

УДК 621.396

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА ПОЛОСОВЫХ СВОЙСТВ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Якименко А.В.

*Одесская национальная академия связи им. О.С. Попова
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.*

ledi_show@mail.ru

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ СМУГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧВЕРТЬХВИЛЬОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Якименко А.В.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.*

ledi_show@mail.ru

MATHEMATICAL MODEL OF ANALYSIS BAND PASS PROPERTIES QUARTER WAVE TRANSFORMER

Yakymenko A.V.

*Odessa national academy of telecommunications n.a. O.S. Popov
1 Kovalska St., Odessa 65029, Ukraine.*

ledi_show@mail.ru

Аннотация. На основе теории длинных линий предложена математическая модель, основанная на полученной инженерной формуле для анализа полосы согласования четвертьволнового трансформатора. Проведены численные расчеты и анализ полосовых свойств четвертьволнового трансформатора для произвольных значений коэффициента трансформации. Дана оценка применимости инженерной формулы.

Ключевые слова: полоса согласования, четвертьволновый трансформатор, коэффициент трансформации, теория длинных линий

Анотація. На основі теорії довгих ліній запропонована математична модель, заснована на отриманій інженерній формулі для аналізу смуги узгодження чвертьхвильового трансформатора. Проведено чисельні розрахунки і аналіз смугових властивостей чвертьхвильового трансформатора для довільних значень коефіцієнта трансформації. Дана оцінка застосовності інженерної формули.

Ключові слова: смуга узгодження, чверть хвильовий трансформатор, коефіцієнт трансформації, теорія довгих ліній

Abstract: On the basis of the theory of long lines mathematical model for calculation and analysis of quarter-band matching transformer is proposed. The applicability of the formula. Assessment and analysis of the quarter-wave band matching transformer for arbitrary values of the transformation ratio and the level of permissible error.

Key words: matching band quarter-transformer, transformation ratio, the theory of long lines.

В настоящее время с увеличением объемов передаваемой информации использование имеющегося частотного ресурса является сложной задачей. Поэтому на практике анализ диапазоновых свойств различных радиоустройств является актуальной задачей, для эффективного решения которой требуются новые математические модели. Проблема заключается в громоздкости и неудобном применении их на практике для инженерных расчетов. Данная статья представляет упрощенную методику расчетов для применения в инженерной практике.

Эффективность передачи мощности в нагрузку принято характеризовать коэффициентом полезного действия, равным соотношению мощности, выделяемой в нагрузку, к мощности падающей волны, отдаваемой генератором в линию передачи. Под согласованием по-

нимается обеспечение в линии передачи режима, близкого к режиму бегущей волны в заданной полосе частот. Режим согласования линии передачи наиболее благоприятен и с точки зрения достижения максимальной электрической прочности. В рассогласованной линии передачи может произойти электрический пробой при мощности падающей волны, составляющей лишь 25 % от мощности, вызывающей пробой в линии передачи, работающей в режиме бегущей волны. Когда требуемая полоса частот незначительна, согласование считается узкополосным, а при существенных требованиях на полосу частот – широкополосным, и даже широкодиапазонным. Сегодня на практике широко используются метод трансформации активных сопротивлений на основе четвертьволнового трансформатора [1]. Для согласования комплексного сопротивления нагрузки с волновым сопротивлением линии передачи предлагается либо включать четвертьволновый трансформатор в определенное сечение линии передачи либо соответствующим образом выбирать длину и волновое сопротивление согласующего трансформатора [2]. Для расширения полосы частот согласования методом трансформации частот применяются многоступенчатые трансформаторы [1, 3], рассмотрим схему включения в линию передачи согласующего трансформатора, изображенную на рис. 1

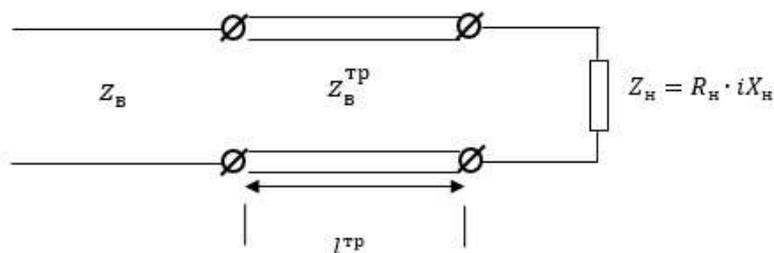


Рисунок 1– Схема включения согласующего трансформатора

Согласующий трансформатор включён в линию передачи, как показано на рис. 1, с волновым сопротивлением Z_B – последовательно между линией передачи и сопротивлением нагрузки Z_H в общем случае являющейся комплексной величиной $Z_H = R_H + iX_H$, где R_H – активная составляющая сопротивления нагрузки; X_H это реактивная составляющая сопротивления нагрузки.

Определим входное сопротивление трансформатора на произвольной частоте. Для этого воспользуемся теорией длинных линий, согласно которой с учетом введенных выше обозначений можно записать [1]:

$$Z_{BX}^{TP} = Z_B^{TP} \frac{R_H + iZ_B^{TP} \operatorname{tg} kl^{TP}}{Z_B^{TP} + iR_H \operatorname{tg} kl^{TP}}, \quad (1)$$

где $k = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi}{\lambda}}$ – волновое число; λ – длина волны электромагнитных колебаний.

Рассмотрим коэффициент трансформации, равный $N = \sqrt{\frac{R_H}{Z_B}}$ и относительную полосу согласования $\frac{\Delta w}{w_0}$. Подставляя эти выражения в (1), можем записать в виде

$$Z_{BX}^{TP} \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) = Z_B N^2 \left(\operatorname{tg} \left(\frac{\pi \cdot \Delta w / w_0}{2} \right) - iN^{-1} / \operatorname{tg} \left(\frac{\pi \cdot \Delta w / w_0}{2} \right) - iN \right) \quad (2)$$

Предположим, что требуемое согласование осуществляется в ограниченной и незначительной полосе частот $2\Delta w$, в пределах которой активную часть сопротивления сопротивление нагрузки можно считать постоянной величиной $R_H = \text{const}$.

С учетом данного предположения упростим (2) путем исключения слагаемых второй степени малости. После преобразования выражения (2) получим:

$$Z_{BX}^{TP} \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \cong Z_B \left(1 + i \operatorname{tg} \left(\frac{\pi \cdot \Delta w / w_0}{2} \right) \cdot (N - N^{-1}) \right) \quad (3)$$

Для определения полосы частот $2\Delta w$, в которой обеспечивается требуемый уровень согласования, воспользуемся выражением для коэффициента стоячей волны (КСВ):

$$КСВ \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) = 1 + \left| \Gamma_H \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \right| / \left(1 - \left| \Gamma_H \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \right| \right) \quad (4)$$

где $\left| \Gamma_H \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \right|$ – зависимость модуля коэффициента отражения в рассматриваемом сечении линии передачи (вход четвертьволнового трансформатора).

В свою очередь, модуль коэффициента отражения с учетом введенных обозначений можно найти из выражения:

$$\left| \Gamma_H \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \right| = \sqrt{\frac{\left[\operatorname{Re} \left(Z_{BX}^{TP} \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \right) - Z_B \right]^2 + \left[\operatorname{Im} \left(Z_{BX}^{TP} \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \right) \right]^2}{\left[\operatorname{Re} \left(Z_{BX}^{TP} \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \right) + Z_B \right]^2 + \left[\operatorname{Im} \left(Z_{BX}^{TP} \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \right) \right]^2}} \quad (5)$$

где $\operatorname{Re} \left(Z_{BX}^{TP} \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \right)$, $\operatorname{Im} \left(Z_{BX}^{TP} \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \right)$ – активная и реактивная составляющая входного сопротивления четвертьволнового трансформатора при изменении частоты.

Предлагаемая математическая модель основана на использовании инженерной формулы (3). Подставим в выражение (5) $Z_{BX}^{TP} \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right)$ из формулы (3). Полученные значения $\left| \Gamma_H \left(\frac{\Delta w}{w_0} \right) \right|$ подставим в выражение (4).

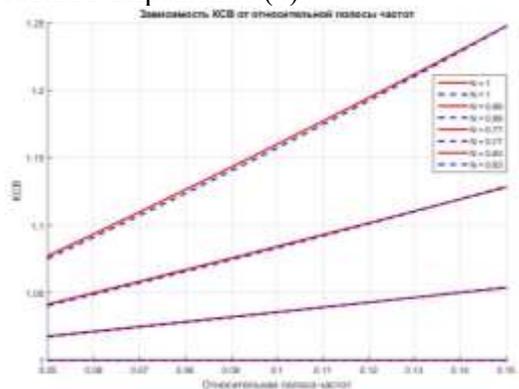


Рисунок 2- Зависимость коэффициента стоячей волны от относительной полосы частот при разных коэффициентах трансформации

Для сравнения полученных результатов с помощью формул (4) и (5) были проведены численные расчеты КСВ и коэффициента отражения для различных значений коэффициента трансформации в широкой полосе частот. При этом коэффициент трансформации изменялся в пределах от 0.63 до 1. В качестве примера рассмотрим график зависимости КСВ от относительной полосы частот в диапазоне частот 300...2000 МГц. Построим график зависимости КСВ от относительной полосы частот с применением формул (2...5) для разных значений коэффициента трансформации. На рис. 1 сплошной линией показаны графики, полученные с использованием формулы (2), а пунктирной линией – формулы (3).

Из рис. 1 видно, что:

1. КСВ, в относительной полосе частот $\frac{\Delta w}{w_0}$ не превышает 2, что говорит о выполнении условий согласования.

2. При увеличении коэффициента трансформации до $N=1$, КСВ увеличивается и не выходит за пределы условия согласования.

3. Кривые формул (2) и (3) ведут себя фактически одинаково.

Выражение для определения относительной погрешности результатов, полученных с помощью инженерной формулы (3) имеет следующий вид [3]

$$\delta = \frac{|x_T - x_0|}{x_T} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где x_T – значение КСВ, полученное с помощью (2); x_0 – значение КСВ, полученное с помощью инженерной формулы (3).

Определим относительную погрешность полученных расчетов с помощью известной модели и с помощью модели, основанной на использовании инженерной формулы (3)

Относительна погрешность не превышает 0,0025 %.

Анализ полученных результатов с помощью моделей, основанных на использовании формул (2) и (3) для различных значений коэффициента трансформации показал, что формула (3) может применяться в инженерных расчётах для оценки частотных свойств трансформатора. Расчёты, проведенные с помощью предложенной модели, практически совпадают с расчётами уже существующей, но более сложной модели.

Таким образом, путём преобразования формулы (2) получена инженерная формула (3) для расчета и анализа полосы частот четвертьволнового трансформатора. В результате проведенных расчётов и полученного графика (1) видно, что инженерная формула (3) применима на практике, так как погрешность достаточно мала (0,0025 %).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пименов Ю.В. Техническая электродинамика: Учеб. Пособ. для вузов / Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д.; под ред. Ю.В. Пименова. Учеб. пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 2002. — 536 с.
2. Пат. 57278 Україна МПКН01Р 1/20, Р01Р 5/00. Узгоджующий трансформатор / Білявцев В.Б., Короленко Р.О., Приймак В.Ю.; заявник і патентовласник Харків, Харківський національний університет радіоелектроніки. – Neu2010 04286; заявл. 13.04.10 ; опубл. 25.02.11, Бюл. № 4.
3. Коротковолновые антенны / [Айзенберг Г.З., Белоусов С.П., Журбенко Э.М. и др.]; под ред. Г.З. Айзенберга. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Радио и связь, 1985. – 536 с.

REFERENCES

1. V, Pimenov Yu, Volman V. I, and Muravtsov A. D. "Tekhnichskajaelektrodynamika." Ed. Pimenov Yu V. Radio I Svjas (2002): 1-536. Print.
2. Pat. 57278 Ukraine MPK H 01 P 1/20, P 01 P 5/00. Uzgodchujuchiytransformator / BiljanstevV.B., KorolenkoR.O., PriymakV.Yu.; zajavnykipatentovlasnyk Kharkiv, Kharkiv skiy nastionalniy universytet radio elektroniky. – Neu2010 04286; zajavl. 13.04.10 ; opubl. 25.02.11, Bjul. № 4.
3. Z, Ausenberg G., Belousov S. P, and Churbenko E. M. "Korotkovolnovyveantenny." Ed. Ausenberg G. Z. Radio I Svjas (1985): 1-536. Print.