

05:09

## Узкополосный частотный фильтр на основе кристаллоподобных неоднородностей

© А.И. Назарько, Е.А. Нелин, В.И. Попсуй, Ю.Ф. Тимофеева

Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт“,  
03056 Киев, Украина  
e-mail: ye.nelin@gmail.com

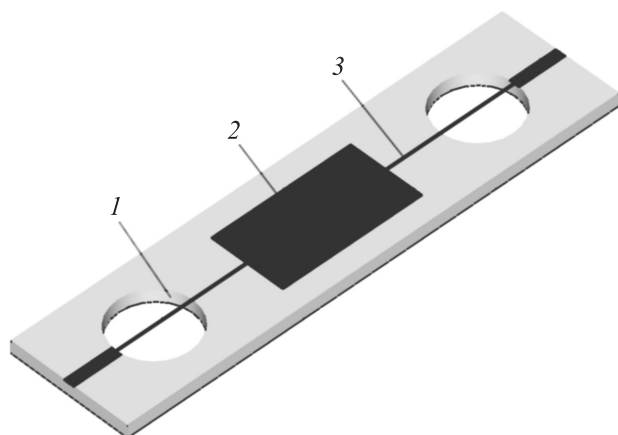
(Поступило в Редакцию 3 марта 2010 г.)

Предложен узкополосный СВЧ-фильтр на основе кристаллоподобных неоднородностей. Приведены расчетные и экспериментальные характеристики фильтра, проанализированы особенности распределения поля в его структуре.

Кристаллоподобные структуры (КС) широко исследуются с целью разработки высокоэффективных устройств обработки сигналов. Зонный характер пропускания КС обеспечивает высокую развязку сигналов в разрешенных и запрещенных зонах. Зонная избирательность повышается с ростом модуляции волновых свойств, характеризуемой отношением волновых импедансов неоднородностей и однородной области КС.

Одна из разновидностей КС — микрополосковые электромагнитные кристаллы (ЭК), позволяющие значительно улучшить характеристики устройств радиодиапазона. В ЭК на основе комбинированных неоднородностей, выполненных в металлизированной поверхности, в диэлектрике и на сигнальной поверхности микрополосковой линии, относительный эффективный импеданс неоднородностей  $Z_{\text{eff}} \sim 10\text{--}20$  [1]. Такие неоднородности обеспечивают формирование высокоизбирательных характеристик малогабаритными структурами. В настоящей работе предложен и исследован узкополосный СВЧ-фильтр на основе комбинированных ЭК-неоднородностей.

На рис. 1 показана структура фильтра. Неоднородности в металлизированной поверхности и в диэлек-

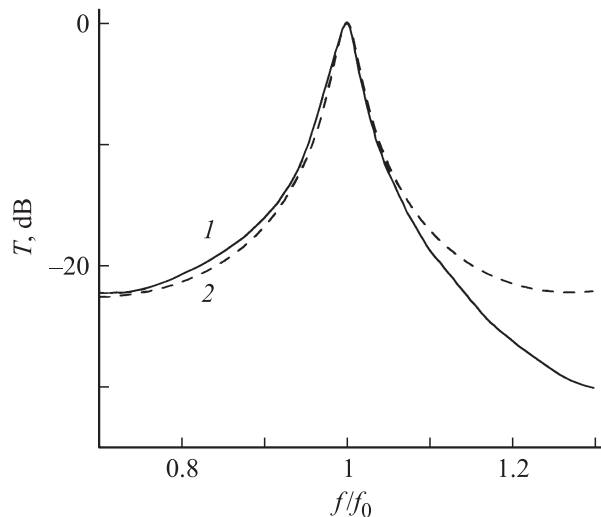


**Рис. 1.** Структура фильтра на основе ЭК-неоднородностей: 1 — ЭК-неоднородность, 2 — низкоомный полосковый отрезок, 3 — проволочный проводник.

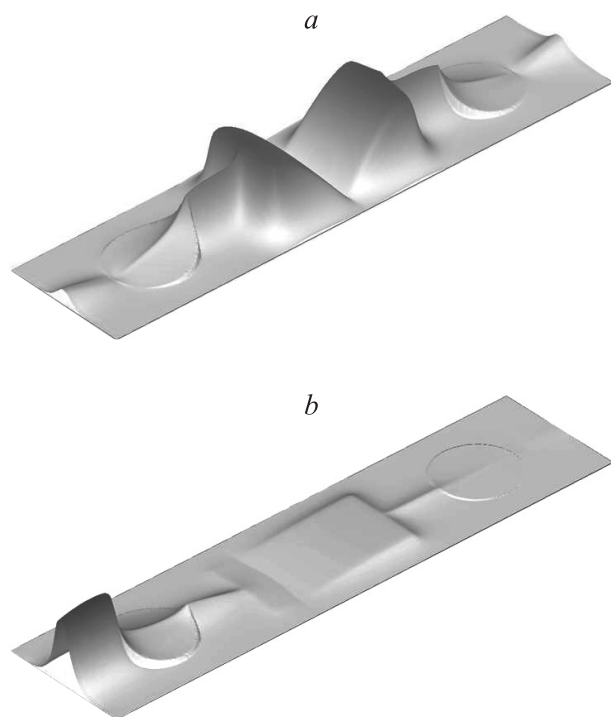
трике сформированы сквозными круглыми отверстиями, а на сигнальной поверхности — переменной шириной проводника. Сигнальный проводник выполнен соединением полосковых отрезков и проволочного проводника. Фильтр образован пятью волновыми областями: две ЭК-неоднородности, два отрезка узкого и отрезок широкого сигнального проводника. Эти области формируют трехуровневую относительную импедансную зависимость. ЭК-неоднородности образуют двухбарьерную импедансную структуру. Конструктивные параметры фильтра: ширина 13 mm, длина 52.5 mm, ширина внешних отрезков полоскового проводника 1.1 mm, диаметр отверстий и ширина внутреннего отрезка полоскового проводника 8 mm, диаметр проволочного проводника 0.1 mm, длина узкого и широкого отрезков сигнального проводника 5.8 и 14.9 mm. Материал подложки — Rogers RO3010, толщина диэлектрика 1.28 mm, относительная диэлектрическая проницаемость 10.2, тангенс угла диэлектрических потерь 0.0015 на частоте 10 GHz, толщина металлизации 0.035 mm. Характеристический импеданс  $Z$  и эффективная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_{\text{eff}}$  внешних отрезков полоскового проводника равны  $50 \Omega$  и 6.7 соответственно. Без учета внешних отрезков полоскового проводника длина фильтра равна 42.5 mm, что составляет 1.2 длины волны на расчетной средней частоте  $f_0 = 3.28$  GHz при  $\epsilon_{\text{eff}} = 6.7$ .

На рис. 2 приведены экспериментальная (1) и расчетная (2) амплитудно-частотные характеристики фильтра. Расчет проведен трехмерным моделированием в программном пакете Microwave Studio. Экспериментальное значение  $f_0 = 3.14$  GHz; экспериментальные и расчетные значения ширины полосы пропускания по уровню  $-3$  dB и вносимых потерь соответственно равны 87 и 89 MHz, 2.6 и 2.0 dB. Расчетные потери в диэлектрике в три раза превышают потери в металле и равны 1.5 dB.

На рис. 3 представлено рассчитанное в Microwave Studio электрическое поле в среднем сечении подложки на средней частоте и на частоте 2.23 GHz. Рис. 3, а иллюстрирует резонансную локализацию поля в полуволновой области, соответствующей внутреннему отрезку полоскового проводника. Резонансная стоячая волна компенсирует волновые неоднородности структуры, так



**Рис. 2.** Амплитудно-частотные характеристики фильтра на основе ЭК-неоднородностей.



**Рис. 3.** Напряженность электрического поля (по модулю) на частоте максимума (*a*) и минимума (*b*) коэффициента прохождения.

что падающая волна резонансно проходит структуру [2]. Без учета потерь при резонансном прохождении волны амплитуды падающей и прошедшей волн равны. В данном случае потери малы. Распределения поля на внешних отрезках полоскового проводника иллюстрируют резонансное прохождение волны.

Поле на рис. 3, *b* соответствует максимальному коэффициенту отражения. За счет высокой эффективности ЭК-неоднородности поле практически не проникает

в структуру. Как видно из распределений поля на рис. 3, несмотря на то что диаметр проводника намного меньше диаметра отверстия в ЭК-неоднородности, вся ЭК-неоднородность влияет на формирование поля структуры. Так, в случае прямоугольных ЭК-неоднородностей с длинной стороной вдоль направления распространения волны при длине сторон 8 и 4 mm низкочастотный минимум коэффициента прохождения возрастает с  $-23$  до  $-20$  dB.

Значения  $Z$  и  $\epsilon_{\text{eff}}$  ЭК-неоднородности, узкого и широкого отрезков сигнального проводника соответственно равны 350.0, 102.0, 14.5  $\Omega$  и 1.5, 5.9, 8.3. Параметры отрезков сигнального проводника рассчитаны по эмпирическим формулам, учитывающим металлизацию [3], а параметры ЭК-неоднородности — по одномерной модели в виде неоднородной линии передачи. Относительно характеристических импедансов внешних и внутреннего низкоомного отрезков полоскового проводника значения  $Z_{\text{eff}}$  ЭК-неоднородности соответственно равны 7 и 24. Дальнейшее повышение  $Z_{\text{eff}}$  связано с конструированием ЭК-неоднородностей не только с большими, но и с малыми значениями  $Z$ .

Использование ЭК-неоднородностей позволяет синтезировать малогабаритные СВЧ-фильтры.

## Список литературы

- [1] Назарько А.И. и др. // ЖТФ. 2010. Т. 80. Вып. 4. С. 138–139.
- [2] Нелин Е.А. // УФН. 2007. Т. 177. № 3. С. 307–313.
- [3] Hong Jia-Shen G., Lancaster M.J. Microstrip filters for RF/microwave applications. NY: Wiley, 2001. 488 p.