

ЭЛЕКТРОНИКА

О.В. Миловзоров

И.Г. Панков



О.В.Миловзоров И.Г.Панков

◆

ЭЛЕКТРОНИКА

Издание второе, переработанное

Допущено
Министерством образования
Российской Федерации
в качестве учебника
для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по направлению
подготовки бакалавров и магистров
«Технология, оборудование
и автоматизация машиностроительных
производств»
и направлению подготовки
дипломированных специалистов
«Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных
производств»



МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»
2005

УДК 621.38
ББК 32.85
М 60

Рецензенты:

кафедра «Автоматизация информационных и технологических процессов» Рязанской государственной радиотехнической академии (зав. кафедрой проф. *А.К. Мусолин*), д-р техн. наук, проф. *Б.И. Белов* (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Миловзоров, О.В.

М60 Электроника: Учебник для вузов/О.В. Миловзоров, И.Г. Панков. — 2-е изд., перераб. — М.: Высш. шк., 2005. — 288 с.: ил.

ISBN 5-06-004428-9

В книге рассмотрен широкий круг вопросов, касающихся изучения основ полупроводниковой электроники, аналоговой и цифровой схемотехники. Описана работа полупроводниковых приборов — диодов, биполярных и полевых транзисторов и схем на их основе; схемотехника аналоговых устройств на основе операционных усилителей, силовая электроника. Освещены вопросы цифровой схемотехники, включая основы алгебры логики, простейшие логические элементы, комбинационные и последовательностные устройства, полупроводниковые запоминающие устройства, микропроцессоры и интерфейсные схемы, программируемые логические интегральные схемы.

Для студентов технических вузов.

УДК 621.38
ББК 32.85

Учебное издание

Миловзоров Олег Владимирович
Панков Иван Григорьевич

ЭЛЕКТРОНИКА

Редактор *Е.Н. Рожкова*. Художник *А.А. Лукьяненко, О.В. Левашова*.
Технический редактор *Н.В. Быкова*. Корректор *В.В. Кожуткина*.
Компьютерная верстка *Т.В. Малыгина*

Лицензия ИД № 06236 от 09.11.01. Изд. № РЕНТ-30. Подп. в печать 21.12.04.
Формат 60 × 88 $\frac{1}{16}$. Бум. офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Объем 17,64 усл. печ. л., 18,14 усл. кр.-отт. Тираж 3000 экз. Заказ № 4687.

ФГУП «Издательство «Высшая школа», 127994, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.
Тел.: (095) 200-04-56. <http://www.v-shkola.ru> E-mail: info@v-shkola.ru

Отдел реализации: (095) 200-07-69, 200-59-39, факс: (095) 200-03-01.
E-mail: sales@v-shkola.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов на ФГУП ордена «Знак Почета»
Смоленская областная типография им. В.И. Смирнова.
214000, г. Смоленск, пр-т им. Ю. Гагарина, 2.

ISBN 5-06-004428-9

© ФГУП «Издательство «Высшая школа», 2005

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Полупроводниковые элементы и основы микроэлектроники	5
§ 1.1. Физические основы полупроводниковой электроники	5
Виды электронных приборов	5
Электрофизические свойства полупроводников	6
<i>P-n</i> -переход и его свойства	9
Основные технологические процессы изготовления <i>p-n</i> -переходов	12
§ 1.2. Полупроводниковые диоды	13
Выпрямительные диоды	15
Стабилитроны	15
Диоды Шоттки	17
Варикапы	19
Светодиоды	19
Фотодиоды	20
Оптроны	21
§ 1.3. Биполярные транзисторы	22
Схема с общей базой	24
Схема с общим эмиттером	26
Входные и выходные характеристики схемы с ОЭ	27
Схема с общим коллектором	30
Технология изготовления биполярных транзисторов	31
§ 1.4. Полевые транзисторы	32
Полевые транзисторы с управляющим <i>p-n</i> -переходом	33
Полевые транзисторы с изолированным затвором	35
§ 1.5. Тиристоры	38
§ 1.6. Основы микроэлектроники	40
Технология полупроводниковых ИМС	41
Компоненты ИМС	43
Глава 2. Аналоговая схемотехника	46
§ 2.1. Усилители	46
Усилители и их место в электронных устройствах	46
Основные параметры усилителей	47
§ 2.2. Каскады усилителей низкой частоты (УНЧ)	50
Каскады на биполярных транзисторах	50
Отрицательная обратная связь в усилителях	53
Усилительные каскады на полевых транзисторах	54
Дифференциальный каскад	56
§ 2.3. Выходные каскады усилителей	58
Режимы работы выходных каскадов усилителей	58
Однотактные и двухтактные выходные каскады	60
§ 2.4. Операционные усилители	62
Свойства операционных усилителей	62
Основные схемы включения операционных усилителей	64
§ 2.5. Вычислительные схемы на основе операционных усилителей	68
Схема суммирования	68
Схема вычитания	69
Схемы интегрирования и дифференцирования	70
Функциональные преобразователи	73
§ 2.6. Генераторы на основе операционных усилителей	75
Мультивибратор	76
Генератор пилообразного напряжения	77

§ 2.7. Компараторы, цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи	78
Цифроаналоговые преобразователи	79
Аналого-цифровые преобразователи	80
§ 2.8. Источники вторичного электропитания	83
Структуры источников электропитания	83
Выпрямительные устройства	85
Сглаживающие фильтры	88
Линейные стабилизаторы напряжения	90
Импульсные стабилизаторы напряжения	91
§ 2.9. Силовые устройства на основе тиристоров и мощных транзисторов	93
Управляемые выпрямители	93
Инверторы и преобразователи частоты	95
Тиристорное управление двигателем постоянного тока	97
§ 2.10. Электромагнитная совместимость электронных устройств	100
Помехи в цепях питания	100
Экранирование электронных устройств	102
Использование гальванической развязки	103
Конструктивные методы борьбы с помехами	106
Глава 3. Основы схемотехники цифровых устройств	109
§ 3.1. Двоичная система счисления	109
§ 3.2. Алгебра логики	113
Основные теоремы и положения алгебры логики	114
Булевы функции	116
Минимизация булевых функций	118
Минимизация булевых функций с помощью карт Карно	119
Алгебра логики и цифровые электронные схемы	121
§ 3.3. Ключевые схемы	125
Ключевая схема на биполярном транзисторе	126
Ключевая схема на комплементарных транзисторах	128
§ 3.4. Логические элементы интегральных микросхем	130
Транзисторно-транзисторные логические элементы	130
Логические элементы на КМОП-транзисторах	133
§ 3.5. Дешифраторы и шифраторы	135
Дешифраторы	135
Шифраторы	139
§ 3.6. Распределители и мультиплексоры	141
Распределители	141
Мультиплексоры	142
Реализация логических функций на основе мультиплексоров	143
§ 3.7. Сумматоры	145
Синтез одноразрядного сумматора	145
Последовательный многоразрядный сумматор	147
Параллельные сумматоры	148
§ 3.8. Арифметико-логические устройства и матричные умножители	151
§ 3.9. Триггеры	153
Триггер с установочными входами (<i>RS</i> -триггер)	154
Триггер задержки (<i>D</i> -триггер)	156
Т-триггер	158
JK-триггер	158
§ 3.10. Счетчики	160
§ 3.11. Регистры	166
Регистровые файлы	167
Регистры сдвига	167
Универсальные регистры	168

Глава 4. Схемотехника программируемых цифровых вычислительных устройств	170
§ 4.1. Запоминающие устройства	170
Важнейшие параметры ЗУ	170
Классификация полупроводниковых ЗУ	172
Структура адресных ЗУ	176
§ 4.2. Запоминающие устройства для хранения постоянной информации	178
Масочные ЗУ	178
ЗУ типов PROM	180
ЗУ типа EPROM и EEPROM	181
ФЛЭШ-память	183
§ 4.3. Запоминающие устройства для хранения оперативной информации	185
Статические запоминающие устройства	185
Динамические запоминающие устройства	186
§ 4.4. Микропроцессоры	189
Структура и принципы работы микропроцессорной системы	190
Режимы обмена в микропроцессорной системе	195
§ 4.5. Однокристалльный микропроцессор INTEL 8086 (K1810 BM86)	198
Структура МП Intel 8086	199
Мультиплексирование информационных линий	201
Сегментация памяти	202
Управляющие сигналы МП Intel 8086	203
Структура команды МП Intel 8086	204
§ 4.6. Режимы адресации и система команд микропроцессора INTEL 8086	205
Режимы адресации	205
Система команд	208
§ 4.7. Тенденции развития однокристалльных микропроцессоров и систем на их основе	219
Основные этапы развития однокристалльных микропроцессоров	223
§ 4.8. Микроконтроллеры	228
§ 4.9. Интерфейсные устройства	230
Интерфейсы и интерфейсные БИС	233
Шинные формирователи и буферные регистры	234
Параллельные периферийные адаптеры	235
Программируемые связные адаптеры	237
§ 4.10. Программируемые контроллеры	241
Программируемые контроллеры прерываний	241
Контроллеры прямого доступа к памяти	244
Программируемые интервальные таймеры	245
§ 4.11. Средства программируемой матричной логики	247
Программируемые логические матрицы	247
Программируемая матричная логика	249
Модернизация схем ПЛМ и ПМЛ	250
Базовые матричные кристаллы	252
§ 4.12. Программируемые логические интегральные схемы	255
Средства обеспечения программируемости ПЛИС	256
Программируемые пользователем вентильные матрицы (FPGA)	258
Сложные программируемые логические устройства (CPLD) и СБИС программируемой логики смешанной архитектуры (FLEX)	263
СБИС программируемой логики типа «система на кристалле»	265
§ 4.13. Средства автоматизированного проектирования электронных устройств	266
Автоматизированное проектирование электронных устройств	266
Обзор современных пакетов автоматизированного проектирования электронной аппаратуры	268
Заключение	271
Приложения	273
Литература	280
Предметный указатель	281