

Проектирование полосно-пропускающего фильтра на основе волновода, интегрированного в диэлектрическую подложку

Т.В. Старинова

АО «Центральное конструкторское бюро автоматики»

Аннотация: в данной статье приведен расчет и моделирование полосно-пропускающего фильтра третьего порядка на основе SIW с центральной частотой полосы пропускания 25,9 ГГц и шириной полосы пропускания 1 ГГц.

Ключевые слова: устройства на основе интегрированных в диэлектрическую подложку волноводов, Substrate Integrated Waveguide (SIW), полосно-пропускающий фильтр СВЧ

1. Введение

Устройства на основе интегрированных в диэлектрическую подложку волноводов или Substrate Integrated Waveguide (SIW) находят применение при проектировании трактов СВЧ [1, 2, 3]. Их использование обусловлено рядом достоинств, и прежде всего, удешевлением производства таких трактов.

Структура SIW показана на рисунке 1.

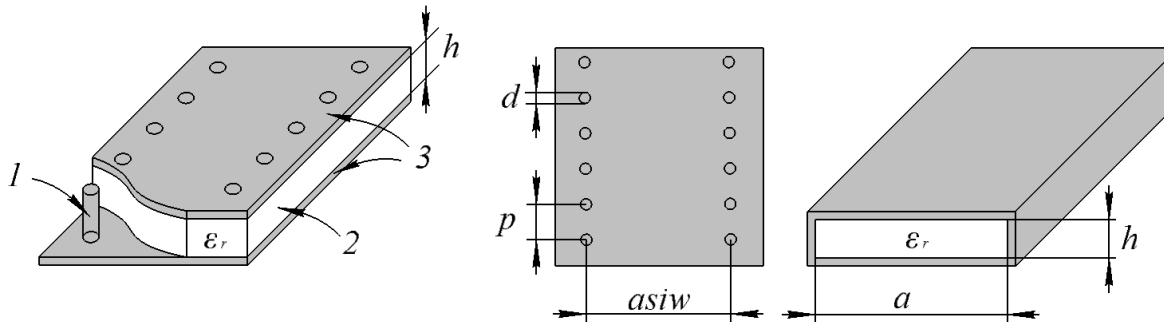


Рисунок 1. Структура SIW: 1 – металлизированные отверстия, 2 – диэлектрическая подложка, 3 – проводящие слои, h – высота диэлектрической подложки, d – диаметр отверстий, p – расстояние между отверстиями, a – ширина волновода с металлизированными торцами, $asiw$ – ширина волновода, ограниченного двумя рядами металлизированных отверстий, ϵ_r – диэлектрическая проницаемость диэлектрика.

Интегрированные в подложку волноводы могут быть использованы при проектировании планарных полосно-пропускающих фильтров (ППФ).

Одним из ключевых элементов таких ППФ являются инверторы сопротивлений. В данной работе рассматривается инвертор сопротивления, который сформирован двумя металлизированными отверстиями так, как это показано на рисунке 2.

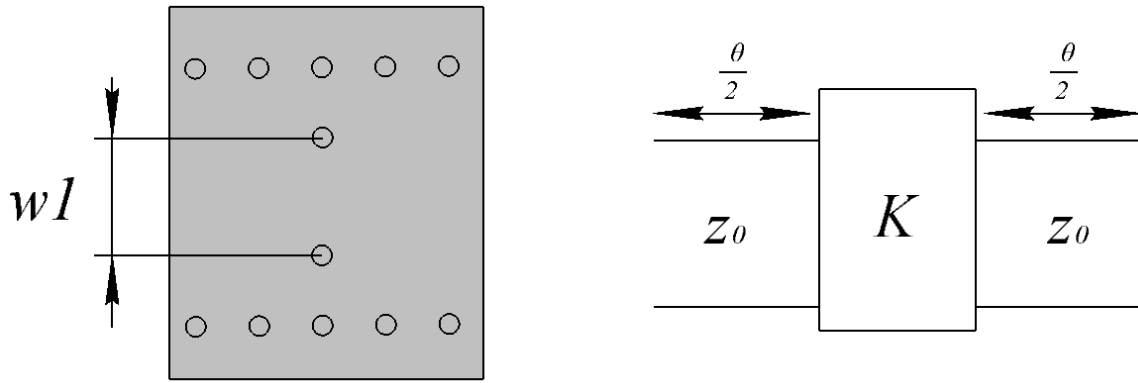


Рисунок 2. SIW-структура и эквивалентная схема с инвертором сопротивления

В части 2 описан порядок расчета геометрических параметров ППФ на основе SIW в соответствии с методикой, приведённой в [4], а также показаны результаты моделирования в среде САПР HFSS.

2. Расчет геометрических параметров и моделирование ППФ с центральной частотой полосы пропускания 25,9 ГГц

Для расчета геометрических параметров ППФ, структура которого приведена на рисунке 3, использованы элементы фильтра-прототипа нижних частот третьего порядка g_i с Чебышевской характеристикой затухания [5].

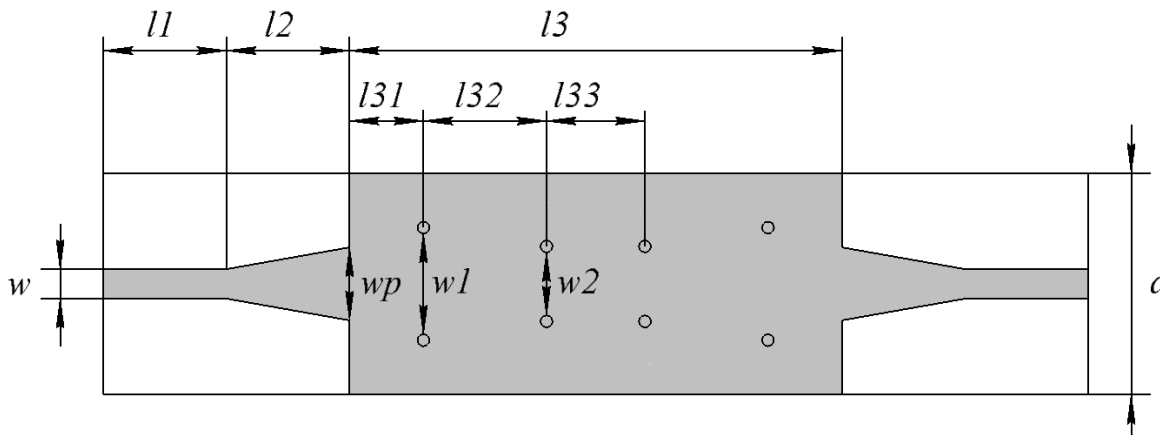


Рисунок 3. Структура ППФ на основе SIW

Для улучшения согласования между входными/выходными несимметричными полосковыми линиями и SIW-структурой используются трапецевидные переходы. Два ряда отверстий, формирующие боковые стенки волновода, заменены торцевыми металлизациями.

Относительная ширина полосы пропускания ППФ (Δ) вычисляется по формуле (1):

$$\Delta = \frac{\lambda_n - \lambda_v}{\lambda_{g0}}, \quad (1)$$

где λ_{g0} - длина волны в диэлектрике на центральной частоте полосы пропускания, λ_n , λ_v - длины волн в диэлектрике на нижней и верхней границе полосы пропускания.

Значения коэффициентов связи для инверторов сопротивлений определяются по формулам (2), (3), (4):

$$\frac{K_{0,1}}{Z_0} = \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2 g_0 g_1 \omega'}}, \quad (2)$$

$$\frac{K_{m,m+1}}{Z_0} = \frac{\pi \Delta}{2 \omega' \sqrt{g_i g_{i+1}}}, \quad (3)$$

$$\frac{K_{n,n+1}}{Z_0} = \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2 g_n g_{n+1} \omega'}}, \quad (4)$$

где Z_0 – характеристическое сопротивление линии передачи; $g_0 - g_n$ - нормированные коэффициенты фильтра-прототипа нижних частот; ω' – нормированная граничная частота полосы пропускания фильтра-прототипа нижних частот.

Характеристическое сопротивление инверторов сопротивления определяется по формуле (5):

$$\frac{X_{m,m+1}}{Z_0} = \frac{\frac{K_{m,m+1}}{Z_0}}{1 - \left(\frac{K_{m,m+1}}{Z_0}\right)^2}, \quad (5)$$

Фазовый коэффициент звена ППФ рассчитывается по формуле (6):

$$\theta_i = \pi - \frac{1}{2} \left[\tan^{-1} \left(2 \cdot \frac{K_{m-1,m}}{Z_0} \right) + \tan^{-1} \left(2 \cdot \frac{K_{m,m+1}}{Z_0} \right) \right], \quad (6)$$

где i – порядковый номер звена фильтра.

Длина звена полосно-пропускающего фильтра рассчитывается по формуле (7):

$$L_i = \frac{\theta_i \cdot \lambda_{g0}}{2\pi}. \quad (7)$$

Рассчитанные геометрические параметры ППФ на основе SIW приведены в таблице 1 (все размеры указаны в мм).

Таблица 1. Параметры модели ППФ на основе SIW (рис. 4)

Наименование параметра	Значение параметра	Наименование параметра	Значение параметра
d	0,2	l31	0,595
h	0,25	l32	1,84
w	0,25	l33	2,06
l1	1,6	wp	0,8
l2	1,7	w1	1,6
l3	6,93	w2	0,9
a	3,3	ϵ_r	9,8

Результаты моделирования рассчитанного ППФ в среде САПР HFSS (рис. 4) приведены на рисунках 5, 6.

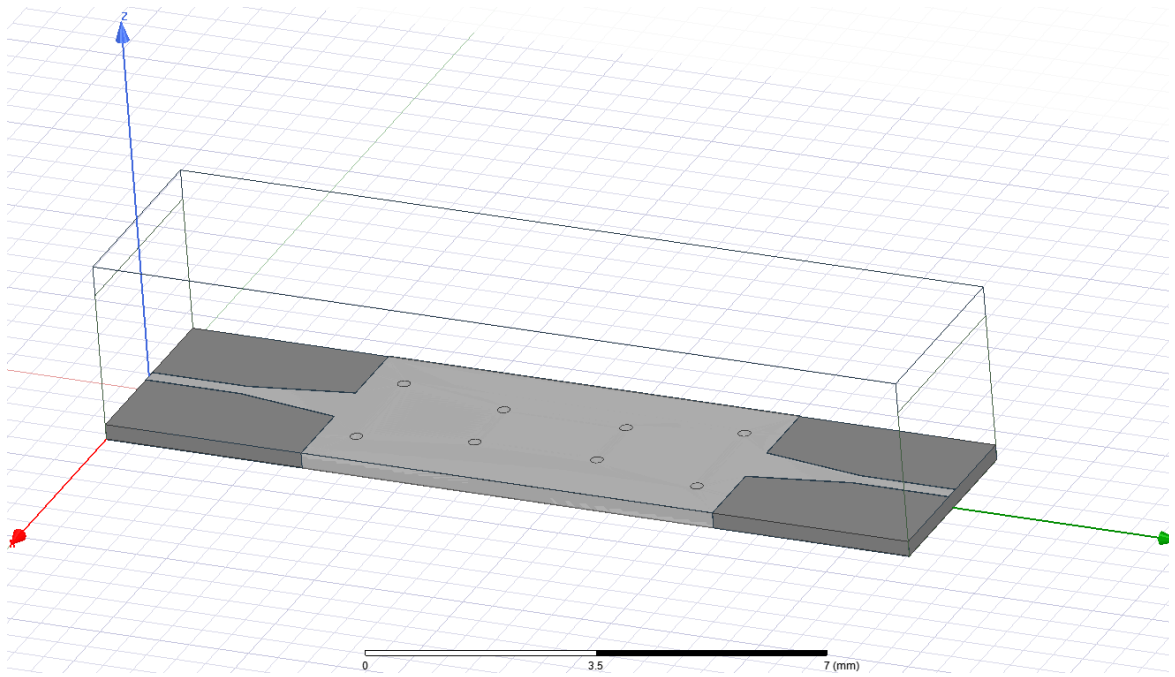


Рисунок 4. Модель ППФ в среде САПР HFSS

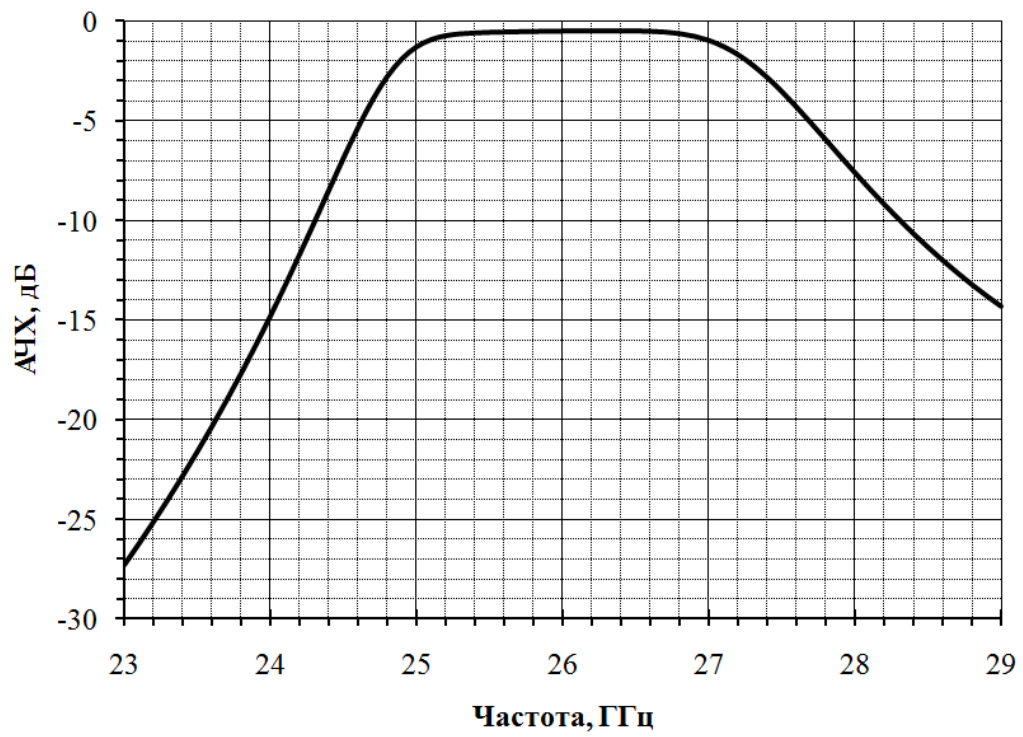


Рисунок 5. АЧХ модели ППФ (рис. 4, таблица 1)

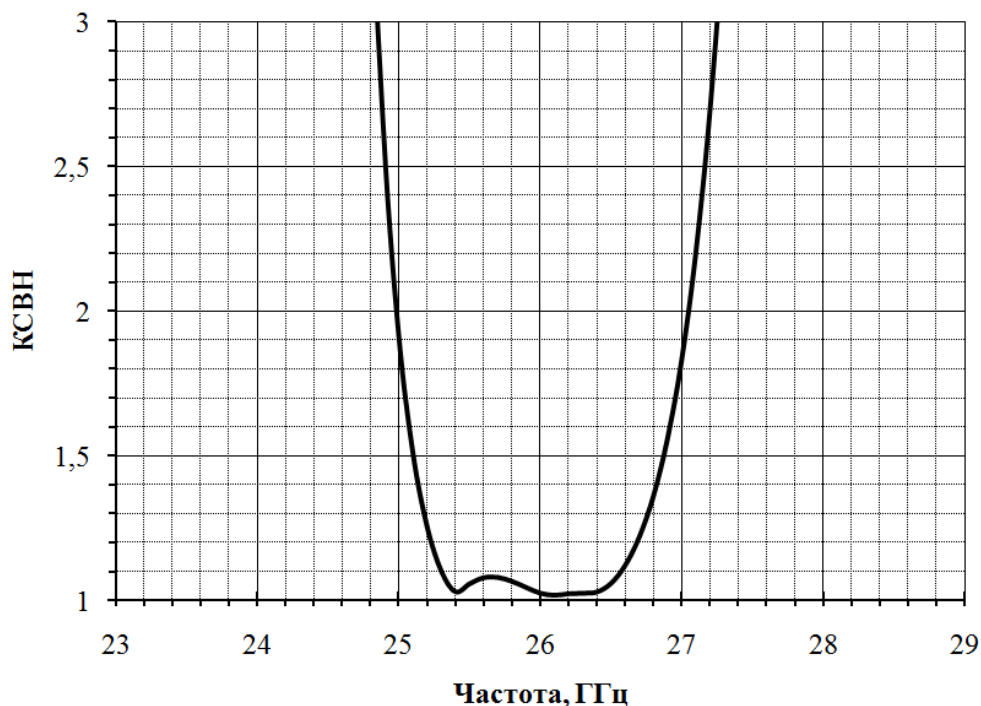


Рисунок 6. Частотная зависимость КСВН модели ППФ (рис. 4, таблица 1)

В соответствии с рисунками 5, 6 минимальный уровень коэффициента передачи в полосе пропускания модели ППФ составляет минус 0,6 дБ, неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) - не более 0,1 дБ, а максимальное значение КСВН 1,1.

3. Заключение

Разработан и смоделирован ППФ третьего порядка с центральной частотой полосы пропускания 25,9 ГГц и шириной полосы пропускания 1 ГГц. Крутизна левого ската АЧХ составляет 13,5 дБ/ГГц. Габаритные размеры фильтра 13,53x3,3x0,25 (мм).

Список литературы

1. G. Q. Luo, Z. F. Hu, L. X. Dong, and L. L. Sun, Planar slot antenna backed by substrate integrated waveguide cavity// IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2008. vol. 7, pp. 236-239.
2. Z.-Y. Zhang, and K. Wu Broadband half-mode substrate integrated waveguide (HMSIW) wilkinson power divider// IEEE MTT-S International Microwave Symposium. Jun. 2008, pp. 1141-1144.
3. B. Liu, W. Hong, Y.-Q. Wang, Q.-H. Lai, and K. Wu Half mode substrate integrated waveguide (HMSIW) 3-dB coupler// IEEE Microwave and Wireless Components Letters. Jan. 2007. Vol. 17, pp. 22-24.
4. Mona Sameri, Farokh Hojat Kashani Design and realization of a miniaturized low loss iris bandpass filter on substrate integrated waveguide configuration in 2.4 GHz band// Journal of Electrical and Electronic Engineering. 2015. vol. 3, no. 3. pp. 50 – 54.
5. Матей, Д.Л., Янг, Л., Джонс, Е.М. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. / М.: Изд-во «Связь», 1971. – 440 с.