

УДК 621.396.1, 621.396.6

## АНАЛИЗ НЕДОСТАТКОВ И ОГРАНИЧЕНИЙ АНАЛИТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА УЗКОПОЛОСНЫХ ЦЕПЕЙ СОГЛАСОВАНИЯ

© Сахарчук В.В., Ильин Е.А., Печаткин А.В.

e-mail: slavohcagood@mail.ru

*Рыбинский государственный авиационный технический университет  
имени П.А. Соловьёва, г. Рыбинск, Российская Федерация*

Задачи взаимного согласования цепей и узлов электронных устройств диапазона СВЧ были и остаются актуальными для проектировщика радиоэлектронных средств в связи с тем, что в этом диапазоне активно проявляются комплексные сопротивления как на входе и выходе электронного устройства, так и на уровне электрических и топологических цепей, что приводит к потере полезной мощности, нарушению функционирования, искажению передаваемого и принимаемого (обрабатываемого) потоков. Для решения этой задачи широко используются узкополосные низкочастотные  $L$ - $C$  и высокочастотные  $C$ - $L$  цепи, расчёт которых основан на использовании аналитических и графических способах [1]. Комбинированная методика активно используется и в лабораторном практикуме, курсовом и дипломном проектировании студентов направления подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем РГАТУ». Аналитическая комбинированная модель, реализованная в системе MathCAD, позволяет наглядно отображать математические вычисления и логику переходов при расчёте номиналов взаимно обратной пары  $L$ - $C$ / $C$ - $L$  согласующих узкополосных цепей. Структура согласующих обобщённых цепей (СЦО) и аналитические выражения показаны на рис. 1 [2]. Модель, дополненная анализом эффективности использования той или иной цепи, позволяет получить и отобразить результат в виде компактной матрицы, содержащей результаты вычислений и комментарии. Генерация решений в виде двух вариантов позволяет проектировщику оценить наиболее предпочтительный и возможный для практической реализации вариант.

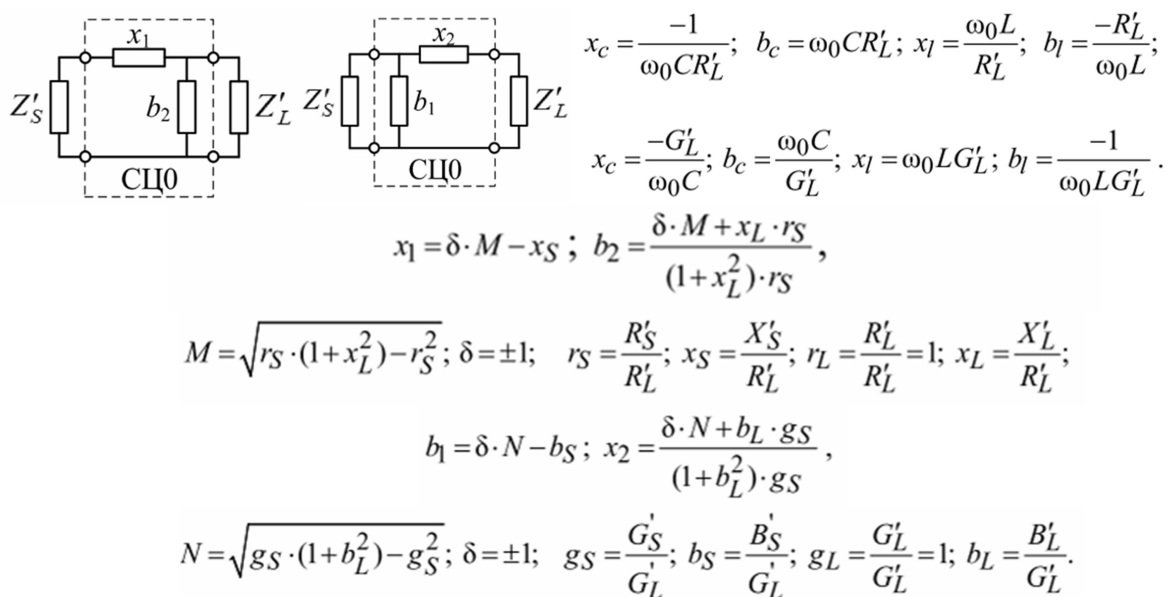


Рис. 1. Аналитическая модель для расчёта узкополосных согласующих цепей

В соответствии с методикой [1] и при условии, что  $M$  или  $N$  являются комплексными, то согласующая цепь не существует.

Фрагменты реализации аналитической модели показаны на рис. 2.

Исходные данные:	
центральная частота согласования, Гц	$f_0 := 2.4 \cdot 10^9$
полное сопротивление источника сигнала (генератора) или линии связи, Ом	$Z_0 := 35 - 850j$
полное сопротивление нагрузки, Ом	$Z_n := 51 + 88j$
Номиналы_ЭРЭ =	$\left( \begin{array}{l} \text{"НЧ цепь Вариант\#1 Ls =" } 61.45 \times 10^{-9} \\ \text{"НЧ цепь Вариант\#1 Cp =" } 1.28 \times 10^{-12} \\ \text{"ВЧ цепь Вариант\#3 Cs =" } 85.75 \times 10^{-15} \\ \text{"ВЧ цепь Вариант\#3 Lp =" } 28.97 \times 10^{-9} \end{array} \right) \cdot$

Рис. 2. Фрагменты программы для аналитического расчёта согласующих цепей

К графическому способу проектирования согласующих цепей, прежде всего, относится диаграмма Смита [2], в том числе её электронный аналог [3]. Следует отметить, что диаграмма Смита, лишённая возможностей оперативных вариаций, предоставляет возможность визуального проектирования и синтеза более сложных цепей и оценки траекторий согласования, например, при широкополосной нагрузке.

В одной из своих работ, Ф. Смит указывает, что для согласующих звеньев «L-типа, существуют «недосягаемые зоны», которые проявляются при больших значениях активной и реактивной составляющих комплексного сопротивления [2]. Несмотря на редкое проявление таких значений, на практике они всё же встречаются. На рис. 1 представлены исходные данные и результат расчёта именно для такого случая. Проверка указных выше параметров  $M$  или  $N$  на комплексность показывает, что оба варианта согласующих цепей могут быть успешно реализованы.

Моделирование НЧ СЦО в САПР AWR подтверждает её реализуемость. В тоже время попытка моделирования ВЧ цепи с использованием рассчитанных номиналов компонентов не реализуема. Применение электронной диаграммы Смита позволяет наглядно показать причину получившегося несоответствия. В этом случае попытка компенсировать параллельную индуктивность последовательной ёмкостью (движение против часовой стрелки) приводит к тому, что построение траектории согласования путём её движения к требуемой точке на комплексной плоскости оказывается неосуществимой. Это движение заканчивается на правой границе горизонтальной оси круговой диаграммы, т. е. на нулевом номинале ёмкости, в то время как комплексно-сопряжённая точка завершения находится выше – в «индуктивной зоне». Реализация согласования возможна только при переходе к цепи вида  $L-L$ . Таким образом, объединение аналитического и графического способов проектирования, т. е. использование дуальной компьютеризированной аналитической модели совместно с диаграммой Смита, позволяет решать более широкий круг практических задач.

### Библиографический список

1. Самуилов АА. Методика «визуального» проектирования цепей на сосредоточенных элементах для широкополосного согласования двух комплексных нагрузок / АА. Самуилов, М.В. Черкашин, Л.И. Бабак // Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. Доклады ТУСУРа, № 2 (28). 2013.
2. Смит, Ф. Круговые диаграммы в радиоэлектронике / Перевод с англ. М.Н Бергера, Б.Ю, Капилевича. Издательство Связь, 1976.
3. Dellsperger, FritzCircuitDesignwithSmithChart [Электронныйресурс]. URL: <http://www.fritz.dellsperger.net> (дата обращения: 15.02.2018).