

# **СХЕМОТЕХНИКА ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

## **Аналоговые и импульсные устройства**

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2004

УДК 681.3(075.8)  
ББК 32.973-02я73  
Б72

**Бойко В. И. и др.**

Б72 Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства/ Авторы: В. И. Бойко, А. Н. Гуржий, В. Я. Жуйков, А. А. Зори, В. М. Спивак / — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 496 с.: ил.

ISBN 5-94157-434-7

В книге рассмотрены основные электронные компоненты и расчет аналоговых и импульсных систем на основе полупроводниковых приборов, интегральных операционных усилителей и интегральных логических микросхем. Учебник соответствует программам подготовки бакалавров, инженеров и магистров технического направления согласно требованиям государственных стандартов Украины и России. Отличительной особенностью книги является системное изложение аналоговой и импульсной схемотехники с учетом современных требований разработчиков аппаратного ПО.

*Для студентов, интересующихся электроникой,  
и специалистов электронной и микропроцессорной техники,  
специализирующихся в области разработки, изготовления  
и эксплуатации электронных систем и приборов*

УДК 681.3(075.8)  
ББК 32.973-02я73

**Группа подготовки издания:**

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Редактор	<i>Анатолий Хрипов</i>
Компьютерная верстка	<i>Натальи Караваевой</i>
Корректор	<i>Елена Самсонович</i>
Дизайн обложки	<i>Игоря Цырульникова</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

**Затверждено Міністерством освіти і науки України як підручник  
для студентів вищих навчальних закладів**

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 08.01.04.  
Формат 70×100<sup>1/16</sup>. Печать офсетная. Усл. печ. л. 40.  
Тираж 4 000 экз. Заказ № 3009  
"БХВ-Петербург", 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

Гигиеническое заключение на продукцию, товар № 77.99.02.953.Д.001537.03.02  
от 13.03.2002 г. выдано Департаментом ГСЭН Минздрава России.

Отпечатано с готовых диалозитивов  
в Академической типографии "Наука" РАН  
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12.

ISBN 5-94157-434-7

© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2004

# Содержание

Предисловие .....	1
Введение.....	7
<b>ЧАСТЬ I. АНАЛОГОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА .....</b>	<b>11</b>
<b>Глава 1. Усилительные устройства .....</b>	<b>13</b>
1.1. Электронные системы, подсистемы и узлы.....	13
1.2. Основные компоненты электронных устройств.....	14
1.3. Усилительные устройства, основные определения .....	17
1.4. Классификация и структурная схема усилителей .....	18
1.5. Основные технические показатели усилителей.....	20
Вопросы к главе 1.....	25
<b>Глава 2. RC-усилители напряжения на биполярных и полевых транзисторах.....</b>	<b>26</b>
2.1. Усилитель на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общей базой .....	26
2.2. Усилитель на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером.....	31
2.3. Усилитель на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим коллектором .....	41
2.4. Усилитель на полевом транзисторе, включенном по схеме с общим истоком.....	47
2.5. Усилитель на полевом транзисторе, включенном по схеме с общим стоком .....	52
Вопросы к главе 2.....	56

<b>Глава 3. Частотные характеристики RC-усилителей звуковых частот .....</b>	<b>57</b>
3.1. Звуковые частоты. Характеристики RC-усилителей напряжения в области средних, низких и верхних звуковых частот .....	57
3.2. Пространство состояний, передаточная функция, декомпозиция системы .....	69
3.3. Частотные характеристики электронных систем .....	75
3.4. Определения структуры электронной системы по виду логарифмических амплитудно-частотных характеристик .....	82
3.5. Примеры расчетов электронных систем с обратными связями .....	86
3.6. Примеры расчетов устойчивости систем и качества переходных процессов .....	99
Вопросы к главе 3 .....	109
<b>Глава 4. Усилители мощности .....</b>	<b>111</b>
4.1. Согласование источника сигнала с нагрузкой. Классификация усилителей мощности .....	111
4.2. Однотактные усилители мощности .....	114
4.3. Частотные характеристики усилителей мощности .....	121
4.4. Двухтактные усилители мощности .....	128
4.5. Бестрансформаторные усилители мощности .....	131
Вопросы к главе 4 .....	135
<b>Глава 5. Температурная нестабильность и нелинейные искажения каскадов .....</b>	<b>136</b>
5.1. Основные причины температурной нестабильности каскадов .....	136
5.2. Температурная стабилизация и компенсация каскадов .....	141
5.3. Причины нелинейных искажений. Входные динамические и сквозная характеристики каскада .....	145
5.4. Методы расчета нелинейных искажений .....	152
Вопросы к главе 5 .....	156
<b>Глава 6. Обратные связи в усилителях .....</b>	<b>157</b>
6.1. Общие понятия и классификация обратных связей .....	157
6.2. Влияние обратной связи на основные параметры усилителя .....	159
6.3. Влияние обратной связи на входное и выходное сопротивления усилителя .....	162
6.4. Практические схемы усилительных каскадов с обратными связями .....	168
6.5. Устойчивость усилителей с обратными связями .....	170
Вопросы к главе 6 .....	173

<b>Глава 7. Усилители постоянного тока.</b>	
<b>Дрейф нуля и способы его уменьшения.....</b>	<b>174</b>
7.1. Назначение и основные характеристики усилителей.	
Усилители на несущей частоте.....	174
7.2. Усилители с непосредственными связями.....	178
7.3. Дрейф нуля усилителей, основные причины и способы его уменьшения.....	186
7.4. Параллельно-балансные и дифференциальные каскады усилителей.....	190
Вопросы к главе 7.....	193
<b>Глава 8. Аналоговые микронеэлектронные структуры.....</b>	<b>194</b>
8.1. Классификация аналоговых интегральных микросхем и элементы их схемотехники, взаимные компоненты, входные каскады.....	194
8.2. Напряжение смещения, входные токи и их температурные дрейфы.....	199
8.3. Операционные усилители, эквивалентная схема усилителя.....	209
8.4. Экспериментальное определение основных параметров операционных усилителей.....	212
Вопросы к главе 8.....	217
<b>Глава 9. Построение решающих структур     на базе операционных усилителей. Линейные     и нелинейные функциональные преобразователи.....</b>	<b>218</b>
9.1. Инвертирующий и неинвертирующий усилители.....	218
9.2. Сумматоры, интеграторы и дифференциаторы на базе усилителей.....	224
9.3. Схемы установки нуля и частотной коррекции усилителей.....	230
9.4. Логарифмирующие и антилогарифмирующие схемы.....	232
9.5. Умножители и делители напряжений, выпрямители и детекторы сигналов.....	238
Вопросы к главе 9.....	242
<b>Глава 10. Избирательные (селективные) усилители.....</b>	<b>243</b>
10.1. Характеристики параллельного и последовательного колебательных контуров.....	245
10.2. Избирательные усилители $LC$ -типа.....	254
10.3. Общее положение теории избирательных $RC$ -систем.....	262
10.4. Двойной $T$ -образный мост, основные характеристики и параметры.....	264
10.5. Принципиальные схемы избирательных $RC$ -усилителей.....	270
Вопросы к главе 10.....	276

<b>Глава 11. Генераторы периодических колебаний LC-типа</b> .....	<b>277</b>
11.1. Методы анализа условий возбуждения генераторов .....	277
11.2. LC-генератор на полевом транзисторе с контуром в цепи затвора.....	281
11.3. Энергетический расчет, определение установившегося режима генератора.....	285
11.4. LC-генераторы на биполярных транзисторах .....	291
Вопросы к главе 11.....	298
<b>Глава 12. RC-генераторы</b> .....	<b>299</b>
12.1. Общие положения теории RC-генераторов.....	299
12.2. RC-генераторы с фазосдвигающими цепочками на 180°.....	301
12.3. RC-генератор с нулевой фазосдвигающей цепочкой .....	306
12.4. RC-генераторы повышенной стабильности.....	311
Вопросы к главе 12.....	315
<b>ЧАСТЬ II. ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА</b> .....	<b>317</b>
<b>Глава 13. RC-цепи при импульсном влиянии</b> .....	<b>319</b>
13.2. Прохождение импульсов через RC-цепи, дифференцирующие и разделительные цепи.....	322
13.3. Фиксаторы уровня в дифференцирующих RC-цепях .....	331
13.4. Интегрирующие RC-цепи.....	337
Вопросы к главе 13.....	341
<b>Глава 14. Формирователи прямоугольных импульсов</b> .....	<b>342</b>
14.1. Диодные ограничители последовательного и параллельного типов.....	342
14.2. Линейные модели транзистора в режиме большого сигнала .....	349
14.3. Расчеты транзисторных ключей .....	354
14.4. Транзисторный усилитель-ограничитель.....	361
14.5. Динамические характеристики транзисторных ключей .....	362
Вопросы к главе 14.....	369
<b>Глава 15. Мультивибраторы, одновибраторы. Генераторы линейно-изменяющегося напряжения, блокинг-генераторы</b> .....	<b>370</b>
15.1. Транзисторный мультивибратор, принцип действия, расчет периода колебаний .....	370

15.2. Регулировка частоты, термостабилизация и улучшение формы выходного напряжения мультивибратора.....	378
15.3. Транзисторный одновибратор. Принцип действия, осциллограммы, расчеты .....	383
15.4. Общая характеристика и принципы построения генераторов линейноизменяющегося напряжения .....	387
15.5. Автоколебательные генераторы на транзисторах. Ждущие генераторы на транзисторах и операционных усилителях.....	391
15.6. Автоколебательный и ждущий блокинг-генераторы, синхронизация блокинг-генераторов .....	403
Вопросы к главе 15.....	414
<b>Глава 16. Кодирование устройств. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи .....</b>	<b>415</b>
16.1. Кодирование временных интервалов, кодирование напряжений .....	416
16.2. Аналого-цифровые преобразователи. Основные характеристики и параметры .....	420
16.3. Цифро-аналоговые преобразователи. Структура, основные характеристики и параметры .....	425
16.4. Устройства выборки-хранения.....	431
Вопросы к главе 16.....	432
<b>Глава 17. Импульсные источники питания, элементная база силовой электроники и перспективы развития .....</b>	<b>433</b>
17.1. Структурные схемы и основные проблемы импульсных источников электропитания.....	434
17.2. Схемотехника основных блоков импульсных источников электропитания .....	437
17.3. Силовые полупроводниковые элементы.....	454
17.4. Тенденции развития электронных компонентов.....	465
Вопросы к главе 17.....	473
<b>Список литературы .....</b>	<b>475</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>479</b>

# Предисловие

Образование — это основа духовного, социального, экономического и культурного развития общества. Оно формирует интеллект нации, его цель — всестороннее развитие человека как личности и высочайшей ценности общества, развитие его талантов, умственных и физических способностей, воспитание высоких моральных качеств, формирование граждан, способных к сознательному общественному выбору. С получением независимости государства изменились функции высшего образования. Став национальным, оно должно не только удовлетворять потребность государства в квалифицированных кадрах для всех областей народного хозяйства, обеспечивать его современными научными разработками, снабжать всю систему образования соответствующими учебниками и пособиями, но, что главное, переориентировать всю систему на национальный путь развития и сохранить ее такой для грядущих поколений. Украина — европейское государство, поэтому наше образование должно не только строиться по современному образцу, но и вносить свой вклад в его развитие.

Электроника — это область современной физики и электротехники, которая занимается изучением и использованием явлений, приборов и систем, основанных на прохождении электрического тока в вакууме, газе и твердом теле, исследованием, разработкой электронных средств и систем и принципов их использования. Обмен информацией в электронных системах происходит при помощи сигналов, носителями которых могут быть разнообразные физические величины — токи, напряжения, магнитные состояния, световые волны. Различают аналоговые (непрерывные) сигналы и дискретные. Существуют два типа дискретных сигналов: первый получают дискретизацией непрерывных сигналов по уровню или по времени; второй — в виде набора кодовых комбинаций знаков.

Преимущества цифровых устройств и систем в сравнении с аналоговыми состоят в повышенной помехоустойчивости, высокой надежности, возможности



долговременно сохранять информацию без ее потери, экономической и энергетической эффективности, совместимости с интегральной технологией, высокой технологичности и повторяемости. К недостаткам можно отнести некоторое снижение быстродействия в сравнении с аналоговыми устройствами и системами.

В основе развития электроники лежит непрерывное усложнение ее функций. На новых этапах становится невозможным решать новые задачи старыми электронными средствами на основе существующей элементной базы. Возникают объективные условия для дальнейшего совершенствования элементной базы. Основные направления — повышение надежности, уменьшение габаритов, массы, стоимости и потребляемой мощности.

Важной задачей высшего образования является правильная ориентация будущего специалиста на стадии изучения фундаментальных и профессионально-ориентированных дисциплин специальности, где объединяется как глубина важных физических процессов, так и их разумный объем. Большинство учебников и учебных пособий, которые уже выпущены по аналоговой и цифровой схемотехнике, или посвящены изложению отдельных разделов этой дисциплины, или рассчитаны на большое количество аудиторных занятий, и дают общие сведения по основным разделам, недостаточно отображают тенденции развития современной электроники. В предлагаемом учебнике авторы попытались ликвидировать указанные недостатки.

Учебник состоит из трех томов: первый том — "Аналоговые и импульсные устройства"; второй том — "Цифровые устройства"; третий том — "Микропроцессоры и микроконтроллеры".

**Первый том** содержит 12 глав по аналоговой схемотехнике и 5 глав по импульсным устройствам, а именно:

- *глава 1* — основные компоненты электронных систем, подсистемы и узлы; усилители;
- *глава 2* — *RC*-усилители напряжения на биполярных и полевых транзисторах с различными схемами включения (общие эмиттер, база, коллектор, сток, исток);
- *глава 3* — частотные характеристики *RC*-усилителей звуковых частот, работа усилителя в области низких, средних и высоких частот; примеры расчетов;
- *глава 4* — согласование источника сигнала с нагрузкой, классификация усилителей мощности: однотактные, двухтактные, бестрансформаторные;
- *глава 5* — влияние температуры на характеристики биполярных транзисторов, сквозные характеристики каскадов, причины и методы расчета нелинейных искажений;

- *глава 6* — обратные связи, классификация, параллельные и последовательные обратные связи, обратные связи со сложением токов и напряжений, их влияние на схемные функции, параметры; показатели работы, условия устойчивости систем с обратными связями;
- *глава 7* — усиление постоянного тока, способы уменьшения дрейфа нуля, усилители на несущей частоте, с непосредственными связями, параллельно-балансные и дифференциальные каскады усилителей;
- *глава 8* — классификация аналоговых микроэлектронных структур, операционные усилители на интегральных микросхемах, элементы их схемотехники;
- *глава 9* — построение решающих структур на базе операционных усилителей, линейные и нелинейные функциональные преобразователи, сумматоры, интеграторы, дифференциаторы, логарифматоры, антилогарифматоры, умножители, делители, выпрямители, детекторы, схемы частотной коррекции и установки нуля;
- *глава 10* — общие положения теории селективных усилителей *RC*- и *LC*-типов;
- *глава 11* — *LC*-генераторы периодических колебаний на полевых и биполярных транзисторах;
- *глава 12* — основы теории *RC*-генераторов с разными типами четырехполюсников и обратной связи;
- *глава 13* — прохождения импульсов через *RC*-цепи, интегрирующие, дифференцирующие и разделительные цепочки, фиксаторы уровня;
- *глава 14* — формирователи прямоугольных импульсов, транзисторные ключи, ограничители, модели транзисторов в режиме большого сигнала;
- *глава 15* — мультивибраторы, одновибраторы; регулирование частоты, термостабилизация и улучшение формы выходного напряжения схем; генераторы линейно-изменяющегося напряжения, блокинг-генераторы в автоколебательном режиме и режиме ожидания;
- *глава 16* — анализ кодирующих устройств, АЦП и ЦАП, устройства выборки-хранения;
- *глава 17* — импульсные источники питания, элементная база силовой электроники и перспективы ее развития.

**Второй том — "Цифровые устройства"** — включает 12 глав, а именно:

- *глава 18* — математические основы цифровой схемотехники, системы счисления, коды, двоичная арифметика и формы представления чисел;

- глава 19 — теоретические основы синтеза цифровых автоматов и алгебра логики;
- глава 20 — анализ методов минимизации булевых функций, методы Карно — Вейча, Квайна, Мак-Клакси;
- глава 21 — классификация логических элементов цифровых устройств — базовые логические элементы;
- глава 22 — синтез комбинационных схем, мультиплексоры, демультимплексоры, сумматоры, шифраторы, дешифраторы, компараторы, преобразователи кодов;
- глава 23 — асинхронные, синхронные триггерные элементы, *RS*-, *D*-, *T*-, *JK*-триггеры;
- глава 24 — синтез цифровых автоматов, регистры сдвига, счетчики, цифровые фазосдвигатели;
- глава 25 — логические расширители, преобразователи уровней, таймеры;
- главы 26, 27 — статические и динамические запоминающие устройства, оперативная память и микросхемы постоянных запоминающих устройств;
- глава 28 — проектирование логических схем, переходные процессы, гонки, однофазная и двухфазная синхронизация;
- глава 29 — применение цифровых интегральных микросхем, помехоустойчивость, монтаж цифровых интегральных микросхем.

**Третий том — "Микропроцессоры и микроконтроллеры"** — включает 9 глав, а именно:

- глава 30 — общие принципы построения микропроцессорных систем, организация шин, понятие об архитектуре микропроцессоров, основные принципы построения микропроцессорных систем, основы программирования на языке Ассемблер;
- глава 31 — однокристалльные 8-разрядные и 16-разрядные микропроцессоры, сведения о системе команд микропроцессора *i8086*;
- глава 32 — старшие модели однокристалльных универсальных микропроцессоров (*i80286*, *i386*, *i486*, архитектура микропроцессоров *Pentium*);
- глава 33 — системы памяти: классификация постоянных и оперативных запоминающих устройств, построение модулей памяти, принципы организации стековой и кэш-памяти;
- глава 34 — интерфейсы устройств ввода-вывода — параллельный и последовательный интерфейс, контроллер клавиатуры и индикации,

программируемый таймер, контроллер прямого доступа к памяти, контроллер прерываний;

- *глава 35* — архитектура, функциональные возможности и система команд однокристальных микроконтроллеров с *CISC*-архитектурой, расширение возможностей, пример применения для управления двигателем постоянного тока;
- *Глава 36* — однокристальные микроконтроллеры с *RISC*-архитектурой: *PIC*-контроллеры, *AVR*-микроконтроллеры;
- *глава 37* — сигнальные микропроцессоры обработки данных в формате с фиксированной и плавающей запятой, их характеристики и функциональные возможности;
- *глава 38* — нейронные вычислители и их функции, основы построения нейронных сетей, алгоритмы обучения, аппаратная реализация.

В учебнике в доступной форме изложены основные разделы схемотехники по программе подготовки бакалавров, инженеров и магистров направления "Электроника" для специальностей "Электронные системы" и "Физическая и биомедицинская электроника" согласно требованиям государственного стандарта Украины. Это может повысить эффективность не только аудиторных занятий, но и самостоятельной работы студентов. Материал скомпонован таким образом, что каждый следующий раздел является логическим продолжением предыдущего.

В результате изучения курса схемотехники студенты усвоят принципы функционирования, выбора, практической реализации устройств и систем электроники различного назначения, методы их анализа и расчета по заданным статическим и динамическим параметрам, а также принципы разработки систем управления электронными системами. Студент должен знать: принципы построения и функционирования устройств аналоговой и цифровой схемотехники; принципы выбора методов анализа и расчета электронных устройств с заданными характеристиками; принципы построения и функционирования микропроцессорных и микроконтроллерных систем, а также уметь: рассчитывать электронные цепи; обобщать динамические показатели электронных устройств; выполнять расчеты разнообразных электронных устройств с организацией банка данных, разрабатывать структурные и принципиальные схемы, а также программное обеспечение микропроцессорных систем управления устройствами электроники.

Учебник написан на основе опыта преподавания указанных дисциплин согласно программам бакалаврской, инженерной и магистерской подготовки по направлению "Электроника" в НТТУ "КПИ", Донецком национальном

техническом университете и Днепродзержинском государственном техническом университете.

Авторы выражают признательность сотрудникам кафедр "Промышленная электроника" Киевского НТУУ "КПІ", "Электронная техника" Донецкого НТУ и "Электроника и автоматика" Днепродзержинского ДТУ за работу по подготовке оригинал-макета и обсуждению учебного материала, а также доценту ДонНТУ В. Ф. Сенько за подготовку материалов и написание разделов 17.1, 17.2.

Авторы искренне признательны рецензентам за большую работу по внимательному рассмотрению рукописи, их ценные замечания и рекомендации относительно улучшения отдельных разделов, которые были учтены при доработке рукописи и, безусловно, способствовали улучшению содержания учебника.

Все отзывы и пожелания авторы просят направлять по адресу издательства. Без разрешения авторов размножение и перепечатка книг запрещены.

# Введение

Промышленное развитие электроники включает два направления:

- информационное, к которому относятся электронные средства и системы измерения, контроля и управления разнообразными технологическими процессами на производстве, в научных исследованиях, биологии, медицине. Усилители сигналов, генераторы напряжений, токов, мощности разной формы и частоты, логические схемы, счетчики, индикаторные устройства — все это устройства и системы информационной электроники, которая основана на использовании интегральных микросхем.
- силовое (энергетическое) направление — связанное с преобразованиями переменного и постоянного токов для потребностей электроэнергетики, металлургии, химии, электротяги транспорта и др. Основными видами электронных систем являются выпрямители, инверторы, преобразователи частоты, управляемые преобразователи.

Электронные системы по способу формирования и передачи сигналов управления разделяют на два класса аналоговые (непрерывные) и дискретные (прерывистые), которые в свою очередь делятся на импульсные, релейные и цифровые.

*Аналоговые электронные устройства и системы* предназначены для приема, преобразования и передачи электрического сигнала, который изменяется по закону непрерывной (аналоговой) функции. В электронной системе аналогового типа каждому конкретному значению реальной физической величины на входе датчика отвечает однозначное, целиком определенное значение выбранного электрического параметра постоянного или переменного тока. Это может быть напряжение или ток на участке электрической цепи, частота, фаза и др.

При этом сама физическая величина, как и ее электрический эквивалент, принимая бесконечное число значений, могут быть определены в любой произвольный момент времени и изменяться в одном и том же масштабе

времени. Важно подчеркнуть, что электрический эквивалент несет в себе полную информацию о реальном процессе, хотя в общем случае моменты, когда реальная величина примет какое значение и когда появляется ее электрический эквивалент, могут не совпадать, т. е. между этими моментами может существовать некоторая задержка.

Преимущества аналоговых устройств — теоретически максимально достижимые точность и быстродействие, простота системы. Недостатки — низкая помехоустойчивость и нестабильность параметров, обусловленные сильной зависимостью свойств устройства от внешних дестабилизирующих факторов, например, температуры, времени (старения элементов), действия внешних полей и др., большие искажения при передаче на значительные расстояния, трудность долговременного сохранения результатов, низкая энергетическая эффективность.

*Дискретные электронные устройства* предназначены для приема, преобразования и передачи электрических сигналов, полученных путем квантования (процесс замены непрерывного сигнала его значениями в отдельных точках) по времени или (и) по уровню заданной аналоговой функции. Поэтому действующие в них сигналы пропорциональны ограниченному числу выбранных по определенному закону значений реальной физической величины, отображенной в виде разных параметров импульсов или перепадов напряжений (токов) (амплитуды, длительности фронта и спада импульсов, длительности импульса, периода прохождения импульсов, частоты прохождения импульсов, длительности паузы и т. д.).

В дискретных электронных системах используется лишь часть информации о реальной физической величине, то есть в процессе представления информации возникают частичные ее потери. К преимуществам относят то, что импульсная и средняя мощности определяются через скважность, поэтому при большой скважности можно получить существенное превышение мощности в импульсе, что способствует улучшению показателей массы и габаритов; в режиме ключа рассеяние мощности минимальное, что повышает коэффициент использования прибора; свойства дискретных приборов меньше зависят от нестабильности параметров использованных приборов; помехоустойчивость приборов выше, поскольку уменьшается промежуток времени, когда помеха может повлиять на сигнал; применяется однотипная элементная база, что способствует повышению надежности, обеспечивает дешевизну. В свою очередь по типу квантования дискретные электронные сигналы ДЭС делятся на импульсные, релейные и цифровые.

*Импульсные электронные системы* реализуют квантование начального сигнала. В процессе импульсной модуляции форма импульсов исходной после-

довательности остается неизменной. Распространены амплитудно-импульсная, широтно-импульсная и фазово-импульсная модуляции. Релейные системы реализуют квантование начального сигнала по уровню и превращают его в ступенчатую функцию, высота каждого из уровней пропорциональна некоторой заведомо заданной величине.

Наиболее вероятно, что в недалеком будущем цифровая электроника займет монопольное положение на рынке электронных устройств и систем. Сегодня цифровые персональные компьютеры и контроллеры (ЭВМ) практически вытеснили аналоговые электронные вычислительные машины, которые были созданы раньше. То же самое происходит с аппаратурой радиосвязи, радиовещания и телевидения (телевизорами, радиоприемниками, видеоманитофонами, устройствами для записи звука, фотоаппаратурой).

Однако полностью вытеснить аналоговую технику цифровая в принципе не сможет, так как физические процессы, от которых электронная система получает информацию, имеют аналоговую природу, и в этом случае на входе и выходе необходимы аналого-цифровые и цифро-аналоговые устройства.

Промышленное развитие электроники почти за 100 лет своего существования насчитывает 4 поколения, которые характеризуется дальнейшей микроминиатюризацией электронных компонентов, устройств и систем на базе применения больших интегральных схем (БИС) и сверхбольших интегральных схем (СБИС). Отдельные функциональные блоки выполняются в одной интегральной схеме, которая представляет собой готовое электронное устройство или системы приема, преобразования и передачи информации. Такие электронные устройства позволяют полностью обеспечить необходимый алгоритм обработки начальной информации и существенно повысить надежность их функционирования. Компактность монтажа электронных устройств четвертого поколения составляет около  $1000 \text{ эл/см}^3$  и выше (для сравнения, электронные устройства 3-го поколения —  $50 \text{ эл/см}^3$ ). Применение интегральных схем в современных электронных системах существенно повышает надежность систем, уменьшает их стоимость, массогабаритные размеры и удельную мощность.