УДК 621.375.4

А.А. Калентьев, Д.В. Гарайс, И.М. Добуш, Л.И. Бабак

Структурно-параметрический синтез СВЧ транзисторных усилителей на основе генетического алгоритма с использованием моделей монолитных элементов

Описывается подход к структурно-параметрическому синтезу СВЧ транзисторных усилителей на основе генетического алгоритма, позволяющий использовать модели пассивных монолитных элементов непосредственно в процессе синтеза. Подход реализован в программе Geneamp, его эффективность подтверждена на примере проектирования трехкаскадного монолитного малошумящего усилителя диапазона частот 30–37,5 ГГц, выполняемого по 0,15 мкм GaAs pHEMT-технологии.

Ключевые слова: малошумящий усилитель, СВЧ монолитная интегральная схема, структурнопараметрический синтез, генетический алгоритм.

Проектирование СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) и, в частности, МИС транзисторных усилителей (ТУ) является сложной и трудоемкой задачей, требует больших затрат времени и высокой квалификации разработчиков.

Для преодоления этих трудностей в [1, 2] был предложен и исследован подход к автоматическому синтезу принципиальных схем СВЧ ТУ на основе генетического алгоритма (ГА). Этот подход был реализован в программе структурно-параметрического синтеза СВЧ ТУ Geneamp [2] и показал хорошую эффективность. Однако представленные в [1, 2] алгоритмы и программа использовали модели идеальных пассивных элементов, т.е. идеальные сопротивления, емкости, индуктивности, линии передачи и т.д. При замене в синтезированной схеме идеальных элементов моделями соответствующих монолитных элементов зачастую характеристики МИС ТУ существенно изменяются и не укладываются в предъявляемые требования. В результате приходится уточнять схему и параметры элементов монолитного ТУ либо проводить проектирование заново.

В настоящей работе представлены подход и программа на основе ГА, позволяющие осуществить автоматизированный структурный синтез (генерацию принципиальной схемы) МИС ТУ при непосредственном использовании моделей пассивных монолитных элементов. Кроме того, при синтезе применяются параметрические модели, позволяющие описать характеристики пассивных элементов (например, *S*-параметры) как функции их геометрических размеров. В результате в процессе синтеза генерируется не только принципиальная схема, но и топология устройства. Все сказанное разрешает значительно ускорить процесс разработки монолитных ТУ. В качестве примера представлены результаты проектирования МИС малошумящего усилителя (МШУ) для частотного диапазона 30–37,5 ГГц на основе отечественной GaAs pHEMT-технологии.

1. Алгоритмы и программа структурно-параметрического синтеза МИС транзисторных усилителей. Общая характеристика программы Geneamp. Алгоритмы и принцип работы программы Geneamp рассмотрены в [1]. Программа позволяет проектировать линейные и малошумящие многокаскадные СВЧ ТУ, представляемые как соединение усилительных каскадов (активных блоков) и пассивных (реактивных или диссипативных) четырехполюсных согласующих цепей (СЦ) – рис. 1. Заметим, что теоретически усилитель может содержать любое количество каскадов, фактически это количество ограничивается только временем синтеза, т.е. вычислительными возможностями компьютера.



Рис. 1. Структурная схема многокаскадного СВЧ-усилителя

На рис. 2 показана выбранная структурная схема СВЧ активного блока. В нем могут применяться:

 активные элементы (АЭ) различных типов (биполярные и полевые транзисторы)
в разных схемах включения (например, для биполярных транзисторов – с общим эмиттером, общей базой и общим коллектором, для полевых транзисторов – с общим истоком, общим затвором и общим стоком);

– включенные различным способом пассивные двухполюсные цепи коррекции и обратной связи (ОС) – в общем случае корректирующие двухполюсники (КД) (например, КД на входе и выходе транзистора, цепи последовательной и параллельной ОС и т.д.).



Рис. 2. Структурная схема усилительного каскада

СЦ представляют собой произвольное число каскадно-включенных звеньев из последовательных и параллельных ветвей.

В качестве исходных данных пользователь задает:

– ограничения на структуру усилителя (число усилительных каскадов, использование или неиспользование входной, выходной и межкаскадных СЦ);

– ограничения на структуру каждого усилительного каскада (использование или неиспользование определенных включений КД, типы и число элементов в каждом КД);

– ограничения на структуру каждой СЦ (число и способ включения ветвей, типы и число элементов в каждой ветви);

– требования к комплексу характеристик усилителя в полосе частот (коэффициент усиления, коэффициент шума, уровень согласования на входе и выходе, устойчивость).

В процессе синтеза программа, исходя из требований к характеристикам ТУ, автоматически генерирует структуру и значения элементов всех пассивных цепей (КД, ОС и СЦ). Особенностью программы Geneamp является возможность полного контроля структуры и значений элементов синтезируемых усилителей, что позволяет получать практически реализуемые решения.

Реализация синтеза СВЧ ТУ на монолитных элементах. Для осуществления структурнопараметрического синтеза СВЧ ТУ с использованием моделей пассивных монолитных элементов было необходимо модифицировать алгоритмы и пользовательский интерфейс исходной версии программы Geneamp [2], в том числе:

– расширить состав базовых элементов – наряду с идеальными *RLC*-элементами, разрешить использование пассивных сосредоточенных и распределенных монолитных элементов;

- разработать и интегрировать в программу параметрические модели монолитных элементов;

- изменить алгоритм моделирования (расчета характеристик) ТУ;

 модифицировать состав и способ кодирования-декодирования хромосомы, описывающей ТУ в процессе синтеза;

– в пользовательский интерфейс включить механизмы задания значений и диапазонов варьирования геометрических параметров монолитных элементов.

Расширение состава базовых элементов. В версии программы Geneamp, описанной в [1], в составе КД и ветвей СЦ допускались только идеальные пассивные *RLC*-элементы. Эти элементы являются двухполюсниками, соответственно, двухполюсниками являются КД и ветви СЦ. Указанное обстоятельство значительно облегчает и ускоряет моделирование ТУ, так как можно использовать эффективный специализированный алгоритм.

При автоматизированном синтезе МИС ТУ необходимо использовать точные модели монолитных пассивных компонентов – например в виде эквивалентных схем (ЭС) [3]. Они учитывают влияние различных паразитных параметров (подложки, подводящих контактов и др.), в результате чего модель пассивного компонента становится четырехполюсной. КД и ветви СЦ также становятся четырехполюсными цепями, это усложняет и замедляет процесс моделирования устройства.

В новой версии программы Geneamp используются обобщенные структуры усилителя, усилительного каскада и СЦ, аналогичные представленным ранее (см. рис. 1 и 2). Однако теперь, помимо идеальных *RLC*-элементов, в составе КД и ветвей СЦ могут быть использованы различные типы пассивных сосредоточенных и распределенных монолитных элементов, описываемые своими моделями, – тонкопленочные резисторы, МДМ-конденсаторы, спиральные катушки индуктивности, микрополосковые линии передачи и т.д. Каждый КД и каждая ветвь СЦ могут включать от 1 до 8 пассивных элементов. Допустимые структуры КД и ветвей СЦ описаны в [1]. Отметим, что при графическом изображении структурных схем СВЧ-усилителей для удобства КД и ветви СЦ мы по-прежнему изображаем как двухполюсные элементы (т.е. отображаем только топологию элемента) – см. рис. 2, хотя при моделировании ТУ эти цепи представляются в виде четырехполюсников.

Разработка и интеграция параметрических моделей пассивных элементов. Для реализации синтеза монолитных СВЧ ТУ были специально построены параметрические модели сосредоточенных пассивных компонентов МИС – в частности, модели GaAs-резистора и МДМ-конденсатора, которые имеют два варьируемых параметра (длину L и ширину W элемента), а также модель спиральной катушки индуктивности, имеющая три параметра (радиус R, количество витков NT и зазор между витками S). Модели представляют собой ЭС, параметры которых зависят от геометрических размеров компонентов. Методика построения параметрических моделей пассивных компонентов с использованием программы экстракции параметров ЭС *Extraction-P* описана в [3]. Микрополосковые линии передачи описывались моделью однородной длинной линии с потерями.

Все модели пассивных монолитных элементов разработаны для отечественной 0,15 мкм GaAs рНЕМТ-технологии Института СВЧ полупроводниковой электроники РАН (ИСВЧПЭ РАН, г. Москва) и интегрированы в программу *Geneamp*.

Алгоритм моделирования. Ранее уже отмечалось, что из-за влияния паразитных параметров модели пассивных монолитных компонентов являются четырехполюсными, соответственно КД и ветви СЦ должны рассматриваться как четырехполюсные цепи. Транзисторы в различных схемах включения также могут представляться в виде четырехполюсников, описываемых наборами *S*- и шумовых параметров на фиксированных частотах.

Поэтому очевидно, что при моделировании усилителя с ранее указанной структурной схемой (см. рис. 1 и 2) может быть использован алгоритм, основанный на представлении его в форме соединения четырехполюсников. В этом случае для нахождения всех характеристик результирующей линейной шумящей цепи достаточно иметь формулы, определяющие матрицы сигнальных и шумовых параметров трех типов соединений четырехполюсных подцепей, – каскадного, последовательного и параллельного (рис. 3). Расчет характеристик осуществляется по итерационной схеме, при которой на каждом шаге находятся сигнальные и шумовые матрицы того или иного соединения четырехполюсников.



Рис. 3. Типы соединений четырехполюсников: a – каскадное; δ – последовательное; s – параллельное

Вариант подобного алгоритма, позволяющего рассчитать характеристики шумящей активной цепи, описан в [4]. Однако он основан на переходе на каждом шаге расчета, в зависимости от способа соединения составляющих четырехполюсников, к различным системам сигнальных и шумовых параметров (к матрицам *A*-параметров при каскадном соединении, *Z*-параметров при последовательном соединении и *Y*-параметров при параллельном соединении, а также к соответствующим шумовым корреляционным матрицам). Такой подход в связи с необходимостью многократного преобразования матриц сигнальных и шумовых параметров приводит к усложнению алгоритма и возрастанию времени моделирования.

Нами были применены следующие усовершенствования алгоритма моделирования по сравнению с [4].

1) На каждом шаге расчета по возможности использовалась единственная система сигнальных и шумовых параметров четырехполюсников, а именно, матрица рассеяния **S** и матрица спектральных плотностей шумовых волн **б** (исключение составляли случаи последовательного и параллельного соединения активных четырехполюсников – для шумовых волновых матриц таких соединений в литературе не удалось найти аналитических соотношений).

2) В частном случае, когда один из четырехполюсников вырождается в двухполюсную цепь, для расчета матриц S и σ всех типов соединений использовались прямые аналитические формулы.

3) Для любого типа соединения пассивных четырехполюсников итерационным способом вычислялась только результирующая матрица рассеяния S, матрица σ такого соединения находилась непосредственно по матрице S. Указанные усовершенствования позволили упростить алгоритм и повысить скорость вычислений при моделировании ТУ по сравнению с методом [4]. Для расчёта *S*- и σ-параметров соединения четырёхполюсников были использованы формулы, приведённые в [5].

Способ кодирования-декодирования. В случае синтеза ТУ на идеальных пассивных элементах при синтезе варьируются значения электрических параметров элементов (сопротивления резисторов, емкости конденсаторов и т.д.). При синтезе МИС ТУ необходимо варьировать геометрические параметры монолитных пассивных компонентов.

В отличие от идеальных пассивных элементов, параметрические модели монолитных компонентов имеют два и более параметра. В соответствии с этим был изменен способ кодированиядекодирования хромосомы, описывающей МИС ТУ.

Декодирование участка двоичного кода, описывающего определенный компонент усилителя, осуществляется по формуле:

$$X = X_{chv} \% X_{\max} , \qquad (1)$$

где X – значение (десятеричное), обозначающее порядковый номер типа компонента; X_{chv} – десятеричное число, соответствующее двоичному коду; X_{max} – число (десятеричное) возможных типов компонента; % – операция нахождения остатка от деления.

Использование формулы (1) позволяет осуществить декодирование при любом числе параметров моделей компонентов. Однако при этом результат декодирования двоичного кода в параметры усилителя зависит от используемых типов пассивных элементов и их моделей. В частности, один и тот же двоичный код может обозначать разные типы элементов в зависимости от возможного числа этих типов. Например, при использовании в цепи только сосредоточенных элементов (резистор, конденсатор, индуктивность) двоичный код типа пассивного элемента (десятеричное значение в пределах от 0 до 7) будет переведен по формуле (1) в десятеричное значение, определяющее тип пассивного элемента ($0\div2$). В случае же если используются также распределенные элементы (закороченный шлейф, разомкнутый шлейф), двоичное значение кода будет переведено в другой диапазон ($0\div4$). Эта ситуация иллюстрируется в табл. 1.

Точно так же декодируется двоичное значение типа (номера) используемой модели компонента. Например, если используется одна модель резистора и три модели конденсатора, то результаты перевода одного и того же двоичного значения типа модели в первом и втором случае будут различными. Указанное обстоятельство принимается во внимание при декодировании.

Таблица 1

примеры декодирования участка кода, описывающего тип элемента									
Код	Десятеричное значение кода	Тип элемента при использовании только сосредоточенных элементов (X _{max} = 2)	Тип элемента при использовании сосредоточенных и распределен- ных элементов (<i>X</i> _{max} = 4)						
011	3	3 % 2 = 1 – индуктивность	3 % 4 = 3 – закороченный шлейф						
110	6	6 % 2 = 0 – конденсатор	6 % 4 = 2 – резистор						

Примеры декодирования участка кода, описывающего тип элемента

Пользовательский интерфейс. Помимо внесения модификаций в используемый алгоритм, также был модифицирован пользовательский интерфейс программы Geneamp, в частности, добавлены новые диалоговые формы.

Для синтеза МИС ТУ следует определить элементную базу – типы используемых пассивных элементов. При этом каждому типу пассивных элементов в принципиальной схеме или топологии МИС (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, линии передачи и др.) может соответствовать несколько различных моделей – например, модель в виде идеального пассивного (*R*-, *L*-, *C*-элемента), модель для реализации элемента на основе конкретной технологии изготовления и т.д.

Таким образом, перед запуском процедуры синтеза необходимо указать используемые в МИС ТУ типы пассивных элементов и описывающие их модели, а также выполнить настройку моделей. Каждая модель содержит список входных параметров. В первую очередь необходимо выбрать, какие из параметров будут меняться во время синтеза (варьируемые параметры), а какие нет (статические параметры). Любой параметр модели может быть как статическим, так и варьируемым. Для варьируемых параметров модели необходимо задать диапазоны изменений, для статических параметров – фиксированное значение. В модели могут одновременно изменяться любое количество параметров, однако чем больше параметров варьируется, тем больше машинного времени требует решение задачи синтеза.

Продемонстрируем процесс задания входных параметров модели на примере монолитного МДМ-конденсатора. Вид окна выбора и настройки моделей элементов показан на рис. 4. Выберем в

выпадающем списке, расположенном в левой части окна, тип элемента – Capacitor. Видно, что для конденсатора возможен выбор двух типов моделей – модель в виде идеальной емкости и модель для реализации МДМ-конденсатора по 0,15 мкм GaAs pHEMT-технологии Института СВЧ полупроводниковой электроники РАН (ИСВЧПЭ РАН, г. Москва).

Selection of models				x
Capacitor 🗸	Variable	Description	Min	Max
Using Description	\checkmark	Capacitor length (um)	10	100
Ideal capacity model	\checkmark	Capacitor wide (um)	10	100
IUHFSE technology capacit				
	Variable	Description	Value	
			Ok	Cancel

Рис. 4. Окно выбора и настроек моделей элементов: модель конденсатора с варьируемыми параметрами

Selection of models				×
Capacitor	Variable	Description	Min	Max
Using Description		Capacitor length (um)	10	100
Ideal capacity model				
☑ IUHFSE technology capacit				
		1	I	
	Variable	Description	Value	
		Capacitor wide (um)		0
			<u>O</u> k	<u>C</u> ancel

Рис. 5. Окно выбора и настроек моделей элементов: модель конденсатора с одним фиксированным параметром

Выберем второй тип модели. По умолчанию оба параметра модели (длина и ширина МДМконденсатора) являются варьируемыми с заданными диапазонами варьирования (см. рис. 4). Путем снятия галочки в поле *Variable* можно поменять тип параметра с варьируемого на статический. При этом описание параметра переходит в другую область интерфейса (рис. 5), здесь можно задать значение данного параметра, которое будет постоянным в течение всего процесса синтеза.

2. Автоматизированный синтез трехкаскадного монолитного малошумящего усилителя диапазона 30–37,5 ГГц. Для демонстрации эффективности разработанной новой версии программы Geneamp и предложенных алгоритмов приведём пример проектирования трёхкаскадного монолитного МШУ диапазона 30–37,5 ГГц, выполняемого по 0,15 мкм GaAs pHEMT-технологии ИСВЧПЭ РАН.

Требования, предъявляемые к характеристикам усилителя, представлены в табл. 2.

В МШУ используется рНЕМТ-транзистор с шириной затвора 4×30 мкм, который на частоте 35 ГГц имеет минимальный коэффициент шума около $F_{\min} \approx 1,5$ дБ и соответствующий коэффициент усиления по мощности $G \approx 6$ дБ ($V_{gs} = 0$ В, $V_{ds} = 2,5$ В, $I_{ds} = 25-30$ мА). Отметим, что гетероструктура была выращена таким образом, чтобы для транзистора 4×30 мкм смещение на затворе, соответст-

вующее минимальному коэффициенту шума, было равно 0 В. Это позволяет упростить построение цепей смещения в усилительных каскадах.

Таблица 2

Требования к характеристикам усилителя					
Параметр	Значение				
Диапазон частот	30-37,5 ГГц				
Коэффициент усиления G _T	Не менее 18 дБ				
Неравномерность коэффициента усиления в полосе рабочих частот	< 1,5 дБ				
Коэффициент шума (в нормальных условиях) NF	< 2,5 дБ				
Модули коэффициента отражения на входе/выходе S ₁₁ , S ₂₂	<-10 дБ				
Коэффициент устойчивости К	>1				

Усилитель выполняется на основе микрополосковой конструкции с заземляющими отверстиями. Исходя из значения коэффициента усиления транзистора с шириной затвора 4×30 мкм в заданном режиме работы на частоте 35 ГГц, усилитель должен содержать три каскада. Ограничения, заданные на структуру трехкаскадного МШУ при синтезе, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Типи СЦ и КЛ	Число эле-	Типы эле-	Специальные		
Типы СЦ и КД	ментов	ментов	требования		
СЦ на входе	2	Все воз-	Должны стоять разделительные		
СЦ на выходе	2	можные	конденсаторы. Должна быть возмож-		
Межкаскадные СЦ	3	(R, C, TL)	ность подачи питания на каскады		
Параллельная ОС	3	Все воз- можные (R, C, TL)	Должна быть использована только во втором и третьем усилительном каскаде. Должны стоять разделительные конденсаторы		
Последовательный КД на входе	1	TL			
Последовательный КД на выходе	1	TL			

Ограничения на структуру усилителя

Следует отметить, что в данном случае спиральные катушки индуктивности в процессе синтеза не используются, так как необходимые значения индуктивности в диапазоне частот выше 30 ГГц можно обеспечить с помощью отрезков микрополосковой линии (МПЛ).

Ограничения на величины варьируемых параметров, а также значения статических параметров пассивных элементов МИС приведены в табл. 4.

Как видно, в табл. 3 не указано применение в усилительных каскадах цепей последовательной OC. На самом деле в МШУ такие цепи необходимы. Поэтому они используются в усилителе, но их параметры фиксированы и выбраны до начала синтеза. Это связано с тем, что в настоящее время в программе автоматизированного синтеза отсутствуют модели заземляющих отверстий, которые должны применяться совместно с цепями последовательной ОС и оказывают значительное влияние на характеристики усилительных каскадов.

Таблица 4

Тип пассивного элемента	Параметр	Тип параметра	Диапазон значе- ний параметра
Calc populatop	Геометрическая длина	Варьируемый	10÷110 мкм
СаАѕ-резистор	Геометрическая ширина	Варьируемый	10÷50 мкм
MIM KOUROROTOP	Геометрическая длина	Варьируемый	10÷100 мкм
мдм-конденсатор	Геометрическая ширина	Варьируемый	10÷100 мкм
	Волновое сопротивление	Варьируемый	10÷100 Ом
	Геометрическая длина	Варьируемый	20÷300 мкм
МПЛ с потерями	Коэффициент эффективной диэлек- трической проницаемости	Статический	8,6
	Потери	Статический	140 дБ/м
	Частота масштабирования потерь	Статический	37,5 ГГц

Для преодоления указанной трудности в программу *Geneamp* были загружены файлы (формата *.s2p), содержащие *S*- и шумовые параметры активных элементов, последние представляют собой

транзистор с отрезком МПЛ в цепи последовательной ОС и заземляющим отверстием (рис. 6). Эти файлы были получены в среде МWO. В частности, для первого каскада геометрические параметры МПЛ выбирались из условий достижения минимального коэффициента шума и повышения коэффициента устойчивости активного элемента. Во втором и третьем каскадах заземляющие отверстия были расположены в непосредственной близости к транзистору с целью получения максимального коэффициента усиления.



Расчет значений характеристик МИС МШУ производился в 9 частотных точках, расположенных в интервале частот от 30 до 37,5 ГГц. Ограничение на коэффициент устойчивости K (K>1) контролировалось в диапазоне частот от 0 до 50 ГГц с шагом 4 ГГц.

Используемые при синтезе параметры генетического алгоритма и целевой функции (ЦФ) приведены в табл. 5.

Критериями остановки процесса синтеза были:

- значение ЦФ < 0,001;
- время синтеза менее 1 ч 30 мин.

Таблица 5

параметры генетическо	параметры генетического алгоритма и целевой функции					
Число популяций	50					
Число особей	10					
Оператор селекции	Панмиксия					
Оператор кроссовера	2-х точечный					
Вероятность мутации	2%					
Тип R-функции	Симметричная R-функция					
Нормировка ЦФ	Используется					

пормировка цФ попользуется

Параметры синтезированной МИС трехкаскадного МШУ и время синтеза представлены в табл. 6.

Таблица б

	Параметры синтезированной мисстрехкаскадного мпшу диапазона 50–57,511 ц								
N⁰	<i>G</i> _{<i>T</i>} , дБ	ΔG , дБ	<i>NF</i> , дБ	S ₁₁ , дБ	S ₂₂ , дБ	K	Время синтеза, ч:мин:сс		
1	20,0	1,0	2,2	-10,5	-10,5	1,5	1:29:17		

На рис. 7 представлена принципиальная схема усилителя, а на рис. 8 – его частотные характеристики.



Рис. 7. Принципиальная схема синтезированной МИС трёхкаскадного МШУ диапазона 30-37,5 ГГц

Как следует из табл. 6, характеристики автоматически синтезированной МИС МШУ полностью удовлетворяют поставленным требованиям. При этом достигнуты высокие параметры усилителя, сравнимые с параметрами лучших зарубежных аналогов.

Однако из рассмотрения принципиальной схемы (см. рис. 7) видно, что полученное схемотехническое решение обладает избыточностью за счёт дублирования элементов (резисторов в цепи параллельной ОС второго усилительного каскада, конденсаторов в цепи параллельной ОС третьего усилительного каскада). Кроме того, при отстройке от рабочей полосы (на частотах 17–18 ГГц) коэффициент усиления МШУ имеет резонанс (см. рис. 8).

Поэтому при дальнейшем проектировании указанные выше элементы цепей ОС были объединены и для улучшения характеристик была проведена параметрическая оптимизация синтезированной МИС МШУ в САПР Microwave Office. Полученные после оптимизации параметры, принципиальная схема и частотные характеристики МИС МШУ приведены соответственно в табл. 7, на рис. 9 и 10.

Рис. 8. Частотные характеристики синтезированной МИС трёхкаскадного МШУ диапазона 30–37,5 ГГц



пара	метры мит	с трелкаска	дного мпп	з дианазопа .	50-57,5ттц(после на	раметрической оптимизации)
N⁰	G_{T} , дБ	ΔG , дБ	NF, дБ	S ₁₁ , дБ	S ₂₂ , дБ	K	Время оптимизации, мм:сс
1	20,5	1	2,2	-13	-12	1,8	08:30



Рис. 9. Принципиальная схема МИС трёхкаскадного МШУ 30–37,5 ГГц (после параметрической оптимизации)

Заключение. В работе представлен подход на основе ГА, позволяющий осуществлять структурно-параметрический синтез СВЧ ТУ непосредственно с использованием моделей монолитных элементов. Подход был реализован в программе Geneamp, его эффективность подтверждена примером проектирования МИС трехкаскадного МШУ диапазона частот 30-37,5 ГГц с высокими параметрами. Использование программы Geneamp позволяет значительно упростить процесс проектирования, оставляя разработчику только функции задания требований к характеристикам, структуре и элементам синтезируемого устройства.



Доклады ТУСУРа, № 2 (26), часть 2, декабрь 2012

Работа выполнялась в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по направлениям «Создание электронной компонентной базы» (14.740.11.1261, 14.В37.21.0345), «Микроэлектроника» (П669, 16.740.11.0092, 14.740.11.1136, 14.В37.21.0462) и «Проведение исследований коллективами НОЦ по направлению «Микроэлектроника» (14.740.11.0135).

Литература

1. A New Genetic-Algorithm-Based Technique for Low Noise Amplifier Synthesis / L.I Babak, A.A. Kokolov, A.A. Kalentyev, D.V. Garays // The European Microwave Integrated Circuits Conference 2012 (Amsterdam, 29th – 30th October 2012) – (принята в печать).

2. Кошевой С.Е. Структурный синтез СВЧ-устройств на основе генетического алгоритма в системе автоматизированного проектирования INDESYS / С.Е. Кошевой, С.Ю. Дорофеев, Л.И. Бабак // Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участ. «Современные проблемы радиоэлекторники». – Красноярск: СФУ, 2009. – С. 421–424.

3. Горяинов А.Е. Построение параметрических моделей пассивных компонентов СВЧ монолитных интегральных схем с использованием программы Extraction-P / А.Е. Горяинов, И.М. Добуш, Л.И. Бабак // Наст. сб. С.94–99.

4. Hillbrand H. An Efficient Method for Computer Aided Noise Analysis of Linear Amplifier Networks/ H. Hillbrand, P.H. Russer // IEEE Transactions on circuits and systems. – 1976. – Vol. CAS-23, $N_{\rm D}$ 4. – P. 235–238.

5. Бабак Л.И. Анализ линейных шумящих СВЧ-цепей с использованием топологической матрицы // Вестник Том. гос. пед. ун-та. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2005. – Вып. 7. – С. 12.

Калентьев Алексей Анатольевич

Аспирант каф. компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП), мл. науч. сотрудник лаборатории интеллектуальных компьютерных систем (ЛИКС) ТУСУРа Тел.: 8-923-414-04-08 Эл. почта: alexey.kalentyev@gmail.com

Гарайс Дмитрий Викторович

Аспирант каф. КСУП ТУСУР, мл. науч. сотрудник ЛИКС Тел.: 8-913-116-74-50 Эл. почта: dvgarays@gmail.com

Добуш Игорь Мирославович Мл. науч. сотрудник ЛИКС

Тел.: 8-923-402-92-86 Эл. почта: igadobush@gmail.com

Бабак Леонид Иванович

Канд. техн. наук, зам. директора НОЦ «Нанотехнологии», доцент каф. КСУП Тел.: 8-960-969-91-52 Эл. почта: leonid.babak@rambler.ru

Kalentyev A.A., Garays D.V., Dobush I.M., Babak L.I. Genetic-algorithm-based structural-parametric synthesis of microwave transistor amplifiers using MMIC element models

A new approach to structural-parametric synthesis of microwave transistor amplifiers based on genetic algorithm is presented. It allows the direct use of MMIC element models during the synthesis process. This approach is implemented in the Geneamp software tool. As an example, the design of 30-37.5 GHz 0.15 μ m GaAs pHEMT three-stage MMIC LNA is demonstrated.

Keywords: low-noise amplifier, MMIC, structural-parametric synthesis, genetic algorithm.