

# Автоматизация проектирования телекоммуникационных систем и устройств на основе применения САПР "TELECOM-MWO"

Карякин В.Л., Карякин Д.В., ПГУТИ, г. Самара

## 1. Введение

На основе широкого использования информационных технологий интенсивно развиваются как в России, так и за рубежом системы автоматизированного проектирования (САПР).

Эффективность САПР определяется степенью формализации постановки задачи, адекватностью перехода от физической модели к математическому описанию элементов техники, а также выбором и разработкой методов, алгоритмов и программ выполнения проектных процедур. Значительные результаты за рубежом достигнуты в области разработки нелинейных моделей биполярных и полевых транзисторов и создания инструментальных САПР для решения прикладных задач [1-3, 6].

Актуальность создания прикладных САПР определяется возможностями выбора в настоящее время высокоэффективной инструментальной среды проектирования, что значительно сокращает временные и финансовые затраты на разработку систем.

Одной из важных причин ограниченного применения существующих зарубежных систем проектирования являются трудности, связанные с разработкой на их основе прикладных САПР. В частности, сложность разработки алгоритмов и программ взаимодействия прикладных отечественных САПР с программными комплексами ядер инструментальных платформ зарубежных систем. В этой связи представляет интерес инструментальная среда AWR Microwave Office (AWR MWO), которая написана на объектно-ориентированном языке C++, что позволяет ее адаптировать для решения прикладных задач. В частности, в "Лаборатории автоматизированного проектирования инфокоммуникационных систем и устройств" Поволжского государственного университета информатики и телекоммуникаций [7] разработана и успешно развивается прикладная САПР телекоммуникационных радиопередающих систем и устройств "Telecom-MWO" [1, 4] с использованием инструментальной среды AWR MWO.

Основой программного обеспечения САПР "Telecom-MWO" является пакет программ инструментальной среды AWR MWO. Общий интерфейс приложения САПР построен на основе технологий web и требует со стороны пользователя стандартный современный интернет-браузер (тестирование системы проводилось в браузерах Mozilla Firefox, Microsoft Internet Explorer, Opera). Пользовательский интерфейс обеспечивает интерактивное управление и контроль процесса проектирования. Пользователь информируется о состоянии вычислительных узлов и событиях, происходящих на каждом этапе проектирования. Каждый шаг проектирования сохраняется в специализированной пользовательской базе данных проектов, среди

которых являются исходные данные, результаты выполнения программ проектирования узлов, действия пользователя и события со стороны вычислительной подсистемы. В структуре базы данных предполагается проект пользователя и все задачи, которые выполнялись в рамках проекта.

## 2. Результаты применения САПР "Telecom-MWO"

В настоящее время система "Telecom-MWO" предназначена для решения задач исследования и проектирования элементов радиопередающих устройств: усилителей мощности (УМ), систем сложения мощности, автогенераторов, систем фазовой синхронизации, синтезаторов частот, модуляторов, но благодаря ее развитию круг решаемых задач будет существенно расширен.

Применение САПР "Telecom-MWO" при исследовании и проектировании генераторов с внешним возбуждением телекоммуникационных радиопередающих устройств [5, 8] позволило:

- дать методику построения статических характеристик транзистора и динамических характеристик УМ;
- разработать методику влияния параметров схемы УМ на режимы его работы;
- разработать методику оценки оптимального сопротивления нагрузки и сопротивления источника возбуждения УМ;
- разработать методику оптимизации цепей согласования и оценки их энергетической эффективности;
- на основании разработанных методик, реализованных в виде алгоритмов, дать методику проектирования оптимальных УМ.

При исследовании влияния параметров схемы УМ на режимы его работы с использованием новых информационных технологий разработаны методики исследования нагрузочных характеристик, влияния питающих напряжений, мощности возбуждения, напряжения смещения, цепей питания на режимы работы усилителей мощности.

Использование информационных технологий при исследовании и проектировании автогенераторов позволило:

- дать методику построения динамических, спектральных характеристик автогенераторов;
- разработать алгоритмы оценки работоспособности автогенераторов;
- разработать методику оценки области устойчивой работы автогенератора;
- разработать методику анализа работы кварцевого резонатора;
- исследовать влияние глубины обратной связи автогенератора на его динамические и спектральные характеристики;
- разработать алгоритм оптимизации и методику проектирования автогенераторов.

Рассмотрим пример использования информационных технологий при оптимизации автогенераторов в среде MWO.

2.1 Методика оптимизации автогенератора в среде MWO

Критерием оптимизации является заданная частота колебаний автогенератора при максимальном подавлении высших гармонических составляющих в спектре выходного сигнала.

Для анализа спектра выходного колебания в среде MWO используется зонд OSCAPROBE, который подключается к активному устройству во входную цепь.

Наиболее важные параметры зонда  $F_{start}$  и  $F_{end}$ , которые задают диапазон поиска частоты генерации.  $F_{steps}$  — число частотных точек, используемых в поиске частоты генерации (разрешающая способность). Зонд имеет ряд вторичных параметров, которые влияют на динамику работы измерительного прибора, его чувствительность, в частности,  $V_{steps}$  — шаг изменения чувствительности работы зонда.

Алгоритм программы оптимизации автогенератора в среде MWO следующий.

X1 Ввод исходных данных.

Ввод компьютерной модели транзистора из программы подготовки к проведению исследований.

Ввод инструмента для построения статических характеристик.

Ввод инструмента для построения динамических характеристик.

X2 Составление компьютерной модели схемы автогенератора с включенным анализатором спектра выходного колебания — зондом OSCAPROBE.

X3 Задание параметров измерительного зонда (диапазон частот измерения, разрешающая способность).

X4 Установка параметров для измерения динамических характеристик автогенератора, уровня спектральных составляющих выходного сигнала.

X5 Построение графиков динамических характеристик автогенератора, спектральных составляющих выходного сигнала, временных зависимостей выходного тока и напряжения.

X6 Анализ работоспособности автогенератора по динамическим характеристикам, спектру выходного сигнала, временным зависимостям выходного тока и напряжения.

Если генерация отсутствует, идти к X2 для увеличения коэффициента передачи по цепи обратной связи, уточнения параметров измерительного зонда.

X7 Проверка выполнения критерия оптимизации, выполняемая путем последовательного итерационного изменения параметров колебательной системы и глубины обратной связи автогенератора.

Критерием оптимизации в данном случае является заданная частота колебаний автогенератора при максимальном подавлении высших гармонических составляющих в спектре выходного сигнала.

Если критерий оптимизации не выполняется, идти к X2.

X8 Вывод динамической характеристики (рис. 1), спектра выходного сигнала, временных зависимостей выходного тока и напряжения.

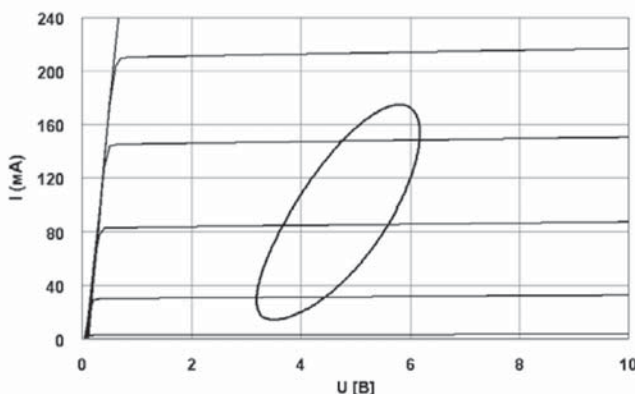


Рис. 1. Динамическая характеристика автогенератора

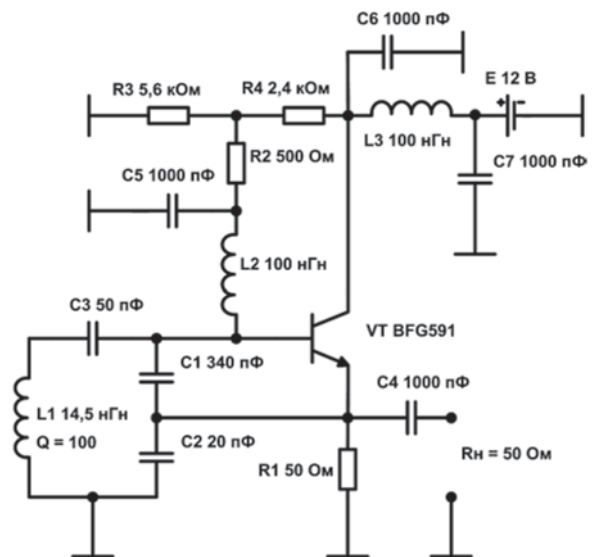


Рис. 2. Схема автогенератора по окончании процесса оптимизации

X9 Вывод схемы автогенератора по окончании процесса оптимизации (рис. 2).

При удовлетворительных результатах оптимизации программа завершает свою работу.

2.2 Методика исследования влияния глубины обратной связи на работу автогенератора

Исследование влияния глубины обратной связи на характер изменения динамических характеристик, спектра выходного сигнала и формы выходного тока автогенератора необходимы для оценки области его устойчивой работы, а также для визуальной оценки качественных показателей выходного сигнала.

Алгоритм программы исследования автогенератора в среде MWO следующий.

U1 Ввод исходных данных.

Ввод компьютерной модели транзистора из программы подготовки к проведению исследований.

Ввод инструмента для построения статических характеристик.

Ввод инструмента для построения динамических характеристик.

U2 Составление компьютерной модели схемы автогенератора из программы оптимизации автогенератора с включенным анализатором спектра выходного колебания — зондом OSCAPROBE и элементом управления глубиной обратной связи SWPVAR.

U3 Задание параметров измерительного зонда (диапазон частот измерения, разрешающая способность).

U4 Задание параметров элемента управления глубиной обратной связи автогенератора.

U5 Установка параметров для измерения динамических характеристик автогенератора, уровня спектральных составляющих выходного сигнала.

U6 Построение графиков динамических характеристик автогенератора, спектральных составляющих выходного сигнала, временных зависимостей выходного тока и напряжения.

U7 Оценка области устойчивой работы автогенератора, визуальная оценка качественных показателей выходного сигнала по динамическим характеристикам, спектру выходного сигнала, временным зависимостям выходного тока и напряжения в заданном диапазоне изменения параметров автогенератора, влияющих на глубину обратной связи.

При необходимости изменения глубины обратной связи, числа итераций при исследовании, идти к U4.

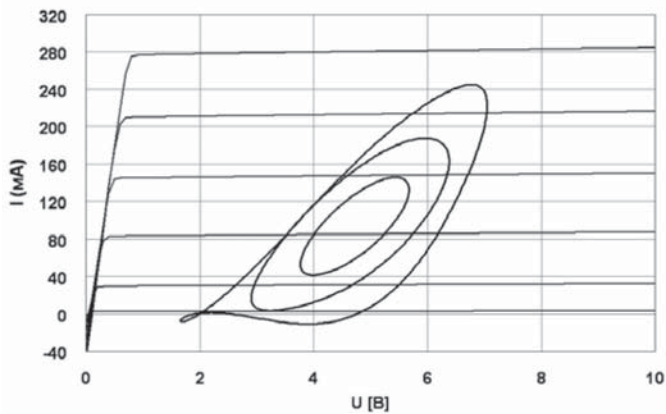


Рис. 3. Динамические характеристики автогенератора при различной глубине обратной связи

У8 Вывод динамических характеристик (рис.3), спектра выходного сигнала (рис.4), временных зависимостей выходного тока и напряжения.

При удовлетворительных результатах исследования программа завершает свою работу.

Из анализа полученных результатов (рис.3, 4) следует, что область устойчивой работы автогенератора находится в пределах изменения параметра C1 от 350 до 210 пФ, т.е. отношение C1/C2 = 10,5...17,5.

В верхней части указанной области динамическая характеристика имеет форму эллипса (рис. 3). При этом обеспечивается наилучшее подавление высших гармонических составляющих выходного сигнала (рис. 4), форма выходного тока и напряжения близка к синусоидальной форме. Увеличение глубины обратной связи (уменьшение отношения C1/C2) приводит к искажению формы динамической характеристики (рис. 3), ухудшению подавления высших гармонических составляющих (рис. 4) и искажению формы выходного тока и напряжения.

Здесь необходимо отметить, что изменение глубины обратной связи за счет изменения параметра приводит также к незначительному изменению частоты генерации (рис. 4). Компенсацию частотных отклонений автогенератора можно обеспечить без изменения глубины обратной связи благодаря подстройке параметра колебательной системы.

### 2.3 Методика исследования кварцевого резонатора в среде MWO

Для анализа и оптимизации автогенератора с кварцем в коле-

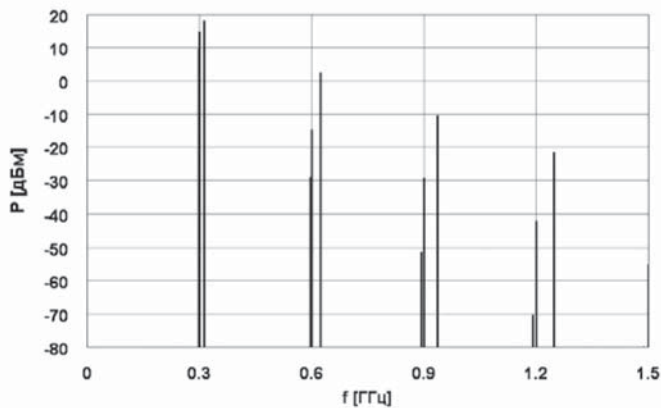


Рис. 4. Спектр выходного сигнала автогенератора

бательной системе необходимо вначале провести анализ частотных характеристик кварцевого резонатора, предназначенного для работы на заданной частоте.

Алгоритм анализа кварцевого резонатора в среде MWO следующий.

W1 Ввод исходных данных.

Ввод параметров кварцевого резонатора из справочных данных.

W2 Составление компьютерной модели кварцевого резонатора с включенным измерительным портом для исследования частотных характеристик активной и реактивной составляющих его сопротивления.

W3 Построение графиков частотных характеристик активной и реактивной составляющих сопротивления кварцевого резонатора в прямоугольной системе координат и на диаграмме Смита.

W4 Анализ частотных характеристик кварцевого резонатора.

Определение области частот, в которой резонатор имеет индуктивное сопротивление для работы в осцилляторной схеме автогенератора.

Если параметры резонатора не удовлетворяют требованиям технического задания по его использованию в схеме автогенератора, идти к W2 для уточнения параметров требуемого резонатора.

W5 Вывод частотных характеристик активной и реактивной составляющих сопротивления выбранного кварцевого резонатора (рис. 5, 6).

При удовлетворительных результатах анализа программа завершает свою работу.

Результаты анализа частотных характеристик активной и реактивной составляющих сопротивления кварцевого резонатора поз-

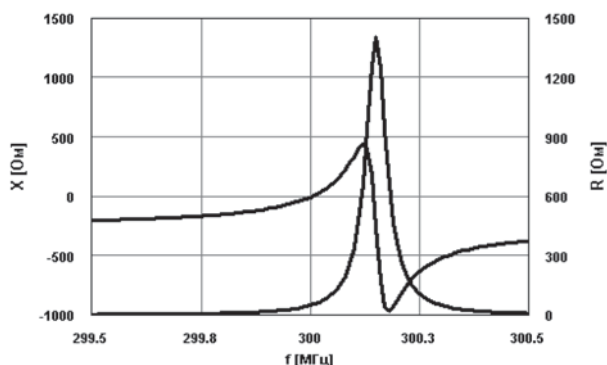


Рис. 5. Частотные характеристики кварцевого резонатора

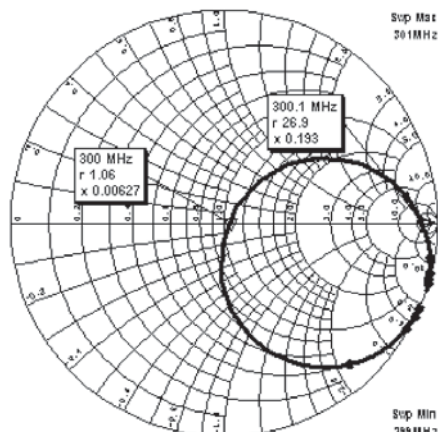


Рис. 6. Частотные характеристики кварцевого резонатора на диаграмме Смита

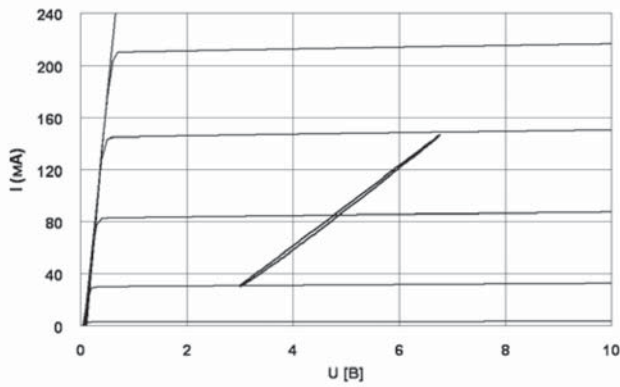


Рис. 7. Динамическая характеристика кварцевого автогенератора

воляют перейти к рассмотрению методики анализа и оптимизации автогенератора с кварцем в колебательной системе.

2.4. Методика анализа и оптимизации автогенератора с кварцем в колебательной системе

Проведем исследование автогенератора, представленного на рис. 2, с кварцевым резонатором в качестве .

Критерием оптимизации является заданная частота колебаний автогенератора при максимальном подавлении высших гармонических составляющих в спектре выходного сигнала.

Алгоритм программы анализа и оптимизации автогенератора в среде MWO следующий.

S1 Ввод исходных данных.

Ввод компьютерной модели транзистора из программы подготовки к проведению исследований.

Ввод инструмента для построения статических характеристик.

Ввод инструмента для построения динамических характеристик.

S2 Составление компьютерной модели схемы автогенератора с включенным анализатором спектра выходного колебания — зондом OSCAPROBE и кварцевым резонатором в качестве индуктивности.

S3 Задание параметров измерительного зонда (диапазон частот измерения, разрешающая способность) с учетом результатов исследования кварцевого резонатора.

S4 Установка параметров для измерения динамических характеристик автогенератора, уровня спектральных составляющих выходного сигнала.

S5 Построение графиков динамических характеристик автогенератора, спектральных составляющих выходного сигнала, временных зависимостей выходного тока и напряжения.

S6 Анализ работоспособности автогенератора по динамическим характеристикам, спектру выходного сигнала, временным зависимостям выходного тока и напряжения.

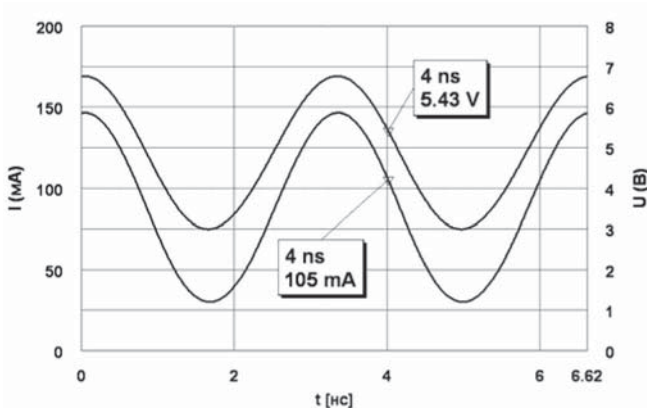


Рис. 9. Временные зависимости выходного тока и напряжения

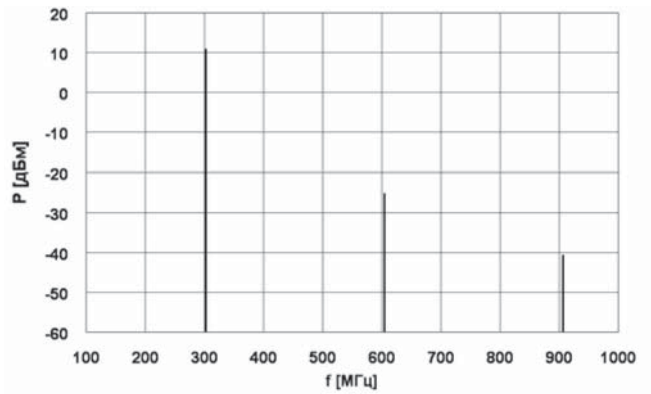


Рис. 8. Спектр выходного сигнала кварцевого автогенератора

Если генерация отсутствует, идти к S2 для увеличения коэффициента передачи по цепи обратной связи, уточнения параметров измерительного зонда.

S7 Проверка выполнения критерия оптимизации, выполняемая путем последовательного итерационного изменения параметров колебательной системы и глубины обратной связи автогенератора.

Критерием оптимизации в данном случае является заданная частота колебаний автогенератора при максимальном подавлении высших гармонических составляющих в спектре выходного сигнала.

Если критерий оптимизации не выполняется, идти к S2.

S8 Вывод динамической характеристики (рис. 7), спектра выходного сигнала (рис. 8), временных зависимостей выходного тока и напряжения (рис. 9).

S9 Вывод схемы автогенератора по окончании процесса оптимизации (рис. 10).

При удовлетворительных результатах оптимизации программа завершает свою работу.

Результаты анализа и оптимизации различных вариантов схем автогенераторов, приведенные в настоящем разделе, позволяют дать сравнительную оценку их динамическим и спектральным характеристикам.

**Заключение**

1. Разработка прикладной САПР "Телеком-MWO" с использованием инструментальной среды проектирования AWR Microwave Office позволяет с наименьшими затратами адаптировать зарубеж-

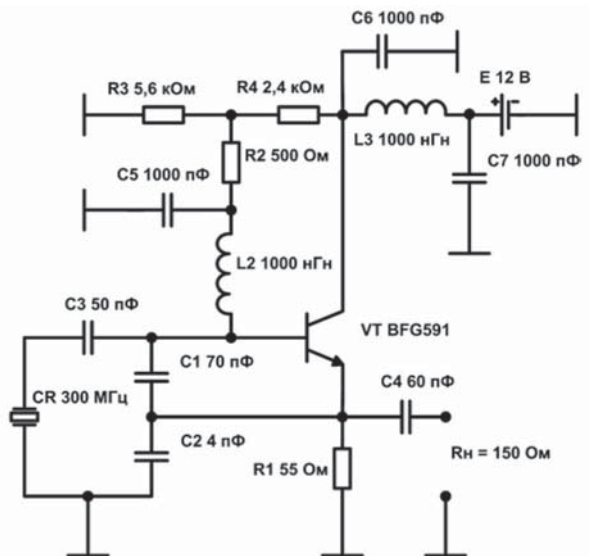


Рис. 10. Схема кварцевого автогенератора по окончании процесса оптимизации

ные технологии для решения научных, инженерных задач создания отечественных телекоммуникационных устройств и систем, не уступающих по своим качественным показателям зарубежным аналогам.

2. В настоящее время САПР "Telecom-MWO" позволяет исследовать и проектировать ряд элементов и систем телекоммуникационных радиопередающих устройств: генераторов с внешним возбуждением, систем сложения мощности, автогенераторов, систем фазовой синхронизации, синтезаторов частот, модуляторов. САПР постоянно совершенствуется, расширяет круг прикладных задач исследования и проектирования в области телекоммуникационных систем и устройств.

3. Предложенные методики проектирования телекоммуникационных передающих устройств в САПР "Telecom-MWO", представленные в виде алгоритмов и программ, зарегистрированы в Отраслевом фонде алгоритмов и программ Федерального агентства по образованию [1].

4. Приведенный пример исследования автогенераторов показывает наглядность полученных результатов и позволяет сделать следующие выводы:

— динамические характеристики автогенераторов (рис. 2, 10) имеют существенные отличия, связанные с различной добротностью колебательных систем; в генераторе с кварцевым резонатором выходной ток и напряжение практически синфазны (рис. 9), в результате динамическая характеристика из эллипса (рис. 1) перерождается в линию (рис. 7), имеющую небольшое раздвоение в ее средней части;

— динамические характеристики позволяют оценить область устойчивой работы автогенератора при изменении глубины обратной связи (рис. 3); увеличение глубины обратной связи приводит к значительным искажениям формы динамической характеристики в результате искажений формы тока и напряжения; при уменьшении глубины обратной связи динамическая характеристика принимает форму эллипса; искажения формы выходного тока и напряжения минимальны, что приводит к лучшему подавлению высших гармонических составляющих выходного сигнала;

— анализ работы кварцевого резонатора по его частотным характеристикам (рис. 5, 6) позволяет оценить диапазон частот, при котором резонатор имеет индуктивное сопротивление, т.е. область частот, в которой возможно возникновение самовозбуждения генератора; это в значительной мере упрощает анализ и оптимизацию

кварцевых автогенераторов (рис. 10) в инструментальной среде MWO.

5. Результаты разработки и внедрения САПР "Telecom-MWO" имеют существенное значение для отрасли телекоммуникаций, заключающееся в повышении качества и надежности разрабатываемых устройств, сокращения сроков проектирования.

## Литература

1. Система автоматизированного проектирования телекоммуникационных устройств "Telecom-MWO" с использованием инструментальной среды AWR Microwave Office / Карякин В.В., Карякин Д.В. — М.: Федеральное агентство по образованию. Отраслевой фонд алгоритмов и программ, № г/р 9010, 2007.

2. Карякин В.В. Информационные технологии моделирования биполярных транзисторов в САПР "Telecom-MWO" // Информационные технологии — 2008. — № 3. — Т. 6. — С. 86-93.

3. Карякин Д.В. Технологии создания САПР "Telecom-MWO", развития производства и компьютерного моделирования полевых транзисторов // Информационные технологии. — 2008. — № 3. — Т. 6. — С. 94-99.

4. Карякин В.В., Карякин Д.В. Система автоматизированного проектирования телекоммуникационных устройств "Telecom-MWO" // Сборник трудов международной научно-практической конференции "Телеком-2007". — Ростов на Дону: СКФ МТУСИ, 2007 — С. 28-33.

5. Карякин В.В., Карякин Д.В. Автоматизация проектирования телекоммуникационных устройств с использованием инструментальной среды AWR Microwave Office // Сборник трудов международной научно-практической конференции "Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2007". — Одесса: Черноморье, 2007. — С. 72-75.

6. Карякин Д.В. Нелинейные модели полевых транзисторов в САПР на основе инструментальной среды AWR Microwave Office // Сборник научных трудов "Управление созданием и развитием систем, сетей и устройств телекоммуникаций". — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2008. — С. 259-269.

7. <http://tv.psu.ru>

8. Отчет о научно-исследовательской работе "Информационные технологии автоматизированного проектирования усилителей мощности телекоммуникационных передающих устройств" / Карякин В.Л., Карякин В.В., Карякин Д.В., Толмачев В.Б. — Самара: ПГУТИ, № г/р 0120.0805277, 2008. — 172 с.