

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, мал шумящие 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 радиокосебания, 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 |