

В.Т. Першин

---

# ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВУЗОВ

В.Т. Першин

---

# ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Допущено

Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов специальностей  
"Моделирование и компьютерное проектирование  
радиоэлектронных средств", "Проектирование  
и производство радиоэлектронных средств",  
"Микро- и нанoeлектронные технологии и системы"  
учреждений, обеспечивающих получение  
высшего образования



Минск  
"Вышэйшая школа"  
2006

УДК 621.37/.39(075.8)

ББК 32я73

П27

*Рецензенты:* кафедра последипломного образования Минского высшего государственного колледжа связи (заведующий кафедрой доктор технических наук, профессор *Л.Л. Клюев*); главный научный сотрудник Института электроники НАН Республики Беларусь, доктор технических наук *В.А. Зайка*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.*

### **Першин, В. Т.**

**П27 Основы радиоэлектроники : учеб. пособие / В. Т. Першин. – Мн. : Выш. шк., 2006. – 399 с. : ил. ISBN 985-06-1054-9.**

Учебное пособие отражает наиболее важные идеи курса «Основы радиоэлектроники».

В книге на современном уровне изложена теория обработки сигналов (усиление, модуляция, детектирование, умножение и преобразование частоты, корреляционный прием и др.), рассмотрены особенности построения схем супергетеродинных вещательных и специальных радиоприемников, в том числе телевизионных.

Представлен ряд примеров практических расчетов, выполненных с помощью математического пакета Mathcad 2000 Professional, использующего средства символьной алгебры.

Для студентов вузов, учащихся радиотехнических колледжей и училищ.

УДК 621.37/.39(075.8)

ББК 32я73

ISBN 985-06-1054-9

© Першин В.Т., 2006

© Издательство «Вышэйшая школа», 2006

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Радиоэлектроника представляет собой область науки и техники, решающей вопросы получения, хранения, преобразования и передачи информации на расстояние с помощью излучения электромагнитных колебаний. Она непрерывно обогащается новейшими научно-техническими достижениями, находится в состоянии совершенствования и развития. За почти столетний период сформировались основные принципы радиоэлектроники как науки и как области научно-технических знаний.

Автор стремился охватить основные идеи использования теоретических результатов в области создания усилительных, радиопередающих и радиоприемных устройств (в том числе телевизионных) и достаточно глубоко изложить теорию и обработку сигналов (усиление, модуляцию, детектирование, умножение и преобразование частоты, корреляционный прием и др.), рассмотрел особенности построения схем супергетеродинных вещательных и специальных радиоприемников, в том числе телевизионных.

Предполагается, что читатель владеет элементами высшей математики, знаком с основами теории цепей, понимает принципы работы вакуумных и полупроводниковых приборов.

*Книга служит основным источником информации по курсу «Основы радиоэлектроники» для студентов специальностей, учебные планы которых не предусматривают отдельных дисциплин по усилительным, радиоприемным и радиопередающим устройствам, но отводят достаточное время для изучения основ радиоэлектроники в одном курсе.*

Конечно, в одной книге невозможно отразить содержание и методику проведения практических и лабораторных занятий. Отметим только, что они всецело подчинены задаче хорошего усвоения студентами идей лекционного курса «Основы радиоэлектроники». Критерием выполнения этой задачи является изучение практических вопросов, связанных с построением схем супергетеродинных вещательных приемников первого или второго классов и телевизионных приемников 4–5-го поколений на уровне их принципиальных электрических схем. По-

этому объяснение теоретических вопросов привязано к практическим решениям, реализованным в принципиальных схемах радиопередатчиков и радиоприемников различного назначения.

Отметим, что при изучении данного курса широко используется практика решения задач в среде пакета символьной алгебры *Mathcad 2000 Professional*. В книге содержится ряд примеров выполнения таких расчетов.

Курс «Основы радиоэлектроники» формально можно разделить на две части.

В первой изучаются вопросы сугубо теоретического характера. Здесь рассматриваются: спектральный анализ периодических и непериодических сигналов; измерительные радиотехнические сигналы; случайные сигналы; модулированные по амплитуде, частоте и фазе колебания; дискретизация и квантование сигналов. В дополнение к спектральным представлениям рассмотренных при изучении амплитудно-модулированных колебаний разновидностям колебаний с амплитудной модуляцией (двухполосной, однополосной, балансной, с подавленной одной боковой полосой, с частично подавленной боковой полосой, квадратурной) на примере анализа спектра сигнала, полученного с помощью амплитудно-импульсной модуляции, поясняются принципы импульсной модуляции. Кроме того, рассмотрено прохождение сигналов через линейные радиотехнические цепи с применением возможностей универсального математического пакета *Mathcad*, а также изложена теория усиления и генерирования колебаний.

Вторая часть курса в большей степени наполнена практическим содержанием. Как правило, результаты теоретического анализа здесь рассматриваются в практических схемных решениях, позволяющих студентам овладеть практическими схемами радиовещательных и телевизионных радиоприемников.

В работе над книгой помощь автору оказали сотрудники кафедры электроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Особенно большую помощь оказали С.В. Дробот и В.Т. Мыхлик. Многочисленные и ценные замечания сделали при рецензировании рукописи настоящего учебного пособия заведующий кафедрой последипломного образования Минского высшего государственного колледжа связи доктор технических наук, профессор Л.Л. Ключев и главный научный

сотрудник Института электроники НАН Республики Беларусь доктор технических наук В.А. Зайка.

Выражаю своим коллегам по работе и рецензентам искреннюю благодарность.

*Автор*

Глава

**1**

## **ЗАДАЧИ И НАПРАВЛЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

### **1.1. Радиоэлектроника как область науки и техники**

В качестве составных частей радиоэлектроники можно выделить *радиотехнику, электронику и микроэлектронику*.

Одна из важнейших задач радиотехники – осуществление связи на большие расстояния с помощью излучения электромагнитных волн.

Электроника – это область науки и техники, занимающаяся вопросами взаимодействия электронов с электромагнитными полями и методами создания вакуумных, газоразрядных и полупроводниковых приборов и устройств.

Микроэлектроника представляет собой раздел электроники, связанный с созданием электронных функциональных узлов, блоков и отдельных устройств в микроминиатюрном исполнении на основе группового изготовления радиоэлементов и печатного монтажа.

**Основные направления современной радиоэлектроники.** К числу основных направлений современной радиоэлектроники можно отнести:

- связь (проводную связь, фототелеграфную связь, радиосвязь и т.д.);
- радиоэлектронную аппаратуру широкого применения (звукозапись, звуковоспроизведение, усилительную аппаратуру, радиоприемную аппаратуру, телевидение, электронные часы и т.д.);

- промышленную электронику (управление промышленными процессами, измерительную аппаратуру, устройства электропитания, автоматики, телеуправления, медицинскую аппаратуру и т.д.);

- вычислительную технику и техническую кибернетику (электронные устройства вычислительной техники, автоматические системы управления, обучающие и контролируемые машины и т.д.);

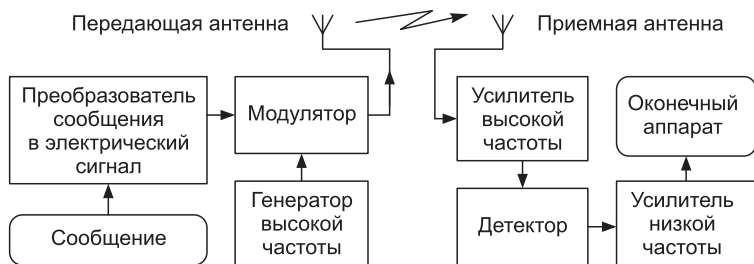
- специальную технику (радиолокацию, радионавигацию, инфракрасную технику, ядерную электронику, биологическую электронику, оптические квантовые генераторы и т.д.).

Из этого перечня основных направлений радиоэлектроники можно сделать вывод о многообразии вопросов, которыми в той или иной степени занимается радиоэлектроника.

## 1.2. Структурная схема радиоканала

Структурная схема радиоканала связи (рис. 1.1) включает передающее и приемное устройства, разделенные свободным пространством. Эта схема отражает *основную особенность радиоэлектроники – передачу информации на расстояние с помощью электромагнитного излучения, распространяющегося в свободном пространстве.*

Информация передается в виде сообщений. При передаче электронным способом сообщение преобразуется в *электрический сигнал*. Под электрическим сигналом мы будем понимать электрическое напряжение или ток, содержащие в себе информацию о каком-либо событии либо изменяющиеся во времени с заранее известными характеристиками. Например, для передачи на расстояние звучания камертона методами радиоэлектроники нужно преобразовать акустические колебания в электрические. Это легко реализуется с помощью микрофо-



**Рис. 1.1.** Структурная схема канала связи

на. При передаче на расстояние информации об изображении объекта можно воспользоваться видеокamerой, которая создаст электрический сигнал, называемый *видеосигналом*, закон изменения которого будет повторять закон изменения яркости передаваемого объекта. В результате таких преобразований мы каждый раз получаем электрическое напряжение, изменяющееся по тому же закону, что и передаваемое сообщение.

Электрическое напряжение или ток, используемые для измерения характеристик радиотехнических цепей и их контроля, называются *измерительным радиотехническим сигналом*. В практике такие сигналы называются *испытательными*, хотя ГОСТ 16465-70 не рекомендует использовать такое название.

Конечно, электрический сигнал можно усилить и подвести к передающей антенне. Однако, будучи медленно меняющимся процессом, он не может вызвать существенного излучения. Поэтому на передающем узле радиоканала осуществляется *модуляция* – процесс *запечатления* информации о передаваемом сообщении в изменении одного или нескольких параметров высокочастотного колебания, которое создает заметное излучение антенны и может распространяться в свободном пространстве с небольшими потерями. Процесс модуляции осуществляется в модуляционном устройстве, на один вход которого подается электрический сигнал, представляющий собой сообщение в электрической форме, а на другой – высокочастотное гармоническое колебание  $U(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$ , где  $U_m$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$  – амплитуда, частота и начальная фаза высокочастот-



ного колебания соответственно. Модуляционное устройство создает на своем выходе модулированное колебание, которое, являясь высокочастотным, может с малыми потерями распространяться в окружающем антенну пространстве и содержит информацию о передаваемом сообщении в изменении одного из своих параметров. Это колебание называется *радиосигналом*. В зависимости от того, какой параметр высокочастотного колебания изменяется в соответствии с законом передаваемого сообщения, различают три основных вида модуляции: *амплитудную, частотную и фазовую*.

На приемном конце канала связи осуществляется прием излученного радиосигнала и выполняется процесс выделения из радиосигнала переданного сообщения, который называется *демодуляцией* или *детектированием*. После детектирования сигнал подвергается усилению и затем подается на оконечный аппарат, представляющий собой динамическую головку, кинескоп, реле и т.п.

**Связь частоты сигнала с длиной электромагнитной волны.** Поскольку скорость распространения электромагнитных волн совпадает со скоростью света  $c = 300\,000$  км/с, то легко установить связь частоты  $F$  сигнала с длиной  $\lambda$  его электромагнитной волны. Длина волны представляет собой путь, который проходит волна за один период  $T = 1/F$  своего колебания:

$$\lambda = cT = c/F.$$

### 1.3. Диапазоны используемых в радиоэлектронике частот и особенности распространения радиоволн различных диапазонов

Деление радиоволн на диапазоны в радиосвязи установлено Международным регламентом радиосвязи. Диапазоны радиоволн и радиочастот следующие:

Декамегаметровые	100...10 Мм	3...30 Гц
Мегаметровые	10...1 Мм	30...300 Гц
Гектокилометровые	1000...100 км	0,3...3,0 кГц

Мириаметровые	100...10 км	3...30 кГц
Километровые	10...1 км	30...300 кГц
Гектометровые	1...0,1 км	0,3...3,0 МГц
Декаметровые	100...10 м	3...30 МГц
Метровые	10...1 м	30...300 МГц
Дециметровые	1...0,1 м	0,3...3,0 ГГц
Сантиметровые	10...1 см	3...30 ГГц
Миллиметровые	1,0... 1 м	30...300 ГГц
Децимиллиметровые	1,0...0,1 мм	0,3...3,0 ТГц

Для современной радиоэлектроники характерна тенденция перехода на более короткие волны, т.е. на более высокие частоты. При этом более коротковолновые диапазоны занимают более широкий диапазон частот.

Заметим, что в бытовой практике существует несколько иное распределение волн по диапазонам. Так, к *длинным волнам* относят волны, частоты которых не превышают 500 кГц, к *средним волнам* – частоты которых находятся в пределах 500...1600 кГц, к *коротким волнам* – частоты которых лежат в пределах от 1,6 МГц до 30 МГц, к *ультракоротким волнам* – частоты которых лежат в пределах от 30 МГц до 300 МГц, и волны СВЧ-диапазона, частоты которых превышают 300 МГц. Однако эта классификация не рекомендуется к применению государственными стандартами.

Деление радиоволн на диапазоны обусловлено в основном особенностями их распространения, что главным образом и определяет область применения того или иного из них. При этом учитываются технические возможности генерирования радиосигналов данного диапазона и уровень шумов и помех, действующих в данном диапазоне.

*Длинные волны* обладают хорошей дифракцией, сравнительно слабо поглощаются земной поверхностью и могут распространяться на расстояния до 3000 км.

*Средние волны* характеризуются значительно меньшей дифракцией по сравнению с длинными волнами и быстро затухают за счет поглощения их земной

поверхностью. Поэтому радиус действия радиостанций, работающих на средних волнах, является сравнительно небольшим и не превышает 1000 км. Днем средние волны сильно поглощаются в слоях ионосферы вследствие высокой концентрации электронов, создаваемой солнечной радиацией. Ночью средние волны распространяются на большие расстояния за счет отражения от ионосферы.

Распространение *коротких волн* сильно зависит от длины волны при дневных и ночных сеансах связи. Так, к дневным относятся волны длиной от 10 до 25 м, которые отражаются от ионосферы. В ночное время при пониженной концентрации электронов в слоях ионосферы дневные волны уходят в мировое пространство. Радиоволны длиной от 25 до 35 м применяются для радиосвязи в часы полусвеченности. К ночным относятся волны длиной от 35 до 100 м, которые распространяются на гораздо большие расстояния при слабой ионизации слоев ионосферы.

Следует отметить, что для вещательных целей используется диапазон коротких волн путем выбора сравнительно небольших полос частот:

Диапазон, м	Частота, МГц	Длина волны, м
75	3,95...5,25	75,9...57,1
49	5,95...6,20	50,4...48,4
41	7,10...7,30	42,2...41,1
31	9,50...9,775	31,6...30,7
25	11,70...12,10	25,6...24,8
19	15,10...15,45	19,9...19,4
16	17,70...17,9	16,9...16,0
13	21,45...21,75	14,0...13,8
11	25,60...26,10	11,7...11,5

Дальность радиосвязи на коротких волнах даже при малых мощностях передатчиков может достигать 5000 км и более. Однако такой радиосвязи присущ ряд недостатков, среди которых следует выделить наличие зон *молчания* и *замираний* сигналов в месте приема.

Регулярная связь на *ультракоротких волнах* на Земле возможна только в пределах прямой видимости,

так как ультракороткие волны не обладают дифракцией и поэтому не могут огибать выпуклости земной поверхности и не отражаются от ионосферы. Ультракороткие волны очень сильно поглощаются земной поверхностью. Радиовещание ведется с использованием УКВ на диапазонах частот от 65,8 до 74,0 МГц (4,56...4,05 м) и от 100,0 до 108,0 МГц (3,00...2,78 м) с использованием методов частотной модуляции.

Для телевизионного вещания отведено пять поддиапазонов в метровом и дециметровом диапазонах УКВ (в МГц): I (48,5...66), II (76...100), III (174...230), IV (470...622), V (622...958), позволяющих разместить более 70 каналов.

В настоящее время интенсивно развивается направление, использующее распространение волн в диапазоне СВЧ. Для таких волн характерны те же особенности, что и для диапазона ультракоротких волн. Свойство этих волн принизывать ионосферу используется в спутниковых системах телевидения и для связи с автоматическими станциями и космическими кораблями.

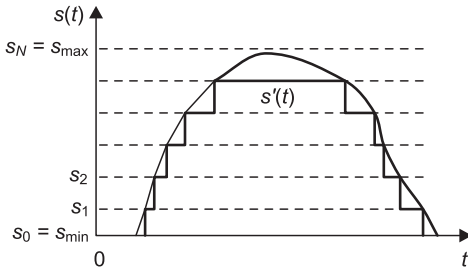
Для спутниковых систем радиосвязи Международным комитетом по регистрации частот (МКРЧ) выделены следующие полосы частот в диапазонах (в ГГц):  $L(1,452 - 1,500; 1,610 - 1,710)$ ,  $S(1,930 - 2,700)$ ,  $C(3,400 - 5,250; 5,725 - 7,075)$ ,  $X(7,250 - 7,750; 7,900 - 8,400)$ ,  $Ku(10,700 - 12,750; 12,750 - 14,800)$ ,  $Ka(14,400 - 26,500; 27,000 - 50,200)$ ,  $K(84,000 - 86,000)$ .

## 1.4. Квантование сигнала по уровню

*Квантование сигнала по уровню* – это замена сигнала  $s(t)$ , изменяющегося от  $s_{\min}$  до  $s_{\max}$ , счетным множеством значений его уровней  $s_0, s_1, s_2, \dots, s_N$ , отстоящих друг от друга на величину  $\Delta s = (s_{\max} - s_{\min})/N$ , называемую *шагом квантования*. Эти уровни можно перенумеровать, например, двоичными числами, количество разрядов которых

$$n \geq \log_2 N. \quad (1.1)$$

В результате квантования сигнала  $s(t)$  получается новый сигнал  $s'(t)$ , имеющий ступенчатую форму (рис. 1.2). При таком преобразовании сигнала появляется *ошибка квантования*, характеризующаяся величиной шага квантования, так как мгновенное значение кван-



**Рис. 1.2.** Квантование сигнала по уровню  
туемой величины может оказаться между соседними уровнями квантования. Часто точность выполнения операции квантования характеризуют относительной ошибкой квантования

$$\delta = \Delta s / s_{\max} = (s_{\max} - s_{\min}) / N s_{\max}. \quad (1.2)$$

Из (1.1) видно, что чем больше величина  $N$ , тем меньше сигнал  $s'(t)$  отличается от сигнала  $s(t)$ . С увеличением  $N$  возрастает число разрядов  $n$  представления двоичных чисел, что ведет к усложнению аппаратуры для обработки таких сигналов. Тем не менее квантование сигнала по уровню широко используется в микроэлектронных устройствах цифровой техники.

**Пример 1.1.** Определить число разрядов двоичных чисел для измерения напряжения  $U$  с относительной точностью  $\delta = 1\%$ , изменяющегося от 0 до 100 В.

В соответствии с (1.2) шаг квантования  $\Delta U = U_{\max} \delta = 100 \cdot 0,01 = 1$  В. Количество уровней квантования  $N = U_{\max} / \Delta U = 100$ . По формуле (1.1) разрядность двоичных чисел  $n \geq \log_2 N = 7$ .

## 1.5. Объем сигнала и пропускная способность канала связи

При передаче сигнала  $s(t)$  с верхней частотой спектра  $f_{\text{гр}}$  требуется передавать в единицу времени  $2f_{\text{гр}}$  импульсов. Если число уровней представления сигнала  $s(t)$  равно  $N$ , то для передачи одного значения  $s(t)$  число разрядов  $n$  в двоичной кодовой комбинации должно удовлетворять соотношению (1.1). Для передачи всего сообщения длительностью  $t$  надо  $(2f_{\text{гр}} \log_2 N)t$  импульсов, каждый из которых является элементарной единицей сообщения. Тогда величину

$$V = (2f_{\text{гр}} \log_2 N)t, \quad (1.3)$$

измеряемую в двоичных единицах, можно назвать *объемом сообщения*. Скорость передачи информации составляет  $C = V/t$  двоичных единиц в секунду. Следовательно,

$$C = 2f_{\text{гр}} \log_2 N. \quad (1.4)$$

Увеличение числа уровней сигнала приводит к увеличению скорости передачи. Однако большое число уровней сигнала и, следовательно, малый интервал между соседними градациями при сравнительно слабом шуме в приемнике не позволяют различать соседние градации и приводят к большой вероятности ошибок. К. Шеннон показал, что существует предельная скорость передачи, называемая *пропускной способностью канала*, при которой возможна передача с произвольной малой вероятностью ошибки.

К. Шеннон вывел формулу для пропускной способности канала:

$$C = f_{\text{гр}} \log_2 (P_c/P_{\text{ш}} + 1), \quad (1.5)$$

позволяющую оценить максимально возможную скорость безошибочной передачи информации по каналу. При заданной скорости  $C$  можно увеличить полосу передаваемых частот и уменьшить отношение  $P_c/P_{\text{ш}}$ ,

т.е. для достижения заданной скорости передачи при требуемой точности полоса пропускания и отношение  $P_c/P_{ш}$  могут обмениваться. Скорость передачи можно увеличить за счет увеличения как полосы пропускания, так и отношения сигнал/шум. Например, при сжатии сигнала во времени (для передачи большего числа сообщений за данный промежуток времени) возрастает скорость передачи сообщений, что объясняется тем, что при уменьшении длительности сигнала их мгновенные значения меняются быстрее, т.е. увеличивается их частота. Следовательно, при сжатии сигнала возникает проблема передачи его с более высокими частотами, что требует расширения полосы пропускания канала связи. Таким образом, *скорость передачи можно увеличить за счет расширения полосы пропускания канала связи.*

**Пример 1.2.** Найти число уровней передаваемого сигнала с шириной полосы 1 МГц по каналу связи с отношением сигнал/шум, равным 24 дБ.

Рассчитаем сначала пропускную способность канала связи:

$$C = 10^6 \cdot \log_2(251 + 1) \approx 8 \cdot 10^6 = 8 \text{ Мбит/с.}$$

Затем в соответствии с формулой (1.4) запишем  $8 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^6 \cdot \log_2 N$ , откуда  $N = 16$ .

## Глава

## 2

## СИГНАЛЫ

### 2.1. Классификация сигналов

Поскольку реальные физические процессы протекают во времени, то в качестве математической модели сигнала, представляющего эти процессы, используют

функции времени, отражающие изменения физических процессов.

Все сигналы можно разделить на детерминированные (известные) и случайные.

К *детерминированным* относятся сигналы, значения которых известны в любой момент времени. Если же значения сигнала невозможно предсказать с вероятностью, близкой к единице, то такой сигнал мы будем называть *случайным*. По форме все сигналы можно разделить на три группы: аналоговые, дискретные и цифровые.

*Аналоговый* сигнал описывается непрерывной (или кусочно-непрерывной) функцией  $x_a(t)$ , причем сама функция, как и ее аргумент, может принимать любые значения из выбранных пределов.

*Дискретный* сигнал получается в результате *дискретизации непрерывной функции*, представляющей замену непрерывной функции ее дискретными значениями, и описывается решетчатой функцией (последовательным временным рядом)  $x(nT)$ , который может принимать любые значения в некотором интервале, в то время как независимая переменная  $n$  принимает дискретные значения  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , а  $T$  представляет собой интервал дискретизации. Выполнение операции дискретизации основано на теореме Котельникова, согласно которой функция с верхней частотой спектра  $f_v$  полностью определяется последовательностью значений в точках отсчета (отсчетов), отстоящих одна от другой на временной интервал, равный  $1/2f_v$ .

*Цифровой* сигнал описывается *квантованной* решетчатой функцией (квантованной последовательностью, квантованным временным рядом)  $x_c(nT)$ , т.е. решетчатой функцией, принимающей лишь ряд дискретных значений, называемых *уровнями квантования*, в то время как независимая переменная  $n$  принимает значения  $0, \pm 1, \pm 2, \dots$ .

Заметим, что операции дискретизации и восстановления взаимно обратны в том случае, когда сигнал удовлетворяет требованиям теоремы Котельникова.



Операции квантования и восстановления сигнала не являются в общем случае взаимно обратными, так как квантование выполняется с неустранимой погрешностью. Переход от дискретного сигнала к цифровому в общем случае осуществляется неточно.

Кроме того, все сигналы можно также разделить на две категории: периодические и непериодические.

К *периодическим* отнесем те сигналы, которые можно описать некоторой временной функцией  $s(t)$ , такой, что для нее можно указать какое-то число  $T$ , такое, что для всякого  $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  будет выполняться условие  $s(t) = s(t + nT)$ . Если такого числа  $T$  для функции  $s(t)$  указать невозможно, то тогда сигнал, описываемый функцией  $s(t)$ , называется *непериодическим*. Число  $T$  называют *периодом функции*, а значит, и сигнала  $s(t)$  и для определенности полагают  $T > 0$ . Период сигнала связан с его частотой  $F$  известным соотношением  $T = 1/F$ . Частота колебания, имеющего период  $T = 1\text{с}$ , соответствует 1 Гц.

В радиоэлектронике широко используется так называемая *циклическая частота*  $\Omega = 2\pi F = 2\pi/T$ , размерность которой представляет отношение радиан/с.

При решении конкретных практических задач необходимо иметь в виду различие между размерностями

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
<b>Глава 1. Задачи и направления радиоэлектроники .....</b>	<b>5</b>
1.1. Радиоэлектроника как область науки и техники	5
1.2. Структурная схема радиоканала .....	6
1.3. Диапазоны используемых в радиоэлектронике частот и особенности распространения радиоволн различных диапазонов .....	8
1.4. Квантование сигнала по уровню .....	11
1.5. Объем сигнала и пропускная способность канала связи .....	12
<b>Глава 2. Сигналы .....</b>	<b>14</b>
2.1. Классификация сигналов .....	14
2.2. Детерминированные сигналы .....	17
2.3. Случайные сигналы .....	23
<b>Глава 3. Гармонический анализ сигналов .....</b>	<b>25</b>
3.1. Понятие гармонического анализа .....	25
3.2. Спектральный анализ периодических сигналов	25
3.3. Ряд Фурье, ограниченный первыми $m$ членами	36
3.4. Спектральный анализ непериодических сигналов .....	38
3.5. Сравнение спектров периодического и одиночного сигналов .....	43
<b>Глава 4. Амплитудно-модулированные (АМ) сигналы .....</b>	<b>45</b>
4.1. Аналитическое выражение для тонального АМ-колебания .....	45
4.2. Спектр АМ-колебания .....	47
4.3. АМ-колебания с однополосной модуляцией .....	49
4.4. АМ-колебания без несущей .....	49
4.5. АМ-колебания с частично подавленной боковой полосой .....	50
4.6. Мощность АМ-колебаний .....	51
<b>Глава 5. Сигналы с угловой модуляцией .....</b>	<b>53</b>

5.1. ФМ-колебания .....	54
5.2. ЧМ-колебания.....	56
5.3. Спектр сигнала с угловой модуляцией .....	57
5.4. Мощность сигнала с угловой модуляцией.....	63
<b>Глава 6. Дискретизация и квантование сообщений и сигналов.....</b>	<b>64</b>
6.1. Теорема Котельникова .....	64
6.2. Понятие об импульсно-модулированных колебаниях.....	68
6.3. Амплитудно-импульсная модуляция.....	69
<b>Глава 7. Случайные сигналы.....</b>	<b>72</b>
7.1. Основные понятия теории случайных сигналов... 73	
7.2. Стационарные и нестационарные процессы .....	76
7.3. Ковариационная и корреляционная функции.....	78
7.4. Математическое ожидание, ковариационная и корреляционная функции стационарного в узком смысле случайного процесса.....	79
7.5. Спектральный анализ случайных процессов.....	80
7.6. Свойства спектральной плотности.....	83
7.7. Понятие о ковариации (моменте связи) и коэф- фициенте ковариации .....	87
7.8. Корреляционная функция .....	88
7.9. Взаимная корреляционная функция .....	91
7.10. Помехи. Их свойства и математическое описание .....	94
7.11. Корреляционный анализ сигналов и корреля- ционный прием .....	96
7.12. Сравнение случайных и детерминированных сигналов.....	97
<b>Глава 8. Прохождение сигналов через линейные цепи .....</b>	<b>98</b>
8.1. Характеристики линейной цепи .....	99
8.2. Методы анализа линейных цепей.....	101
<b>Глава 9. Классификация, основные характеристические параметры электронных усилителей .....</b>	<b>110</b>
9.1. Классификация усилителей .....	111
9.2. Активные элементы усилителей .....	112
9.3. Основные характеристические параметры усилителей .....	113
<b>Глава 10. Выбор и стабилизация статического режима транзисторного усилителя .....</b>	<b>116</b>

10.1. Статические характеристики транзистора .....	117
10.2. Динамические характеристики транзисторно-го каскада.....	118
10.3. Питание цепей транзисторов .....	120
<b>Глава 11. Анализ работы линейного транзисторного усилителя.....</b>	<b>127</b>
11.1. Эквивалентная схема аperiodического транзисторного усилителя.....	128
11.2. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) аperiodического транзисторного усилителя.....	130
11.3. ФЧХ аperiodического транзисторного усилителя .....	134
11.4. Коррекция частотных характеристик усилителя .....	136
11.5. АЧХ резонансного (избирательного) усилителя .....	139
<b>Глава 12. Обратная связь в усилителях .....</b>	<b>141</b>
12.1. Структурные схемы усилителей с обратной связью .....	142
12.2. Коэффициент передачи усилителя с обратной связью .....	144
12.3. Влияние обратной отрицательной связи на параметры усилителя .....	145
12.4. Эмиттерный повторитель.....	145
12.5. Фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой .....	147
12.6. Устойчивость усилителей с обратной связью... ..	147
12.7. Влияние цепи обратной связи через источник питания на устойчивость усилителя.....	149
<b>Глава 13. Анализ работы усилителя при больших уровнях входного сигнала (нелинейное усиление) .....</b>	<b>151</b>
13.1. Усилитель при большом уровне входного сигнала.....	151
13.2. Методика расчета спектра выходного тока нелинейного усилителя.....	154
13.3. КПД нелинейного усилителя.....	155
13.4. Двухтактные схемы .....	156
13.5. Умножение частоты .....	158
13.6. Режимы работы усилителя .....	160
<b>Глава 14. Многокаскадные транзисторные усилители .....</b>	<b>161</b>

14.1. Структурная схема многокаскадного усилителя .....	162
14.2. Схемы межкаскадных связей .....	163
14.3. Устойчивость работы многокаскадных усилителей .....	166
14.4. Регулировки в усилителях .....	167
14.5. Операционные усилители (ОУ) .....	168
<b>Глава 15. Генерирование колебаний</b> .....	<b>173</b>
15.1. Физическая сущность возникновения колебаний в автогенераторе .....	174
15.2. Различные уровни изучения процессов в генераторе .....	175
15.3. Линейная теория автогенератора .....	176
15.4. Квазилинейная теория автогенератора .....	180
15.5. Обобщенная схема автогенератора в квазилинейной теории .....	181
15.6. Основные схемы автогенераторов и их эквивалентные схемы .....	183
15.7. Трехточечные схемы автогенераторов .....	185
15.8. Кварцевые генераторы .....	186
15.9. LC-генераторы на приборах с отрицательным сопротивлением .....	187
<b>Глава 16. Мягкий и жесткий режимы в автогенераторе</b> .....	<b>188</b>
16.1. Графическое определение стационарной амплитуды генерируемых колебаний. Устойчивость стационарной амплитуды .....	191
16.2. Зависимость тока в контуре от связи при различных режимах .....	194
<b>Глава 17. RC-генераторы</b> .....	<b>195</b>
17.1. Однокаскадная схема RC-генератора .....	195
17.2. Двухкаскадная схема RC-генератора .....	198
17.3. Необходимость введения автоматической регулировки усиления в RC-генераторах .....	201
<b>Глава 18. Изображение процессов в автогенераторе на фазовой плоскости</b> .....	<b>203</b>
18.1. Понятие фазового пространства .....	203
18.2. Фазовые портреты автоколебаний .....	206

<b>Глава 19. Нелинейные и параметрические преобразования сигналов</b> .....	<b>209</b>
19.1. Амплитудные модуляторы: работа и устройство .....	209
19.2. Частотная модуляция .....	218
19.3. Фазовая модуляция .....	225
19.4. Детектирование АМ-радиосигналов .....	228
19.5. Частотное детектирование .....	241
19.6. Фазовый детектор.....	264
19.7. Преобразование частоты.....	266
<b>Глава 20. Электронные устройства импульсной техники</b> .....	<b>276</b>
20.1. Ключевые устройства .....	276
20.2. Триггеры .....	284
20.3. Мультивибраторы .....	292
20.4. Блокинг-генераторы.....	298
20.5. Генераторы линейно изменяющегося напряжения и тока.....	303
<b>Глава 21. Устройства электропитания</b> .....	<b>307</b>
21.1. Трансформаторы .....	307
21.2. Выпрямители .....	308
21.3. Электронные стабилизаторы напряжения.....	316
21.4. Импульсные блоки питания .....	320
<b>Глава 22. Радиоприемные устройства</b> .....	<b>324</b>
22.1. Классификация радиоприемных устройств ...	324
22.2. Основные показатели качества радиоприемных устройств.....	324
22.3. Структурная схема приемника прямого усиления.....	325
22.4. Структурная схема супергетеродинного приемника .....	326
22.5. Недостатки супергетеродинного приемника	327
22.6. Выбор промежуточной частоты .....	330
22.7. Сопряжение настроек контуров .....	330
22.8. Электронная перестройка контуров.....	333
22.9. Особенности радиоприема ЧМ-сигналов.....	333
22.10. Автоматическая регулировка усиления (АРУ) в радиоприемных устройствах .....	333
22.11. Автоматическая подстройка частоты гетеродина (АПЧГ).....	334
22.12. Гетеродин в радиовещательном и телевизионном приемниках .....	338

22.13. АРУ и АПЧГ в телевизорах УПИМЦТ.....	340
22.14. Специализированные интегральные схемы радиоприемных устройств АМ- и ЧМ-сигналов.....	342
<b>Глава 23. Телевидение .....</b>	<b>342</b>
23.1. Физические основы и принцип передачи цветных изображений.....	342
23.2. Полоса частот радиоканала телевизионного вещания.....	352
23.3. Классификация систем телевидения.....	355
23.4. Низкочастотная коррекция цветоразностных сигналов .....	364
23.5. Высокочастотная коррекция спектра ЧМ-сигнала.....	365
23.6. Подавление амплитудной модуляции в канале цветности .....	367
23.7. Системы цветовой синхронизации .....	367
23.8. Схемы восстановления постоянной составляющей сигнала изображения .....	372
23.9. Структурная схема передающей части системы SECAM.....	376
23.10. Структурные схемы телевизионных приемников.....	378
23.11. MAC – новый стандарт европейского телевизионного вещания .....	387
23.12. Цифровое телевидение.....	387
23.13. Спутниковое телевидение.....	388
23.14. Новые направления телевизионного вещания.....	389
<b>Заключение .....</b>	<b>392</b>
<b>Литература .....</b>	<b>394</b>

Учебное издание

**Першин Виктор Тихонович**

## **ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Учебное пособие

Редактор *А.В. Новикова*

Художественный редактор *В.А. Ярошевич*

Технический редактор *Н.А. Лебедевич*

Корректоры *Е.З. Липень, Е.В. Савицкая*

Компьютерная верстка *С.В. Шнейдер*

Подписано в печать 06.04.2006. Формат 84×108/32. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Школьная». Офсетная печать. Усл.печ. л. 21,0. Уч.-изд. 18,37.  
Тираж 3100 экз. Заказ 960.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство "Вышэйшая школа"». ЛИ № 02330/0056829 от 02.03.2004. 220048, Минск, проспект Победителей, 11.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство "Белорусский Дом печати"». 220013, Минск, проспект Независимости, 79.