

УДК: 621.375.4

М.В. Черкашин, А.А. Коколов, И.М. Добуш, Л.И. Бабак

Автоматизированное проектирование двухкаскадного копланарного монолитного усилителя Ка-диапазона

Описывается разработка двухкаскадного копланарного монолитного усилителя Ка-диапазона с использованием комплекса программ визуального проектирования. Усилитель выполнен на основе отечественной 0,13 мкм GaAs mHEMT-технологии.

Ключевые слова: СВЧ монолитные интегральные схемы, копланарный усилитель, Ка-диапазон, mHEMT, модели элементов, автоматизированный синтез.

Введение. В [1] была описана разработка однокаскадного копланарного монолитного усилителя Ка-диапазона, выполненного на основе 0,13 мкм GaAs mHEMT-технологии Института СВЧ полупроводниковой электроники РАН (ИСВЧПЭ РАН, г. Москва). Однако во многих случаях коэффициент усиления однокаскадных усилителей недостаточен для использования в СВЧ радиоэлектронных системах. В настоящей статье рассматривается проектирование двухкаскадного копланарного усилителя (КУ) Ка-диапазона на базе той же технологии. В качестве основного инструмента при этом используется комплекс программ визуального проектирования СВЧ-усилителей, пассивных корректирующих и согласующих цепей [2–4].

Описание процедуры проектирования. Требования, предъявляемые к усилителю, следующие: диапазон рабочих частот 30–38 ГГц; коэффициент усиления G не менее 18 дБ; неравномерность коэффициента усиления в полосе рабочих частот ΔG не более $\pm 1,0$ дБ; модули входного и выходного коэффициентов отражения $m_1 = |s_{11}| \leq 0,316$ (–10 дБ), $m_2 = |s_{22}| \leq 0,316$ (–10 дБ); выходная мощность $P_{1dB} > 10$ дБм; безусловная устойчивость во всем частотном диапазоне ($k > 1$). Характеристики базового mHEMT-транзистора с шириной затвора 4×60 мкм, используемого в КУ, приведены в [1].

Структурная схема двухкаскадного КУ показана на рис. 1. В качестве второго (око-нечного) каскада был использован без изменений описанный в [1] однокаскадный усилитель. Задача состояла в разработке первого каскада, который представляет собой транзистор с цепью параллельной обратной связи (ОС) Z_P , входной и выходной СЦ (рис. 1).

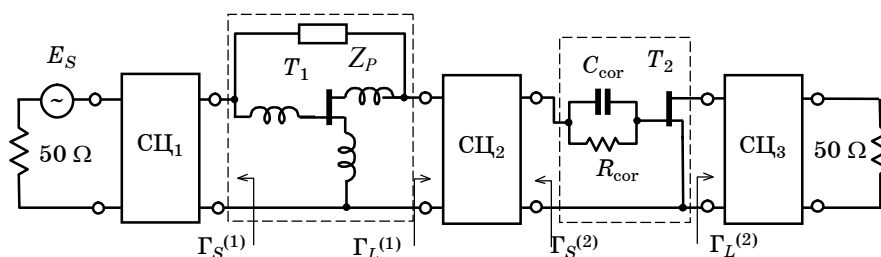


Рис. 1. Структурная схема двухкаскадного КУ

Для расчета цепи ОС использовались программы AMP и LOCUS [2–4]. Программа AMP позволяет, исходя из требований к характеристикам усилительного каскада, в интерактивном режиме выбрать индуктивности в цепях затвора, стока и истока транзистора и получить ОДЗ на плоскости импеданса двухполюсника Z_P . С помощью программы LOCUS по полученным ОДЗ выполняется синтез цепи ОС в интерактивном режиме. Процесс визуального проектирования усилительного каскада с параллельной ОС подробно описан в [5].

Отметим, что при формулировании требований для АЧХ первого каскада КУ задан подъем около 4 дБ/октава с целью компенсации частотного спада усиления транзистора.

На следующем шаге для активного блока, представляющего собой транзистор с подключенной цепью ОС, с помощью программы REGION были получены ОДЗ на плоскости $\Gamma_S^{(1)}$ первого каскада. Требования для построения ОДЗ следующие: $7 \text{ дБ} \leq G \leq 9 \text{ дБ}$ @ 8 ГГц;

$8 \text{ дБ} \leq G \leq 10 \text{ дБ}@10 \text{ ГГц}$; $9 \text{ дБ} \leq G \leq 11 \text{ дБ}@12 \text{ ГГц}$; $m_1 \leq 0,33$; $m_2 \leq 0,45$. По этим ОДЗ с помощью программы LOCUS была синтезирована входная цепь первого каскада СЦ1, ее схема и годограф на плоскости $\Gamma_S^{(1)}$ приведены на рис. 2, а.

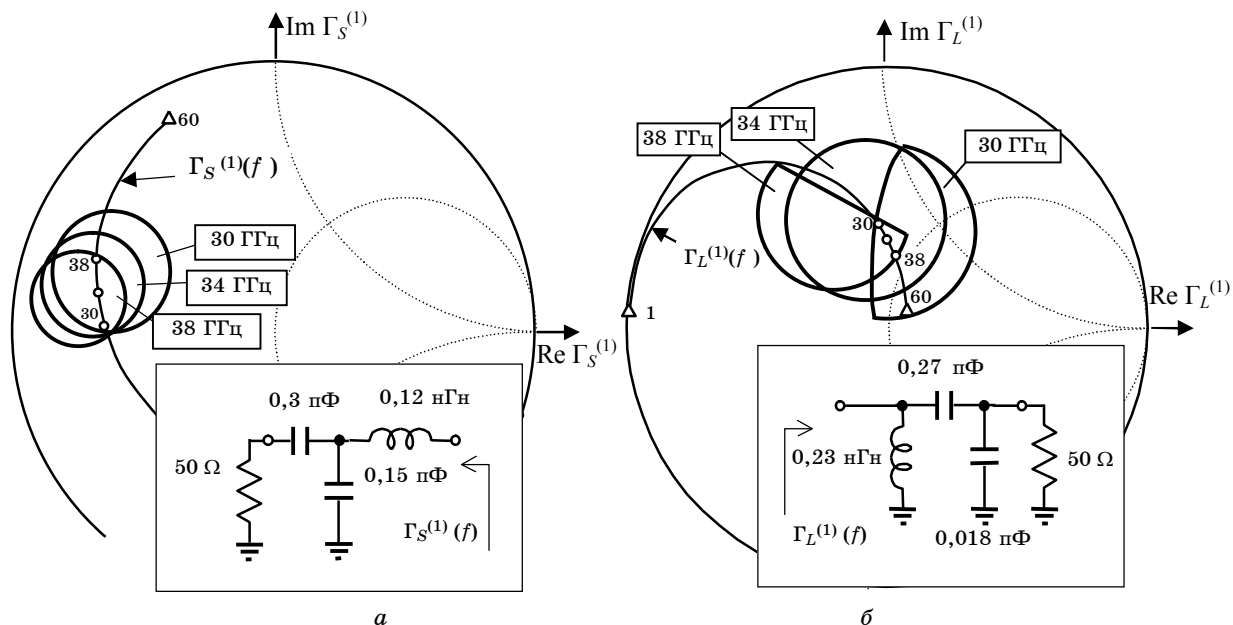


Рис. 2. ОДЗ и годографы коэффициентов отражения: а – входной СЦ первого каскада на плоскости $\Gamma_S^{(1)}$; б – выходной СЦ первого каскада на плоскости $\Gamma_L^{(1)}$
(Требования для получения ОДЗ: $7 \text{ дБ} \leq G \leq 9 \text{ дБ}@8 \text{ ГГц}$; $8 \text{ дБ} \leq G \leq 10 \text{ дБ}@10 \text{ ГГц}$; $9 \text{ дБ} \leq G \leq 11 \text{ дБ}@12 \text{ ГГц}$; $m_1 \leq 0,33$; $m_2 \leq 0,45$)

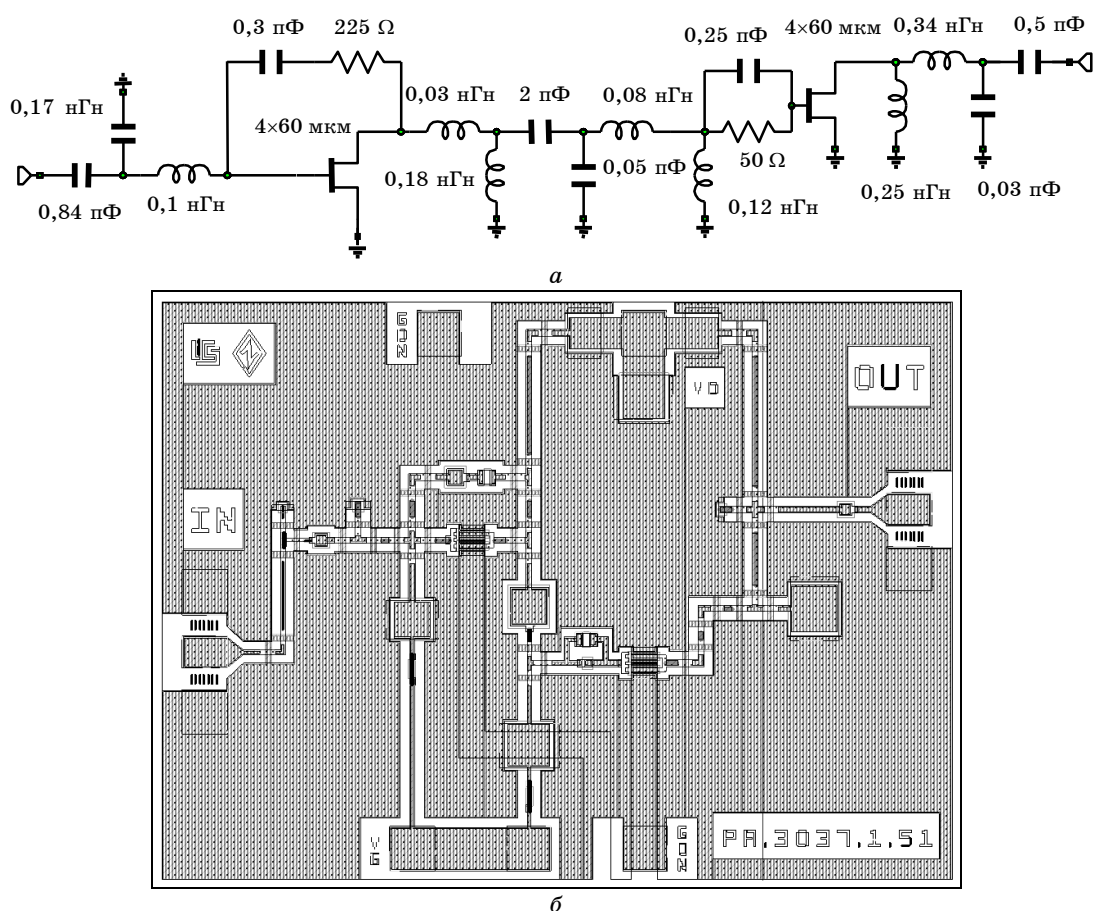


Рис. 3. Принципиальная схема по переменному току (а) и топология (б) двухкаскадного КУ

Далее для активного блока с подключенной цепью СЦ1 были построены ОДЗ на плоскости $\Gamma_L^{(1)}$, по ним синтезирована выходная СЦ первого каскада. Схема цепи и ее годограф показаны на рис. 2,б.

Двухкаскадный усилитель представляет собой последовательное включение обоих спроектированных каскадов. При этом межкаскадная цепь образована соединением выходной СЦ первого каскада и входной СЦ второго каскада, которая была рассчитана выше.

Принципиальная схема по переменному току двухкаскадного КУ на идеальных сосредоточенных элементах после определенной модификации СЦ приведена на рис. 3,а. Последний этап проектирования заключался в разработке топологии МИС и окончательной параметрической оптимизации. Топология усилителя изображена на рис. 3,б (размеры кристалла $1,5 \times 1,8$ мм²). На рис. 4а приведены результаты моделирования монолитного КУ при $V_{ds}=3,5$ В. Здесь P_{out} и G_{LS} – соответственно выходная мощность КУ и коэффициент усиления при входной мощности, соответствующей уменьшению усиления на 1 дБ.

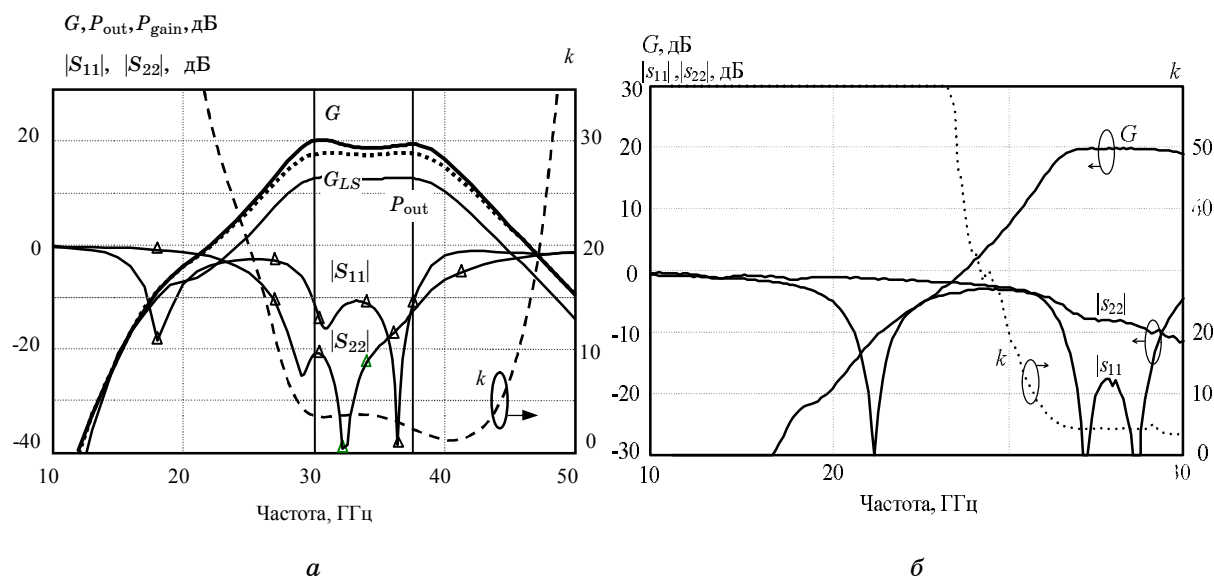


Рис. 4. Результаты моделирования (а) и измерений (б) двухкаскадного КУ при $V_{ds}=3,5$ В

После изготовления усилителей на основе 0,13 мкм GaAs mHEMT-технологии ИСВЧПЭ РАН были выполнены его экспериментальные исследования. На рис. 4,б показаны частотные характеристики КУ, измеренные на пластине при напряжении стока транзисторов $V_{ds}=3,5$ В. Выходная мощность усилителя P_{1dB} составила около 6 дБм. Как и в случае однокаскадного усилителя [1], главной причиной расхождения результатов расчета и эксперимента является отличие параметров изготовленных транзисторов от значений, использованных при моделировании, в силу определенных изменений технологического процесса.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ в рамках проектов 08-07-99034-р_офи и 09-07-99020-р_офи, а также в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по направлениям «Нанотехнологии и наноматериалы», «Создание электронной компонентной базы», «Микроэлектроника» (мероприятия 1.1, 1.2.1, 1.2.2, 1.3.1 и 1.3.2, государственные контракты П1418, П1492, П2188, П669, П499, 16.740.11.0092 и 14.740.11.0135).

Литература

1. Черкашин М.В. Проектирование однокаскадного монолитного усилителя Кадиапазона с использованием комплекса программ автоматизированного синтеза / М.В. Черкашин, А.А. Кокотов, И.М. Добуш, Л.И. Бабак // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2(22), ч. 1. – С. 25–29.
2. Бабак Л.И. Комплекс программ «визуального» проектирования транзисторных СВЧ-усилителей и пассивных цепей / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Д.А. Зайцев и др. // Сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления. Опыт инновационного развития». – Томск: В-Спектр, 2007. – Ч. 2. – С. 113–115.

3. Бабак Л.И. Программа «визуального» проектирования корректирующих и согласующих цепей СВЧ-устройств / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Д.А. Зайцев // Сб. трудов 15-й Междунар. Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь: Вебер, 2005. – Т. 2. – С. 423–424.

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

5. Cherkashin M.V. Design of 2–10 GHz feedback MMIC LNA using «visual» technique / M.V. Cherkashin, D. Eyllier, L.I. Babak et al. // Proc. 35th Europ. Microwave Conf., France, Paris, – 2005. – P. 1153–1156.

Черкашин Михаил Владимирович

Канд. техн. наук, доцент каф. компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП),
декан факультета вычислительных систем ТУСУРа
Тел.: +7 (382-2) 73-96-48
Эл. почта: mcher@kcup.tusur.ru

Коколов Андрей Александрович

Мл. науч. сотрудник каф. КСУП ТУСУРа
Тел.: +7-923-405-93-59
Эл. почта: kokolovaa@gmail.com

Добуш Игорь Мирославович

Аспирант каф. КСУП ТУСУРа
Тел.: +7-923-402-92-86
Эл. почта: igadobush@gmail.com

Бабак Леонид Иванович

Канд. техн. наук, зам. директора НОЦ «Нанотехнологии», доцент каф. КСУП ТУСУРа
Дом. тел.: +7 (382-2) 41-47-17, сот. тел.: +7-960-969-91-52
Эл. почта: leonid.babak@rambler.ru

Cherkashin M.V., Kokolov A.A., Dobush I.M., Babak L.I.

Computer-aided design of Ka-band two-stage coplanar MMIC amplifier

The development of Ka-band two-stage coplanar MMIC amplifier with using visual design software tools is presented. The amplifier is produced based on the 0.13 μm GaAs mHEMT technology.

Keywords: MMIC, coplanar amplifier, Ka-band, mHEMT, element models, CAD-oriented synthesis.
