

УДК 621.375.4

М.В. Черкашин

Визуальное проектирование малошумящего усилителя Ки-диапазона на основе отечественной 0,5 мкм GaAs-pHEMT-технологии

Рассматривается проектирование монолитной интегральной схемы (МИС) малошумящего СВЧ-усилителя (МШУ) Ки-диапазона на основе применения алгоритмов, методов и программных средств визуального синтеза активных СВЧ-устройств. МИС МШУ выполнена на основе отечественной 0,5 мкм GaAs-pHEMT-технологии АО «Светлана-Рост».

Ключевые слова: малошумящий СВЧ-усилитель, load-pull-моделирование, визуальное проектирование, монолитная интегральная схема, GaAs, pHEMT.

DOI: 10.21293/1818-0442-2024-27-3-17-24

При построении современных радиоэлектронных систем различного назначения важнейшими элементами входного тракта являются приемопередающие модули (ППМ). Одним из главных функциональных узлов в составе ППМ является малошумящий усилитель (МШУ), параметры которого во многом определяют как характеристики ППМ, так и параметры всей системы в целом. Основные требования к МШУ в составе ППМ: малый коэффициент шума, достаточно большой коэффициент

усиления, небольшой потребляемый ток – являются противоречивыми и требуют от разработчика принятия компромиссных решений [1–3].

При этом одного усилительного каскада (активного элемента), как правило, недостаточно для достижения заданных параметров. Поэтому чаще всего интегральные МШУ состоят из нескольких каскадов усиления (обычно от 2 до 5 в зависимости от частотного диапазона). Типовая структурная схема многокаскадного МШУ представлена на рис. 1 [4, 5].

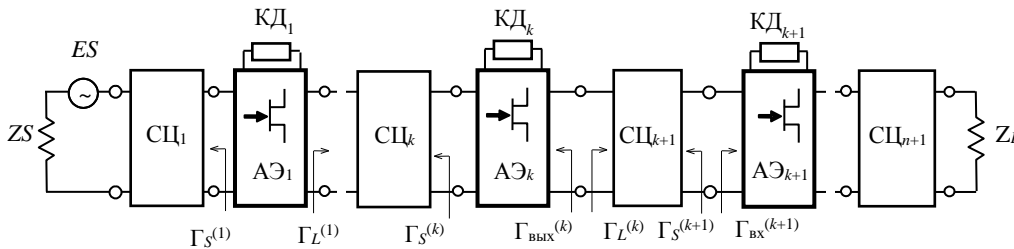


Рис. 1. Структурная схема многокаскадного усилителя

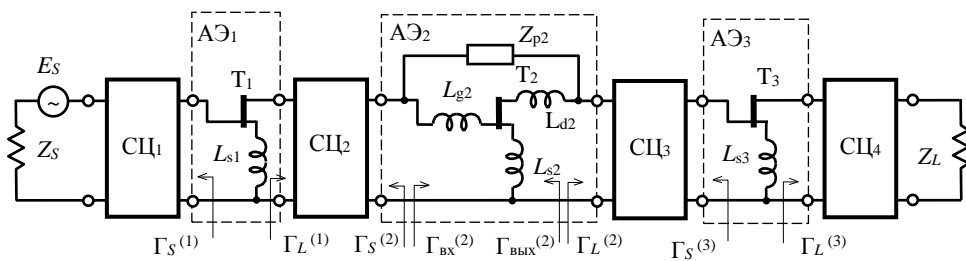


Рис. 2. Структурная схема трехкаскадного МШУ

Активный элемент (АЭ) представляет собой транзистор с цепями коррекции и смещения по постоянному току. Согласующие цепи (ЦЦ) между АЭ обычно выполняют задачу согласования импедансов транзисторов между собой и с трактом передачи сигнала, иногда на них также возлагают задачу выравнивания АЧХ МШУ, двухполюсные цепи коррекции и обратной связи (КД) служат для выравнивания АЧХ и увеличения устойчивости всего МШУ [4, 5].

Обычно при проектировании многокаскадных усилителей общие требования к характеристикам

МШУ разделяют на требования к каждому каскаду в отдельности с дальнейшим расчетом на основе типовых графоаналитических методов [1–3, 6] или численных процедур синтеза [4, 7, 8]. Такой подход сложен (особенно в случае широкой полосы рабочих частот), не разрешает учитывать взаимное влияние каскадов друг на друга, зачастую требует дополнительной параметрической оптимизации всей схемы устройства.

Существуют также методы и программные средства для автоматической генерации схемы СВЧ-

усилителей на основе применения генетических алгоритмов [7, 8]. Однако они хорошо работают при небольшом числе каскадов (обычно 1–2), не позволяют выполнить исследование характеристик устройства в процессе синтеза, не гарантируют получения схемы усилителя минимальной сложности и с наилучшими характеристиками.

Ускорить процесс проектирования, выполнить всесторонний анализ характеристик устройства, оценить предельные значения параметров, а также выполнить расчет МШУ по комплексу требований в полосе частот с учетом взаимного влияния каскадов друг на друга позволяют методика визуального проектирования [9] и комплекс программ Microwave Look [10, 11], разработанные на кафедре КСУП ТУСУРа. В нем реализованы процедуры визуального проектирования транзисторных СВЧ-усилителей с двухполюсными корректирующими (КЦ) и четырехполюсными согласующими (СЦ) цепями.

Процесс проектирования СВЧ-усилителя с КЦ и СЦ состоит из двух следующих этапов [12]:

1) расчет на выбранных частотах полосы пропускания областей допустимых значений (ОДЗ) иммитанса КЦ или коэффициента отражения СЦ, отвечающих заданным требованиям к характеристикам усилителя;

2) синтез (определение структуры и значений элементов) КЦ и СЦ по найденным ОДЗ [13]. В данной статье рассмотрим применение данной методики и программных средств для проектирования трехкаскадного интегрального МШУ Ku-диапазона, выполненного на основе отечественной 0,5 мкм GaAs-pHEMT-технологии АО «Светлана-Рост» [14].

Проектирование МШУ

Усилитель должен соответствовать требованиям, представленным в табл. 1.

Параметры транзисторов, которые используются в составе МШУ, представлены в табл. 2.

Таким образом, для получения заданного коэффициента усиления МШУ нам потребуется три каскада усиления.

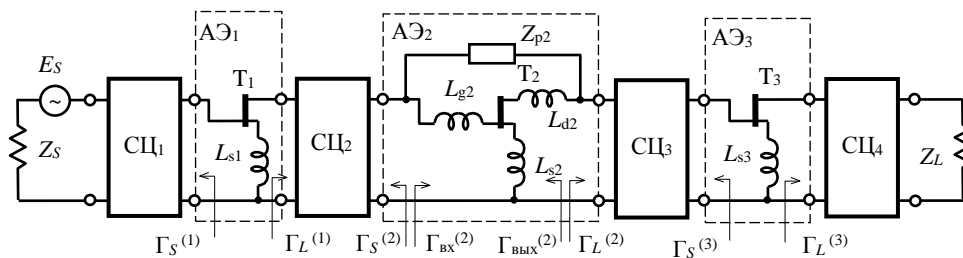


Рис. 2. Структурная схема трехкаскадного МШУ

Описание визуальной методики и программного комплекса на примере расчета двухкаскадного усилителя X-диапазона ранее было представлено в [15]. В данной статье ограничимся демонстрацией основных этапов проектирования и возможностей программ визуального синтеза.

Этап 1. Расчет входной СЦ1. Входная СЦ1 обеспечивает согласование входа усилителя по сиг-

Требования к МШУ

Характеристика	Значение
Полоса рабочих частот Δf , ГГц	13...17
Коэффициент усиления G_T , дБ	Не менее 27,0
Неравномерность коэффициента усиления в полосе рабочих частот ΔG , дБ	$\pm 1,0$
Выходная мощность $P_{\text{вых1dB}}$, дБм	Не менее 15,0
Коэффициент отражения, дБ: по входу $m_1 = s_{11} $ по входу $m_2 = s_{22} $	Не более -10,0 Не более -10,0
Коэффициент шума NF , дБ	Не более 3,5
Напряжение питания V_D , В	4 ... 5
Потребляемый ток I_D , мА	Не более 100

Параметры транзисторов T1–T3

Транзистор	Ширина затвора, W, мкм	$f = 17$ ГГц		f_T , ГГц	f_{max} , ГГц	I_D , мА	V_D , В
		G_A , дБ	F_{min} , дБ				
T1, T2	4x50	9	2,1	40	70	20	4
T3	6x50	8	2,3			40	4

Структурная схема МШУ показана на рис. 2. Первый каскад обеспечивает согласование входа усилителя с трактом передачи сигнала и заданный коэффициент шума, применение индуктивной обратной связи (ОС) в цепи истока T_1 (L_{s1}) позволяет сблизить условия согласования по сигналу и шуму [15]. Второй каскад на транзисторе T_2 охвачен цепью, параллельной ОС Z_{p2} , которая служит для выравнивая АЧХ и повышения устойчивости МШУ. Третий каскад на транзисторе T_3 обеспечивает согласование выхода усилителя и заданную выходную мощность. Индуктивности выводов транзисторов T_2 и T_3 являются элементами дополнительной ВЧ-коррекции и выбираются в процессе синтеза. Кроме того, в составе усилителя для выравнивания АЧХ и согласования входа и выхода транзисторов между собой и с трактом передачи сигнала используются согласующие цепи СЦ1–СЦ4 [9].

Для синтеза входной СЦ1 с помощью программы REION [10, 12, 13] на частотах 13, 15 и 17 ГГц были построены ОДЗ на плоскости коэффициента отражения $\Gamma_S^{(1)}$, которые отвечают следующим ограничениям на характеристики усилительного каскада: $7,0 \text{ дБ} < G^{(1)} < 10,0 \text{ дБ}$; $m_1^{(1)} < 0,33$; $m_2^{(1)} < 0,7$; $NF^{(1)} < 3,0 \text{ дБ}$. Также были построены допустимые области на частотах 0,01; 1 и 20 ГГц,

которые отвечают ограничениям $m_1^{(1)} < 1$ и $m_2^{(1)} < 1$ для контроля устойчивости каскада за полосой пропускания (рис. 3). При этом в процессе расчета ОДЗ в интерактивном режиме была выбрана величина индуктивности ОС $L_{s1} = 0,05$ нГн, которая соответствует максимально большому размеру допустимых областей в полосе рабочих частот.

Далее с помощью программы LOCUS [13, 15] по полученным областям устойчивости и ОДЗ была рассчитана СЦ₁, точки годографа $\Gamma_S^{(1)}(f)$ которой на выбранных частотах попадают внутрь соответствующих областей. При этом структура СЦ₁ была выбрана с учетом возможности подачи напряжения смещения на затвор транзистора Т₁. Схема СЦ₁ и ее годограф $\Gamma_S^{(1)}(f)$ показаны на рис. 3.

Моделирование показало, что в рабочем диапазоне частот АЧХ первого каскада усилителя с подключенной ко входу СЦ₁ имеет спад около 6 дБ/октаву.

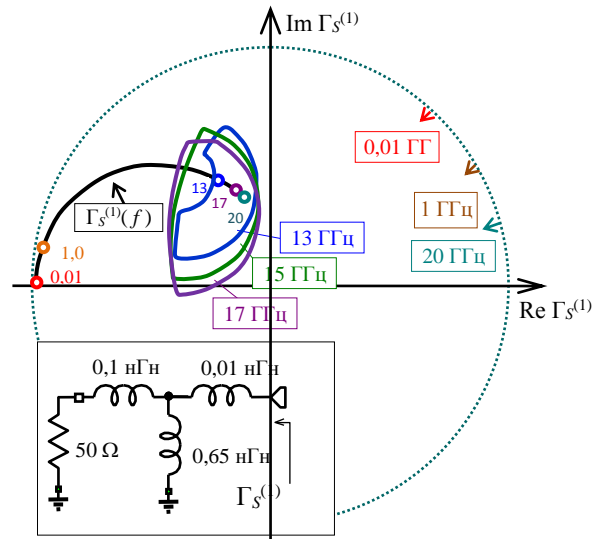


Рис. 3. ОДЗ, области устойчивости и годограф входной СЦ₁ на плоскости $\Gamma_S^{(1)}$

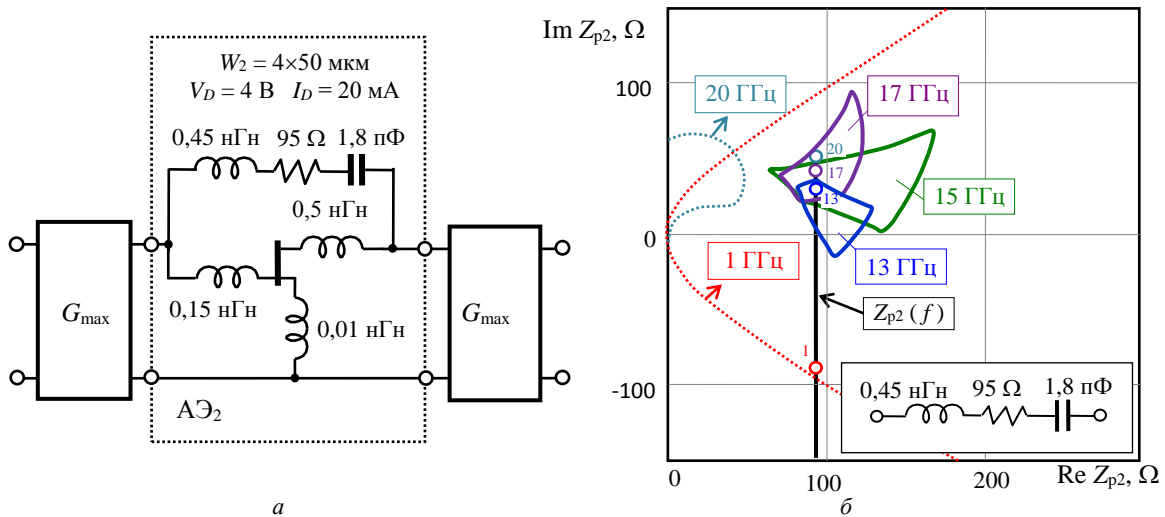


Рис. 4. Схема второго каскада – а; ОДЗ, области устойчивости и годограф цепи, параллельной ОС, на плоскости импеданса Z_{p2} – б

Этап 2. Расчет активного элемента АЭ₂. Далее было выполнено проектирование второго каскада (АЭ₂) с цепью, параллельной ОС (рис. 4, а). С помощью программы AMP-CF были получены ОДЗ на плоскости импеданса КЦ Z_{p2} [15]. Для компенсации спада коэффициента усиления 6 дБ/октаву из-за первого каскада АЧХ второго должна иметь подъем, поэтому при расчете ОДЗ были заданы следующие требования к коэффициенту усиления второго каскада: $8,0 \text{ дБ} \leq G^{(2)} \leq 9,0 \text{ дБ}$ для частоты 13 ГГц, $9,0 \text{ дБ} \leq G^{(2)} \leq 10,0 \text{ дБ}$ для частоты 15 ГГц и $10,0 \text{ дБ} \leq G^{(2)} \leq 11,0 \text{ дБ}$ для частоты 17 ГГц. Остальные требования к характеристикам второго каскада были заданы следующими: $NF^{(2)} \leq 4,0 \text{ дБ}$, $k^{(2)} \geq 1$.

Программа AMP-CF позволяет рассчитывать ОДЗ иммитанса двухполюсной КЦ при условии подключения на входе и выходе каскада идеальных СЦ, которые могут быть настроены на максимум коэффициента усиления или минимум коэффициента шума [8, 9].

В данном случае расчет ОДЗ для двухполюсника Z_{p2} был выполнен в режиме комплексно-сопряженного согласования со стороны входа и выхода АЭ₂ (см. рис. 4, а)

Величины индуктивностей L_{g2} , L_{d2} и L_{s2} были выбраны из условий существования и получения ОДЗ максимальной «ширины» [12, 15]. Вид ОДЗ на плоскости импеданса Z_{p2} представлен на рис. 4, б, по ним с помощью программы LOCUS была синтезирована двухполюсная КЦ в виде последовательной RLC-цепочки, годограф которой также показан на рис. 4, б [15].

Этап 3. Расчет межкаскадной согласующей цепи СЦ₂. Межкаскадная СЦ₂ служит для согласования выхода первого каскада и входа второго между собой.

Исследование с помощью программы REGION показало, что выходное сопротивление соединения СЦ₁–Т₁ и входное сопротивление АЭ₂ близки к величине 50 Ом в полосе частот 12–17 ГГц. Это озна-

чает, что СЦ₂ можно реализовать в виде разделительного конденсатора достаточно большой емкости. Для сокращения объема статьи ОДЗ и годографы СЦ₂ на плоскостях коэффициентов отражения $\Gamma_L^{(1)}$ и $\Gamma_S^{(2)}$ здесь не представлены.

На рис. 5 показаны частотные характеристики активного блока в виде соединения первого и второго каскадов между собой с учетом включения синтезированных СЦ₁ и СЦ₂.

Этап 4. Расчет выходной согласующей цепи СЦ₄. Выходная СЦ₄ обеспечивает согласование выхода транзистора Т₃ с трактом передачи сигнала, а также задает оптимальный импеданс для обеспечения требуемой выходной мощности $P_{\text{вых}1\text{дБ}}$. Для синтеза СЦ₄ с помощью программы REGION были получены ОДЗ, которые отвечают следующим ограничениям на характеристики каскада: $10 \text{ дБ} \leq G^{(3)} \leq 12 \text{ дБ}$; $m_1 < 0,5$; $m_2 < 0,33$ на частотах 13, 15 и 17 ГГц, а также $m_1 < 1,0$; $m_2 < 1,0$ на частотах 0,01; 1 и 20 ГГц. Кроме того, по нелинейной модели транзистора Т₃ в САПР AWR MWO было выполнено load-pull-моделирование [16] для получения контуров равных значений для выходной мощности $P_{\text{вых}}$ и коэффициента усиления по мощности G_P при условии, что входная СЦ₃ настроена на сопряженное согласование входа транзистора и подключена ко входу Т₃ (см. рис. 6, а).

В данном случае ОДЗ на плоскости $\Gamma_L^{(3)}$ представляют собой общую часть (пересечение) областей, полученных с помощью программы REGION по s-параметрам и load-pull-контуров $P_{\text{вых}} = 15 \text{ дБм}$ и $G_P = 10 \text{ дБ}$ (см. рис. 6, б). Таким образом, при расчете СЦ₄ мы учли как малосигнальные (рассчитанные по s-параметрам), так и большесигнальные (полученные на основе по load-pull-моделирования) характеристики выходного усилительного каскада. Для построения общих ОДЗ был разработан специализированный программный модуль LP2RGN.

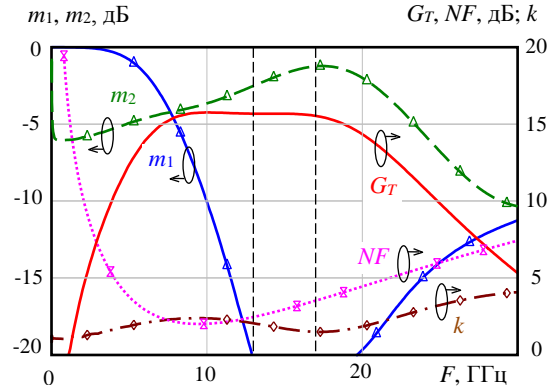


Рис. 5. Частотные характеристики активного блока СЦ₁+АЭ₁+СЦ₂+АЭ₂

Далее по полученным общим ОДЗ с помощью программы LOCUS была синтезирована выходная СЦ₄. Результирующие ОДЗ, схема и годограф СЦ₄ на плоскости коэффициента отражения $\Gamma_L^{(3)}$ представлены на рис. 7, а.

Этап 5. Расчет межкаскадной согласующей цепи СЦ₃. Межкаскадная СЦ₃ служит для согласования выхода АЭ₂ и входа АЭ₃ между собой, она должна реализовать импедансы нагрузок для Т₂ и Т₃, близкие к комплексно-сопряженным. Для этого с помощью программы REGION были построены ОДЗ и области устойчивости на плоскости $\Gamma_L^{(2)}$ для активного блока, состоящего из СЦ₁+АЭ₁+СЦ₂+АЭ₂, и на плоскости $\Gamma_S^{(3)}$ для активного блока АЭ₃+СЦ₄.

Подробно процедура синтеза межкаскадной СЦ с помощью программ REGION и LOCUS описана в [9, 11, 15]. Отметим только, что СЦ₃ рассчитывается таким образом, чтобы ее годограф одновременно попадал в заданные ОДЗ как на плоскости $\Gamma_L^{(2)}$, так и на плоскости $\Gamma_S^{(3)}$. Для примера на рис. 7, б приведены ОДЗ, схема СЦ₃ и годограф для плоскости $\Gamma_S^{(3)}$.

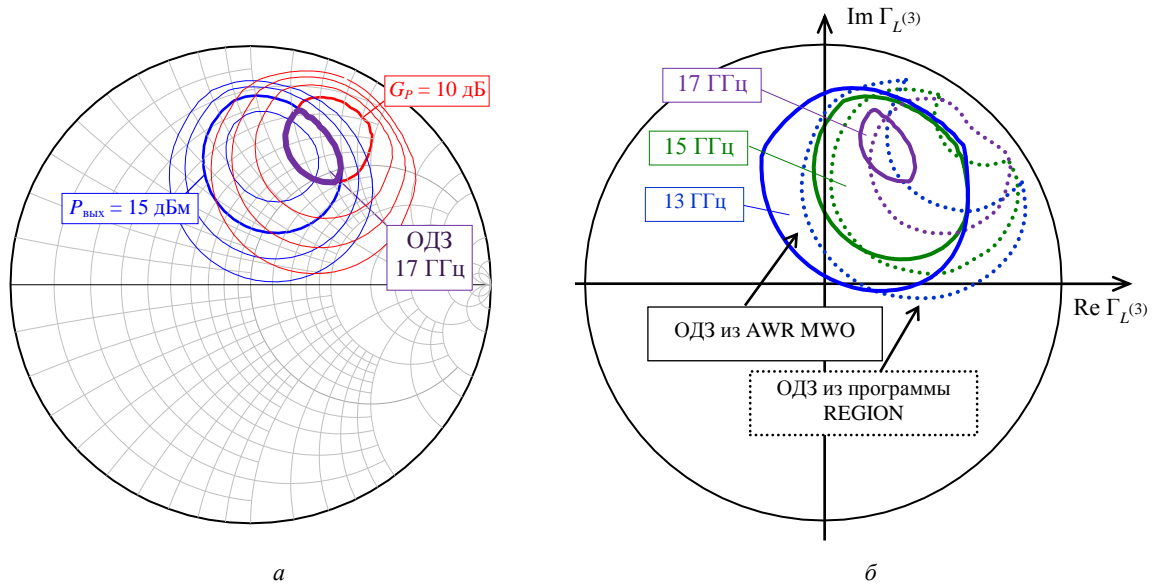


Рис. 6. Контуров равной выходной мощности и коэффициента усиления по мощности для Т₃ на частоте 17 ГГц – а; б – ОДЗ на плоскости коэффициента отражения $\Gamma_L^{(3)}$ для частот 13, 15 и 17 ГГц

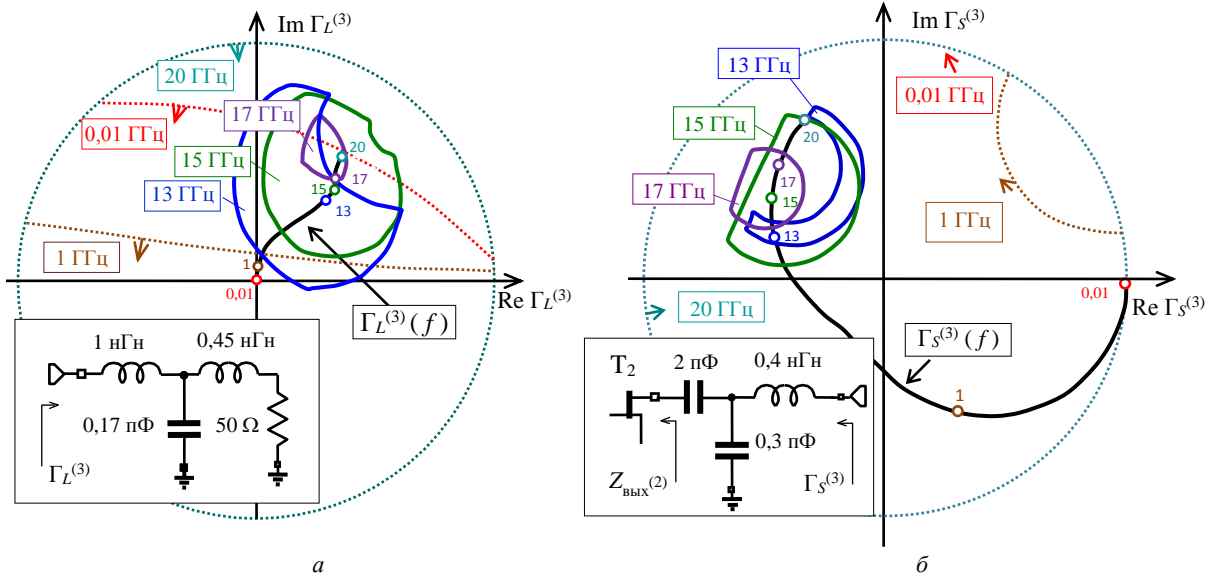


Рис. 7. Общие ОДЗ, области устойчивости, схема и годограф выходной СЦ₄ на плоскости $\Gamma_L^{(3)}$ – а; и межкаскадной СЦ₃ на плоскости $\Gamma_S^{(3)}$ – б

Полученная схема усилителя на идеальных элементах по переменному току показана на рис. 8, а, а ее характеристики, полученные с помощью моделирования в САПР AWR MWO, представлены в табл. 3.

Этап 6. Переход к реальной схеме МШУ. Далее в схему устройства были добавлены элементы, которые обеспечивают выбранный режим работы транзисторов по постоянному току – индуктивности по питанию, разделительные и блокировочные конденсаторы, резисторы автосмещения для обеспечения работы каскадов от однополярного источника питания. Их величины подобраны таким образом, чтобы

они не влияли на основные характеристики МШУ в полосе рабочих частот.

Этап 7. Построение топологии МИС МШУ. Последний этап проектирования заключался в построении топологии МИС усилителя и окончательной параметрической оптимизации всей схемы. Результирующая топология МИС МШУ показана на рис. 8, б, размер кристалла МИС 2,5×1,2 мм².

Характеристики МИС усилителя, полученные на основе ЭМ моделирования в САПР AWR MWO, представлены на рис. 8, в, а также приведены в табл. 3.

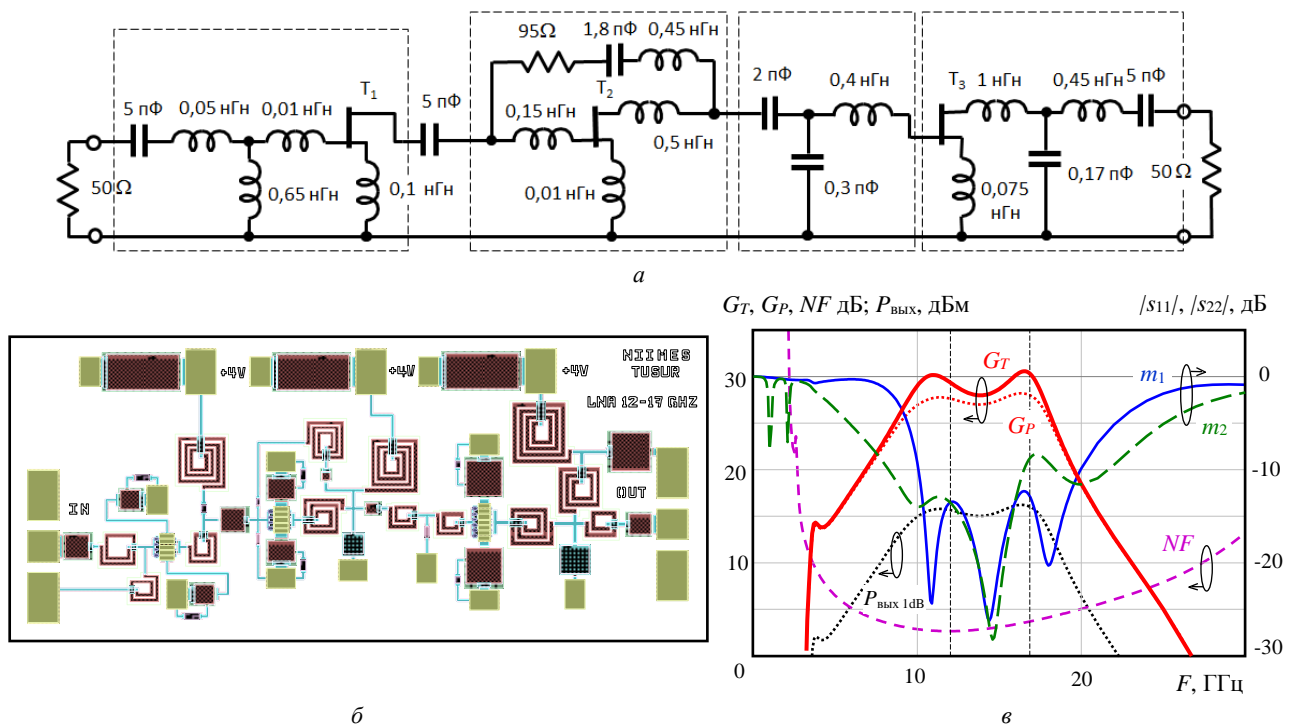


Рис. 8. Схема МШУ на идеальных элементах – а; топология МИС МШУ – б; частотные характеристики МИС МШУ – в (при уровне входного сигнала $P_{вх} = -12$ дБм)

Характеристики МШУ

Усилитель	Δf , ГГц	G_T , дБ	Коэф. отражения, дБ		NF , дБ	$P_{\text{вых } 1\text{дБ}}$, дБм	V_D , В	I_D , мА	Технология	Размер чипа МИС, мм ²
			$ S_{11} $	$ S_{22} $						
На идеальных элементах	12–17	$27 \pm 0,7$	–9,5	–8	3,6	15,2	4	80	0,5 мкм рНЕМТ	2,5×1,2
МИС МШУ	12–17	$27 \pm 0,5$	–8,5	–12	3,7	15,0	4	90		
НМС 565 Hittite США	6–18	$22,5 \pm 2,0$	–10	–11	2,3	11,0	3	53	0,15 мкм рНЕМТ	2,53×0,98
TGA 2512 Triquint США	6–12	$25 \pm 1,0$	–13	–15	1,6	6	5	90	0,15 мкм рНЕМТ	2,05×1,2
LA 0812.2.11 ИСВЧПЭ, Москва	6–12	$28 \pm 1,0$	–10	–12	1,6	10	5	92	0,15 мкм рНЕМТ	2,4×1,4
MP531 Микран, Томск	8–12	$27,5 \pm 1,5$	–14	–5	1,6	13	5	90	0,25 мкм рНЕМТ	2,5×1,5
QPA 2735 Qorvo США	13–17	$25,5 \pm 0,5$	–12	–15	1,3	18	3,5	105	0,1 мкм рНЕМТ	–

Разработанная МИС МШУ имеет следующие характеристики (по результатам ЭМ-моделирования) в полосе частот 12–17 ГГц: коэффициент усиления $G_T = 27,5 \pm 0,5$ дБ, выходная мощность при уменьшении коэффициента усиления на 1 дБ $P_{\text{вых } 1\text{дБ}} > 15$ дБм, входной коэффициент отражения $m_1 < -8,5$ дБ; выходной коэффициент отражения $m_2 < -12$ дБ; коэффициент шума $NF < 3,7$ дБ, МШУ работает от однополярного источника питания $V_D = 4$ В; потребляемый ток $I_D < 95$ мА.

В табл. 3 также представлены параметры существующих аналогов отечественных и зарубежных производителей. Видно, что разработанный МШУ не уступает существующим решениям, реализованным на технологических процессах с меньшей топологической нормой.

Заключение

В статье представлено проектирование схемы и топологии МИС линейного СВЧ-усилителя диапазона частот 12–17 ГГц на основе применения алгоритмов, методов и средств визуального проектирования.

Описанная ранее методика визуального синтеза линейных СВЧ-усилителей [15] была расширена для учета выходной мощности усилителя, т.е. помимо типовых линейных параметров СВЧ-усилителя (таких, как малосигнальный коэффициент усиления, коэффициент шума, согласование, устойчивость) при проектировании теперь можно учитывать характеристики, которые относятся к нелинейным свойствам усилителя: например, уровень выходной мощности, КПД, коэффициент усиления по мощности и др. Это стало возможным за счет совмещения ОДЗ, полученных по малосигнальной модели АЭ (на основе s -параметров), и контуров равных значений характеристик, получаемых на основе load-pull-моделирования (или измерений) по нелинейной модели АЭ.

Интегральная схема МШУ выполнена на базе отечественной 0,5 мкм GaAs-рНЕМТ-технологии АО «Светлана-Рост». Применение методики и программных средств для визуального синтеза позволило разработать МИС МШУ с характеристиками, не уступающими (кроме коэффициента шума) параметрам существующих аналогов, выполненных на

технологиях с меньшей топологической нормой (см. табл. 3).

В настоящий момент топология МИС устройства передана для изготовления на фабрику.

Разработанный МШУ предназначен для применения в составе приемопередающих модулей для радиотехнических систем различного назначения.

Данная работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (уникальный идентификатор FEWM-2023-0014).

Производство интегральных микросхем финансируется за счет средств Министерства образования и науки России в рамках федерального проекта «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности» по государственному заданию на выполнение научно-исследовательской работы «Разработка методики прототипирования электронной компонентной базы на отечественных микроэлектронных производствах на основе сервиса MPW (FSMR-2023-0008)».

Литература

1. Virdee B.S. Broadband microwave amplifiers / B.S. Virdee, A.S. Virdee, B.Y. Banyamin. – Boston, London: Artech House, 2004. – 231 p.
2. Abrie P.L.D. Design of RF and microwave amplifiers and oscillators. – Boston, Mass: Artech House, 1999. – 480 p.
3. Grebennikov A. Broadband RF and microwave amplifiers / A. Grebennikov, N. Kumar, B.S. Yarman. – New-York, London: CRC Press, 2017. – 743 p.
4. Yarman B.S. A simplified real frequency technique applied to broad-band multistage microwave amplifiers / B.S. Yarman, H.J. Carlin // IEEE Trans. on MTT-30. – 1982. – Vol. 12. – P. 2216–2222.
5. Babak L.I. Design of multistage low-noise amplifiers using «visual» CAD tools / L.I. Babak, M.V. Cherkashin, F.I. Sheyerman, Yu.V. Fedorov // Microwave Symp. Digest (MTT), IEEE MTT-S Int. – Baltimore, MD, 2011. – P. 1–4.
6. Eroglu A. Introduction to RF power amplifier design and simulation. – New-York, London: CRC Press, 2018. – 450 p.
7. Калентьев А.А. Структурный синтез СВЧ-транзисторных усилителей на основе генетического алгоритма с применением моделей пассивных элементов в виде наборов S -параметров / А.А. Калентьев, И.М. Добуш,

Д.В. Гарайс, А.Е. Горяинов, Л.И. Бабак // Сб. трудов 24-й Междунар. Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь: Вебер, 2014. – Т. 1. – С. 117–118.

8. Данильченко В.И. Автоматизированный структурно-параметрический синтез однокаскадного СВЧ-транзисторного усилителя на основе генетического алгоритма / В.И. Данильченко, Е.В. Данильченко, В.М. Курейчик // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС). – 2020. – № 4. – С. 83–89.

9. Babak L.I. A new «region» technique for designing microwave transistor low-noise amplifiers with lossless equalizers / L.I. Babak, M.V. Cherkashin, A.Yu. Polyakov // Proc. of the 38th European MW Conf., (EuMC–2008). – Amsterdam, 2008. – Vol. MTT-S. – P. 1402–1405.

10. Бабак Л.И. Комплекс программ «визуального» проектирования транзисторных СВЧ-усилителей и пассивных цепей / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Д.А. Зайцев // Сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления. Опыт инновационного развития». – Томск: В-Спектр, 2007. – Ч. 2. – С. 113–115.

11. Бабак Л.И. Программы «визуального» проектирования транзисторных СВЧ-усилителей / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, А.Ю. Поляков // Сб. трудов 15-й Междунар. Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь: Вебер, 2005. – Т. 2. – С. 425–426.

12. Бабак Л.И. «Визуальное» проектирование корректирующих и согласующих цепей полупроводниковых СВЧ-устройств. – Ч. 1: Описание процедуры проектирования / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Д.А. Зайцев // Доклады ТУСУР. – 2006. – № 6 (14). – С. 11–23.

13. Бабак Л.И. «Визуальное» проектирование корректирующих и согласующих цепей полупроводниковых СВЧ-устройств. – Ч. 2: Программная реализация и примеры / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Д.А. Зайцев // Доклады ТУСУР. – 2007. – № 1 (15). – С. 10–19.

14. АО «Светлана-Рост». Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.svetlanarost.ru/?page=faundry>, свободный (дата обращения: 25.09.2024).

15. Разработка комплекта монолитных малошумящих усилителей X-диапазона на основе 0,15 мкм GaAs-pHEMT-технологии / В.Г. Мокеров, Л.И. Бабак, Ю.В. Федоров, М.В. Черкашин, Ф.И. Шеерман, А.С. Бугаев, А.Л. Кузнецов, Д.Л. Кузнецов, Д.Л. Гнатюк // Доклады ТУСУР. – 2010. – № 2 (22), ч. 1. – С. 105–117.

16. Ghannouchi F.M. Load-pull techniques with applications to power amplifier design / F.M. Ghannouchi, M.S. Hashmi. – New-York: Springer Science & Business Media, 2012. – 234 p.

Cherkashin M.V.

Visual design of Ku-band linear amplifier based on Russian 0.5 um GaAs-pHEMT-technology

The design procedure of Ku-band low-noise amplifier based on the application of algorithms, methods and software tools for the visual synthesis of active microwave devices is presented.

Keywords: GaAs, pHEMT, MMIC, MW linear amplifier, load-pull analysis, visual design procedure.

DOI: 10.21293/1818-0442-2024-27-3-17-24

References

1. Virdee B.S., Banyamin B.Y. *Broadband microwave amplifiers*. Boston, London: Artech House, 2004, 231 p.

2. Abrie P.L.D. *Design of RF and microwave amplifiers and oscillators*. Boston, Mass: Artech House, 1999, 480 p.

3. Grebennikov A., Kumar N., Yarman B.S. *Broadband RF and microwave amplifiers*. New-York, London: CRC Press, 2017, 743 p.

4. Yarman B.S., Carlin H.J. A simplified real frequency technique applied to broad-band multistage microwave amplifiers. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques-30*, 1982, vol. 12, pp. 2216–2222.

5. Babak L.I., Cherkashin M.V., Sheyerman F.I., Fedorov Yu.V. [Design of multistage low-noise amplifiers using «visual» CAD tools]. *Microwave Symposium Digest (MTT), IEEE MTT-S International Microwave Symposium*. Baltimore, MD, 2011, pp. 1–4.

6. Eroglu A. *Introduction to RF power amplifier design and simulation*. New-York, London: CRC Press, 2018, 450 p.

7. Kalentyev A.A., Dobush I.M., Garays D.V., Goryainov A.E., Babak L.I. [Structural synthesis of microwave transistor amplifiers based on a genetic algorithm using models of passive elements in the form of sets of S-parameters]. *Proceedings of the 24th International Crimean Conference «Microwave Technology and Telecommunication Technologies»*, 2014, vol. 1, pp. 117–118 (in Russ.).

8. Danilchenko V.I., Danilchenko E.V., Kureichik V.M. [Automated structural-parametric synthesis of a single-stage microwave transistor amplifier based on a genetic algorithm]. *Problems of Advanced Micro- and Nanoelectronic Systems Development*, 2020. No 4, pp. 83–89 (in Russ.).

9. Babak L.I., Cherkashin M.V., Zaitsev D.A. [A new «region» technique for designing microwave transistor low-noise amplifiers with lossless equalizers]. *Proceedings of the 38th European Microwave Conference, EuMC 2008, MTT-S, Amsterdam*, 2008, pp. 1402–1405.

10. Babak L.I., Cherkashin M.V., Zaitsev D.A. [A software tools for the «visual» design of transistor microwave amplifiers and passive circuits]. *Proceedings of International Scientific Conference on Electronic Devices and Control Systems. The Experience of Innovative Development*. Tomsk, V-Spektr, 2007, pt. 2, pp. 113–115 (in Russ.).

11. Babak L.I., Cherkashin M.V., Polyakov A.Yu. [Software tools for «visual» design of transistor microwave amplifiers]. *Proceedings of the 15th International Crimean Conference «Microwave Equipment and Telecommunication Technologies»*. Sevastopol, Weber, 2005, vol. 2, pp. 425–426 (in Russ.).

12. Babak L.I., Cherkashin M.V., Zaitsev D.A. [The «visual» design of correction and matching networks of semiconductor microwave devices. Part 1. Description of the design procedure]. *Proceedings of TUSUR University*, 2006, no. 6 (14), pp. 11–23 (in Russ.).

13. Babak L.I., Cherkashin M.V., Zaitsev D.A. [The «visual» design of correction and matching circuits of semi-

Черкашин Михаил Владимирович

Канд. техн. наук, доцент, с.н.с. научно-исследовательского института микроелектронных систем (НИИ МЭС) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: + 7-906-948-86-48
Эл. почта: mcher@kcup.tusur.ru

conductor microwave devices. Part 2. Software implementation and examples]. *Proceedings of TUSUR University*, 2007, no. 1 (15), pp. 10–19 (in Russ.)

14. AO «Svetlana-Rost». Web-site (in Russ.). Available at: <http://www.svetlana-rost.ru/?page=technology>, free (Accessed: September 25, 2024).

15. Mokerov V.G., Babak L.I., Fedorov Yu.V., Cherkashin M.V., Sheerman F.I., Bugaev A.S., Kuznetsov A.L., Kuznetsov D.L., Gnatyuk D.L. [Development of a set of MMIC low-noise X-band amplifiers based on 0,15 μm GaAs-pHEMT-technology]. *Proceedings of TUSUR University*, 2010, No. 2 (22), pt. 1, pp. 105–117 (in Russ.).

16. Ghannouchi F.M., Hashmi M.S. *Load-pull techniques with applications to power amplifier design*. New-York, Springer Science & Business Media, 2012, 234 p.

Mikhail V. Cherkashin

Candidate of Sciences in Engineering,
Senior Researcher of Research Institute of Microelectronic
Systems, Tomsk State University of Control Systems
and Radioelectronics
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: + 7-906-948-86-48
Email: mcher@kcup.tusur.ru