

# СИНТЕЗ СОГЛАСУЮЩИХ ЦЕПЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ И ПАРАЗИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ

Коколов А. А., Абрамов А. О., Бабак Л. И.

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

пр. Ленина 40, г. Томск, 634050, Россия

тел.: 8-3822-414717, e-mail: kokolovaa@gmail.com

**Аннотация** — Исследуется подход к синтезу согласующих цепей (СЦ) на основе генетического алгоритма при описании пассивных элементов моделями различной степени сложности. Подход реализован в программе автоматического синтеза СЦ INDESYS-MATCH.

## I. Введение

При разработке многих типов активных СВЧ устройств (таких как усилители, умножители и преобразователи частоты и т.д.) важной задачей является синтез согласующих цепей (СЦ). При практической реализации устройств (на навесных элементах, в печатном, гибридном или монолитном исполнении) на характеристики СЦ значительное влияние оказывают потери, паразитные емкости и индуктивности элементов. Однако большинство существующих методов позволяют синтезировать СЦ только на идеальных элементах. Известные методы синтеза СЦ с учетом потерь в реактивных элементах являются весьма сложными и неточными в связи с использованием простейших моделей конденсаторов и катушек индуктивности.

Поэтому на практике, как правило, вначале синтезируются СЦ на идеальных элементах, затем разработчику приходится вручную заменять такие элементы точными моделями, соответствующими конкретной технологии изготовления устройства, и оптимизировать полученную схему для достижения поставленных требований (например, к коэффициенту передачи). Указанный процесс трудоемок и не всегда приводит к оптимальным результатам. Использование точных моделей элементов непосредственно на этапе синтеза позволило бы значительно ускорить процесс разработки СВЧ устройств.

В [1] были рассмотрены алгоритм и программа автоматического синтеза сосредоточенно-распределенных СЦ на идеальных элементах, основанные на использовании генетического алгоритма (ГА). В настоящей статье исследуется возможность синтеза на базе ГА цепей при описании элементов моделями различной степени сложности. Предлагаемый подход реализован в программе INDESYS-MATCH.

## II. Основная часть

При исследовании процедуры синтеза СЦ использованы следующие три типа моделей пассивных элементов.

1. Q-модели реактивных элементов с потерями (потери в сосредоточенных LC-элементах учитываются путем подключения дополнительного сопротивления для получения заданной добротности Q; потери в линиях передачи учитываются заданием коэффициента потерь). Эквивалентом данных моделей в системе автоматизированного проектирования Microwave Office (MWO) являются модели *INDQ*, *CAPQ* и *TLINP*.

2. Модели элементов в виде эквивалентных схем (ЭС). ЭС-модели пассивных сосредоточенных эле-

ментов состоят из базового схемного элемента (*L*, *C* или *R*) и соответствующих паразитных элементов, учитывающих (в зависимости от сложности модели) влияние заземленной плоскости, толщину проводников и подложки, краевые поля, эффекты близости. В системе MWO эквивалентом данных моделей для *C* и *L* являются *CHIPCAP* и *CCIND*, соответственно. ЭС-модели обеспечивают хорошую точность, обладают легкой встраиваемостью и являются быстродействующими. Реализованный механизм синтеза СЦ на ЭС-моделях универсален. Он позволяет задавать параметрические ЭС-модели, а также модели для дискретного ряда номиналов элементов.

3. S-модели-модели элементов в виде наборов (файлов) измеренных S-параметров для дискретного ряда номиналов пассивных элементов (значения определяются номинальными рядами E6, E12, E24 и т.д.). Для навесных элементов могут быть использованы S-параметры, предоставляемые известными производителями компонентов — Murata, Panasonic, ATC. Наборы параметров рассеяния для удобства использования объединены в один *mdif*-файл. В процессе синтеза варьируется номер набора S-параметров в *mdif*-файле.

Эффективность алгоритма синтеза СЦ на базе ГА при описании элементов с помощью указанных моделей исследуем на примере задачи проектирования межкаскадной цепи двухкаскадного СВЧ транзисторного усилителя диапазона (4...6) ГГц [3]. Цепь должна обеспечить согласование выходного импеданса первого каскада и входного импеданса второго каскада усилителя (см. табл.1) на верхней частоте полосы пропускания и формирование заданного наклона АЧХ коэффициента передачи 12 дБ/октава ( $G_T = -6 \pm 0,5$  дБ на частоте 4 ГГц,  $G_T = -0,5 \pm 0,5$  дБ на частоте 6 ГГц).

Табл. 1. Нагрузочные импедансы СЦ.

Table 1. Source and load impedances for interstage MN

Частота [ГГц]	Импеданс генератора [Re/Im, Ом] (выходной импеданс первого каскада)		Импеданс нагрузки [Re/Im, Ом] (входной импеданс второго каскада)	
	4	39,882	-58,444	10,5
4,5	33,207	-52,501	10,5	-36,884
5	27,974	-46,795	10,5	-29,316
5,5	23,824	-41,409	10,5	-22,752
6	20,494	-36,362	10,5	-16,942

Целью исследования являлось сравнение качества и количества найденных решений, а также скорости синтеза при использовании различных типов моделей. Так как ГА — это эвристический алгоритм с элементами случайного поиска, время решения одной и той же задачи при разных запусках непостоянно. Поэтому для тестирования были произведены 10 запусков процедуры синтеза при одних и тех же ус-

ловиях и найдены средние показатели (время синтеза, число итераций и др.). При синтезе межкаскадной цепи были учтены также условия практической реализуемости [1]. В частности, цепь должна обеспечить удобную подачу питания на усилительные каскады, также наложены ограничения на значения элементов СЦ. В качестве максимизируемой целевой функции (ЦФ) использована  $R$ -функция.

Результаты запуска процедуры синтеза с использованием разных моделей элементов приведены в табл. 2. Здесь указаны значения коэффициента передачи цепи  $G_T$  на верхней частоте полосы пропускания  $f_U$  и максимальное отклонение коэффициента передачи от заданной АЧХ  $G_{T0}(f)$  (в размах).

Табл. 2. Сравнение результатов синтеза СЦ.

Table 2. Comparison of synthesis results

Параметры	Тип моделей			
	Идеальные	С потерями	ЭС-модели	S-параметры
Время синтеза, с	0,6	0,9385	0,99	3,01
Число итераций в секунду	299,1	275,79	249,04	225,24
Общее число итераций	176,7	256,6	238,8	771,39
Значение ЦФ	0,1628	0,48924	0,2433	0,3256
$G_T(f_U)$	0,0229	0,00217	0,0081	0,00946
Макс. отклонение от $G_{T0}(f)$	0,0389	0,05298	0,0922	0,0724
Количество решений	12	13	4	2

Полученные схемы и АЧХ цепей приведены на рис. 1 (пунктирной линией показаны ограничения на АЧХ; опорная частота для линий передачи  $F_0 = 6$  ГГц). Из табл. 2 видно, что скорость синтеза СЦ на идеальных элементах существенно превышает скорость синтеза с использованием других типов моделей элементов. С усложнением модели уменьшается количество выполняемых итераций в секунду, следовательно, увеличивается время синтеза; также уменьшается количество решений.

Предложенные алгоритм и модели элементов реализованы в программе синтеза INDESYS-MATCH.

К достоинствам программы относятся возможность контроля и управления структурой и значения-

ми элементов СЦ, получение нескольких решений, а также учет потерь и паразитных параметров пассивных элементов. Это позволяет получать схемы СЦ, удовлетворяющие требованиям инженера-проектировщика.

### III. Заключение

Представлен алгоритм структурного синтеза СЦ, использующий различные типы моделей реальных пассивных и распределенных элементов. Алгоритм обеспечивает эффективный синтез цепей. Время синтеза по сравнению с цепями на идеальных элементах возрастает в 1,5-3,5 раза.

Работа поддержана грантами РФФИ (№09-07-99020-р\_офи) и грантами ФЦП (П1418, П1492, П669, П499, 16.740.11.0092, 14.740.11.0135): мероприятия 1.1, 1.2.1, 1.2.2, 1.3.1 и 1.3.2.

### IV. Список литературы

- [1] Дорощев С. Ю., Бабак Л. И. Синтез согласующих цепей на сосредоточенных и распределенных элементах с использованием генетического алгоритма // 18-я Межд. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2008): материалы конф. Севастополь: Вебер, 2008. Т. 1. С. 133—134.
- [2] Dao T. H., Ha T. T. Explicit formulas for GaAs FET amplifier interstate matching network // IEEE Proc. 1981. Vol. 128. No. 1. P. 25—31.

## GENETIC-ALGORITHM-BASED SYNTHESIS OF MATCHING NETWORKS ACCOUNTING FOR ELEMENT LOSSES AND PARASITICS

Kokolov A. A., Abramov A. O., Babak L. I.  
Tomsk State University of Control System  
and Radioelectronics  
40, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia

**Abstract** — A genetic-algorithm-based approach to the synthesis of matching networks (MNs) is investigated using different types of passive element models such as simple Q-models, equivalent circuit (EC) models, and S-parameter-based models. The approach is implemented in the automatic synthesis software INDESYS-MATCH.

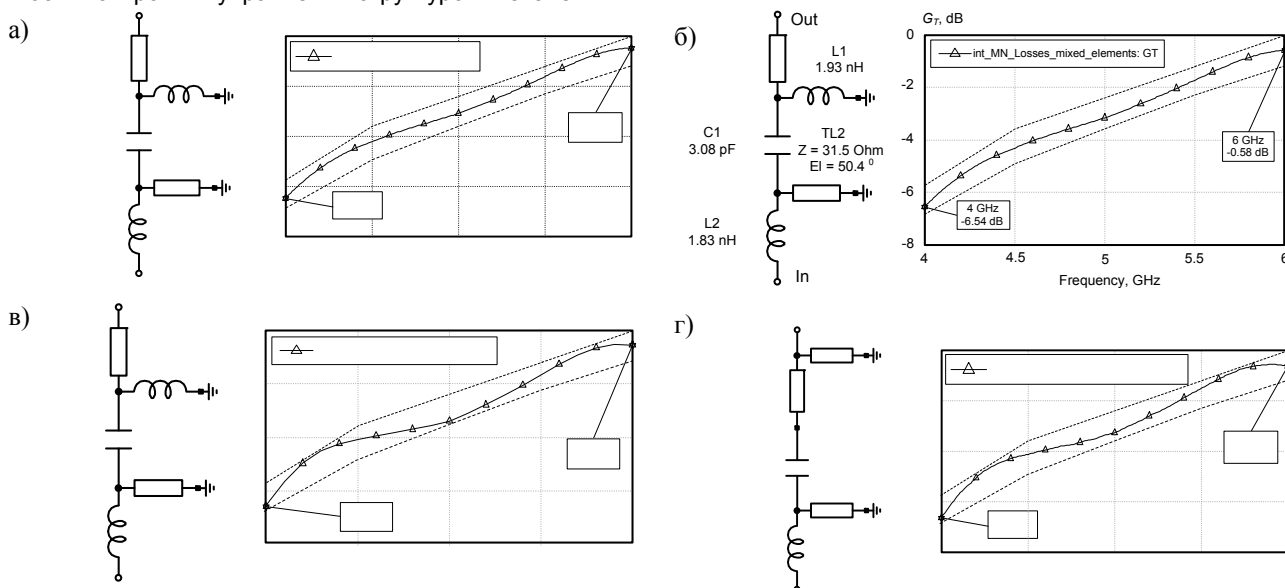


Рис. 1. Схемы и АЧХ цепей: а) идеальные элементы; б) Q-модели; в) ЭС-модели; г) S-модели.

Fig. 1. Schematics and gain of interstage networks: a) ideal elements; b) Q-models; c) EC-models; d) S-models