

11.2

Волноводный трехмодовый резонатор

© А.А. Соркин

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
E-mail: alexandr.sorkin.781@mail.ru

Поступило в Редакцию 29 августа 2023 г.

В окончательной редакции 23 сентября 2023 г.

Принято к публикации 27 сентября 2023 г.

Исследован волноводный трехмодовый резонатор, работающий на модах TM_{110} и TE_{10} . Показано, что данный резонатор имеет псевдоэллиптическую амплитудно-частотную характеристику. Описан способ, позволяющий уменьшить ширину полосы пропускания. Исследовано влияние геометрических размеров волноводного трехмодового резонатора на его частотные характеристики.

Ключевые слова: трехмодовый резонатор, полюс затухания, волновод, диафрагма.

DOI: 10.61011/PJTF.2023.22.56593.19712

В современных системах связи широко применяются различные фильтры, особое место среди которых занимают волноводные фильтры, используемые в трактах приема и трактах передачи. При этом предъявляются повышенные требования к потерям в полосе пропускания, крутизне амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и массогабаритным характеристикам волноводных фильтров. Одним из способов сокращения габаритов является применение двух- и трехмодовых резонаторов. При создании трехмодовых резонаторов часто используются различные диэлектрические вставки, один из таких резонаторов описан в [1]. АЧХ данного резонатора имеет три полюса затухания, два из которых расположены ниже полосы пропускания, а один — выше. Трехмодовый резонатор с двумя элементами связи, работающий на модах TE_{110} , TE_{101} и TE_{011} и имеющий коаксиальные порты, рассмотрен в [2]. В работах [3–5] описывается волноводный трехмодовый резонатор с двумя элементами связи, формирующий полюс затухания выше или ниже полосы пропускания и работающий на модах TE_{101} , TE_{011} и TM_{110} . Трехмодовый резонатор на круглом волноводе может работать на моде TM_{010} и двух ортогональных модах TE_{111} [6]. Данный резонатор формирует либо один, либо два полюса затухания выше полосы пропускания. Трехмодовый резонатор можно реализовать и на эллиптическом волноводе [7]. Такой резонатор работает на четной и нечетной моде TE_{11} и на моде TM . Другой тип — трехмодовый резонатор на круглом волноводе с двумя продольными металлическими проводниками цилиндрической формы, между которыми есть зазор [8]. Данный резонатор работает на четной и нечетной TEM -моде и на моде TE_{11} . В [9] исследован волноводный трехмодовый двухшлейфный резонатор, работающий на модах TE_{201} , TM_{110} и TE_{011} . АЧХ этого резонатора имеет один полюс ниже полосы пропускания и один выше.

Все упомянутые волноводные трехмодовые резонаторы имеют продольный размер в половину длины волны. Уменьшение габаритных размеров достигается использованием диэлектрика в объеме резонатора, что услож-

няет изготовление. В настоящей работе описывается волноводный трехмодовый резонатор со значительным сокращением продольного размера.

Известно, что значительно сократить продольный размер позволяют резонаторы на TM -модах с нулевым третьим индексом, но при этом поперечный размер будет равен половине длины волны. Рассматриваемый волноводный трехмодовый резонатор представляет собой воздушную полость с двумя поперечными расщеплениями, формирующими дополнительные моды. На рис. 1 показан волноводный трехмодовый резонатор длиной L , имеющий нерасщепленную часть высотой B и расщепленную часть с высотами $H1$ и $H2$. Длина каждой из трех расщепленных частей обозначена T , толщина двух поперечных перегородок 1 мм. Подводящие волноводы связаны с трехмодовым резонатором диафрагмами.

Рассмотрим принцип работы данного резонатора. На рис. 2, а показана электродинамическая модель

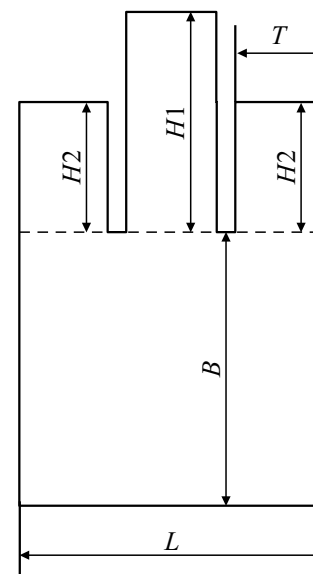


Рис. 1. Волноводный трехмодовый резонатор.

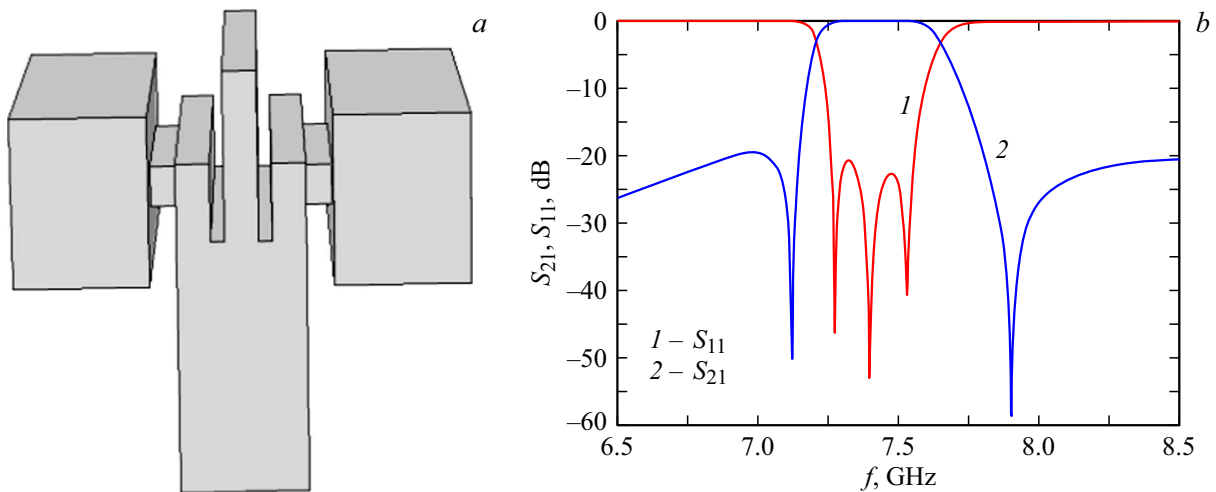


Рис. 2. *a* — электродинамическая модель фильтра на трехмодовом резонаторе; *b* — его частотные характеристики.

в виде воздушных полостей волноводного полосно-пропускающего фильтра на трехмодовом резонаторе с подводными волноводами. Основной модой является мода TE_{10} , связывающая вход и выход резонатора. Эта мода резонирует в полосе пропускания, еще два резонанса в полосе пропускания дают две моды TM_{110} . На рис. 2, *b* показаны частотные характеристики фильтра, которые содержат три резонанса в полосе пропускания и два полюса затухания: один ниже полосы пропускания, другой выше. При увеличении высоты нерасщепленной части резонатора B нижний полюс затухания смещается вниз по частоте, а при уменьшении — вверх. Параметр $H1$ влияет на первый резонанс в полосе пропускания (самый низкочастотный), параметр $H2$ влияет на второй и третий резонансы в полосе пропускания, так как резонатор имеет продольную симметрию относительно центра. Увеличение ширины входной (выходной) диафрагмы увеличивает ширину полосы пропускания, а уменьшение сужает.

Рассмотренный фильтр на трехмодовом резонаторе из алюминия имеет полосу пропускания 7.28–7.55 GHz, потери в полосе пропускания 0.18 dB, $S_{11} < -20$ dB. Частоты полюсов затухания 7.116 и 7.898 GHz, т.е. крутизна низкочастотного ската АЧХ выше. Паразитный резонанс выше полосы пропускания находится на частоте 11.1 GHz. Размеры резонатора следующие: высоты расщепленных частей резонатора $H1 = 12.55$ mm и $H2 = 5.8$ mm, длина $L = 9.5$ mm, ширина 28.5 mm, высота нерасщепленной части резонатора $B = 18.85$ mm. Таким образом, полная высота резонатора 31.4 mm. Размеры входных диафрагм следующие: толщина диафрагмы (длина) 2 mm, ширина окна 16.5 mm и высота 3 mm. Собственная добротность резонатора 2200.

Следует отметить, что изменение ширины окна входных диафрагм не позволяет изменять ширину полосы пропускания в больших пределах. Для значительного уменьшения ширины полосы пропускания в нерасщеп-

ленную часть резонатора, как показано на рис. 3, *a*, вводятся индуктивные диафрагмы в виде воздушных полостей, которые уменьшают связи между TM -модами.

Частотные характеристики волноводного полосно-пропускающего фильтра на трехмодовом резонаторе из алюминия с ослабленной связью между соседними TM -модами показаны на рис. 3, *b*. Данный фильтр имеет полосу пропускания 7.28–7.4 GHz, потери в полосе пропускания 0.45 dB, $S_{11} < -19$ dB. Частоты полюсов затухания 7.052 и 7.57 GHz. Паразитная полоса пропускания выше полосы пропускания начинается на частоте 11.2 GHz. Уровень загораживания ниже полосы пропускания до частоты 7.11 GHz не менее 37 dB, а уровень загораживания выше полосы пропускания не менее 30 dB в диапазоне частот 7.54–9.3 GHz. Размеры резонатора следующие: высоты расщепленных частей резонатора $H1 = 15.4$ mm и $H2 = 10.5$ mm, длина $L = 9.5$ mm, ширина 28.5 mm, высота нерасщепленной части резонатора $B = 16.35$ mm. Таким образом, высота резонатора 31.75 mm. Размеры входных диафрагм следующие: толщина диафрагмы (длина) 2 mm, ширина окна 15.6 mm и высота 3 mm. Размеры диафрагм внутри трехмодового резонатора: толщина диафрагмы (длина) 1 mm, ширина окна 14 mm и высота 16.35 mm. Собственная добротность резонатора 2000.

Для уменьшения потерь, т.е. увеличения собственной добротности волноводного трехмодового резонатора, нужно увеличивать размер T , при этом будет уменьшаться высота, а увеличение еще и ширины резонатора даст дополнительный рост собственной добротности резонатора.

Таким образом, показана возможность реализации волноводного трехмодового резонатора. Исследовано влияние различных параметров резонатора на его частотные характеристики. Показан способ сужения полосы пропускания фильтра с помощью уменьшения связей между модами TM_{110} .

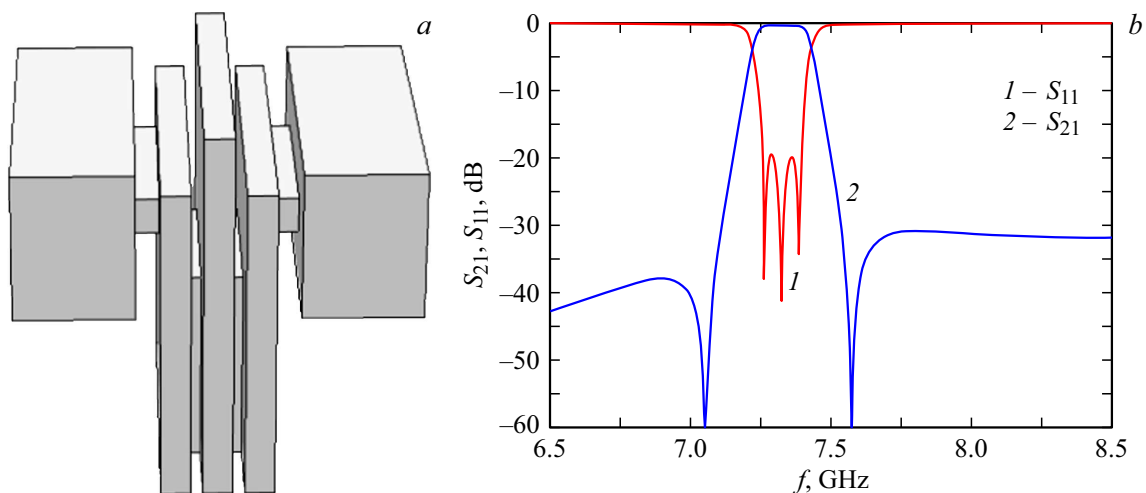


Рис. 3. *a* — электродинамическая модель фильтра на трехмодовом резонаторе с ослабленной связью между модами TM_{110} ; *b* — его частотные характеристики.

Финансирование работы

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет (номер FSRZ-2023-0008).

Конфликт интересов

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] Y. Liu, C. Tomassoni, S. Jiang, in *2020 IEEE Asia-Pacific Microwave Conf. (APMC)* (IEEE, 2020), p. 616–618. DOI: 10.1109/APMC47863.2020.9331578
- [2] J. Zhan, X. Chen, J. Wang, in *2012 Int. Conf. on microwave and millimeter wave technology (ICMMT)* (IEEE, 2012), p. 1–3. DOI: 10.1109/ICMMT.2012.6230221
- [3] C. Kelleci, A. Atalar, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **65** (8), 2857 (2017). DOI: 10.1109/TMTT.2017.2670000
- [4] M. Mattes, J. Mosig, M. Guglielmi, in *2000 MTT-S Int. Microwave Symp. Digest* (IEEE, 2000), vol. 3, p. 1775–1778. DOI: 10.1109/MWSYM.2000.862323
- [5] S. Amari, U. Rosenberg, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **53** (4), 1272 (2005). DOI: 10.1109/TMTT.2005.845777
- [6] S. Amari, U. Rosenberg, in *2006 Eur. Microwave Conf.* (IEEE, 2006), p. 1091–1094. DOI: 10.1109/EUMC.2006.281124
- [7] L. Accatino, G. Bertin, M. Mongiardo, in *1999 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest* (IEEE, 1999), vol. 3, p. 1037–1040. DOI: 10.1109/MWSYM.1999.779565
- [8] S. Yakuno, T. Ishizaki, in *2012 Asia Pacific Microwave Conf. Proc.* (IEEE, 2012), p. 376–378. DOI: 10.1109/APMC.2012.6421603
- [9] S. Bastioli, R.V. Snyder, in *2019 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. (IMS)* (IEEE, 2019), p. 1187–1189. DOI: 10.1109/MWSYM.2019.8700745