

Математический анализ полуволнового балансного трансформатора СВЧ-диапазона с балансирующей ёмкостью

С. А. Гончаров, В. И. Сединин

В данной статье представлены методы и результаты расчёта балансных трансформаторов на микрополосковых линиях. Также представлены экспериментальные данные. Приведены методы усовершенствования конструкции такого типа устройств, позволяющие производить калибровку баланса трансформатора.

1. ВВЕДЕНИЕ

Среди множества устройств сложения мощностей в СВЧ-диапазоне особое место занимают такие устройства на полосковых линиях передачи, как балансные трансформаторы СВЧ. Эти устройства обладают рядом преимуществ, среди которых отметим широкий диапазон рабочих частот и меньшие габариты. В настоящее время известно множество конструкций таких трансформаторов, но нет единого математического анализа этих устройств.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Наиболее удобная конструкция для использования в планарных технологиях балансного трансформатора [1] – конструкция полуволнового трансформатора – приведена на рис. 1.

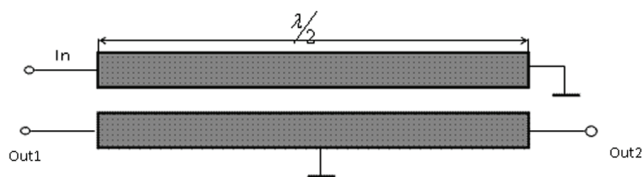


Рис. 1. Полуволновой трансформатор

Конструкция такого устройства представляет из себя связанные микрополосковые линии длиной в половину длины волны. Математический анализ такого вида трансформатора будет представлен в статье.

3. ТЕОРИЯ

Математический анализ такого устройства можно произвести матричным методом. Для этого нужно представить данную конструкцию как последовательное соединение

двух идентичных секций, состоящих из двух связанных четвертьволновых линий, как показано на рис. 2.

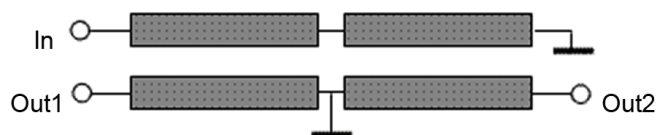


Рис. 2. Представление полуволнового трансформатора двумя четвертьволновыми секциями

Поскольку секции идентичные, рассмотрим одну секцию, представляющую собой связанные микрополосковые линии размером в четверть длины волны. Чтобы каждый раз не решать систему из четырёх уравнений для тех или иных граничных условий, удобно рассматривать данную секцию трансформатора как четырёхполюсник (рис.3), Y -параметры которого известны [2]:

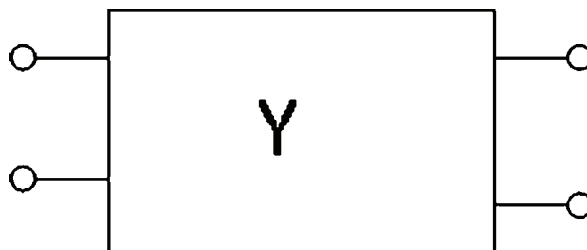


Рис. 3. Представление секции трансформатора в виде четырёхполюсника

$$Y_{11} = -\frac{\operatorname{tg} \frac{s}{2}}{i\rho_s} + \frac{1}{i\rho_a \operatorname{tg} \frac{a}{2}}, \quad (1)$$

$$Y_{21} = -\frac{\operatorname{tg} \frac{s}{2}}{2i\rho_s} - \frac{1}{2i\rho_a \operatorname{tg} \frac{a}{2}}, \quad (2)$$

$$Y_{12} = -\frac{\operatorname{tg} \frac{s}{2}}{2i\rho_s} - \frac{1}{2i\rho_a \operatorname{tg} \frac{a}{2}}, \quad (3)$$

$$Y_{22} = \frac{1}{2i\rho_s \operatorname{tg} s} + \frac{1}{2i\rho_a \operatorname{tg} a}; \quad (4)$$

где

$$\rho_s = \sqrt{L_s/C_s}, \quad (5)$$

$$\rho_a = \sqrt{L_a/C_a}, \quad (6)$$

$$s = \frac{\omega l}{e} \sqrt{L_s C_s}, \quad (7)$$

$$a = \frac{\omega l}{e} \sqrt{L_a C_a}. \quad (8)$$

В этих выражениях L_a , L_s – коэффициенты погонной и взаимной индуктивности, а C_a , C_s – погонная и взаимная индуктивность микрополосковых линий, как показано на рис. 4.

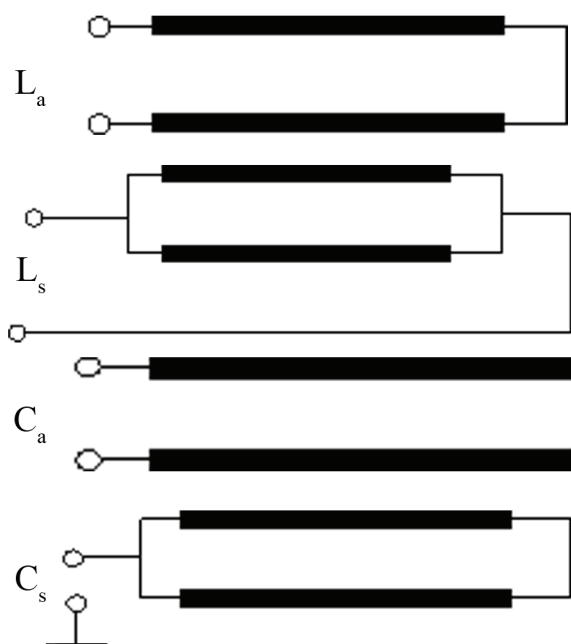


Рис. 4. Погонные и взаимные ёмкости и индуктивности

Как видно из рисунка 2, трансформатор можно представить как каскадное соединение двух четырёхполюсников. Поскольку при каскадном соединении A -матрицы четырёхполюсника перемножаются, а Y -матрица каждого четырёхполюсника нам известна, выразим матрицу A через Y [3]:

$$A = \begin{bmatrix} -y_{22} & -1 \\ y_{21} & y_{21} \\ -\Delta Y & -y_{11} \\ y_{21} & y_{21} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

После получения суммарной матрицы A балансного трансформатора воспользуемся формулами обратного перехода

$$Y = \begin{bmatrix} \frac{a_{22}}{a_{12}} & \frac{-\Delta a}{a_{12}} \\ -1 & \frac{a_{11}}{a_{12}} \end{bmatrix} \quad (10)$$

и получим матрицу Y всего устройства для последующего нахождения коэффициента отражения трансформатора Γ .

$$\Gamma = S_{21}, \quad (11)$$

где

$$S_{21} = \frac{-2Y_{21}}{(1+Y_{11})(1-Y_{22})+Y_{12}Y_{21}}. \quad (12)$$

Теоретические и экспериментальные данные в диапазоне от 600 МГц до 1.3 ГГц показаны на рис. 5.

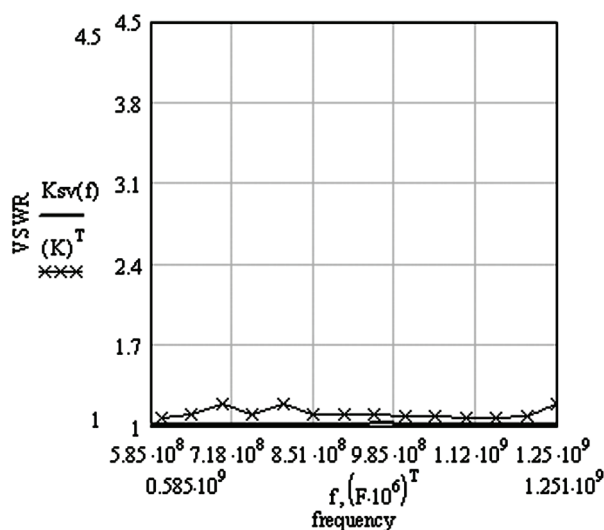


Рис. 5. Теоретические и экспериментальные данные КСВн

Экспериментальная зависимость была получена на основе измерения КСВн измерителем Р4-11, теоретический график был получен на основе вычислений в среде MathCAD. Как видно из рис. 4, такой алгоритм расчёта довольно точен и может быть применён в инженерных расчётах.

Поскольку разброс параметров полупроводниковых элементов составляет около 30% в пределах даже одной партии, целесообразно предусмотреть в конструкции возможность калибровки баланса такого устройства.

Для контроля баланса данного трансформатора необходимо видоизменить схему трансформатора, поставив добавочную ёмкость C_d , как показано на рис. 6.

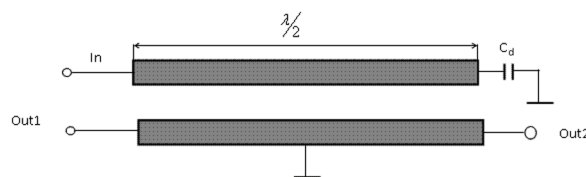


Рис. 6. Полуволновой трансформатор с добавочной ёмкостью

Добавочная ёмкость изменяет электрическую длину линии, и при условии, если эта ёмкость будет подстроечная,

можно регулировать данное удлинение, таким образом смещая балансировку либо в одну, либо в другую сторону.

При анализе такого трансформатора секции нельзя считать идентичными, поскольку вторая секция должна учитывать добавочную ёмкость, а для этого необходимо внести добавочную ёмкость параллельно ёмкости C_s [2] в одной из секций, а другую оставить без изменения. Тогда модифицированную ёмкость C_s , поскольку она представляет добавочную ёмкость последовательную основной, можно будет найти из следующего соотношения:

$$C'_d = \frac{C_s C_d}{C_s + C_d}. \quad (13)$$

Таким образом можно производить балансировку выходных амплитуд трансформатора в активном режиме, что избавляет от необходимости подбора диодов в пары. Коэффициент стоячей волны по напряжению остаётся неизменным.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. Maas, Planar Monolithic Microwave and Millimeter-Wave Circuits. Invited Paper, Proceedings of the ESA Workshop on Millimeter-Wave Technology and Applications, p. 8.1.1, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 1995.
2. Математический анализ микрополосковых балансных трансформаторов СВЧ диапазона \С. А. Гончаров\ СибГУТИ – Новосибирск, 2005 – 7с. Деп. В ВИНТИ 15.11.2005. №1470 – В2005 г.
3. Зелях Э.В., Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р. и др. Миниатюрные устройства УВЧ и ОВЧ диапазонов на отрезках линий М. «Радио и связь», 1989 г.

Сергей Анатольевич Гончаров

аспирант кафедры САПР СибГУТИ;
тел.: 269-82-68, e-mail: serge3010@ngs.ru.

Валерий Иванович Сединин

профессор, заведующий кафедрой САПР СибГУТИ;
тел.: 269-82-68, e-mail: sedinin@neic.nsk.su.