

О. В. ГОЛОВИН

УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ, ФОРМИРОВАНИЯ, ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Рекомендовано УМО по образованию в области телекоммуникаций
в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся
по специальностям «Средства связи с подвижными объектами»
и «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»

МОСКВА
ГОРЯЧАЯ ЛИНИЯ - ТЕЛЕКОМ
2012

УДК 621.396.6
ББК 32.84
Г61

Головин О. В.

Г61 Устройства генерирования, формирования, приема и обработки сигналов. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 783 с., ил.

ISBN 978-5-9912-0196-4.

Рассматриваются назначения, функции, свойства, основополагающие схемы радиоприемников и радиопередатчиков, представления о физических процессах, происходящих в них. Изложены принципы построения, схемотехнические решения и главные количественные соотношения устройств, являющиеся в основном общими как для радиопередатчиков, так и для радиоприемников. К таким устройствам, достаточно подробно рассмотренных в девяти разделах книги, относятся: усилители, генераторы, синтезаторы частот, преобразователи частоты, маломощные усилители, модуляторы, детекторы. Помимо этого рассмотрены особенности построения, принципы действия и структурные схемы в целом радиоприемников и радиопередатчиков, применяемых в различных радиоэлектронных системах.

Для студентов вузов и факультетов телекоммуникаций, бакалавров и магистров связи, будет полезна студентам радиотехнических специальностей, а также специалистам в области разработки и эксплуатации радиотехнических устройств.

ББК 32.84

Адрес издательства в Интернете WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Головин Олег Валентинович

**УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ, ФОРМИРОВАНИЯ,
ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ**

Компьютерная верстка И. Н. Алексеевой
Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 21.09.2011.
Печать офсетная. Формат 70×100/16. Уч.-изд. л. 59,7. Тираж 500 экз.

ISBN 978-5-9912-0196-4

© О.В. Головин, 2012

© Издательство «Горячая линия – Телеком», 2012

Предисловие

Каналом радиосвязи называют совокупность технических средств и среды распространения (открытого пространства), в которой сигналы, отображающие передаваемую информацию, распространяются от ее источника к ее получателю. Сигналы от источника сообщения в системах радиосвязи и радиовещания вначале преобразуются в канале связи в электрический сигнал, изменяющийся соответственно этому сообщению, который управляет радиочастотными колебаниями. Эти колебания, называемые модулированными, несущие передаваемое сообщение, преобразуются в радиоволны и излучаются антенной в пространство. Формирование модулированного радиочастотного колебания подлежащего излучению, осуществляются в радиопередатчике. Для формирования этого колебания необходимо в радиопередатчике сформировать радиочастотное колебание несущей частоты, осуществить модуляцию этого колебания электрическим сигналом, отображающим передаваемое сообщение и для обеспечения необходимой выходной мощности, осуществить его усиление. Тогда, основные функции, возлагаемые на радиопередатчик – это генерирование несущего радиоколебания, его модуляция и усиление. Воспроизведение передаваемого сообщения осуществляется в устройстве воспроизведения радиоприемника, при воздействии на его антенну радиоволн, поступающих от антенны радиопередатчика. Радиоприемник осуществляет преобразование модулированных радиочастотных колебаний в электрический сигнал, отображающий переданное сообщение. При этом необходимо учитывать, что радиоприемник должен обеспечивать прием требуемого сигнала на фоне колебаний от всевозможных помех. Таким образом, в радиоприемнике необходимо обеспечить преобразование улавленного антенной сигнала, его фильтрацию от помех, усиление и детектирование. Все это говорит о том, что в радиопередатчике и радиоприемнике много общих функций, таких как усиление, генерирование колебаний, фильтрация, преобразование частоты и т. д.

В данной книге рассматриваются устройства, являющиеся, в основном, общими как для радиопередатчиков, так и для радиоприемников, что полезно при проектировании, оптимизации и рассмотрении работы канала связи в целом; помимо этого анализируются специфические устройства, характерные для работы либо радиопередатчика, либо радиоприемника. В книге выделены девять разделов: в первом рассмотрена классификация радиоволн, предусматривающая разделение полного их диапазона на девять частных, особенности радиоканалов, функциональные схемы радиопередающих и радиоприемных устройств; во втором – принципы работы, схемы и методика анализа усилителей, физические процессы, происходящие при усилении гармонических и импульсных сигналов; в третьем – теория и схемы построения генераторов различных диапазонов радиоволн, методы синтеза и схемы синтезаторов частот; в четвертом и пятом – анализируются основы теории, схемотехника и методы расчета преобразователей частоты и малошумящих усили-

телей, в шестом и седьмом – свойства, физические процессы, теоретические основы анализа и структурные схемы модуляторов и детекторов различных видов сигналов, в восьмом и девятом разделах рассмотрены особенности построения, принципы действия и схемы в целом радиоприемников и радиопередатчиков, применяемых в различных радиоэлектронных системах. В этих разделах проанализированы также способы регулировок основных параметров, вопросы помехоустойчивости, применение микропроцессоров для контроля и управления работой радиоприемников и радиопередатчиков. Для обобщения основных положений материала, рассмотренных в каждом параграфе, каждый из них заканчивается подытоживающими выводами. При работе над рукописью книги был учтен многолетний опыт преподавания на кафедрах радиоприемных и радиопередающих устройств Московского Технического Университета Связи и Информатики. Автор считает, что книга будет полезна в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Средства связи с подвижными объектами» и «Радиосвязь, радиовещание и телевидение», бакалаврам и магистрам связи, а также специалистам в области разработки и эксплуатации радиотехнических устройств.

Автор выражает глубокую признательность доцентам М.С. Шумилину и Э.А. Шевцову за предоставленные материалы для написания ряда параграфов данной книги.

Оглавление

Предисловие	3
-------------------	---

Раздел I. КАНАЛЫ РАДИОСВЯЗИ

1. Представления о каналах связи	5
1.1. Радиосвязь и ее значение для человечества	5
1.2. Диапазоны радиоволн	6
1.3. Каналы радиосвязи	8
1.4. Сигналы в каналах радиосвязи	11
1.5. Помехи радиосвязи	13

Раздел II. УСИЛИТЕЛИ

2. Показатели качества усилителя	17
2.1. Структурная схема усилителя	17
2.2. Классификация усилителей	19
2.3. Коэффициенты усиления	21
2.4. Коэффициент полезного действия	28
2.5. Нелинейные искажения в усилителе	28
2.6. Коэффициент шума, шумовая температура и амплитудная характеристика усилителя	32
3. Общие сведения об усилителях	40
3.1. Основные задачи при проектировании усилительного каскада	40
3.2. Обратная связь в усилителях	40
3.3. Способы включения усилительных элементов по переменному току	51
3.4. Эквивалентные схемы усилительных элементов	55
3.5. Составные транзисторы. Каскодный усилитель	59
3.6. Цепи питания усилительных элементов по постоянному току	62
3.7. Цепи межкаскадной связи и виды усилительных каскадов	78
4. Каскады предварительного усиления	82
4.1. Особенности работы и методика анализа	82
4.2. Резисторный каскад	83
4.3. Коррекция амплитудно-частотных и переходных характеристик широкополосных и импульсных усилителей	100
5. Резонансные усилители	115
5.1. Назначение, структура и виды резонансных усилителей	115
5.2. Методика анализа транзисторных резонансных усилителей	117
5.3. Коэффициент усиления одноконтурного резонансного усилителя	121
5.4. Устойчивость одноконтурного резонансного усилителя	128
5.5. Многокаскадные резонансные усилители	133
5.6. Коэффициент шума транзисторных резонансных усилителей	135
5.7. Резонансный усилитель с многоконтурным фильтром	138
5.8. Область применения резонансных усилителей в радиоприемниках	144
6. Оконечные и предоконечные каскады	153
6.1. Особенности работы и методика анализа	153

6.2. Динамические характеристики	154
6.3. Режимы работы усилительных элементов	161
6.4. Амплитудная характеристика и нелинейные эффекты резонансного усилителя	169
6.5. Однотактные каскады	170
6.6. Двухтактные трансформаторные каскады	178
6.7. Двухтактные бестрансформаторные каскады	188
6.8. Усилители с отрицательной обратной связью. Повторители	194
6.9. Особенности оконечных каскадов широкополосных и импульсных усилителей	198
6.10. Фазоинверсные каскады	199
6.11. Особенности оконечных резонансных усилителей мощности	204
7. Базовые устройства в усилителях на интегральных микросхемах ..	217
7.1. Усилители постоянного тока	217
7.2. Операционные усилители	224
7.3. Усилители в интегральном исполнении	236

Раздел III. ГЕНЕРАТОРЫ

8. Автогенераторы диапазонов СЧ и ВЧ	249
8.1. Принцип работы и структурная схема автогенератора	249
8.2. Разновидности режима самовозбуждения	251
8.3. Частота колебаний автогенератора	256
8.4. Особенности построения схем транзисторных автогенераторов	260
8.5. Необходимость и способы обеспечения стабильности частоты автогенераторов передатчиков	263
8.6. Кварцевые резонаторы	269
8.7. Кварцевые автогенераторы	274
9. Синтезаторы частот	281
9.1. Стабильность частоты настройки. Методы синтеза частот	281
9.2. Аналоговые синтезаторы частот	286
9.3. Цифровые синтезаторы частот	294
9.4. Примеры построения СЧ в приемопередающих устройствах	304
10. Генераторы диапазонов ОВЧ, УВЧ и СВЧ	317
10.1. Генераторы диапазонов ОВЧ и УВЧ	317
10.2. Основные типы усилительных и генераторных приборов СВЧ	322
10.3. Устройства СВЧ на клистродах	324
10.4. Устройства СВЧ на лампах бегущей и обратной волны	329
10.5. Транзисторные СВЧ устройства	339
10.6. Диодные СВЧ генераторы	342

Раздел IV. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

11. Преобразователи частоты	351
11.1. Назначение, структурная схема и принцип работы преобразователей частоты	351
11.2. Основы линейной теории преобразователей частоты	353

11.3. Побочные каналы приема в супергетеродинных приемниках	357
11.4. Диодные преобразователи частоты	362
11.5. Транзисторные преобразователи частоты	367
11.6. Балансные преобразователи частоты	371

Раздел V. МАЛОШУМЯЩИЕ УСИЛИТЕЛИ

12. Малошумящие усилители	380
12.1. Виды малошумящих усилителей	380
12.2. Усилители на туннельном диоде	382
12.3. Параметрические усилители	384
12.4. Транзисторные усилители СВЧ	395
12.5. Квантовые усилители	399

Раздел VI. МОДУЛЯТОРЫ

13. Передатчики с амплитудной модуляцией	403
13.1. Основные понятия амплитудной модуляции	403
13.2. Модуляция изменением смещения на управляющей сетке лампы или базе транзистора	410
13.3. Анодная и коллекторная модуляция	412
14. Передатчики с угловой модуляцией	415
14.1. Основные понятия угловой модуляции	415
14.2. Методы получения угловой модуляции	422
14.3. Частотный модулятор	424
14.4. Фазовый модулятор	425
15. Передатчики с однополосной модуляцией	427
15.1. Основные понятия однополосной модуляции и ее особенности	427
15.2. Структурные схемы передатчиков с ОМ	430
15.3. Балансный модулятор	432
15.4. Усиление мощности однополосных колебаний	434
16. Телеграфная манипуляция	436
16.1. Телеграфная манипуляция в передатчиках	436
16.2. Схемы телеграфной манипуляции	445
17. Передатчики с импульсной модуляцией	447
17.1. Основные понятия и характеристики импульсной модуляции, область применения	447
17.2. Классификация импульсных модуляторов	453
17.3. Импульсный модулятор жесткого типа с емкостным накопительным элементом	455
17.4. Импульсный модулятор мягкого типа с искусственной длинной линией	457

Раздел VII. ДЕТЕКТОРЫ

18. Амплитудные детекторы	460
18.1. Классификация детекторов. Принцип работы амплитудного детектора ..	460
18.2. Анализ установившегося режима диодного детектора	465
18.3. Входное сопротивление последовательного диодного детектора	471

18.4. Параллельный диодный детектор	473
18.5. Диодное детектирование АМ-колебаний	474
18.6. Разновидности амплитудных детекторов	479
18.7. Диодное детектирование радиоимпульсов	483
18.8. Пиковый детектор	486
19. Амплитудные ограничители. Частотные и фазовые детекторы	488
19.1. Амплитудные ограничители	488
19.2. Принцип действия и структурные схемы частотных детекторов	494
19.3. Виды частотных детекторов	497
19.4. Назначение, структурная схема фазовых детекторов	510
19.5. Виды фазовых детекторов	511
20. Цифровые детекторы	515
20.1. Цифровые амплитудные детекторы	515
20.2. Цифровые амплитудные ограничители	518
20.3. Цифровые фазовые детекторы	519
20.4. Цифровые частотные детекторы	520

Раздел VIII. РАДИОПРИЕМНИКИ

21. Общие сведения о радиоприемных устройствах	523
21.1. Структурные схемы приемника	523
21.2. Чувствительность радиоприемника	531
21.3. Селективность радиоприемника	534
21.4. Другие показатели качества радиоприемника	539
22. Входные цепи радиоприемников	541
22.1. Назначение, структурная схема и классификация входных цепей	541
22.2. Коэффициент передачи входной цепи	542
22.3. Изменение резонансного коэффициента передачи по диапазону	552
22.4. Коэффициент шума входной цепи	556
22.5. Расстройка контура входной цепи и способы ее уменьшения	560
22.6. Особенности входных цепей различных частотных диапазонов	562
23. Регулировки в радиоприемниках	567
23.1. Назначение и виды регулировок	567
23.2. Регулировка усиления	567
23.3. Автоматическая регулировка усиления	571
23.4. Настройка диапазонных радиоприемников	580
23.5. Автоматическая подстройка частоты	592
23.6. Регулировка полосы пропускания	597
23.7. Дистанционное управление и контроль	599
23.8. Устройства индикации	606
23.9. Применение микропроцессоров для контроля и управления работой приемников	608
24. Помехоустойчивость радиоприемных устройств	615
24.1. Помехи радиоприему	615
24.2. Понятие о помехоустойчивости РПУ	618

24.3. Методы борьбы с помехами в РПУ	619
24.4. Действие сосредоточенных помех на приемник	620
24.5. Действие импульсных помех на приемник	623
24.6. Действие флуктуационных помех на приемник	629
25. Радиоприемники непрерывных сигналов	634
25.1. Область применения и виды приемников	634
25.2. Приемники амплитудно-модулированных сигналов	637
25.3. Приемники однополосных сигналов	641
25.4. Приемники частотно-модулированных сигналов	643
26. Радиоприемники дискретных сигналов	650
26.1. Область применения и структурные схемы радиоприемников	650
26.2. Искажения импульсных сигналов в радиотракте приемника	652
26.3. Радиоприемники сигналов частотного телеграфирования	657
26.4. Радиоприемники сигналов фазового телеграфирования	661
27. Радиоприемные устройства различного назначения	664
27.1. Радиовещательные приемники	664
27.2. Профессиональные радиоприемные устройства декаметрового диапазона	677
27.3. Радиолокационные приемники	687
27.4. Приемники системы персонального радиовызова	701
Раздел IX. РАДИОПЕРЕДАТЧИКИ	
28. Общие сведения о радиопередающих устройствах	713
28.1. Классификация, показатели качества, структурные схемы радиопередатчиков	713
28.2. Умножители частоты	715
28.3. Сложение мощностей нескольких генераторов	718
28.4. Широкодиапазонные усилители	724
28.5. Микропроцессоры в передатчиках	731
29. Структурные схемы некоторых видов передатчиков	734
29.1. Области применения передатчиков	734
29.2. Радиовещательные передатчики	734
29.3. Телевизионные передатчики	739
29.4. Радиопередатчики фиксированной и подвижной радиосвязи в диапазоне ВЧ	743
29.5. Радиопередатчики спутниковой связи	755
29.6. Радиопередатчики наземной подвижной связи	767
Список литературы	777