

УДК 621.372.0

Синтез широкополосных согласующее-симметрирующих устройств с использованием согласующих четырехплюсников*

Г.Н. ДЕВЯТКОВ

Рассматривается аналитический подход к синтезу широкополосных реактивных согласующее-симметрирующих устройств, основанный на использовании согласующих четырехплюсников и реактансных преобразованиях частоты. Для получения реализаций, не содержащих идеальных трансформаторов, производятся эквивалентные преобразования.

Ключевые слова: согласующее-симметрирующие устройства, синтез, распределенный элементный базис, согласующие четырехплюсники, реактансные преобразования частоты, эквивалентные преобразования.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании широкополосных балансных устройств очень часто возникает задача построения симметрирующего устройства, которая может быть решена известными методами [1–4]. Предлагаемые варианты построения симметрирующих устройств имеют жестко фиксированную структуру и, как следствие этого, ограниченную полосу рабочих частот, а также предназначены, чаще всего, для работы при вполне определенных активных сопротивлениях источника сигнала и нагрузки. В связи с этим возникает проблема синтеза широкополосных согласующее-симметрирующих устройств, позволяющих наряду с симметрированием одновременно решать и задачу согласования. В работах [5, 6] говорится о возможности согласования произвольных активных сопротивлений в полосе частот несколько десятков процентов с помощью устройств, выполняющих одновременно и функции симметрирования. Однако в ряде практических случаев требуются гораздо более широкие полосы. К примеру, балансный удвоитель частоты может иметь относительную полосу частот $\sim 60\%$ [7]. В работе [8] рассматривается аналитический подход к синтезу широкополосного симметрирующего устройства заданной структуры. В работе [9] предлагается численный метод автоматизированного синтеза широкополосных согласующее-симметрирующих устройств при произвольных имитансах источника сигнала и нагрузки. Эти методы достаточно сложны и требуют высокой квалификации разработчика.

В настоящей работе предлагается достаточно простой аналитический подход к синтезу широкополосных согласующее-симметрирующих устройств на основе согласующее-фильтрующих четырехплюсников.

1. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА ШИРОКОПОЛОСНЫХ СОГЛАСУЮЩЕ-СИММЕТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Покажем как можно осуществить синтез согласующее-имметрирующего устройства в полосе частот, определяемой лишь согласующей цепью. На рис. 1 изображена общая схема источника сигнала с внутренним сопротивлением Z_r , работающего на симметричную нагруз-

* Статья получена 6 марта 2013 г.

ку z_H . Очевидно, напряжение U_H и ток I_H не изменятся, если к зажимам источника сигнала подключим два идеальных трансформатора с коэффициентом трансформации n , первичные обмотки которых соединены последовательно, а ко вторичным 1-1' и 2-2' подключены сопротивления $z'_H = z''_H = z_H n^2 / 2$ (рис. 2).

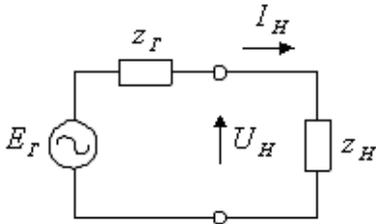


Рис. 1. Источник сигнала, нагруженный на симметричную комплексную нагрузку

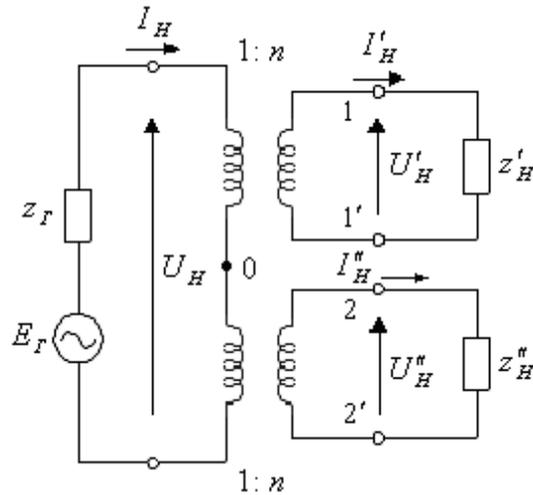


Рис. 2. Схема с введенными идеальными трансформаторами

Тогда возможны два варианта взаимного соединения вторичных обмоток между собой: последовательное $nU_H = U'_H + U''_H$, $I_H / n = I'_H = I''_H$, (рис. 3) и параллельное $nU_H / 2 = U'_H = U''_H$, $2I_H / n = I'_H + I''_H$ (рис. 4).

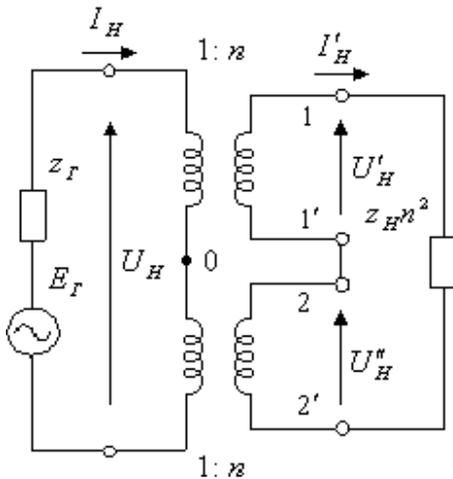


Рис. 3. Последовательное соединение вторичных обмоток

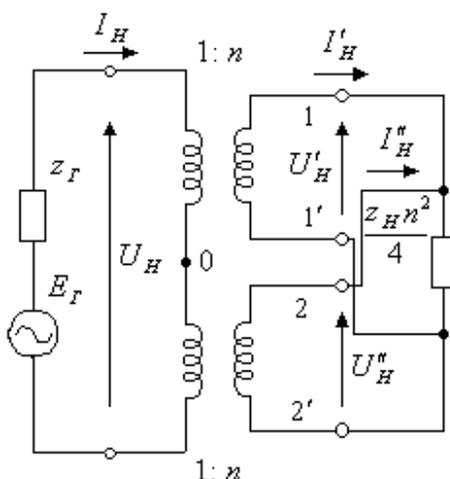


Рис. 4. Параллельное соединение вторичных обмоток

Случай параллельного соединения вторичных обмоток идеальных трансформаторов представляет наибольший интерес, так как позволяет симметричную цепь разбить на две, и

дальнейшие преобразования производить в каждой из них отдельно. Действительно, заменяя один из идеальных трансформаторов идеальным трансформатором с отрицательным коэффициентом трансформации $-n$ и заземляя общую точку соединения первичных обмоток 0, а также зажимы 1' и 2 вторичных обмоток, приходим к схеме (рис. 5).

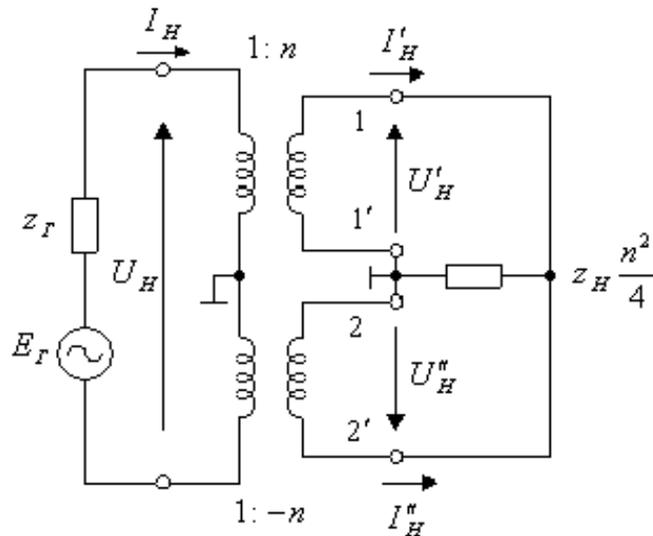


Рис. 5. Окончательный вид схемы с идеальными трансформаторами

Отсюда становится ясным путь синтеза широкополосных согласующее-симметрирующих цепей. Вначале производится синтез согласующей цепи, работающей на симметричную нагрузку в заданной полосе частот [10], или можно воспользоваться таблицами для выбора фильтра-прототипа нижних частот [11], затем в схему вводятся идеальные трансформаторы с необходимым коэффициентом трансформации. Для получения практической реализации затем производятся дополнительные эквивалентные преобразования цепи.

2. СИНТЕЗ В РАСПРЕДЕЛЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЭЛЕМЕНТНОМ БАЗИСЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО СОГЛАСУЮЩЕ-СИММЕТРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Для иллюстрации метода рассмотрим синтез широкополосного согласующее-симметрирующего устройства, имеющего чебышевскую характеристику второго порядка с уровнем пульсаций 0.1 дБ в полосе частот $\omega'_1 \div \omega'_2 = 1 \div 3$. Сопротивления источника сигнала и нагрузки чисто активные. Требуемый коэффициент отношения сопротивлений $r = R_r / R_H = 6$.

В качестве исходной цепи выбираем двухэлементный фильтр- прототип нижних частот, имеющий чебышевскую характеристику второго порядка с уровнем пульсаций 0.1 дБ [11] (рис. 6).

Тогда, применяя преобразование частоты $S = j \operatorname{tg} \frac{\pi}{2} \frac{\omega}{\omega_0}$ [12] к фильтру верхних частот,

который может быть определен по выбранному прототипу фильтра нижних частот преобразованием $\Omega = 1/\omega$, получаем распределенную реализацию с требуемой полосой пропускания.

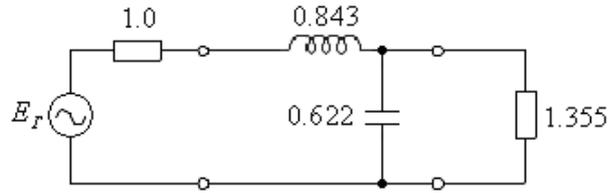


Рис. 6. Исходный прототип

Вводя в схему идеальные трансформаторы с коэффициентом трансформации $n = 0.705$, получаем согласующее-симметрирующую цепь, показанную на рис. 7.

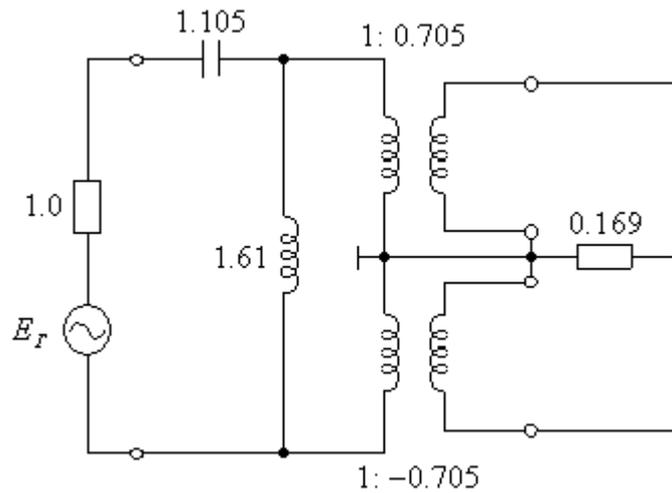


Рис. 7. Преобразованная схема с введенными идеальными трансформаторами

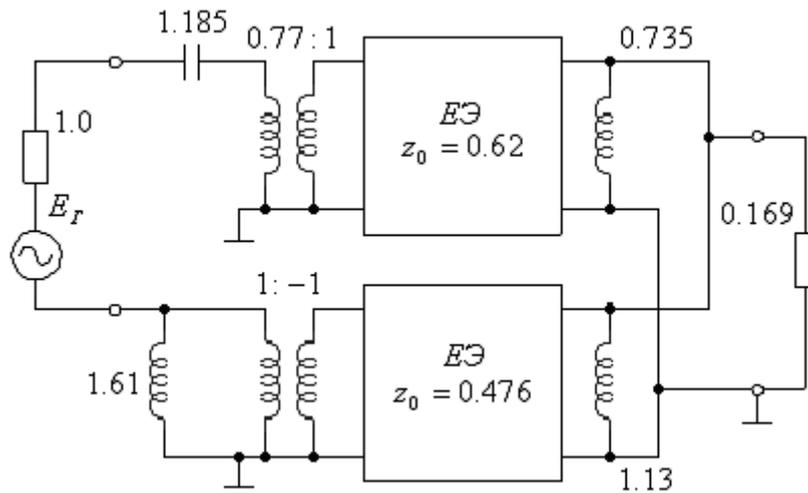


Рис. 8. Преобразованная схема с выделенными стандартными звеньями

Вводим в каждое плечо схемы по одному единичному элементу со стороны нагрузки с волновым сопротивлением $z_0 = 0.334$ и электрической длиной $\theta = \pi / 4$ на нижней частоте ω'_1 заданной полосы пропускания. Далее, разбивая индуктивность на две и проводя дополнительные преобразования, сводим цепь к виду содержащему стандартные звенья [12]. На рис. 8 показана схема после проведения преобразований.

Заменяя стандартные звенья связанными отрезками линий [12], получаем окончательный вид согласующее-симметрирующей цепи (рис. 9).

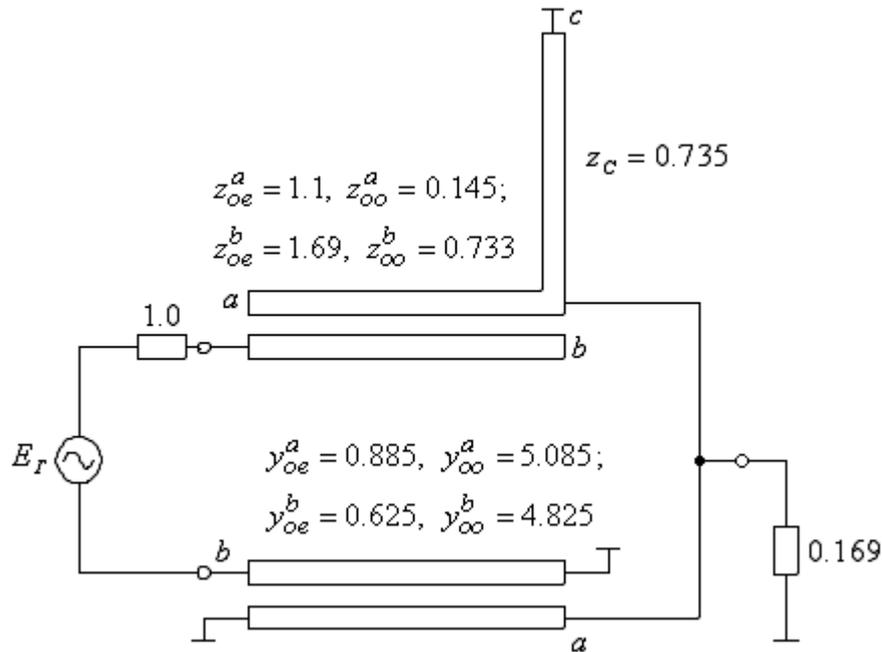


Рис. 9. Окончательный вид согласующее-симметрирующей цепи

На рис. 10 приведена рассчитанная с помощью ЭВМ характеристика затухания синтезированной согласующее – симметрирующей цепи.

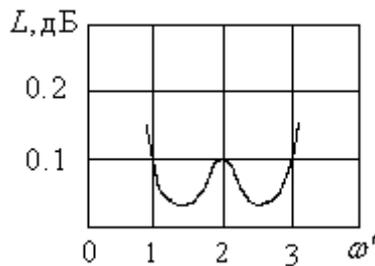


Рис. 10. Характеристика затухания синтезированной цепи

Изложенный метод обладает достаточной простотой и дает возможность решать задачу синтеза согласующее-симметрирующей цепи в привычных терминах согласования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен простой аналитический подход к синтезу широкополосных согласующе-симметрирующих устройств в распределенном элементном базисе. Показано, что синтез широкополосных согласующе-симметрирующих устройств с оптимальной амплитудно-частотной характеристикой может быть осуществлен на основе согласующе-фильтрующих четырехполюсников и реактансных частотных преобразований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Устройства сложения и распределения мощностей высокочастотных колебаний / В.В. Заенцев, В.М. Катушкина, С.Е. Лондон, З.И. Моделя; под ред. З.И. Моделя. – М.: Сов. радио, 1980. – 296 с.
- [2] Ho C.Y. New Analysis Techniques Builds Better Baluns / C.Y. Ho // *Microwaves & RF*. – 1985. – P. 99–102.
- [3] Дегтярь Г.А. Эквивалентная схема звена полосового фильтра на отрезках связанных линий со встречным расположением короткозамкнутых резонаторов и некоторые его применения / Г.А. Дегтярь // Широкополосные полупроводниковые устройства и системы СВЧ: Межвуз. сб. науч. трудов. – Новосибирск, 1986. – С. 3–10.
- [4] Фильтры и цепи СВЧ / пер. с англ. Л.В. Алексеева, А.Е. Знаменского, В.С. Полякова. – М.: Связь, 1976. – 248 с.
- [5] Кузнецов В.Д. Широкополосное устройство для симметрирования и согласования / В.Д. Кузнецов, В.К. Парамонов // *Электросвязь*. – 1968. – № 11. – С. 28–34.
- [6] Дегтярь Г.А. Широкополосное устройство для симметрирования и согласования / Г.А. Дегтярь // Исследования по радиотехнике: Сб. науч. трудов НЭТИ. – Вып. 4. – Новосибирск, 1971. – С. 4–12.
- [7] Kotzebue K. The Design of Broad – Band Frequency Doublers Using Charge-storage Diodes / K. Kotzebue, G. Matthaei // *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*. – 1969. – V. MTT – 17. – № 12. – P. 1077–1086.
- [8] Hong-Ming Lee. Exact synthesis of broadband three-line baluns / Lee Hong-Ming, Tsai Chih-Ming // *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*. – 2009. – V. 57. – № 1. – P. 140–148.
- [9] Девятков Г.Н. Автоматизированный синтез широкополосных согласующе-симметрирующих устройств / Г.Н. Девятков // *Научный вестник НГТУ*. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – № 1 (22). – С. 61–69.
- [10] Девятков Г.Н. Автоматизированный синтез широкополосных согласующих устройств, связывающих произвольные иммитансы источника сигнала и нагрузки / Г.Н. Девятков // *Научный вестник НГТУ*. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – № 1 (16). – С. 155–165.
- [11] Матей Г.Л. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи: пер. с англ. / Г.Л. Матей, Л. Янг, Е.М.Т. Джонс; под ред. Л.В. Алексеева и Ф.В. Кушнера. – М.: Связь, 1971. – Т. 1. – 439 с.
- [12] Современная теория фильтров и ее применение: пер. с англ. / под ред. Г. Темеша и С. Митра. – М.: Связь, 1971. – 560 с.

Девятков Геннадий Никифорович, доктор технических наук, профессор кафедры конструирования и технологии радиоэлектронных средств НГТУ. Основное направление научных исследований: автоматизированный синтез широкополосных пассивных и активных устройств ВЧ и СВЧ диапазона. Имеет более 140 публикаций, в том числе 1 монографию. E-mail: devyatkovgn@mail.ru

Devyatkov G.N.

The Syntheses broadband matching baluns with use matching networks

The analytical approach is considered to syntheses broadband reactive matching baluns, founded on use matching networks and reactances transformation frequencies. For reception realization, not containing ideal transformer, are produced equivalent transformations.

Key words: matching baluns, syntheses, portioned element base, matching networks, reactances of the transformation of the frequency, equivalent transformations.