**Джон Ленк**

# 500 практических схем на популярных ИС

John D. Lenk

# MCGRAW-HILL CIRCUIT ENCYCLOPEDIA AND TROUBLESHOOTING GUIDE

## VOLUME 4

McGraw-Hill



A Division of The McGraw-Hill Companies

New York • San Francisco • Washington, D.C. • Auckland • Bogotaˆ • Caracas • Lisbon • London
Madrid • Mexico City • Milan • Montreal • New Delhi • San Juan • Singapore • Sydney • Tokyo • Toronto

УЧЕБНИК

Серия «Учебник»

Джон Ленк

# 500 ПРАКТИЧЕСКИХ СХЕМ НА ПОПУЛЯРНЫХ ИС

ДМК Пресс
издательство
Москва

**УДК 621.396.6**
**ББК 32.844я2**
**Л33**

**Ленк Д.**
Л33 500 практических схем на популярных ИС: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, – 440 с.: ил. (Серия «Учебник»).

**ISBN 5-94074-043-X**

Книга известного американского специалиста по электронике Дж. Ленка универсальна по своему содержанию. В этом справочном пособии по самым распространенным типам интегральных микросхем и схемотехническим решениям на их основе собрана вся информация, нужная специалистам по электронике.

В книге рассмотрены более 500 рабочих схем, объяснены принципы их функционирования и особенности применения; даны указания по проверке, отладке, поиску и устранению неисправностей; приведены расчетные соотношения для выбора номиналов схемных элементов, таблицы взаимозаменяемости, временные диаграммы сигналов.

Все схемы сгруппированы по функциональному назначению: схемы контроля микропроцессоров (супервизоры), коммутаторы, интерфейсные схемы, мостовые измерители, генераторы, широкополосные устройства, операционные усилители, источники питания, АЦП и ЦАП.

Издание предназначено для инженеров, техников, специалистов по ремонту и эксплуатации электронных приборов и средств автоматики, а также научных работников, студентов и любителей технического творчества.

Original edition copyright © by the McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.
Russian edition copyright © by DMK Press. All rights reserved.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 0-07-038117-8 (англ.)
ISBN 5-94074-043-X

© by the McGraw-Hill Companies, Inc.
© Перевод на русский язык, оформление. ДМК Пресс

# СОДЕРЖАНИЕ

**Введение** ... 16

**1. Схемы контроля микропроцессоров** ... 31

1.1. ИС контроля микропроцессоров ... 31
1.2. Сброс при включении питания ... 32
1.3. Сброс при понижении напряжения питания ... 32
1.4. Запрет записи в память при пониженном напряжении питания ... 32
1.5. Предупреждение об отключении питания ... 33
1.6. Переключение на резервную батарею ... 33
1.7. Сторожевой таймер ... 34
1.8. Тестирование и устранение неисправностей цифровых и микропроцессорных схем ... 34
1.8.1. Логический пробник ... 34
1.8.2. Логический импульсный генератор ... 35
1.8.3. Тестирование и поиск неисправностей с помощью пробника и генератора ... 35
1.9. Общие принципы поиска неисправностей цифровых устройств на ИС ... 36
1.9.1. Цепи питания и заземления ... 36
1.9.2. Сигналы сброса, выбора ИС, считывания, записи и начала работы ... 36
1.9.3. Синхронизирующие сигналы ... 41
1.9.4. Входные и выходные сигналы ... 41
1.10. Тестирование ИС контроля микропроцессоров ... 42
1.11. Описание схем контроля микропроцессоров ... 49
1.11.1. Схема контроля микропроцессора ... 49
1.11.2. Схема резервирования питания МП ... 51
1.11.3. Схема контроля и резервирования питания МП ... 52
1.11.4. Схема контроля МП с дополнительными возможностями ... 54
1.11.5. Схемы контроля МП с улучшенными характеристиками ... 58
1.11.6. Схемы контроля МП повышенной надежности ... 59
1.11.7. Схемы контроля МП повышенной надежности с дополнительными возможностями ... 59
1.11.8. Недорогие схемы контроля МП с батарейным резервированием ... 60
1.11.9. Недорогие схемы контроля МП повышенной надежности с ручным сбросом ... 60
1.11.10. Недорогие схемы контроля МП для напряжения питания +3 В ... 62
1.11.11. Схема контроля МП, формирующая сигнал разрешения записи в ОЗУ ... 63
1.11.12. Недорогие схемы контроля МП с батарейным резервированием для напряжения питания 3,0/3,3 В ... 63
1.11.13. Схема контроля напряжения питания с формированием сигнала сброса ... 64
1.11.14. Схемы контроля МП с внутренней резервной батареей ... 66

**2. Аналоговые коммутаторы и ключи** ... 67

2.1. Экстремальные уровни напряжения ... 67
2.2. Методы проверки интегральных коммутаторов и ключей ... 69
2.2.1. Проверка основных функций ... 70
2.2.2. Проверка тока утечки выключенного канала ... 70
2.2.3. Проверка времени переключения ... 71

2.2.4. Измерение прямого сопротивления замкнутого ключа ... 72
2.2.5. Измерение тока утечки замкнутого ключа ... 72
2.2.6. Измерение тока утечки разомкнутого ключа ... 73
2.2.7. Проверка основных функций коммутатора ... 73
2.2.8. Измерение времени задержки переключения каналов относительно адресных сигналов ... 75
2.2.9. Время перекрытия переключаемых каналов ... 75
2.2.10. Измерение задержки переключения каналов относительно сигнала разрешения переключения ... 75
2.2.11. Измерение заряда переключения ... 76
2.2.12. Измерение развязки разомкнутого ключа ... 76
2.2.13. Измерение развязки между включенными каналами ... 77
2.2.14. Емкость канала ... 77
2.3. Описание аналоговых коммутаторов и ключей ... 77
2.3.1. Входные каскады устройства сбора данных ... 77
2.3.2. Система сбора данных с защищенным дифференциальным входом ... 78
2.3.3. КМОП коммутатор радио- и видеосигналов ... 81
2.3.4. Коммутатор повышенной надежности ... 81
2.3.5. Усилитель с программируемым коэффициентом усиления ... 82
2.3.6. Ослабление влияния емкостной нагрузки ... 82
2.3.7. Компенсация фазовых искажений ... 83
2.3.8. Восьмиканальная схема коммутации дифференциальных сигналов с последовательным переключением каналов ... 83
2.3.9. 16-канальная схема коммутации дифференциальных сигналов с последовательным переключением каналов ... 84
2.3.10. Схема выборки-хранения ... 84
2.3.11. Восьмиканальный переключатель с управлением по последовательному интерфейсу ... 85
2.3.12. Коммутатор 8×1 на ИС MAX335 ... 88
2.3.13. Дифференциальный коммутатор 4×2 на ИС MAX335 ... 88
2.3.14. Однополюсные переключатели на два направления на ИС MAX335 ... 89
2.3.15. ИС защиты многоканальных линий передачи сигналов с ключами повышенной надежности ... 90

**3. Схемы интерфейса** ... 92

3.1. Длина кабеля ... 92
3.2. Снижение потребляемой мощности и режим отключения ... 94
3.3. Гальваническая развязка линий передач ... 95
3.4. Сравнение стандартов на интерфейсы ... 96
3.5. Проверка и поиск неисправностей интерфейсных ИС ... 97
3.6. Проверка работоспособности ... 98
3.6.1. Проверка работы в режимах разрешения/запрета и отключения ... 99
3.6.2. Проверка тока потребления в режиме отключения ... 99
3.6.3. Проверка скорости нарастания выходного напряжения при переключении ... 100
3.6.4. Проверка в режиме замкнутой петли ... 100
3.7. Описание интерфейсных ИС ... 101
3.7.1. Передача данных по стандарту RS-485/422 с гальванической развязкой ... 101
3.7.2. Организация типовой сети обмена данными по стандарту RS-485/422 ... 104

3.7.3. Приемопередатчики с внешними конденсаторами с напряжением питания 5 В .. 105
3.7.4. Приемопередатчики с защитой от электростатического разряда ..... 115
3.7.5. Программируемый приемопередатчик DTE/DCE ..... 117
3.7.6. Двойной приемопередатчик с напряжением питания +1,8...+4,25 В ..... 117
3.7.7. Многоканальные передатчики/приемники с напряжением питания 5 В ..... 122
3.7.8. Импульсный генератор для источника питания интерфейса RS-485 с гальванической развязкой ..... 140
3.7.9. Приемопередатчики с пониженной потребляемой мощностью для интерфейсов RS-485/422 ..... 147

**4. Мостовые схемы** ..... 153

4.1. Основные мостовые схемы и их работа ..... 153
4.1.1. Мостовой измерительный усилитель ..... 153
4.1.2. Мостовой датчик давления с цепью автоматического регулирования ..... 154
4.1.3. Малошумящий мостовой усилитель с подавлением синфазных сигналов ..... 154
4.1.4. Малошумящий мостовой усилитель со стабилизацией прерыванием ..... 155
4.1.5. Мостовой усилитель с одним источником питания и подавлением синфазных сигналов ..... 158
4.1.6. Мостовой усилитель с высокой разрешающей способностью и одним источником питания ..... 159
4.1.7. Схема для точного измерения веса ..... 159
4.1.8. Мостовая схема с «плавающим» входом ..... 161
4.1.9. Мостовой резистивный датчик температуры ..... 161
4.1.10. Резистивный датчик температуры с переключаемым конденсатором ..... 162
4.1.11. Терморезисторный мост с линейным выходом ..... 163
4.1.12. Мостовая схема с малой потребляемой мощностью ..... 164
4.1.13. Периодическое включение мостового тензодатчика ..... 164
4.1.14. Импульсной режим работы мостового тензодатчика ..... 164
4.1.15. Мостовой датчик с устройством выборки-хранения ..... 164
4.1.16. Мостовой датчик высокой разрешающей способности с УВХ ..... 168
4.1.17. Синхронный мостовой демодулятор с питанием переменным током ..... 169
4.1.18. Мостовая схема, работающая в заданном временном интервале ..... 170
4.1.19. Генератор прямоугольных импульсов ..... 170
4.1.20. Генератор с кварцевой стабилизацией частоты ..... 171
4.1.21. Генератор гармонических колебаний с кварцевой стабилизацией частоты ..... 172
4.1.22. Генератор с кварцевой стабилизацией частоты и подавлением синфазного сигнала ..... 172
4.1.23. Базовая схема генератора гармонических колебаний с мостом Вина ..... 172
4.1.24. Многодиапазонный генератор с мостом Вина ..... 173
4.1.25. Генератор гармонических колебаний с мостом Вина и электронной стабилизацией амплитуды сигнала ..... 174
4.1.26. Высокостабильный генератор с мостом Вина ..... 176
4.1.27. Генератор с мостом Вина и автоматической подстройкой сигнала ..... 177
4.1.28. Генератор с мостом Вина и подавлением синфазного сигнала моста ..... 177
4.1.29. Выпрямитель/вольтметр переменного тока с диодным мостом ..... 179

**5. Быстродействующие схемы** ..... 180

5.1. Основные быстродействующие схемы и их работа ..... 180

5.1.1. Усилитель ЦАП ... 180
5.1.2. Двухканальный видеоусилитель ... 180
5.1.3. Простой видеоусилитель ... 182
5.1.4. Усилитель для приема сигнала с кабеля ... 182
5.1.5. Стабилизация по постоянному току с использованием точки суммирования ... 182
5.1.6. Стабилизация по постоянному току с дифференциальным съемом напряжения смещения нуля ... 183
5.1.7. Стабилизированный усилитель с высоким входным сопротивлением ... 183
5.1.8. Стабилизированный усилитель с коэффициентом усиления 10 ... 183
5.1.9. Стабилизированный усилитель с коэффициентом усиления 1000 ... 185
5.1.10. Быстродействующий дифференциальный приемник сигналов с двухпроводной линии ... 187
5.1.11. Усилитель с трансформаторной связью ... 189
5.1.12. Быстродействующий дифференциальный усилитель-компаратор с регулируемым порогом ... 189
5.1.13. Двухпороговый усилитель-компаратор с регулируемым окном ... 190
5.1.14. Усилитель с фотодиодом ... 192
5.1.15. Быстродействующий фотоинтегратор ... 193
5.1.16. Приемник для волоконно-оптической линии связи ... 194
5.1.17. Адаптивный приемник для волоконно-оптической линии связи в диапазоне частот до 40 МГц ... 194
5.1.18. Точный аналоговый перемножитель в диапазоне частот до 50 МГц ... 196
5.1.19. Усилитель мощности ... 196
5.1.20. Усилитель мощности с большим выходным током ... 198

**6. Операционные усилители и компараторы** ... 199

6.1. Проверка усилителей ... 199
6.1.1. Оборудование для испытаний усилителей ... 199
6.1.2. Децибел: основные понятия ... 201
6.1.3. Соотношения для удвоения мощности ... 202
6.1.4. Сложение децибелов ... 202
6.1.5. Использование децибелов для сравнения величин напряжений и токов ... 203
6.1.6. Децибелы и измерения абсолютных величин ... 203
6.1.7. Амплитудно-частотная характеристика ... 204
6.1.8. Усиление по напряжению ... 210
6.1.9. Выходная мощность и усиление мощности ... 210
6.1.10. Входная чувствительность ... 211
6.1.11. Полоса пропускания ... 211
6.1.12. Влияние нагрузки ... 211
6.1.13. Выходное сопротивление ... 212
6.1.14. Входное сопротивление ... 213
6.1.15. Ток потребления, выходная мощность, КПД и чувствительность ... 213
6.1.16. Анализ искажений с использованием синусоидального сигнала ... 213
6.1.17. Анализ искажений с использованием прямоугольных сигналов ... 214
6.1.18. Гармонические искажения ... 217
6.1.19. Интермодуляционные искажения ... 219
6.1.20. Фоновый шум ... 220
6.1.21. Отношение сигнал/шум ... 221

6.1.22. Скорость нарастания и переходные характеристики ... 222
6.1.23. Измерение переходных характеристик ... 223
6.1.24. Фазовый сдвиг ... 225
6.1.25. Измерения в цепях обратной связи ... 226
6.1.26. Входной ток ... 227
6.1.27. Входной ток сдвига и напряжение смещения нуля ... 228
6.1.28. Ослабление синфазного сигнала ... 229
6.1.29. Влияние нестабильности напряжения питания ... 230
6.2. Типы усилителей на ИС ... 230
6.2.1. Операционные усилители ... 230
6.2.2. Управляемый операционный усилитель ... 233
6.2.3. ОУ со стабилизацией прерыванием ... 234
6.2.4. Прохождение сигнала ... 236
6.2.5. Измерение усиления отдельных каскадов ... 237
6.2.6. Пониженное усиление ... 238
6.2.7. Искажения в каскадах усилителя на дискретных элементах ... 239
6.2.8. Влияние утечки на работу схем с дискретными элементами ... 239
6.2.9. Ток утечки коллектор–база ... 240
6.2.10. Проверка токов утечки транзисторов в схеме ... 240
6.2.11. Пример поиска неисправностей в усилителе ... 241
6.3. Компараторы ... 245
6.3.1. Работа с интегральными компараторами ... 246
6.3.2. Проверка компараторов ... 247
6.3.3. Определение неисправностей в схемах компараторов ... 248
6.3.4. Проблемы быстродействия компараторов ... 250
6.4. Применение ОУ и компараторов ... 251
6.4.1. Малошумящий измерительный усилитель ... 251
6.4.2. Инвертирующий усилитель ... 252
6.4.3. 8-канальный мультиплексор видеосигналов для работы на кабель ... 253
6.4.4. 2-канальный мультиплексор видеосигналов для работы на кабель ... 254
6.4.5. Усилитель для работы на кабель с минимальными фазовыми искажениями ... 254
6.4.6. Двухполупериодный выпрямитель на одном ОУ ... 254
6.4.7. Однополупериодный выпрямитель ... 256
6.4.8. Сверхбыстродействующий компаратор с ЭСЛ выходом и управляемым режимом выборки-хранения ... 256
6.4.9. Компаратор с ЭСЛ выходом ... 257
6.4.10. Широкополосный быстродействующий ОУ с мультиплексным входом ... 258
6.4.11. Малошумящий быстродействующий измерительный усилитель ... 259
6.4.12. Малошумящий микрофонный предусилитель ... 259
6.4.13. Двухполупериодный выпрямитель на одном ОУ ... 259
6.4.14. Выносной датчик измерителя pH со встроенным усилителем ... 260
6.4.15. 4-канальная схема выборки-хранения ... 262
6.4.16. Усилитель выносного датчика напряжение–ток с дистанционным питанием ... 262
6.4.17. Источник отрицательного опорного напряжения –2,5 В ... 263
6.4.18. Повторитель напряжения для емкостной нагрузки до 100 пФ ... 264
6.4.19. Повторитель напряжения для емкостной нагрузки свыше 100 пФ ... 264
6.4.20. Повторитель напряжения повышенной точности ... 265
6.4.21. Малошумящий прецизионный дифференциальный усилитель с высоким коэффициентом усиления ... 265

6.4.22. Дифференциальные усилители с однополярным питанием ... 268
6.4.23. Согласующее устройство для низковольтного АЦП ... 269
6.4.24. Источник питания с автоматическим выключением через заданное время ... 271
6.4.25. Детектор с окном ... 271
6.4.26. Одношкальный индикатор на светодиодах ... 272
6.4.27. Простой линейный приемопередатчик ... 273
6.4.28. Пороговый детектор с цифровым управлением ... 273

**7. Схемы источников питания** ... 275

7.1. Методы проверки источников питания и стабилизаторов ... 275
7.1.1. Методика тестирования ... 275
7.1.2. Детальная проверка ... 281
7.1.3. Влияние источника питания ... 283
7.1.4. Влияние нагрузки ... 284
7.1.5. Шумы и пульсации ... 284
7.1.6. Дрейф ... 284
7.1.7. Температурный коэффициент ... 285
7.2. Поиск неисправностей в импульсных источниках питания ... 285
7.2.1. Паразитная связь с «землей» ... 285
7.2.2. Компенсация измерительного кабеля осциллографа ... 286
7.2.3. Наводки в заземляющем проводе с зажимом ... 286
7.2.4. Измерения на элементах ... 286
7.2.5. Электромагнитные помехи ... 287
7.2.6. Советы и предостережения ... 289
7.3. Поиск неисправностей в линейных источниках питания ... 293
7.3.1. Двухполярный источник питания с предварительной стабилизацией ... 294
7.4. Описание схем источников питания ... 295
7.4.1. Схема управления МДП транзисторами ... 295
7.4.2. Мостовая схема управления двигателем постоянного тока ... 295
7.4.3. Система управления шаговым двигателем ... 297
7.4.4. Источник питания, повышающий напряжение ... 297
7.4.5. Переключатель с открытым выходом ... 299
7.4.6. Преобразователи напряжения ... 299
7.4.7. Преобразователь положительного и отрицательного напряжений ... 299
7.4.8. Быстродействующие драйверы МДП транзисторов с токами до 1,5 А ... 301
7.4.9. Повышающие ШИМ стабилизаторы ... 301
7.4.10. Источник питания на 12 В для программирования флэш-памяти ... 304
7.4.11. Понижающий ШИМ стабилизатор ... 304
7.4.12. Преобразователь положительного напряжения в отрицательное ... 304
7.4.13. Повышающий преобразователь отрицательного напряжения ... 306
7.4.14. Модуль программирования флэш-памяти ... 307
7.4.15. Понижающий преобразователь ... 307
7.4.16. Модуль, преобразующий напряжение +5 В в ±12 или ±15 В ... 309
7.4.17. Быстродействующий одиночный МДП драйвер на ток 6 А ... 310
7.4.18. Преобразователь напряжения с перекачиванием заряда ... 313
7.4.19. Р-канальный линейный стабилизатор с малым падением напряжения ... 313
7.4.20. Перестраиваемый инвертирующий ШИМ стабилизатор на −5 В ... 313
7.4.21. Контроллер токового режима на базе импульсного источника питания ... 315