

06;12

Электромагнитные кристаллы на основе низкоомных 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 9 августа 2010 г.)

Предложены электромагнитные кристаллы на основе низкоомных неоднородностей. Приведены расчетные и экспериментальные характеристики устройств на основе таких неоднородностей.

Кристаллоподобные структуры представляют значительный интерес как основа разнообразных устройств обработки сигналов. Одна из разновидностей таких структур — микрополосковые электромагнитные кристаллы (ЭК) — позволяет значительно улучшить характеристики устройств радиодиапазона.

Зонная избирательность ЭК определяется развязкой сигналов в разрешенных и запрещенных зонах. Волновые импедансы неоднородности Z и однородой области Z_0 ЭК существенно различаются. Обозначим высокоомные и низкоомные неоднородности, индексы их параметров и ЭК на их основе буквами H и L (high- and low-impedance). Развязка сигналов возрастает с увеличением или уменьшением отношения $\rho_{H,L} = Z_{H,L}/Z_0$ соответственно для H - и L -неоднородностей.

Традиционная ЭК-неоднородность в виде отверстия, расположенного под полосковым проводником и выполненного обычно лишь на металлизированной поверхности, — H -неоднородность. Для увеличения ρ_H необходимо выполнить отверстие и в диэлектрической подложке. Значение ρ_H возрастает с увеличением глубины отверстия и ограничено при сквозном отверстии. Так, для неоднородности, рассмотренной в [1], с углублением отверстия значение ρ_H возрастает приблизительно с 2 до 4 при $Z_0 = 50 \Omega$. Дальнейшее повышение ρ_H обеспечивает комбинированная неоднородность, сочетающая неоднородности на металлизированной поверхности, в диэлектрической подложке и на сигнальной поверхности [1]. Так, для комбинированных H -неоднородностей, использованных в фильтре [2], $\rho_H = 7$ при $Z_0 = 50 \Omega$.

Рассмотрим конструктивные возможности реализации L -неоднородности. Характеристический импеданс микрополосковой линии уменьшается с расширением сигнального проводника, с уменьшением толщины диэлектрика, с увеличением его диэлектрической проницаемости. Исходя из этого L -неоднородность можно сформировать такими решениями:

- 1) несковзное металлизированное отверстие в подложке, гальванически соединенное с металлизированной поверхностью;
- 2) отверстие в подложке, заполненное диэлектриком более высокой диэлектрической проницаемости, чем подложка.

На рис. 1 показана структура ЭК– L . L -неоднородность сформирована под сигнальным проводником несковзным круглым металлизированным отверстием в диэлектрике.

Оценим параметры такой неоднородности. Относительная эффективная диэлектрическая проницаемость и волновой импеданс L -неоднородности приближенно определяются соответствующими формулами для микрополосковой линии [3]:

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon + 1}{2} + \frac{\epsilon - 1}{2\sqrt{1 + 12/x}}, \quad (1)$$

$$Z = \frac{120\pi\sqrt{\epsilon_e}}{x + 1.393 + 0.667\ln(x + 1.444)}, \quad (2)$$

где ϵ и ϵ_e — относительная и относительная эффективная диэлектрическая проницаемость; $x = w/\Delta h$, w — ширина сигнального проводника, $\Delta h = h - h'$ — зазор между отверстием и сигнальным проводником, h — толщина диэлектрика, h' — глубина отверстия. Для узких зазоров, когда $x \gg 1$, $\epsilon_e \approx \epsilon$ и $Z \approx 12\pi\Delta h/w\sqrt{\epsilon}$. В этом случае импеданс прямо пропорционален зазору и обратно пропорционален ширине проводника.

Рассчитаем возможное значение ρ_L для L -неоднородности с параметрами, соответствующими H -неоднородности [2]: $\epsilon = 10.2$, $h = 1.28 \text{ mm}$, $w = 8 \text{ mm}$. При $h' = 1 \text{ mm}$, согласно (2), имеем $Z_L = 3.8 \Omega$ (по приближенной формуле 4.1Ω), что соответствует $\rho_L = 0.08$. Поскольку $\rho_L^{-1}/\rho_H = 1.8$, ЭК– L заметно эффективнее ЭК– H .

Обратим внимание на соотношение между ϵ_{eH} и ϵ_{eL} . Для H -неоднородности [2] $\epsilon_{eH} = 1.5$. Согласно (1), $\epsilon_{eL} = 9.5$. Поскольку $\epsilon_{eL} \gg \epsilon_{eH}$, при заданной электрической длине размер L -неоднородности в направлении распространения волны существенно меньше. При

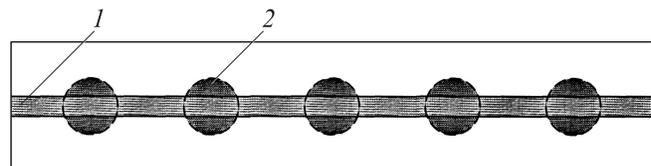


Рис. 1. Структура ЭК– L : 1 — полосковый проводник, 2 — L -неоднородность.

одинаковых габаритах диапазон рабочих частот ЭК–L ниже, а для заданного диапазона частот габариты ЭК–L меньше по сравнению с ЭК–H.

На рис. 2 приведены экспериментальная 1 и расчетная 2 характеристики коэффициента прохождения ЭК–L с параметрами: $w = 2.5$ mm, диаметр отверстий 8.6 mm, период 20 mm, число отверстий 5, $h = 2.1$ mm, $h' = 1.7$ mm, $\epsilon = 7$, тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta = 0.0025$ на частоте 10 GHz, $Z_0 = 50$ Ω . Расчет проведен трехмерным моделированием в программном пакете Microwave Studio. Согласно (1) и (2), $\epsilon_{eL} = 5.8$, $Z_L = 17.5$ Ω . Исходя из одномерной модели ЭК–L в виде линии передачи, образованной чередующимися отрезками с импедансами Z_L и Z_0 , характеристике 2 соответствуют $\epsilon_{eL} = 5.6$ и $Z_L = 15.5$ Ω , что хорошо согласуется с (1) и (2). Экспериментальные и расчетные значения средней частоты запрещенной зоны, определяемой минимумом коэффициента прохождения T_{\min} , и значения T_{\min} соответственно равны 3.33, 3.27 GHz, и -43 , -44 dB. ЭК–H, отличающийся от рассматриваемого ЭК–L тем, что отверстия неметаллизированы, имеет такие экспериментальные и расчетные параметры: 4.19, 4.04 GHz и -22 , -30 dB. При этом $\epsilon_{eH} = 1.7$, $Z_H = 130$ Ω . Меньшее значение T_{\min} ЭК–L объясняется тем, что $\rho_L^{-1} = 3.2$ больше $\rho_H = 2.6$ и длина L-неоднородности намного ближе к четвертьволновой по сравнению с H-неоднородностью (соответственно 0.9

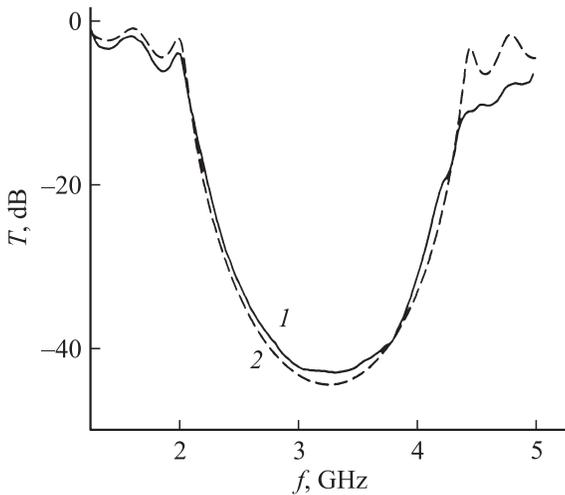


Рис. 2. Характеристики коэффициента прохождения ЭК–L.

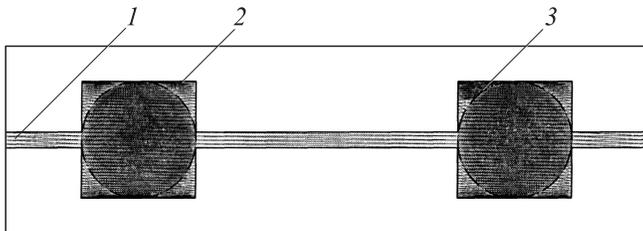


Рис. 3. Фильтр на основе L-неоднородностей: 1 — полосковый проводник, 2 — широкий полосковый отрезок, 3 — L-неоднородность.

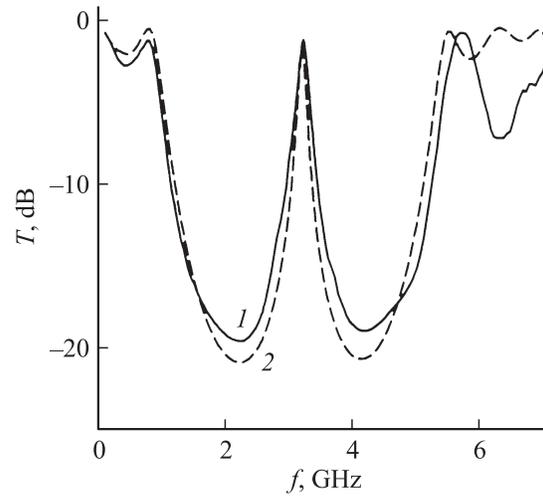


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики фильтра на основе L-неоднородностей.

и 0.6 от четвертьволновой длины). Уменьшение средней частоты ЭК–L обусловлено меньшей скоростью волны, поскольку $\epsilon_{eL} > \epsilon_{eH}$.

На рис. 3 приведен узкополосный фильтр на основе L-неоднородностей в виде несвязанных круглых металлизированных отверстий в диэлектрике. Для снижения Z_L сигнальный проводник над неоднородностями имеет ширину, равную диаметру отверстий.

На рис. 4 приведены экспериментальная 1 и расчетная 2 амплитудно-частотные характеристики фильтра такой структуры. Параметры фильтра: ширина 13 mm, длина 42.2 mm, $w = 1$ mm, диаметр отверстий и ширина полоскового проводника над ними 7.5 mm, расстояние между неоднородностями 17.2 mm. Материал подложки — Rogers RO3010, $h = 1.28$ mm, $h' = .65$ mm, $\epsilon = 10.2$, $\text{tg } \delta = 0.0023$ на частоте 10 GHz, толщина металлизации 0.035 mm, $Z_0 = 50$ Ω . Согласно (1) и (2), $\epsilon_{eL} = 8.8$, $Z_L = 8.4$ Ω . Экспериментальные и расчетные значения средней частоты и вносимых потерь соответственно совпадают и равны 3.2 GHz и 1.5 dB; экспериментальные и расчетные значения ширины полосы пропускания по уровню -3 dB соответственно равны 0.18 и 0.15 GHz.

Низкоомные ЭК-неоднородности имеют более широкий диапазон волновых импедансов, чем высокоомные, что позволяет повысить развязку сигналов в устройствах на их основе. Для обеспечения максимального отношения импедансов разнородных областей ЭК представляет интерес совместное использование низко- и высокоомных неоднородностей.

Список литературы

- [1] Назарько А.И. и др. // ЖТФ. 2010. Т. 80. Вып. 4. С. 138–139.
- [2] Назарько А.И. и др. // ЖТФ. 2010. Т. 80. Вып. 10. С. 148–149.
- [3] Hong Jia-Shen G., Lancaster M.J. Microstrip filters for RF/microwave applications. NY: Wiley, 2001. 488 p.