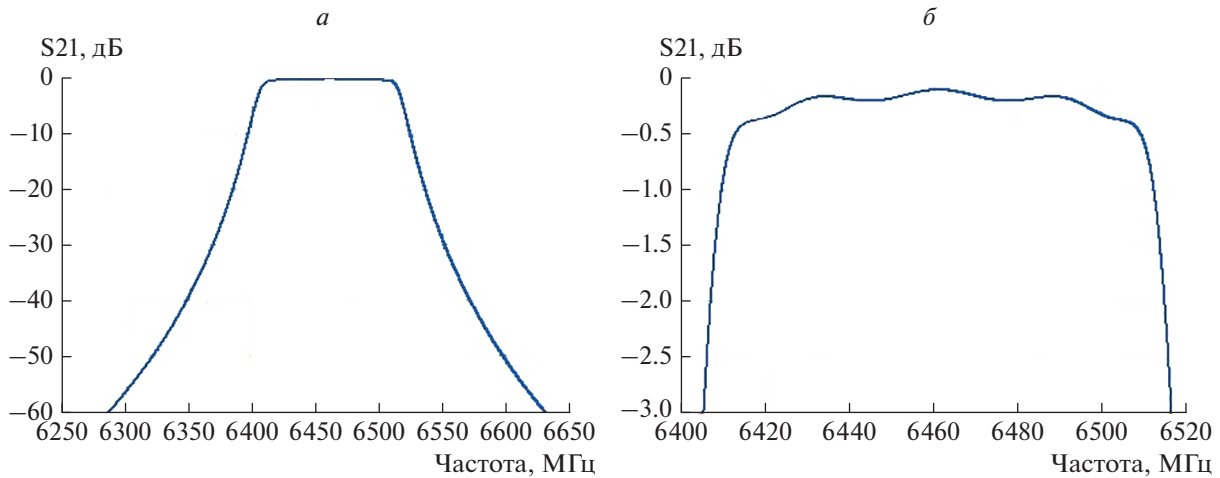


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики ППФ с учетом потерь в рабочей полосе частот (а) и в полосе пропускания (б), в дБ.

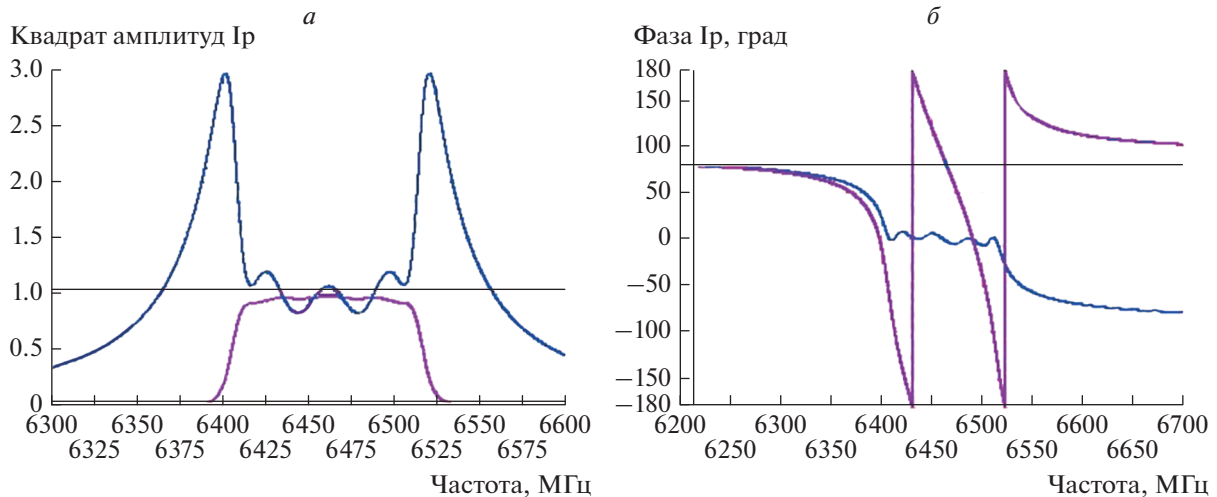


Рис. 2. Частотные зависимости квадратов амплитуд токов поляризации ДР в входном и выходном звеньях ПЗФ (а) и фазо-частотная характеристика токов поляризации (б).

центральной частотой 6460 МГц, полосой пропускания 110 МГц, с вносимым ослаблением на частоте расстройки 6620 МГц не менее 50 дБ при пульсации в полосе пропускания 0.1 дБ. Данные g -параметров для пятизвенного ППФ: составили $g_1 = g_5 = 1.14684$; $g_2 = g_4 = 1.37121$; $g_3 = 1.97503$; $g_0 = g_6 = 0$.

Уменьшения собственной добротности ДР за счет влияния металлических стенок волновода и таких факторов как нерезонансное возмущение и дополнительные связи между несоседними ДР приводит к заметному изменению частотной характеристики фильтра (рис. 1). На рис. 2 представлены данные моделирования частотных характеристик (квадрата амплитуд токов поляризации ДР) входного и выходного звеньев и их фазовые частот-

ные характеристики. При этом амплитуда квадрата тока поляризации выходного звена ППФ нормирована на 1. Из данных моделирования (рис. 2) следует стабильность фазовой характеристики тока поляризации ДР входного звена в полосе пропускания, что свидетельствует о согласовании фильтра в полосе пропускания. Относительное распределение вносимых потерь по номерам звеньев ППФ в рабочей полосе частот составило следующие значения: Инт 1 – 3.0820; Инт 2 – 3.1170; Инт 3 – 2.5010; Инт 4 – 1.9380; Инт 5 – 1.0000. Наибольшие относительные потери достигаются в первых звеньях моделируемого ППФ с постепенным снижением потерь у выходного звена, величина потерь которого нормирована на 1. Следует отметить, что по известным данным [5] максимальные вносимые потери достигаются на входном звене

ППФ, а в нашем случае потери максимальны как на первом (Инт 1), так и на втором звене (Инт 2). В полосе пропускания, согласно рис. 2, вносимые потери входного и выходного звеньев ППФ сопоставимы и близки по величинам, а наибольшие их различие достигается на скатах амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), что согласуется с данными, полученными в работе [6] при разработке ППФ на стержневых ДР. Таким образом, вносимые потери фильтра существенно возрастают лишь на скатах АЧХ, что необходимо учитывать для обеспечения требуемого уровня теплопередачи фильтра повышенной мощности на ДР.

В заключение следует отметить, что несмотря на кажущуюся простоту волноводной конструкции ППФ на ДР, настройка фильтра в целом и, особенно настройка крайних ДР требует тщательной экспериментальной проработки. Учет значительных вносимых потерь звеньев фильтра позволяет упростить процесс оптимизации конструкции и настройки фильтра для достижения требуемых технических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маттей Д.А., Янг Л., Джонс Е.М.* Фильтры СВЧ, согласующие цепи, цепи связи. Т. 1. М.: Связь, 1971. 439 с.
2. *Маттей Д.А., Янг Л., Джонс Е.М.* Фильтры СВЧ, согласующие цепи, цепи связи. Т. 2. М.: Связь, 1972. 495 с.
3. *Алексейчик Л.В., Бродуленко И.И., Гаврилюк Н.Г. и др.* Параметры и методы расчета диэлектрических резонаторов и генераторов и фильтров на их основе. М.: Центр. исслед. институт "Электроника", изд-во ЭТ, 1990. 64 с.
4. *Алексейчик Л.В.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2018. Т. 82. С. 1012; *Alexeychik L.V.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2018. V. 82. P. 913.
5. *Безбородов Ю.М., Нарытник Т.Н., Федоров В.Б.* Фильтры СВЧ на диэлектрических резонаторах. Киев: Техника, 1989. 184 с.
6. *Panariello A., Yu M., Christoph E.* // IEEE Trans. MTT. 2013. V. 61. P. 382.