

Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ

# ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА

Самара

В.Л. Карякин

**УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ  
И ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ  
В СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ**

**УЧЕБНИК ДЛЯ ВУЗОВ**

*Рекомендовано УМО по образованию в области  
телекоммуникаций в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по специальности  
210402 – «Средства связи с подвижными объектами»  
направления подготовки дипломированных специалистов 210400 –  
Телекоммуникации*



**«РАДИО И СВЯЗЬ»**

**МОСКВА 2007**

УДК 621.373.14(075.8)

ИБ № 3204

Устройства генерирования и формирования сигналов в системах подвижной радиосвязи: Учебник для вузов/ В.Л. Карякин - М: Радио и связь, 2007. – 433 с. ISBN 5-256-01816-7

В учебнике рассмотрены аналитические и компьютерные методы анализа работы генераторов с внешним возбуждением. Основное внимание уделяется информационным технологиям анализа и оптимизации усилителей мощности в нелинейном режиме большого сигнала, а также усилителей мощности в линейном режиме малого сигнала с использованием инструментальной среды AWR Microwave Office .

Даны методы оптимизации цепей согласования на сосредоточенных элементах, в микрополосковом исполнении и на коаксиальных линиях. Приводятся основные технические характеристики зарубежных транзисторов.

Рассмотрены особенности оптимизации и проектирования усилителей мощности мобильных телевизионных радиопередатчиков.

Приводится методика электродинамического анализа и оптимизации нагрузки усилителей мощности передатчиков систем подвижной связи..

Обсуждаются методы формирования и стабилизации сетки высокостабильных частот в возбуждателях передатчиков, фильтрующие свойства систем фазовой синхронизации и алгоритмы оптимизации, методы модуляции при передаче цифровой и аналоговой информации.

Показаны особенности построения структурных схем передатчиков подвижной связи с амплитудной, угловой и однополосной модуляцией, мобильных телевизионных передатчиков и передатчиков спутниковой системы связи.

Учебник предназначен для студентов специальности 210402 «Средства связи с подвижными объектами» направления подготовки дипломированных специалистов 210400 Телекоммуникации, окажется полезным для аспирантов, магистров и инженерно-технических работников, специализирующихся в области разработки телекоммуникационных передающих устройств; а также для студентов специальностей 210405 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение», 210302 «Радиотехника», 210403 «Защищенные системы связи» по основным разделам курсов «Радиопередающие устройства», «Устройства генерирования и формирования сигналов», «Устройства генерирования, формирования и передачи сигналов в защищенных системах радиосвязи».

Ил. 472, библиограф. 45 назв.

Рецензенты: д.т.н., проф. М.А. Сиверс – г. Санкт-Петербург, СПбГУТ  
д.т.н., проф. И.Н. Пустынский – г. Томск, ТУСУР

*Учебное издание*

Карякин Владимир Леонидович

***Устройства генерирования и формирования сигналов в системах  
подвижной радиосвязи***

Компьютерное редактирование – Д.В. Карякин, В.В. Карякин

Издательская лицензия № 010164 от 29.01.97 г.  
Подписано в печать 21.05.07

ISBN 5-256-01816-7

© В.Л. Карякин, 2007

## Оглавление

Введение.....	7
1 Генераторы с внешним возбуждением в режиме большого сигнала .10	
1.1 Аналитические методы анализа работы генераторов с внешним возбуждением в нелинейном режиме большого сигнала....	11
1.1.1 Идеализация статических характеристик транзисторов.11	
1.1.2 Динамические характеристики транзисторов.....	13
1.1.3 Гармонический анализ косинусоидальных импульсов..17	
1.1.4 Нагрузочные характеристики генератора с внешним возбуждением.....	20
1.1.5 Влияние амплитуды возбуждения, питающих напряжений и температуры на режим генератора с внешним возбуждением..	22
1.1.6 Нелинейная модель биполярного транзистора..	28
1.1.7 Формы токов биполярного транзистора с учетом его инерционности при возбуждении от источника напряжения ..34	
1.2 Компьютерные технологии анализа и оптимизации генераторов с внешним возбуждением.....	38
1.2.1 Методические указания по использованию пакета Microwave Office.....	39
1.2.2 Методика построения семейства статических характеристик транзистора.....	49
1.2.3 Методика построения динамических характеристик генератора с внешним возбуждением.....	54
1.2.4 Методика измерения входного сопротивления генератора с внешним возбуждением.....	60
1.2.5 Оптимизация схемы генератора с внешним возбуждением в режиме большого сигнала .....	64
2 Генераторы с внешним возбуждением в режиме малого сигнала...96	
2.1 Компьютерные технологии анализа и оптимизации широкополосного усилителя мощности.....	96
2.1.1 Общие сведения по использованию пакета программ Microwave Office.....	96
2.1.2 Анализ работы усилителя мощности.....	101
2.1.3 Параметрическая оптимизация усилителя мощности..	105
3 Высокочастотные трансформаторы сопротивлений в усилителях мощности.....	116
3.1 Схемы высокочастотных трансформаторов сопротивлений.116	
3.1.1 Требования, предъявляемые к цепям согласования... 116	
3.1.2 Методы построения принципиальных схем высокочастотных трансформаторов сопротивлений... 118	
3.1.3 Согласующие цепи на микрополосковых линиях...121	
3.1.4 Широкополосные согласующие цепи на коаксиальных линиях.122	

3.2	Оптимизация цепей согласования усилителей мощности...	122
3.2.1	Оптимизация трехзвенной Г-цепи.....	123
3.2.2	Оптимизация Т-цепи .....	139
3.2.3	Оптимизация П-цепи .....	146
3.2.4	Оптимизация двухзвенной Г-цепи на микрополосковых линиях .....	154
3.2.5	Оптимизация широкополосных согласующих цепей на коаксиальных линиях .....	162
4	Усилители мощности телевизионных передатчиков	176
4.1	Методы построения усилителей мощности телевизионных передатчиков .....	176
4.1.1	Структурная схема одноконтурного усилителя мощности...	177
4.1.2	Схемы двухконтурного усилителя мощности .....	180
4.2	Элементная база усилителей мощности телевизионных передатчиков.....	189
4.2.1.	Анализ характеристик зарубежных транзисторов....	189
4.3	Оптимизация усилителей мощности телевизионных передатчиков	213
4.3.1	Исходные данные.....	214
4.3.2	Оптимизация входной цепи согласования усилителя мощности	215
4.3.3	Оптимизация выходной цепи согласования усилителя мощности	235
4.3.4	Разработка топологии печатной платы микрополосковой конструкции усилителя мощности.....	245
4.3.5	Оценка энергетических характеристик усилителя мощности ..	248
5	Оптимизация излучающей микрополосковой нагрузки усилителей мощности мобильных передатчиков.....	254
5.1	Общие сведения об излучающих полуволновых вибраторах	254
5.2	Электродинамический анализ работы симметричного микрополоскового вибратора.....	256
5.3	Схемотехнический анализ работы симметричного микрополоскового вибратора с цепями согласования	269
5.4	Оптимизация симметричного микрополоскового вибратора с цепями согласования .....	281
6	Возбудители радиопередатчиков.....	292
6.1	Технические характеристики возбудителей радиопередатчиков.....	292
6.2	Методы формирования и стабилизации сетки частот	294
6.2.1	Методы прямого синтеза .....	295
6.2.2	Методы косвенного синтеза частот ....	298
6.3	Фазовые шумы в синтезаторах частот.....	306
6.3.1	Стабильность источников колебаний опорных частот	306
6.3.2	Виды фазовых шумов .....	308
6.3.3	Фазовые шумы генераторов.....	309
6.3.4	Фазовые шумы делителей.....	311
6.3.5	Методы снижения фазовых шумов.....	312
6.4	Выбор метода синтеза частот .....	314

6.5	Фильтрующие свойства системы фазовой синхронизации	317
6.5.1	Математическая модель СФС.....	317
6.5.2	Параметрическая оптимизация СФС по минимуму дисперсии фазового шума выходного колебания	322
6.5.3	Алгоритмы оптимизации контуров управления СФС	324
7	Методы модуляции .....	355
7.1	Передача цифровых данных.....	355
7.1.1	Амплитудная манипуляция .....	356
7.1.2	Частотная манипуляция.....	357
7.1.3	Фазовая манипуляция.....	357
7.1.4	Многоуровневая фазовая манипуляция	360
7.1.5	Оценка эффективности различных методов манипуляции.....	360
7.1.6	Квадратурная амплитудная модуляция	363
7.2	Передача аналогового информационного сигнала	364
7.2.1	Амплитудная модуляция.....	364
7.2.2	Угловая модуляция.....	366
8	Передачики систем связи с подвижными объектами	368
8.1	Общие сведения о беспроводных системах связи	368
8.1.1	Особенности построения ведомственных систем радиосвязи.....	383
8.1.2	Особенности построения сотовых сетей общего пользования.....	388
8.1.3	Основные принципы функционирования DECT систем	399
8.2	Структурные схемы передающих устройств радиостанций подвижной связи .....	406
8.3	Радиопередатчики с амплитудной и однополосной модуляцией ..	411
8.4	Радиопередатчики с угловой модуляцией...	413
8.5	Радиопередатчики спутниковых систем связи	414
8.5.1	Сравнение спутниковых систем Инмарсат, Глобалстар, Турайя, Иридиум	418
8.5.2	Структурные схемы передатчиков спутниковой связи	420
8.6	Радиопередатчики телевизионные .....	421
8.6.1	Общие сведения.....	421
8.6.2	Структурная схема мобильного телевизионного передатчика	424
9	Перспективы развития техники радиопередающих устройств	427
	Литература.....	430

## Введение

Устройства генерирования и формирования сигналов являются обязательной составной частью любой радиотехнической системы передачи информации. Представление об этих устройствах необходимо специалисту телекоммуникаций по средствам связи с подвижными объектами.

Курс «Устройства генерирования и формирования сигналов в системах подвижной радиосвязи» является одним из профилирующих по специальности «Средства связи с подвижными объектами». По этому курсу читаются лекции, проводятся практические занятия, занятия в лаборатории, выполняется курсовое проектирование, проводится производственная и преддипломная практика и, наконец, дипломное проектирование.

Целью курса является подготовка студентов к самостоятельной инженерной деятельности в промышленных и эксплуатационных предприятиях различных ведомств, а также в научно-исследовательских и конструкторских организациях. Устройства, предназначенные для генерирования, усиления и управления высокочастотными колебаниями в телекоммуникациях принято также называть «Радиопередающие устройства».

Новые технологии в проектировании и изготовлении радиопередающих устройств в литературе освещены недостаточно полно. Методика проектирования радиопередатчиков на отечественной элементной базе наиболее полно изложена в книгах [1-3]. Однако данная методика не позволяет в полной мере реализовать возможности зарубежной элементной базы, а также не ориентирована на компьютерное моделирование. Эффективным способом решения задач проектирования передатчиков является использование инструментальной среды AWR Microwave Office (AWR MWO) [4, 6-10, 12, 15-18, 20, 37-45].

Это направление весьма перспективно, поскольку оно позволяет максимально учитывать особенности современных транзисторов, использовать новые зарубежные технологии в проектировании и конструировании радиопередатчиков.

Используемые до настоящего времени системы проектирования СВЧ-оборудования компаний Hewlett-Packard, Ansoft, Eagleware разработаны в 70-х и 80-х годах и предназначались для работы в ОС UNIX, лишь затем адаптированы для Windows. Как следствие, известные пакеты программ HP Advanced Design System, Momentum, Maxwell EM, HFSS, Microwave Explorer, Serenade, GENESYS, IE3D уступают по производительности в работе с Windows пакету AWR MWO. Первую версию системы проектирования СВЧ устройств AWR MWO компания Applied Wave Research (AWR) представила 1998 году.

AWR изначально ориентировалась на ОС Windows, использовала объектно-ориентированное программирование, что позволило создать программный продукт оптимальный во многих отношениях: высокопроизводительный, доступный в использовании, с высокой степенью интеграции.

Инструментальная система AWR MWO написана на объектно-ориентированном языке C++ и может легко адаптироваться для решения новых

прикладных задач, в частности, для создания системы автоматизированного проектирования усилителей мощности телекоммуникационных передающих устройств.

В учебнике рассмотрены аналитические и компьютерные методы анализа работы генераторов с внешним возбуждением. Основное внимание уделяется информационным технологиям анализа и оптимизации усилителей мощности в нелинейном режиме большого сигнала, а также усилителей мощности в линейном режиме малого сигнала с использованием инструментальной среды AWR Microwave Office.

Даны методы оптимизации цепей согласования на сосредоточенных элементах, в микрополосковом исполнении и на коаксиальных линиях. Приводятся основные технические характеристики зарубежных транзисторов.

Рассмотрены особенности оптимизации и проектирования усилителей мощности мобильных телевизионных радиопередатчиков. Приводится методика электродинамического анализа и оптимизации нагрузки усилителей мощности передатчиков систем подвижной связи.

Обсуждаются методы формирования и стабилизации сетки частот в возбудителях передатчиков, фильтрующие свойства систем фазовой синхронизации и алгоритмы оптимизации, методы модуляции при передаче цифровой и аналоговой информации. Показаны особенности построения структурных схем передатчиков подвижной связи с амплитудной, угловой и однополосной модуляцией, мобильных телевизионных передатчиков и передатчиков спутниковой системы связи.

Отмечается, что перспективы развития техники радиопередающих устройств определяются номенклатурой современных мощных транзисторов и модульных усилителей мощности, а также возможностями информационных технологий их проектирования. Автор выражает признательность Д.В. Карякину, В.В. Карякину за помощь в подготовке рукописи. Параграфы 1.2.3–1.2.5 книги написаны Д.В. Карякиным, параграфы 2.1.2, 2.1.3, 4.3.2, 4.3.3 – В.В. Карякиным.

Учебник предназначен для студентов специальности 210402 «Средства связи с подвижными объектами» направления подготовки дипломированных специалистов 210400 Телекоммуникации, окажется полезным для аспирантов, магистров и инженерно-технических работников, специализирующихся в области разработки телекоммуникационных передающих устройств; а также для студентов специальностей 210405 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение», 210302 «Радиотехника», 210403 «Защищенные системы связи» по основным разделам курсов «Радиопередающие устройства», «Устройства генерирования и формирования сигналов», «Устройства генерирования, формирования и передачи сигналов в защищенных системах радиосвязи».

Учебник опубликован, как в печатном издании, так и на компакт-дисках, расположен на сайте Центра дистанционного образования Поволжской государственной академии телекоммуникаций и информатики, зарегистрирован в отраслевом фонде алгоритмов и программ Федерального агентства по образованию.