

РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУВОЛНОВОГО БАЛАНСНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СВЧ-ДИАПАЗОНА

С.А. Гончаров, В.Б. Малинкин

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», г. Новосибирск; serge3010@ngs.ru

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: балансные трансформаторы СВЧ-диапазона; микрополосковые трансформаторы; согласующие устройства; трансформаторы СВЧ-диапазона; устройства сложения мощностей.

Аннотация: Представлены экспериментальные данные, методы и результаты расчета балансных трансформаторов на микрополосковых линиях. Предложено усовершенствование конструкции, позволяющее производить калибровку баланса трансформатора.

В настоящее время устройства СВЧ-диапазона широко применяются в системах телекоммуникаций и в радиолокационных системах. Одним из элементов этих систем являются устройства сложения мощностей – трансформаторы.

Среди множества устройств сложения мощностей в СВЧ-диапазоне особое место занимают устройства на полосковых линиях. Эти устройства обладают рядом преимуществ: широкий диапазон рабочих частот, меньшие габариты. В настоящее время известно множество конструкций трансформаторов, но нет единого математического анализа таких устройств.

Наиболее распространенная конструкция балансного трансформатора [1] приведена на рис. 1.

Конструкция такого устройства представляет из себя связанные микрополосковые линии длиной в половину длины волны. Нами представлен математический анализ полуволнового трансформатора.

Математический анализ этого устройства можно произвести матричным методом, для этого нужно представить данную конструкцию как последовательное соединение двух идентичных секций, состоящих из двух связанных четвертьволновых линий (рис. 2).

Поскольку секции идентичны, в дальнейшем будем рассматривать только одну секцию.

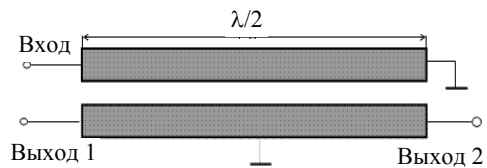


Рис. 1. Полуволновой трансформатор

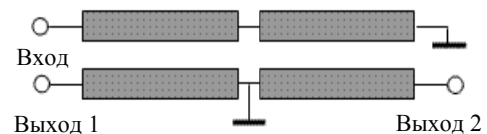


Рис. 2. Последовательное соединение двух идентичных секций полуволнового трансформатора двумя четвертьволновыми секциями

Процессы в данной секции можно описать системой дифференциальных уравнений [2]:

$$\frac{\partial u_1}{\partial x} = -L \frac{\partial i_1}{\partial t} - M \frac{\partial i_2}{\partial t}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial x} = -L \frac{\partial i_2}{\partial t} - M \frac{\partial i_1}{\partial t}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial i_1}{\partial x} = -C \frac{\partial u_1}{\partial t} + D \frac{\partial u_2}{\partial t}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial i_2}{\partial x} = -C \frac{\partial u_2}{\partial t} + D \frac{\partial u_1}{\partial t}, \quad (4)$$

где i_1, u_1 – входные ток и напряжение соответственно; i_2, u_2 – выходные ток и напряжение соответственно.

Введенные коэффициенты погонной индуктивности L и взаимной индуктивности M , погонной емкости C и погонной взаимной емкости D могут быть определены на основе системы уравнений путем расчета или измерения на низких частотах индуктивностей и емкостей L_a, L_s, C_a и C_s (рис. 3)

$$L_a = 2(L - M)l;$$

$$2L_s = (L + M)l;$$

$$2C_a = (C - D)l;$$

$$C_s = 2(C + D)l,$$

где l – длина линий передач.

Чтобы каждый раз не решать систему (1) – (4) для тех или иных граничных условий, удобно рассматривать данную секцию трансформатора как четырехполюсник [2]. Характеристики трансформатора легко находятся через его коэффициенты. Из литературы [2] Y -матрица связанных микрополосковых линий волны известна.

Как видно из рис. 2 трансформатор можно представить как каскадное соединение двух четырехполюсников.

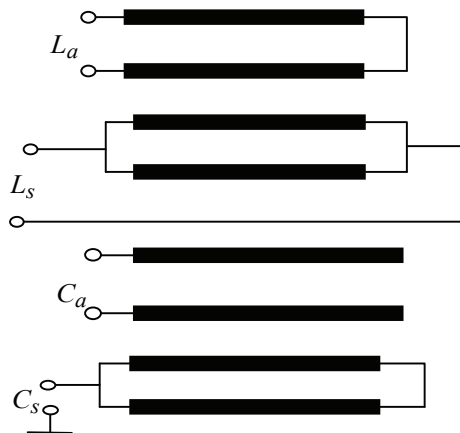


Рис. 3. Расчет погонных и взаимных емкостей и индуктивностей связанных микрополосковых линий

Поскольку при каскадном соединении A -матрицы четырехполюсников перемножаются, а Y -матрица каждого четырехполюсника нам известна, выразим A -матрицу через Y -матрицу [3]:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{-y_{22}}{y_{21}} & \frac{-1}{y_{21}} \\ \frac{y_{21}}{-\Delta Y} & \frac{y_{21}}{-y_{11}} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

После получения результирующей A -матрицы всего устройства, воспользуемся формулами обратного перехода

$$Y = \begin{pmatrix} \frac{a_{22}}{a_{12}} & \frac{-\Delta a}{a_{12}} \\ -\frac{1}{a_{12}} & \frac{a_{11}}{a_{12}} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

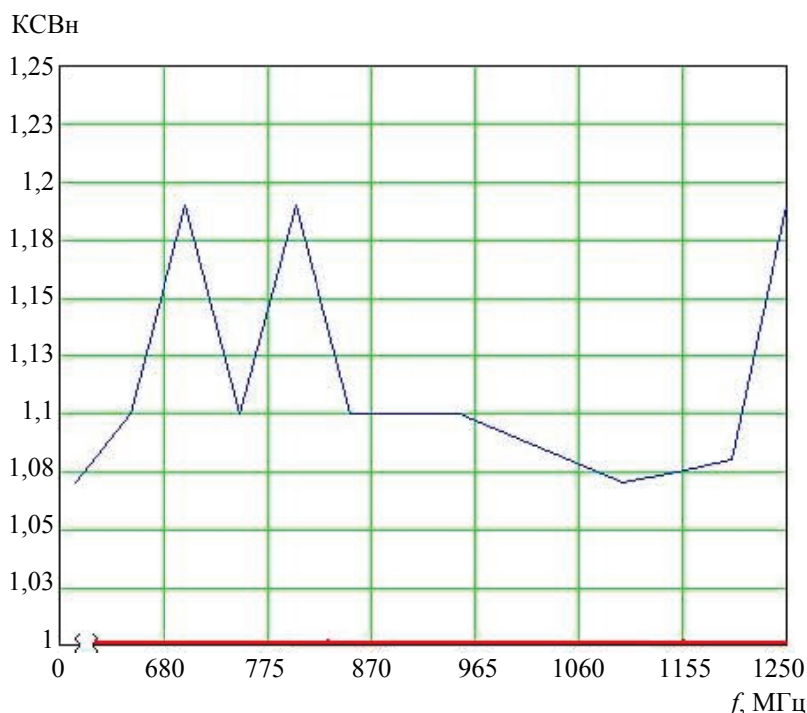


Рис. 4. Теоретическая (—) и экспериментальная (—) частотные зависимости КСВн

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

$$\Gamma = S_{21}, \quad (7)$$

где

$$S_{21} = \frac{-2Y_{21}}{(1 + Y_{11})(1 - Y_{22}) + Y_{12}Y_{21}}. \quad (8)$$

Теоретические и экспериментальные данные в диапазоне от 600 до 1,3 ГГц показаны на рис. 4.

Экспериментальная зависимость была получена с использованием измерителя комплексных амплитуд Р4-11, а теоретический график – на основе вычислений в среде MathCad. Как видно из рис. 4 такой метод расчета довольно точен и может быть применен в инженерных расчетах.

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 емкость C_d (рис. 5).

Добавочная емкость изменяет электрическую длину линии и, при условии, если эта емкость будет подстроечная, можно регулировать данное удлинение, таким образом смещая балансировку либо в одну, либо в другую сторону.

При анализе такого трансформатора секции нельзя считать идентич-

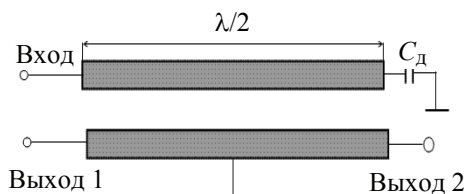


Рис. 5. Полуволновой трансформатор с добавочной емкостью

ными, поскольку вторая секция должна учитывать добавочную емкость, а для этого необходимо внести добавочную емкость параллельно емкости C_s [2] в одной из секций. Модифицированную емкость $C_{s\text{ all}}$ можно будет найти из следующего соотношения:

$$C_{s\text{ all}} = \frac{C_s C_d}{C_s + C_d}. \quad (9)$$

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

Список литературы

1. Maas, S. Planar Monolithic Microwave and Millimeter-Wave Circuits : Invited Paper / S. Maas // Proceedings of the ESA Workshop on Millimeter-Wave Technology and Applications, ESTEC, Noordwijk, Netherlands, 1995. – Noordwijk, 1995. – P. 8.1.1.
2. Гончаров, С.А. Математический анализ микрополосковых балансных трансформаторов СВЧ диапазона / С.А. Гончаров ; Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. – Новосибирск, 2005. – 7 с. – Деп. в ВИНТИ 15.11.2005, № 1470.
3. Миниатюрные устройства УВЧ и ОВЧ диапазонов на отрезках линий / Э.В. Зелях [и др.]. – М. : Радио и связь, 1989. – 127 с.

Performance Calculation of Semiwave Balance Transformer of Microwave Range

S.A. Goncharov, V.B. Malinkin

*Siberia State University of Telecommunication and Computing, Novosibirsk;
serge3010@ngs.ru*

Key words and phrases: balance transformers microwave range; microstrip transformers; microwave range transformers; power adder circuit; tuners.

Abstract: The paper presents the experimental data, methods and results of the calculation for balanced transformers on microstrip lines. The improvement the design of the device, enabling to produce the calibration of the balance of the transformer is proposed.

Berechnung der technischen Charakteristiken des Halbwellen-Ausgleichstransformator des SHF-Bereiches

Zusammenfassung: In diesem Artikel sind die Methoden und die Ergebnisse der Berechnung der Ausgleichstransformatoren auf den Mikrowellenbandleitungen vorgelegt. Es sind die Experimentalangaben auch angegeben. Es sind die Methoden der Vervollkommnung der Konstruktion der Einrichtungen des derselben Typus angeführt. Sie erlauben, das Kalibrieren der Ausgleichung des Transformators durchzuführen.

Calcul des caractéristiques du transformateur demi-ondulaire de balance du diapason en micro-ondes

Résumé: Dans cet article sont présentés les méthodes et les résultats du calcul des transformateurs de balance sur des lignes à microruban. Sont aussi présentées les données expérimentales. Sont citées les méthodes du perfectionnement de la construction d'un tel type du dispositif permettant de réaliser le calibrage de la balance du transformateur.

Авторы: *Гончаров Сергей Анатольевич* – старший преподаватель кафедры «Системы автоматизированного проектирования»; *Малинкин Виталий Борисович* – доктор технических наук, академик РАН, профессор кафедры «Многоканальная электрическая связь и оптические системы», СибГУТИ.

Рецензент: *Сединин Валерий Иванович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования», СибГУТИ.
