

Н. Э. Унру¹, Е. И. Ащербегин¹

¹ Новосибирский государственный технический университет

КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА ДЛЯ ПАССИВНЫХ НЕПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ РЕЖЕКТОРНЫХ ФИЛЬТРОВ

В статье вводится понятие критерия качества для непереключаемых режекторных фильтров, и на его основе выполняется сравнение фильтров, имеющих различное конструктивное исполнение. Критерий качества учитывает электрические характеристики фильтра и его габариты, в том числе объем, центральную частоту полосы режекции, уровень суммарных потерь в полосах пропускания, ширину полосы режекции по уровню суммарных потерь, ширину полосы режекции по уровню затухания. Таким образом, он позволяет сравнивать качество проектирования и изготовления пассивных режекторных фильтров различных типов. Приведено аналитическое выражение для определения значения показателя качества, и выполнены расчеты для нескольких вариантов исполнения двух- и трехрезонаторных фильтров. Предложенная методика позволяет оценивать и оптимизировать систему взаимосвязанных параметров фильтров произвольной физической структуры.

Ключевые слова: качество конструирования, показатель качества, ширина полосы режекции

Введение

Для сравнения качества конструирования полосо-пропускающих фильтров (ППФ) в литературе предлагается ряд методик [1, 2 и др.], но наиболее удачное выражение для показателя качества непереключаемых ППФ приведено в работе [3]

$$PK = \frac{10}{\lambda} \left[\frac{a_0 \Delta f / f_0 V}{(\Delta a_3 / 20)^2} \lg^2 \left(\frac{\Delta f_3}{\Delta f} \right) \right], \quad (1)$$

где a_0 – уровень минимальных диссипативных потерь в полосе пропускания (ПП), дБ (рис. 1); Δf – ширина ПП по уровню 3 дБ; Δf_3 – ширина ПП по уровню затухания a_3 ; $\Delta f / f_0$ – относительная ширина полосы пропускания; V – объем фильтра, см³; $\lambda = 3 \cdot 10^8 / f_0$ – рабочая длина волны.

Вместе с тем в известной технической литературе отсутствуют методики, позволяющие сравнивать качество конструирования режекторных фильтров (РФ) произвольной физической структуры, что затрудняет их сопоставление. Поэтому разработку такой методики следует признать актуальной задачей.

Показатель качества конструирования РФ

Система параметров РФ, помимо его объема V , включает также f_0 – центральную частоту полосы режекции (ПР) (рис. 2); a_{Π} – уровень суммарных потерь (диссипативные потери плюс потери на отражение) в полосах пропускания, дБ; Δf – ширина полосы ПР по уровню a_{Π} ; Δf_3 – ширина ПР по уровню затухания a_3 .

Очевидно, что системы параметров ППФ и РФ во многом схожи, а взаимосвязь между параметрами РФ так же противоречива, как и взаимосвязь между параметрами ППФ, поэтому рассмотрим возможность использования выражения, аналогичного выражению (1), для сравнения РФ различного конструктивного исполнения. Таким образом, для сравнения качества проектирования РФ (ПКРФ) предлагается следующее выражение для показателя качества:

$$ПКРФ = \frac{10}{\lambda} \left[\frac{a_{\Pi} \Delta f / f_0 V}{(\Delta a_3 / 20)^2} \lg^2 \left(\frac{\Delta f_3}{\Delta f} \right) \right]. \quad (2)$$

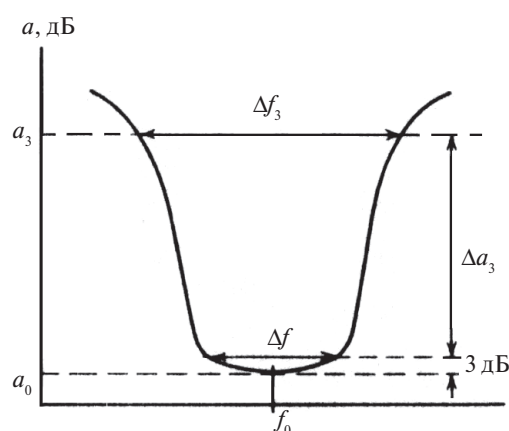


Рисунок 1. Амплитудно-частотная характеристика полосно-пропускающих фильтров: a – уровень затухания; f_0 – центральная частота полосы пропускания; $\Delta a_3 = a_3 - a_0 - 3$, дБ

Выражение (2) позволяет вычислить значение показателя качества любого РФ и не требует изучения его структуры. Чем меньше числовое значение ПКРФ, тем выше качество конструирования фильтра.

Примеры

Оценку фильтров на соответствие предложенному критерию поясним на примерах.

Пример 1. Параметры трехрезонаторного РФ на диэлектрических резонаторах (на основе $Va_2Ti_9O_{20}$), помещенных в прямоугольный волновод [4]: $a_{\Pi} = 5$ дБ, $f_0 = 4,175$ ГГц, $\Delta f = 0,033$ ГГц, $a_3 = 30$ дБ, $\Delta f_3 = 0,0064$ ГГц, $V = 225$ см³. При этом ПКРФ = 402, поэтому можно сделать вывод: качество является низким.

Пример 2. Параметры трехрезонаторного РФ, выполненного на прямоугольном волноводе [5]: $a_{\Pi} = 1,3$ дБ, $f_0 = 10$ ГГц, $\Delta f = 0,44$ ГГц, $a_3 = 30$ дБ, $\Delta f_3 = 0,16$ ГГц, $V = 154$ см³. При этом ПКРФ = 275, поэтому можно сделать вывод: качество является невысоким.

Пример 3. Параметры трехрезонаторного РФ на несимметричной полосковой линии, топология которого показана на рис. 3 (толщина подложки 0,762 мм, $\epsilon_r = 3,3$): $a_{\Pi} = 10$ дБ, $f_0 = 6,95$ ГГц, $\Delta f = 3,09$ ГГц, $a_3 = 30$ дБ, $\Delta f_3 = 1,97$ ГГц, $V = 6,3$ см³.

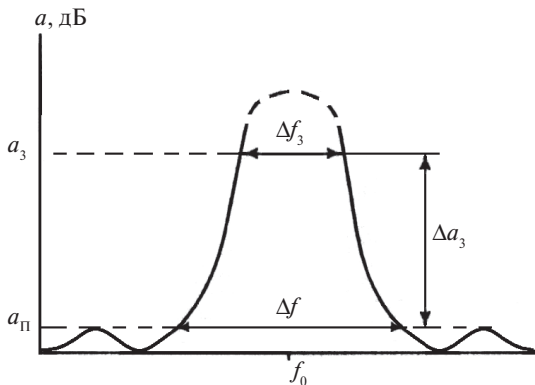


Рисунок 2. Амплитудно-частотная характеристика режекторных фильтров: a – уровень затухания; $\Delta a_3 = a_3 - a_{\Pi}$

При этом ПКРФ = 248, поэтому можно сделать вывод: качество является невысоким.

Пример 4. Параметры трехрезонаторного РФ, выполненного на симметричной полосковой линии с воздушным заполнением [5]: $a_{\Pi} = 1,3$ дБ, $f_0 = 4$ ГГц, $\Delta f = 0,18$ ГГц, $a_3 = 30$ дБ, $\Delta f_3 = 0,06$ ГГц, $V = 22,3$ см³. При этом ПКРФ = 19,2, отсюда можно сделать вывод: качество является хорошим.

Пример 5. Параметры трехрезонаторного РФ, выполненного на несимметричной полосковой линии с дефектным основанием (толщина подложки 1 мм, $\epsilon_r = 2,6$, рис. 4): $a_{\Pi} = 6$ дБ, $f_0 = 1,54$ ГГц, $\Delta f = 0,95$ ГГц, $a_3 = 17$ дБ, $\Delta f_3 = 0,45$ ГГц, $V = 18$ см³. При этом ПКРФ = 415, отсюда можно сделать вывод: качество является низким.

Пример 6. Параметры двухрезонаторного РФ, выполненного на несимметричной полосковой линии с дефектным основанием (толщина подложки 1 мм, $\epsilon_r = 2,6$, рис. 5): $a_{\Pi} = 10$ дБ, $f_0 = 4,8$ ГГц, $\Delta f = 3,8$ ГГц, $a_3 = 22$ дБ, $\Delta f_3 = 2,5$ ГГц, $V = 12$ см³. При этом ПКРФ = 1400, поэтому можно сделать вывод: качество – неприемлемо низкое.

Крайне низкое значение КРФ для двухрезонаторного РФ, очевидно, свидетельствует в пользу того, чтобы не применять предлагаемый критерий качества для сравнения фильтров с различным числом резонаторов.

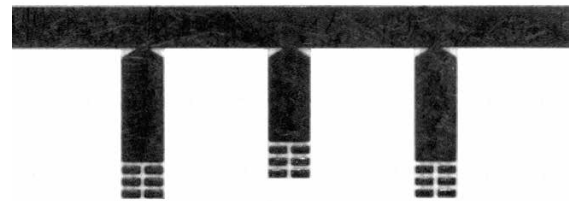
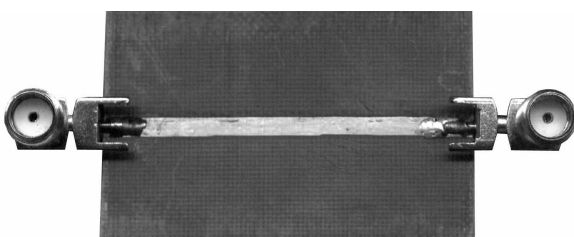
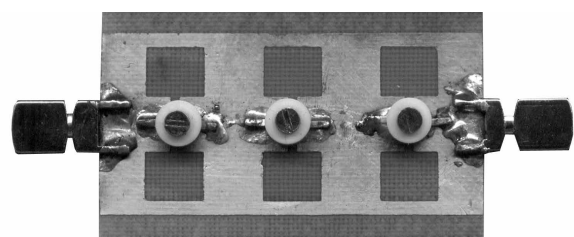


Рисунок 3. Изображение топологии трехрезонаторного режекторного фильтра на несимметричной полосковой линии



а)



б)

Рисунок 4. Вид сверху (а) и снизу (б) для трехрезонаторного режекторного фильтра на несимметричной полосковой линии с дефектным основанием

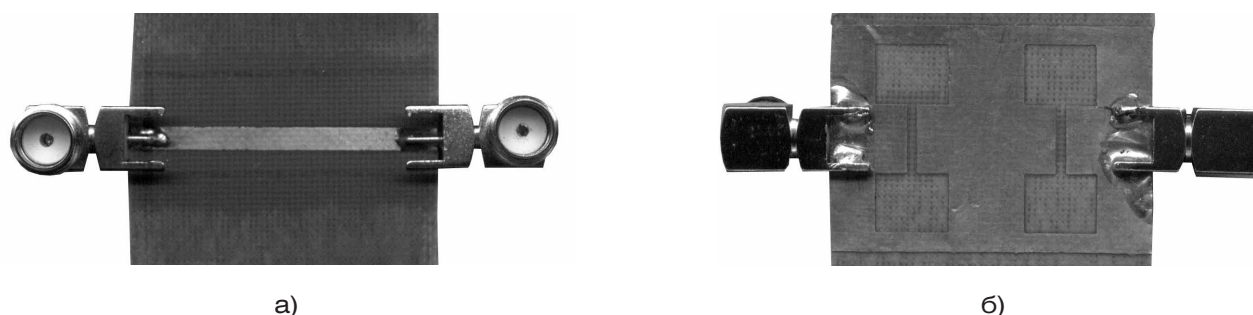


Рисунок 5. Вид сверху (а) и снизу (б) для двухрезонаторного режекторного фильтра на несимметричной полосковой линии с дефектным основанием

Выводы

Таким образом, по аналогии с методикой оценки качества конструирования ППФ, предложена аналитическая зависимость для расчета критерия качества проектирования РФ.

Рассмотренные примеры подтверждают полезность введения обобщенного показателя качества РФ, который позволяет оценить и оптимизировать параметры фильтров произвольной физической структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бачина Е. Л., Прохорова Н. И., Фельдштейн А. Л. Потери в фильтрах СВЧ и проблемы миниатюризации // Радиотехника. 1971. Т. 26. № 10. С. 46–52.
2. Осипенков В. М., Бачина Е. Л., Фельдштейн А. Л. Вопросы расчета фильтров СВЧ с потерями // Радиотехника. 1973. Т. 28. № 4. С. 25.
3. Бачина Е. Л. Критерий качества полосно-пропускающих фильтров // Радиотехника и электроника. 1990. Т. 35. № 11. С. 2449–2452.
4. Ren Ch. – L. Waveguide bandstop filter utilizing $Ba_2Ti_9O_{20}$ resonators. MTT-S International Microwave Symposium Digest. 1978. P. 227–229.
5. Маттей Д. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т. 2. М.: Связь, 1972. 495 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Унру Николай Эдуардович, к.т.н., доцент, кафедра радиоприемных и радиопередающих устройств, Новосибирский государственный технический университет, Российская Федерация, 630073, Новосибирск, просп. Карла Маркса, д. 20, тел.: 8 (383) 346-15-46, e-mail: nickonro@ngs.ru.

Ащербегин Евгений Ильнурович, магистрант, кафедра радиоприемных и радиопередающих устройств, Новосибирский государственный технический университет, Российская Федерация, 630073, Новосибирск, просп. Карла Маркса, д. 20, тел.: 8 (383) 346-15-46, e-mail: asherbagine@yandex.ru.

For citation: Unru N.I., Ashcherbagin E.I. Factor of quality for passive non-tunable band-stop filters. Voprosy radioelektroniki, 2019, no. 4, pp. 71–74. DOI 10.21778/2218-5453-2019-4-71-74

N.I. Unru, E.I. Ashcherbagin

FACTOR OF QUALITY FOR PASSIVE NON-TUNABLE BAND-STOP FILTERS

The notion of a quality criterion for non-tunable band-stop filters is introduced, and on the basis of it a comparison of filters with different designs is performed. The quality criterion takes into account the electrical characteristics of the filter and its dimensions, including the volume, the central frequency of the notch band, the level of total losses in the passbands, the width of the notch band by the level of total losses, the width of the notch band by attenuation level. Thus, it allows you to compare the quality of design and manufacture of passive notch filters of various types. The necessary analytical expression is presented, and for a number of variants of filter execution, the corresponding calculation results are given. The stated materials allow us to estimate and optimize the system of interrelated parameters of filters of an arbitrary physical structure.

Keywords: design quality, quality factor, notch width

REFERENCES

1. Bachinina E. L., Prokhorova N. I., Feldstein A. L. Microwave filter loss and miniaturization problems. *Radiotekhnika*, 1971, vol. 26, no. 10, pp. 46–52. (In Russian).

2. Osipenkov V. M., Bachinina E. L., Feldstein A. L. Issues of calculation of microwave filters with losses. *Radiotekhnika*, 1973, vol. 28, no. 4, pp. 25–30. (In Russian).
3. Bachinina E. L. Quality criteria for bandpass filters. *Radiotekhnika i elektronika*, 1990, vol. 35, no. 11, pp. 2449–2452. (In Russian).
4. Ren Ch. – L. Waveguide bandstop filter utilizing $Ba_2Ti_9O_{20}$ resonators. *MTT-S International Microwave Symposium Digest*, 1978, pp. 227–229.
5. Matthaei G., Young L, Jones E. M. T. *Microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures*. Artech House, 1980, 1096 p.

AUTHORS

Unru Nikolay, Ph. D., associate professor, Department of radio receivers and radio transmitters, Novosibirsk State Technical University, 20, Karl Marks av., Novosibirsk, 630073, Russian Federation, tel.: +7 (383) 346-15-46, e-mail: nickonro@ngs.ru.

Ashcherbagin Evgeniy, master student, Department of radio receivers and radio transmitters, Novosibirsk State Technical University, 20, Karl Marks av., Novosibirsk, 630073, Russian Federation, tel.: +7 (383) 346-15-46, e-mail: asherbagine@yandex.ru.