

## **Отзыв**

официального оппонента на диссертацию и автореферат  
Самуилова Александра Андреевича на тему: «Автоматизированное проектирование широкополосных согласующих и корректирующих цепей СВЧ устройств на основе интерактивного «визуального» подхода», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии

### **Актуальность темы**

Основным направлением развития отечественной электроники на период до 2020 года является создание нового поколения изделий твердотельной электронной компонентной базы для аппаратуры аэрокосмического, ядерного, научного, промышленного и специального назначения.

Появление и развитие субмикронных технологий на структурах АЗВ5 с частотой единичного усиления транзисторов до 200 ГГц обеспечило возможность создания новых классов изделий твердотельной СВЧ электроники – монолитных интегральных схем (МИС) СВЧ и миллиметрового диапазонов. Между тем, отечественные дизайн-центры не располагают достаточной научно-методической базой для организации современного маршрута проектирования СВЧ МИС, испытывают дефицит современных лицензионных средств проектирования (САПР) для обеспечения операций маршрута проектирования.

Важным элементом маршрута проектирования СВЧ усилителей является синтез и оптимизация согласующих (СЦ) и корректирующих (КЦ) цепей, в значительной степени определяющий характеристики МИС в полосе частот. Существующие подходы к синтезу СЦ и КЦ, реализованные с применением лицензионных САПР, представляют собой многоэтапную и сложную процедуру, требуют высокой квалификации разработчика. Практически это не позволяет в реальные сроки обеспечить комплекс требований к параметрам проектируемых СВЧ усилителей и системы в целом, и, как следствие, получить пригодные топологические решения СЦ и КЦ.

В этой связи диссертационная работа Самуилова А.А., посвященная развитию методов и программных средств автоматизированного синтеза широкополосных согласующих и корректирующих цепей СВЧ устройств на основе интерактивного «визуального» подхода, является актуальной.

Среди новых и наиболее интересных научных и практических результатов, полученных автором, следует отметить следующие:

1. Предложена и исследована методика интерактивного «визуального» проектирования реактивных четырехполюсных цепей в сосредоточенном, распределенном и смешанном элементном базисах для широкополосного согласования комплексных импедансов генератора и нагрузки.

2. Предложена и практически реализована интерактивная «визуальная» процедура проектирования реактивных четырехполюсных цепей (в том числе межкаскадных согласующих цепей усилителей) по заданным на фиксированных частотах областям допустимых значений входного и выходного импедансов.

3. Предложена, реализована и исследована комбинированная процедура интерактивного и автоматического оптимизационного поиска при «визуальном» проектировании двухполюсных корректирующих цепей и реактивных четырехполюсных согласующих цепей на сосредоточенных и распределенных элементах, в том числе при комплексных нагрузках согласующих цепей и при задании требований к входному и (или) выходному импедансам в виде областей допустимых значений.

4. Предложена интерактивная методика, позволяющая на основе единого «визуального» подхода осуществить проектирование многокаскадных малошумящих и линейных СВЧ транзисторных усилителей с двухполюсными корректирующими цепями и реактивными четырехполюсными согласующими цепями по комплексу требований к характеристикам.

5. С участием автора разработаны специализированная программная платформа Indesys, предназначенная для разработки программ синтеза пассивных и активных СВЧ устройств, автоматизации измерений и построения моделей СВЧ элементов и новая версия программы Locus, предназначенная для синтеза двухполюсных КЦ и реактивных четырехполюсных СЦ на сосредоточенных и распределенных элементах по ОДЗ входного и (или) выходного импедансов в заданном диапазоне частот.

Полученные автором результаты, подтверждают научную новизну и практическую ценность работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и 8 приложений. Материал диссертации хорошо структурирован по главам, приведенные в диссертации выводы основаны на результатах моделирования и экспериментальных данных. Текст диссертации отличает стройность и логичность изложения.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, а также представлены ее основные положения.

**В первой главе** проведен обзор существующих методов и программного обеспечения для автоматизированного синтеза КЦ, СЦ и СВЧ транзисторных усилителей, описывается предложенная ранее методика «визуального» проектирования КЦ и СЦ, проектирования СВЧ транзисторных усилителей на основе декомпозиционного метода синтеза. Формулируются задачи исследования.

**Во второй главе** представлен вариант методики «визуального» проектирования СЦ для широкополосного согласования комплексных импедансов источника сигнала и нагрузки. Предлагается процедура синтеза реактивных цепей по ОДЗ входного и выходного импеданса. Эффективность представленных методик сравнивается с существующими методами синтеза на примерах проектирования СЦ.

**В третьей главе** описан подход к «визуальному» проектированию КЦ и СЦ, сочетающий интерактивный «визуальный» поиск параметров цепи заданной структуры с автоматическим оптимизационным поиском. Основой данного подхода является возможность во время автоматического поиска параметров цепи повлиять на ход решения задачи оптимизации, что способствует нахождению глобального оптимума и, тем самым, получению цепей с наилучшими характеристиками. Приведены конкретные примеры апробации предложенного подхода.

**В четвертой главе** приведено описание разработанного программного обеспечения, в основе которого лежат предложенные методики и процедуры «визуального» проектирования. Представлены результаты синтеза, моделирования и экспериментального исследования СВЧ транзисторных усилителей, разработанных с использованием представленных методик и программных средств проектирования. Приведено сравнение разработанных усилителей с отечественными и иностранными аналогами.

**В заключении** обобщены основные результаты, полученные в диссертации.

В **Приложениях** приведены описания методики проектирования многокаскадных СВЧ усилителей, приводится структура и интерфейс разработанного программного обеспечения. Приведены документы об использовании программы для разработки СВЧ усилителей; два свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

К **недостаткам** диссертации следует отнести следующее:

1. Автором недостаточно подробно определена область применения методики «визуального» проектирования: число каскадов АЭ, порядок СЦ и КЦ, класс СВЧ усилителей.

2. Согласно описанию методики проектирования цепей согласования двух комплексных импедансов, интерактивной процедуры синтеза СЦ по ОДЗ входного и выходного иммитансов, способ включения и тип элементов цепи-ядра определяется автоматически по заданным импедансам генератора и нагрузки. В связи с этим недостаточно подробно объясняется, каким образом осуществляется полный контроль за структурой СЦ.

3. Апробация предложенной автором методики «визуального» проектирования проводится на примере реализации СЦ и КЦ для нескольких МИС МШУ с диапазонами рабочих частот 3-20 ГГц и 0,9-2,1 ГГц. Представлены результаты экспериментальных исследований и моделирования, приведены параметры отечественных и зарубежных аналогов разработанных МИС МШУ. Между тем, отсутствие количественного сопоставительного анализа разработок автора с лучшими отечественными и зарубежными аналогами СВЧ МИС МШУ затрудняет вывод об эффективности предложенной методики с точки зрения конечного результата. В явном виде не указаны количественные временные показатели улучшения в процессе проектирования от ее внедрения по сравнению с известными методиками.

4. Одним из главных практических результатов является разработанная автором новая версия программы Locus, между тем, не достаточно подробно отмечены ее преимущества перед предыдущей версией.

5. В работе не проанализированы вопросы моделирования доминирующих радиационных эффектов и обеспечения радиационной стойкости разработанных изделий в процессе проектирования, между тем именно радиационные отказы во многих

ях ограничивают применение современных электронных устройств в аппаратуре космического, ядерного и специального назначения.

6. В библиографии, помещенной в автореферате, отсутствуют выделения работ в изданиях, рекомендованных ВАК для соискателей ученых степеней, а также работ, реферируемых в зарубежных индексах научного цитирования, например в Scopus.

Отмеченные недостатки, однако, не влияют на общую положительную оценку работы и имеют рекомендательный характер.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы. Все основные результаты работы опубликованы и представлены на научно-технических конференциях.

В целом, диссертационную работу отличают большой объем проведенных исследований, ориентация на практический результат и хорошее оформление. Актуальность решаемых задач, научная новизна и практическая ценность полученных результатов позволяет заключить, что рецензируемая работа отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Самуилов А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии» за разработку методов и средств проектирования МИС СВЧ диапазона на основе перспективных полупроводниковых материалов.

Доцент кафедры Электроники Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,  
кандидат технических наук

*В.В. Елесин*

Елесин Вадим Владимирович

*Подпись В.В. Елесина заверяю  
специально по кадровым  
Вуднева А.М. [подпись]*



Адрес организации: 115409, Москва, Каширское шоссе, 31.  
Телефон: +7 (499) 324-9034.  
Электронная почта: vveles@spels.ru.