

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Тракторы и автомобили»

## **КОМПОНЕНТЫ ЗАРУБЕЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по образованию в области сельского хозяйства в качестве  
пособия для студентов высших учебных заведений группы специальностей  
74 06 «Агроинженерия»*

Минск  
БГАТУ  
2012

УДК [621.3.04+621.382](075.8)

ББК 31.264я7+32.85я7 я 73

К 63

Авторы:

доктор технических наук, профессор И. Н. Шило,  
доктор технических наук, профессор А. И. Бобровник,  
заведующий лабораторией электронных систем В. Г. Левков,  
кандидат технических наук, доцент В. И. Пачинин

Рецензенты:

заведующий кафедрой электроники БГУИР, кандидат технических наук,  
доцент *С. В. Дробот*;  
заведующий кафедрой информатики МГВРК, кандидат технических наук,  
доцент *Ю. А. Скудняков*

К 63     **Компоненты зарубежных электрических и электронных систем** : пособие  
/ И. Н. Шило [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2012. – 264 с.  
ISBN 978-985-519-454-6.

Представлены компоненты электрооборудования (предохранители, лампы, переключатели, счетчики и таймеры, разъемы, кабели, катушки и дроссели, резисторы, потенциометры, конденсаторы, кабели, трансформаторы, источники питания и др.), а также электронные компоненты схем (диоды, транзисторы, тиристоры, операционные усилители, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, различные датчики, запоминающие устройства, персональные компьютеры и др.).

Наряду со справочными данными, сформулированы основные понятия, определения, имеются сведения о моделях компонентов, их маркировке, даны принципы работы приборов и устройств с необходимыми пояснениями, представлены характеристики и функциональные зависимости между параметрами, рассмотрены нормативные документы и единицы измерения, даются рекомендации для практических расчетов режимов и параметров, выбора комплектующих. Особое внимание уделено вопросам энергопотребления, срокам службы, правилам безопасности.

Предназначено для студентов группы специальностей-74 06 «Агроинженерия».

УДК [621.3.04+621.382](075.8)

ББК 31.264я7+32.85я7 я 73

## СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	11
<b>1. ПРЕДОХРАНИТЕЛИ</b> .....	13
1.1. Характеристики предохранителей .....	13
1.2. Типы предохранителей .....	15
<b>2. УСТРОЙСТВА ОСТАТОЧНОГО ТОКА</b> .....	18
2.1. Токи повреждения .....	18
2.2. Принцип прерывания тока повреждения .....	19
2.3. Конструкция устройства защитного отключения .....	19
<b>3. СВЕТ И ЛАМПЫ</b> .....	21
3.1. Маркировка источников света .....	21
3.2. Технические световые параметры и единицы измерения .....	22
3.3. Типы ламп .....	27
3.3.1. Лампы накаливания .....	27
3.3.2. Галогенные лампы накаливания .....	28
3.3.3. Флуоресцентные лампы .....	29
3.3.4. Лампы на светоизлучающих диодах (лампы СИД) .....	29
3.3.5. Неоновые лампы .....	30
3.3.6. Цоколи ламп накаливания .....	31
<b>4. ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ И РЕЛЕ</b> .....	33
4.1. Переключатели .....	33
4.2. Функциональное описание .....	34
4.3. Реле .....	35
4.3.1. Контактная функция .....	36
4.3.2. Специальные реле .....	36
4.4. Защита контактов .....	37
4.4.1. Емкостные нагрузки .....	37
4.4.2. Индуктивные нагрузки .....	37
4.5. Датчики .....	39
<b>5. ИМПУЛЬСНЫЕ СЧЕТЧИКИ И ТАЙМЕРЫ</b> .....	44
5.1. Импульсные счетчики .....	44
5.2. Таймеры .....	44
<b>6. АВАРИЙНЫЕ СИГНАЛИЗАТОРЫ</b> .....	46
<b>7. ВЕНТИЛЯТОРЫ</b> .....	47
7.1. Выбор вентиляторов .....	48
<b>8. ТЕПЛОТВОДЫ</b> .....	49
<b>9. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ И МОТОРЫ</b> .....	52
9.1. Тяговые и толкающие магниты .....	52
9.2. Электродвигатели небольшой мощности .....	52

<b>10. ПНЕВМАТИКА</b> .....	54
10.1. Пневмоцилиндры .....	54
10.2. Клапаны направления .....	55
10.3. Клапан 3/2 (три окна/два положения) .....	55
10.4. Клапан 4/2 (четыре окна/два положения) .....	56
10.5. Клапан 5/2 (5 окон/2 положения) .....	57
10.6. Обратный и дроссельный клапаны .....	57
10.7. Клапаны регулирования давления .....	58
10.8. Элементы пневмосистемы .....	58
10.9. Передача мощности .....	59
<b>11. РАЗЪЕМЫ</b> .....	61
11.1. Методы соединений .....	63
11.1.1. Пайка .....	63
11.1.2. Обжимка .....	64
11.1.3. Соединение с прорезанием изоляции (I DC – Insulation Displacement Connection) .....	64
11.1.4. Прессовая подгонка .....	64
11.1.5. Монтаж накруткой проводов .....	65
11.1.6. Монтаж контактной сваркой .....	65
11.2. Фиксированные соединения .....	65
11.3. Применения разъемов .....	65
11.3.1. Двухполюсные разъемы по DIN .....	65
11.3.2. Пятиполюсные разъемы по DIN .....	66
11.3.3. Фоноразъемы .....	67
11.3.4. Телештекеры и телегнезда (штекеры питания) .....	67
11.3.5. Разъемы «XLR» .....	67
11.3.6. «S»-видеоразъем .....	68
11.3.7. Разъем «SCART» (Европейский унифицированный разъем) .....	68
<b>12. ВОЛОКОННО–ОПТИЧЕСКИЕ ПРОВОДНИКИ</b> .....	70
<b>13. ПРОИЗВОДСТВО ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ</b> .....	73
13.1. Непосредственный перенос .....	73
13.2. Фотографический перенос .....	73
13.3. Размерность проводников из фольги .....	76
13.3.1. Сопротивление проводников из фольги .....	76
13.3.2. Максимальный ток и минимальное расстояние (шаг) между дорожками .....	76
<b>14. КАБЕЛИ</b> .....	78
14.1. Проводящие материалы .....	78
14.1.1. Коаксиальный кабель .....	80
14.1.2. Кабельные витые пары .....	80
14.1.3. Высокотемпературные кабели .....	
14.2. Коды кабелей .....	81
14.2.1. Силовые и монтажные кабели – коды согласно стандартам CENELEC .....	82
14.2.2. Силовые, управляющие и монтажные кабели – коды согласно Шведскому стандарту SS4241701 .....	85
14.2.3. Телекоммуникационные кабели – коды в соответствии со Шведским стандартом SS4241675 .....	87
14.2.4. Цветное кодирование и нумерация кабелей .....	89
14.2.5. Таблица размеров AWG (США) .....	90

<b>15. КАТУШКИ И ДРОССЕЛИ</b> .....	94
15.1. Области применения .....	94
15.2. Импеданс катушки .....	95
15.3. Резонанс .....	96
15.4. Расчеты катушек без сердечников .....	97
15.5. Катушки с сердечниками .....	100
15.6. Магнитное поле .....	102
15.7. Магнитная проницаемость .....	103
15.8. Магнитные потери .....	104
15.9. Поверхностный эффект («скин-эффект») .....	105
15.10. Расчеты катушек с сердечниками .....	107
15.11. Магнитная индукция стержня .....	108
15.12. Нагрев сердечников .....	110
15.13. Температурная зависимость .....	110
15.14. Магнитные единицы измерения .....	111
<b>16. РЕЗИСТОРЫ</b> .....	112
16.1. Частотная зависимость .....	114
16.2. Температурная зависимость .....	115
16.3. Шум .....	117
16.4. Зависимость от напряжения .....	118
16.5. Конструкция резисторов .....	118
16.5.1. Угольный композитный резистор .....	118
16.5.2. Угольные пленочные резисторы .....	119
16.5.3. Металлопленочный резистор .....	119
16.5.4. Толстопленочный резистор .....	120
16.5.5. Тонкопленочные резисторы .....	120
16.5.6. Металлооксидные резисторы .....	120
16.5.7. Резистивные схемы .....	121
16.5.8. Проволочные резисторы .....	121
16.5.9. Резисторы «NTC» (с отрицательным температурным коэффициентом) .....	122
16.5.10. Резисторы «PTC» (с положительным температурным коэффициентом) .....	123
16.5.11. Варистор (резистор, зависимый от напряжения) [VDR] .....	124
16.5.12. Фоторезисторы .....	125
16.6. Закон Ома .....	126
<b>17. ПОТЕНЦИОМЕТРЫ</b> .....	129
17.1. Панельные потенциометры .....	130
17.2. Прецизионный потенциометр .....	130
17.3. Подстроечные триммерные потенциометры .....	130
17.4. Ослабительные адаптеры .....	131
17.5. Джойстик .....	131
<b>18. КОНДЕНСАТОРЫ</b> .....	137
18.1. Сферы применения конденсаторов .....	141
18.2. Типы конденсаторов .....	142
18.2.1. Пленочные конденсаторы .....	142
18.2.2. Бумажные конденсаторы .....	144
18.2.3. Керамические конденсаторы .....	145
18.2.4. Слюдяные конденсаторы .....	147

18.2.5. Электролитические конденсаторы .....	148
18.2.5.1. Мокрые алюминиевые электролитические конденсаторы .....	148
18.2.5.2. Танталовые электролитические конденсаторы .....	151
18.2.6. Двухслойный конденсатор .....	152
<b>19. ДИОДЫ, ТРАНЗИСТОРЫ И ТИРИСТОРЫ .....</b>	<b>154</b>
19.1. Общие сведения о полупроводниках .....	154
19.2. Диоды .....	155
19.2.1. Выпрямительные диоды .....	156
19.2.2. Лавинные диоды .....	156
19.2.3. Переключающие диоды .....	157
19.2.4. Диоды малой утечки тока .....	157
19.2.5. Диоды Зенера (стабилитроны) .....	157
19.2.6. Варикапы .....	157
19.2.7. Динистор (диодный тиристор) .....	158
19.2.8. Диоды ограничения тока .....	158
19.2.9. Туннельные диоды .....	158
19.2.10. PiN-диоды .....	158
19.2.11. Диод Ганна .....	159
19.2.12. Светоизлучающие диоды (СИД) (LEDs) .....	159
19.2.13. Солнечные батареи .....	160
19.3. Транзисторы .....	160
19.3.1. Основные транзисторные схемы .....	163
19.3.2. Некоторые замечания по схеме с общим эмиттером .....	166
19.4. Тиристоры .....	166
19.5. Системы обозначения полупроводников .....	167
19.5.1. Европейская система ProElectron .....	168
19.5.2. Американская система JEDEC .....	168
19.5.3. Японская система J I S .....	169
19.6. Электронные лампы .....	170
19.6.1. Европейские стандартные обозначения .....	170
19.6.2. Американские стандартные обозначения .....	171
<b>20. ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ .....</b>	<b>172</b>
20.1. Светоизлучающие диоды (LEDs) .....	172
20.2. Приемники светового излучения (детекторы света) .....	173
20.2.1. Фотодиоды .....	173
20.2.2. Фотопроводники или фоторезисторы .....	173
20.2.3. PIN-диоды .....	173
20.2.4. Фототранзисторы .....	174
20.2.5. Лавинные фотодиоды .....	174
20.3. Оптопары (оптроны) .....	174
20.4. Лазер .....	174
20.5. Дисплеи .....	175
20.5.1. Жидкокристаллические дисплеи [LCDs] .....	175
20.5.2. Дисплеи «LCD – cSTN» .....	176
20.5.3. Дисплеи LCD – TFT .....	176
20.5.4. Дисплеи «LCD – LTPS – TFT» .....	176
20.5.5. Электролюминесцентные дисплеи «EL» .....	176
20.5.6. Плазменные (газоразрядные) дисплеи .....	177
20.5.7. Вакуумные флуоресцентные дисплеи .....	177

20.5.8. Электронно-лучевые трубки .....	177
20.5.9. Дисплейные модули.....	177
<b>21. ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ .....</b>	<b>179</b>
21.1. Усилитель крутизны .....	180
21.2. Компараторы .....	181
21.3. Приборные усилители .....	181
21.4. Усилитель с единичным усилением.....	181
21.5. Усилитель малой мощности.....	181
21.6. Видеоусилитель.....	182
21.7. Малошумный усилитель .....	182
21.8. Развязывающий усилитель.....	182
<b>22. АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ (А/Д) И ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ (D/A) ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ .....</b>	<b>185</b>
22.1. Аналого-цифровые преобразователи .....	185
22.2. Цифро-аналоговые преобразователи (D/A).....	189
<b>23. ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ .....</b>	<b>190</b>
23.1. Биполярные семейства .....	190
23.1.1. Транзисторно-транзисторная логика «74 – Стандарт – ТТЛ» (74 Standard-TTL) .....	191
23.1.2. Транзисторно-транзисторная логика с барьером Шоттки (74 S Schottky-TTL).....	191
23.1.3. Усовершенствованная ТТЛ логика «74 AS Шоттки-ТТЛ» (74 AS Advanced Schottky – TTL).....	191
23.1.4. Маломощная ТТЛ Шоттки-логика (74 LS Low Power Schottky – TTL) .....	192
23.1.5. Усовершенствованная маломощная логика ТТЛ Шоттки (74 ALS Advanced Low Power Schottky – TTL) .....	192
23.1.6. Семейство быстродействующей ТТЛ логики (74 F Fast – TTL).....	192
23.2. Семейства КМОП (CMOS).....	193
23.2.1. Семейство «4000» .....	193
23.2.2. Семейство «74 С».....	193
23.2.3. Семейства «74 НС» и «74 НС 4000» .....	193
23.2.4. Семейство «74 НСТ» .....	193
23.2.5. Семейство ACL .....	193
23.2.6. Семейство FCT .....	194
23.2.7. Семейство усовершенствованных высокоскоростных КМОП-схем .....	194
23.3. Семейства БиКМОП (BiCMOS) .....	194
23.3.1. Семейство ВСТ.....	194
23.3.2. Семейство АВТ .....	195
23.4. Низковольтные семейства .....	195
23.4.1. Усовершенствованное низковольтное семейство БиКМОП типа ALB.....	195
23.4.2. Усовершенствованное низковольтное семейство КМОП типа ALVC .....	195
23.4.3. Усовершенствованное сверхнизковольтное семейство КМОП типа AVC.....	195
23.4.4. Усовершенствованное низковольтное семейство БиКМОП типа ALVT .....	196
23.4.5. Низковольтное семейство КМОП типа LVC.....	196
23.4.6. Низковольтное семейство БиКМОП типа LVT .....	196

23.5. Специальные логические семейства .....	197
23.5.1. Усовершенствованная технология БиКМОП. Усиленная приемо-передающая логика (ABTE/ETL) .....	197
23.5.2. Приемо-передающая логика (backplane) типа BTL/FT+ .....	197
23.5.3. Логика типа GTL/GTLP (Gunning Transceiver Logic och Gunning Transceiver Logic Plus) .....	197
23.6. Более ранние логические семейства .....	197
23.6.1. Логика с эмиттерными связями типа ECL .....	197
23.6.2. Резисторно-транзисторная логика (RTL) .....	197
23.6.3. Диодно-транзисторная логика (DTL) .....	198
23.6.4. Семейства DTLZ, HLL, HNL .....	198
23.7. Выходы .....	198
23.8. Некоторые правила проектирования .....	200
23.9. Программируемые логические схемы .....	201
23.9.1. Логическое устройство SPLD .....	201
23.9.2. Устройство CPLD .....	201
23.9.3. Устройство FPGA .....	202
23.9.4. Устройство FPIC .....	202
23.10. Описательный язык VHDL .....	202
23.11. Микропроцессоры .....	203
23.11.1. Микрокомпьютеры .....	203
23.11.1.1. Микрокомпьютеры ФЛЭШ .....	204
23.11.1.2. Микрокомпьютеры с EPROM .....	204
23.11.1.3. Микрокомпьютеры с EEPROM .....	205
<b>24. СХЕМЫ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ЗУ) .....</b>	<b>208</b>
24.1. Оперативные запоминающие устройства (ОЗУ) (Volatile Memories) .....	208
24.1.1. Запоминающие устройства DRAM (Dynamic Random Access Memory) .....	208
24.1.2. Запоминающее устройство FPM (Fast Page Mode) .....	209
24.1.3. Запоминающее устройство EDO (Extended Data Output) .....	209
24.1.4. Запоминающее устройство SDRAM (Synchronous DRAM) .....	209
24.1.5. Запоминающее устройство DDR-SDRAM (Double Data Rate Synchronous DRAM) .....	209
24.1.6. Устройство D-RDRAM (Direct Rambus DRAM) .....	209
24.1.7. Запоминающее устройство SRAM (Static Random Access Memory) .....	210
24.2. ЗУ, сохраняющие информацию при отключении электропитания (ПЗУ) (Non-volatile memories) .....	211
24.2.1. Запоминающее устройство FLASH EPROM .....	211
24.2.2. Запоминающее устройство EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) .....	211
24.2.3. Запоминающее устройство EPROM (Electrically Programmable Read Only Memory) .....	212
24.2.4. Запоминающее устройство PROM (Programmable Read Only Memory) .....	212
24.2.5. Запоминающее устройство ROM (масочное ПЗУ) (Read Only Memory) .....	212
<b>25. ТРАНСФОРМАТОРЫ .....</b>	<b>213</b>
25.1. Трансформатор электропитания (Mains Transformer) .....	213
25.2. Автотрансформатор .....	214



25.3. Трансформатор с переменным коэффициентом трансформации (Variable Transformer) .....	215
25.4. Изолирующий трансформатор (Isolating Transformer) .....	215
25.5. Безопасный изолирующий трансформатор (Safety Isolating Transformer).....	215
25.6. Трансформатор для игрушек (Toy Transformer).....	216
25.7. Звонковый трансформатор (Bell Transformer) .....	216
25.8. Низкочастотный трансформатор (Low frequency Transformer).....	216
25.9. Выходной трансформатор (Output Transformer) .....	217
25.10. Малогабаритные низкочастотные трансформаторы (Small Low Frequency Transformer) .....	217
25.11. Модемный трансформатор (Modem Transformer).....	218
25.12. Трансформатор промежуточной частоты (Intermediate Frequency Transformer) .....	218
25.13. Трансформатор тока (Current Transformer).....	218
25.14. Трансформатор переключения .....	218
25.15. Импульсные высокочастотные трансформаторы с ферритовыми сердечниками .....	219
<b>26. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ</b> .....	<b>220</b>
26.1. Помехи .....	221
26.2. Фильтр.....	222
26.3. Трансформатор подавления помех.....	222
26.4. Магнитный стабилизатор .....	222
<b>27. БЕСПЕРЕБОЙНОЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ (Uninterruptible Power Supply = UPS)</b> .....	<b>224</b>
27.1. Система «он-лайн» (бесперебойное электропитание).....	224
27.2. Система «офф-лайн» (Резервное питание = SPS) .....	225
<b>28. БАТАРЕИ</b> .....	<b>227</b>
28.1. Первичные батареи .....	227
28.2. Вторичные батареи .....	229
28.2.1. Свинцово-кислотные батареи .....	230
28.2.1.1. Зарядка .....	231
28.2.1.2. Разрядка.....	231
28.2.1.3. Срок службы.....	232
28.2.1.4. Преимущества и недостатки свинцово-кислотных батарей.....	232
28.3. Никель-кадмиевые перезаряжаемые аккумуляторы (NiCd).....	233
28.3.1. Зарядка .....	234
28.3.2. Быстрая зарядка (0,5-1,5 С).....	235
28.3.3. Непрерывный («дозовый») подзаряд .....	236
28.3.4. Разрядка.....	236
28.3.5. Срок службы.....	237
28.3.6. Преимущества и недостатки никеле-кадмиевых Аккумуляторов .....	237

28.4. Никель-металлические гибридные аккумуляторы (NiMH) .....	238
28.4.1. Зарядка .....	239
28.4.2. Быстрая зарядка .....	239
28.4.3. Непрерывный «дозовый» подзаряд (Trickle Charging) .....	239
28.4.4. Разрядка .....	240
28.4.5. Срок службы .....	240
28.4.6. Преимущества и недостатки никеле-металлических гибридных батарей (NiMH) .....	240
28.5. Литиево-фосфатные (LiFePO <sub>4</sub> ) аккумуляторы .....	241
28.6. Литиево-полимерные (Li-pol) аккумуляторы .....	241
<b>29. СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ</b> .....	<b>243</b>
<b>30. ПЕРСОНАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ (PC)</b> .....	<b>246</b>
30.1. История создания .....	246
30.2. Центральный блок обработки информации (CPU) Микропроцессора .....	247
30.3. RISC-архитектура и CISC-архитектура .....	247
30.4. Шинная структура, магистрали компьютера .....	250
30.5. Основная память .....	250
30.6. Вторичная память .....	251
30.7. Методы массового хранения информации .....	252
30.8. ПЗУ – Базовая система ввода/вывода ФЛЭШ – память – БС Ввода/Вывода (ROM-BIOS/FLASH-BIOS) .....	255
30.8.1. ФЛЭШ-ПЗУ .....	255
30.8.2. Устройства «ввода» и «вывода» (BIOS) .....	256
30.8.3. Шины расширения .....	256
30.8.4. Устройства «ввода» и «вывода». Раздельные шины процессора и шина расширения .....	257
30.8.4.1. Устройства «ввода» .....	258
30.8.4.2. Устройства «вывода» .....	258
30.8.4.3. Исторический обзор графических стандартов .....	259
30.8.4.4. Графика высокого разрешения .....	259
30.8.4.5. Кабельные сборки по стандарту VGA .....	260
30.8.4.6. Порты присоединения внешних устройств .....	261
30.9. Словарь некоторых компьютерных составных частей .....	261
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	<b>263</b>

## ВВЕДЕНИЕ

---

Развитие аграрного сектора народного хозяйства Республики Беларусь на современном этапе характеризуется процессами модернизации и перехода на инновационный путь развития. Происходящие преобразования связаны с внедрением высокопроизводительных мобильных и стационарных машин, агрегатов в растениеводстве и модернизацией животноводческих комплексов по производству молока, мяса. Приводы механических, гидравлических, пневматических, электрических механизмов оснащаются системными решениями с использованием элементов электроники.

Качественное выполнение технологических операций в сельскохозяйственном производстве, достижение высоких эксплуатационных показателей машин, повышение их моторесурса при постоянно ужесточающихся нормативных требованиях ведущих стран Европы и Америки, снижение потребления жидкого углеводородного топлива, тепловой и электрической энергии, улучшение агротехнических свойств машин, обеспечение безопасности и улучшение условий труда, как правило, достигается при комплектовании машин компонентами зарубежных электрических и электронных систем высокого технического уровня. На многих сельскохозяйственных агрегатах механические устройства заменяются на механизмы с электронным управлением, что значительно увеличивает диапазон выполнения техникой сельскохозяйственных работ, повышает производительность труда, уменьшает материалоемкость, расход топливно-энергетических ресурсов, обеспечивает безопасность, комфортное управление. Электронные устройства позволяют осуществлять функции регулирования и контроля, сигнализации, оптимального управления и пуска, навигации в системах точного земледелия, своевременного обеспечения информацией и ведения диагностирования.

Постоянное совершенствование конструкций машин с использованием фундаментальных исследований в области электроники новейшей элементной базы, обеспечение ее работоспособности требуют от специалистов аграрного сектора необходимых специфических знаний по устройству и эксплуатации машин и технологического оборудования, оснащенных электронными системами и устройствами.

Это обуславливает необходимость введения новой специализации «Электронные системы и устройства сельскохозяйственной техники» в специальности «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства», где будущие инженеры будут осваивать широкий круг вопросов, касающихся изучения основ приводов электрооборудования и систем электроники, являющихся фундаментом для изучения всего многообразия схемных и конструктивных решений машин и технологического оборудования.

Необходимость появления данного учебного пособия вызвана, с одной стороны, отсутствием литературы, где эти вопросы изложены на уровне, доступном для студентов неэлектрических специальностей, а с другой стороны – потребностью отразить современные достижения в области электрооборудования, электроники и смежных областей ведущих зарубежных фирм за последние годы.

Главное назначение пособия – дать читателю общие сведения по компонентам, необходимым для изучения последующего материала по электрооборудованию и электронным системам мобильной техники и технологическому оборудованию. Учебный материал разбит на 30 разделов и содержит описания, схемы, формулы для расчета, основные понятия, необходимые определения; в пособии приводятся широко употребляемые термины, принятые в странах ЕС и США, элементы информации, нормативная документация, названия компаний и фирм, производящих компоненты электрооборудования и электроники, сведения о европейских и американских стандартах.

Материал, изложенный в пособии, соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта, охватывает все основные направления по компонентам электрооборудования и электроники, включая основы полупроводниковых приборов, аналоговую и цифровую схемотехнику. Особое внимание уделяется основам микропроцессорной техники, без которой невозможно представить современную сельскохозяйственную технику.

Пособие может быть использовано как справочник по компонентам электрооборудования и электронных систем, не имеющий аналогов в Республике Беларусь.

# 1. ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

---

Предохранитель – это компонент, который защищает электрическую цепь и ее элементы от перегрева и возгорания. В общем, это компонент, который чувствителен к потреблению тока в цепи и отключает питание, если потребление тока становится слишком большим в случае короткого замыкания в цепи или перегрузке. В цепи предохранитель обозначается буквами «FU» (международное обозначение, от англ. *Fuse*) или «Пр» (обозначение в СССР), а на схемах прямоугольником со сплошной линией в центре.

Конструкция предохранителя включает в себя:

- плавкую вставку – элемент, содержащий разрывную часть электрической цепи (например, проволоку, перегорающую при превышении определенного уровня тока);
- механизм крепления плавкой вставки к контактам, обеспечивающим включение предохранителя в электрическую цепь и монтаж предохранителя в целом.

## 1.1. Характеристики предохранителей

**Номинальное напряжение** – наибольшее длительное рабочее напряжение и тип напряжения (переменное или постоянное), при котором предохранитель может быть использован.

**Токовый номинал** – рабочий ток, при котором предохранитель предназначен для использования. Номинал тока несколько ниже тока, который может протекать длительное время без срабатывания предохранителя. Разность между значениями этих двух токов изменяется в различных европейских стандартах (например, IEC) и других стандартах (США, Японии и др.).

Одной из важнейших характеристик керамического предохранителя (плавкой вставки) является **временная характеристика срабатывания**, которая описывает, как быстро срабатывает предохранитель (сгорает, прерывает цепь), и насколько высоко значение тока.

В соответствии со стандартом IEC (Международная электротехническая комиссия) по временной характеристике срабатывания предохранители (плавкие вставки) выпускаются следующих видов: «FF» – сверхбыстрые (Ultra rapid),

«F» – быстрые (Quick acting), «M» – промежуточные или стандартные (Standart fuses), «T» – с временной задержкой (time-lag), «ТТ» – с очень большой задержкой, или замедленные (slow acting).

Предохранители с временной задержкой (медленные / time-lag, slow acting), как правило, предназначены для защиты цепей электродвигателей, имеющих большие пусковые токи, маркируются как aM, TDZ или стилизованным изображением улитки.

Предохранители с уменьшенным временем срабатывания (сверхбыстрые / ultra rapid) – маркировка uberflink, silized, FF, gR, aR, gS, либо графическое изображение диода – применяются в тех случаях, когда размыкающее действие предохранителя должно быть как можно более быстрым, как правило, для защиты полупроводниковых приборов и интегральных схем или на входах прибора.

Предохранители «UL» могут быть «TD» и «D» (с задержкой). Размыкатели цепи имеют типы «B» (быстрые), «C» (с задержкой) и «D» (с очень большой задержкой).

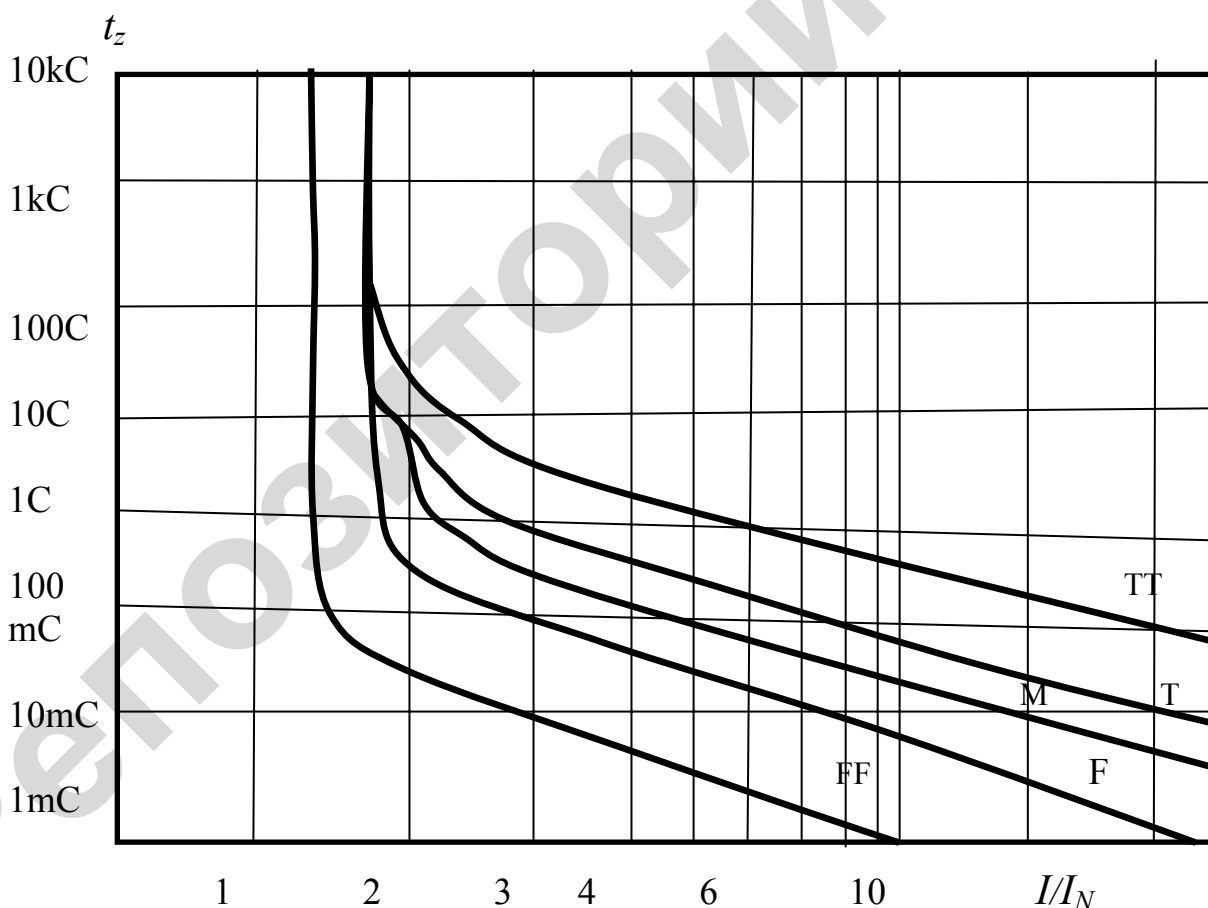


Рис. 1. Характеристики предохранителей различных типов:  
по вертикальной оси показано время, предшествующее сгоранию предохранителя (мс, кс);  
по горизонтальной оси – отношение тока нагрузки к номиналу тока ( $I/I_N$ )

**Разрывная мощность** – наибольший ток, который предохранитель способен прервать при данном напряжении без короткого замыкания или повторного соединения. Характеристика разрывной мощности может включать, например, значение тока размыкания, значение и тип рабочего напряжения (напряжение переменного тока или напряжение постоянного тока) и «cosφ» нагрузки. Для всех условий работы разрывная мощность должна быть достаточной.

## 1.2. Типы предохранителей

**Термопредохранители** выпускаются различных моделей. Широкое применение находят **стеклотрубчатые и керамические предохранители** (рис. 2). Они рассчитаны на различные токи срабатывания и имеют различные габариты. В оборудовании стран ЕС широко используются предохранители с размерностью 5 x 20 мм, тогда как американское оборудование снабжается предохранителями большей размерности 6,3 x 32 мм. Керамические модели имеют большую разрывную мощность.

Находят применение и многие другие разновидности специальных предохранителей, имеющих другие типоразмеры и свойства.

**Сверхминиатюрные предохранители** могут применяться, например, на входе некоторых измерительных приборов для защиты от перегрузки. Они монтируются в держателях (дырочный монтаж) или при постоянном монтаже (поверхностный монтаж).

**Автомобильные предохранители** изготавливаются двух моделей: в виде керамического стержня размером 6 x 25 мм с металлической пластинкой сверху, которая расплавляется, или с пластиковым покрытием с двумя параллельными ножевыми выводами (контактами). Последний тип предохранителей используется в современных легковых автомобилях. Преимущество их в том, что контакт предохранителя с держателем получается намного более плотным, чем в старых керамических предохранителях, где окисление зачастую приводило к нарушению (разрыву) контактов после нескольких лет эксплуатации.



Рис. 2. Стеклотрубчатые (а), керамические (б) цилиндрические предохранители (плавкие вставки), автомобильные предохранители (в)

**Автоматические выключатели** могут возвращаться в исходное положение и не нуждаются в замене после размыкания (срабатывания). Для большинства применений предохранитель должен иметь такую конструкцию, которая бы предотвращала автоматический возврат в исходное положение, пока продолжается состояние перегрузки. Возврат в исходное положение производится вручную (рис. 3)

Автоматические выключатели термического действия имеют большой срок службы. Они изготавливаются для различных характеристик размыкания. Некоторые предохранители спроектированы с электромагнитным быстрым размыканием для токов, которые значительно превышают номинальный ток предохранителя. Предохранители без быстрого размыкания обычно относятся к типу замедленного действия (с задержкой) и, следовательно, они пригодны для использования в схемах с высоким током включения (бросок тока).



Рис. 3. Модульный автоматический выключатель

Термические предохранители по принципу работы подвержены влиянию окружающей температуры. Номинальное значение предохранителя обычно соответствует +20 °С. Изготовитель ЕТА дает следующие коэффициенты коррекции для различных окружающих температур (номинальное значение предохранителя – это пусковой ток, умноженный на коэффициент коррекции) (см. табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты коррекции для различных окружающих температур

Окружающая температура, °С	-20	0	20	30	40	50	60	70
Коэффициент коррекции	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,45	1,65



**Полимерные предохранители с автоматическим возвратом в исходное положение** заменяют обычные стеклотрубчатые предохранители в большинстве применений с небольшими токами. После размыкания из-за превышения температуры этим предохранителям необходимо некоторое время для охлаждения, чтобы возвратиться к уровню низкого сопротивления. Эта технология используется также для защиты от перенапряжения. Полимерные предохранители изготавливаются в нескольких вариантах: для дырочного и поверхностного монтажа и в виде фольги, что находит применение в аккумуляторных блоках. Эти предохранители применимы для защиты электродвигателей, трансформаторов, источников питания, динамиков, систем аварийной сигнализации, телефонов, тестеров, печатных плат и т. д.

**Термальные предохранители** чувствительны к окружающей температуре и разрывают цепь, если температура превышает определенный предел. Это позволяет применять их для защиты от перегрева большинства электро-технических и электронных устройств. Термальные предохранители могут быть изготовлены с расплавляющимся корпусом, который размыкает питание. Другая конструкция предусматривает биметаллическую пружину, которая изгибается от воздействия тепла и после охлаждения возвращается в исходное положение.

## 2. УСТРОЙСТВА ОСТАТОЧНОГО ТОКА

---

### 2.1. Токи повреждения

**Токи повреждения** – токи, текущие к нейтральной точке системы через защитный проводник или непосредственно через человека на землю из-за повреждения изоляции в электрических установках или устройствах (рис. 4).

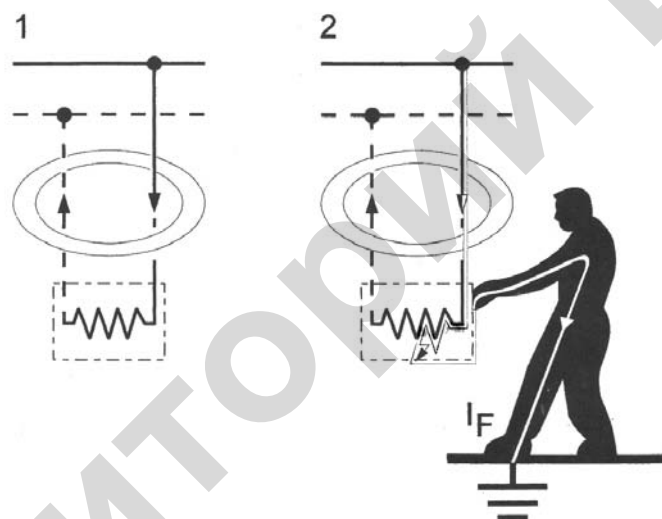


Рис. 4. Происхождение токов повреждения,  $I_F$ :

1 – схема без токов повреждения; 2 – схема с токами повреждения (дефектное устройство)

Люди или животные, которые касаются дефектных или находящихся под напряжением частей и, следовательно, пересекаются токами повреждения, подвергаются опасности в наивысшей степени.

Токи повреждения в виде токов утечки, которые текут к земле, например, через демпферные фермы, могут привести к опасности воспламенения или способствовать пробое изолирующего материала.

Электрический ток оказывает на человека различное воздействие, зависящее от величины тока: 80 мА – мгновенная смерть в течение 0,5-1,0 сек; 30 мА – неритмичное сердцебиение и повышение артериального давления; 15 мА – мышечные судороги, если рука держит предмет под напряжением, она не может разжаться; 0,5 мА – неощутимо для человека.

## 2.2. Принцип прерывания тока повреждения

Законы Кирхгофа формируют базис технологии устройства остаточного тока, согласно которому сумма входящих токов равна сумме выходящих токов. В устройствах остаточного тока эти токи измеряются и сравниваются друг с другом. Если они не равны, т. е. имеется ток повреждения, дефектная часть отсоединяется с помощью устройства переключения (триггера). Это происходит быстро, даже при небольших токах повреждения, опережая и предотвращая травмирование людей или животных.

## 2.3. Конструкция устройства защитного отключения

Основная задача устройства защитного отключения (УЗО) – защита человека от поражения электрическим током и от возникновения пожара, вызванного утечкой тока через изношенную изоляцию проводов и некачественные соединения. Основными компонентами устройства защитного отключения являются трансформатор суммарного тока, магнитное переключающее устройство и контактная система с контактным механизмом. Все фазные проводники и нейтральный проводник на входной стороне устройства, которое должно быть защищено, питаются через трансформатор суммарного тока ( $I$ ) (см. схему на рис. 4а).

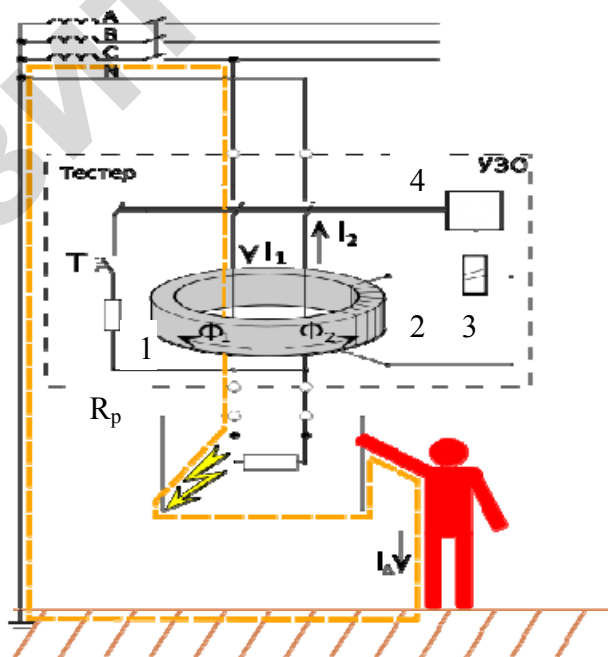


Рис. 4а. Принцип работы устройств остаточного тока:

1 – трансформатор; 2 – вторичная обмотка; 3 – магнитный переключатель (триггер);  
4 – триггерный механизм

Принцип работы устройства защитного отключения основан на измерении баланса токов между входящими в него токоведущими проводниками (остаточного тока) с помощью дифференциального трансформатора тока. Если баланс токов нарушен, то УЗО немедленно размыкает все входящие в него контактные группы, отключая таким образом неисправную нагрузку.

Ток, протекающий через каждый из этих проводников, индуцирует магнитный поток ( $\Phi$ ) в трансформаторе суммарного тока. В устройстве без тока повреждения входящие и выходящие токи равны. Магнитные поля, создаваемые этими токами (в трансформаторе суммарного тока), компенсируют (аннулируют) друг друга.

Если токи в проводниках не равны, в трансформаторе создается магнитный поток, вызываемый токами  $I_1$  в фазном проводнике и  $I_2$  в нейтральном. Магнитный поток  $\Phi$  индуцирует напряжение во вторичной обмотке (2), которая активизирует вторичный ток через обмотку магнитного триггера (3). Этот ток ослабляет магнитное поле в магнитном триггере до такой степени, что якорь расцепляется и размыкает главные контакты через триггерный механизм (4).

На рис. 5 показана проверочная (тестовая) кнопка (Т), которая имитирует ток повреждения через резистор ( $R_p$ ). Это позволяет производить постоянное тестирование функциональной защиты устройства остаточного тока.

В США в соответствии с National Electrical Code устройства защитного отключения (ground fault circuit interrupter — GFCI), предназначенные для защиты людей, должны размыкать цепь при утечке тока 4-6 мА (точное значение выбирается производителем устройства и обычно составляет 5 мА) за время не более 25 мс. Для устройств GFCI, защищающих оборудование (то есть *не* для защиты людей), отключающий дифференциальный ток может составлять до 30 мА. В Европе используются УЗО с отключающим дифференциальным током 10-500 мА.

### 3. СВЕТ И ЛАМПЫ

---

Источники электрического освещения по своей конструкции преобразуют электрический ток в излучение. Взаимосвязь между световой отдачей, сроком службы и электрическим КПД источника света является очень важной.

#### 3.1. Маркировка источников света

Как и другие технические изделия, источники света маркируются важной информацией. Следовательно, потребитель может подобрать требуемый тип источника света с определенными данными по напряжению и имеет возможность сделать правильный выбор. Используемые источники света подразделяются на лампы накаливания, флуоресцентные (энергосберегающие), галогенные и разрядные лампы.

**Лампы накаливания** маркируются по напряжению и мощности в Ваттах, или, в случае маленьких лампочек, по силе тока (миллиамперах).

**Флуоресцентные лампы** и другие **разрядные лампы** маркируются только по мощности (Вт).

Зависимость между напряжением, мощностью и силой тока выражается формулами:

$$U = R \cdot I \text{ и } P = U \cdot I, \quad (1)$$

где  $U$  = напряжение, вольт (В);

$I$  = сила тока, Ампер (А);

$R$  = сопротивление лампы, Ом;

$P$  = мощность, ватт (Вт).

В схемах переменного тока, не имеющих чисто резистивной нагрузки, например, арматура (фитинги) флуоресцентных ламп или электродвигатели, для расчета мощности используется другая формула. Это обусловлено тем,

что в таких цепях существует сдвиг фаз, имеющий место между напряжением и током. Формула для расчета мощности ( $P$ ) будет иметь вид:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi. \quad (2)$$

### 3.2. Технические световые параметры и единицы измерения

Основные параметры и единицы измерения для ламп и технологии освещения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные параметры и единицы измерения для ламп

Параметр	Символ параметра	Единица измерения
Световой поток	$\Phi$ (фи)	lm (люмен)
Сила света	I	cd(кандела)
Освещенность	E	lx (люкс)
Яркость	L	cd/m <sup>2</sup>
Световая отдача	$\eta$ (эта)	lm/W

Приведенные в табл. 2 параметры и единицы измерения используются для указания свойств освещения, распределения света, светоотдачи и др. параметров источников света и арматуры. Они необходимы для проектирования освещения, и достигаемые результаты всегда указываются с помощью этих параметров и единиц.

**Световой поток** выражается в люменах (сокращенно «lm») и представляет собой весь свет, который излучается источником. Однако поток света неодинаков во всех направлениях (рис. 5).

**Сила света** выражается в канделах (сокращенно cd) и представляет собой свет, излучаемый источником в одном определенном направлении. На рис. 6 приведено образное разъяснение понятия 1cd (кандела), т. е. свеча диаметром 25 мм дает силу света, примерно равную 1cd.

Лампы накаливания не дают одинаковой силы света во всех направлениях. Обычная лампа 100 Вт, 1000 ч, дает силу света 120 cd вдоль продольной оси и около 110 cd под прямым углом к оси лампы (рис. 5, а).

Лампа 100 Вт с рефлектором 35° излучает весь свет почти в одном направлении с силой света 1000 cd – в направлении продольной оси благодаря рефлектору (рис. 5, б).

Освещенность выражается в люксах (сокращенно lx) и является мерой потока света, который попадает на поверхность. Освещенность ( $E$ ) – это зависимость между общим потоком света ( $\Phi$ ), который попадает на поверхность, и величиной этой поверхности ( $A$ ), выражается следующей формулой:

$$E = \Phi / A, \quad (3)$$

где  $E$  – освещенность, lx;  $\Phi$  – световой поток, lm;  $A$  – поверхность,  $m^2$ .

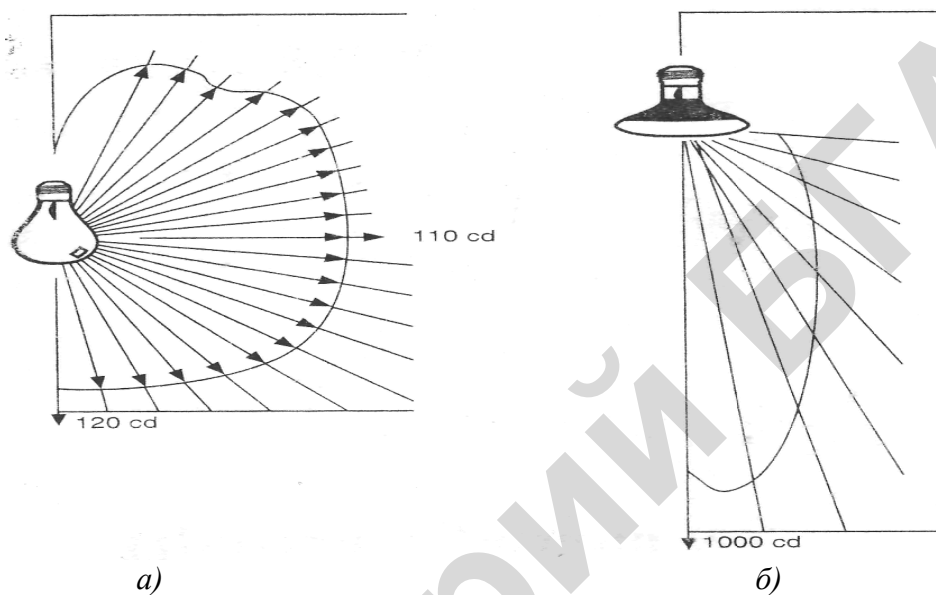


Рис. 5. Сила света от ламп накаливания (распределение)

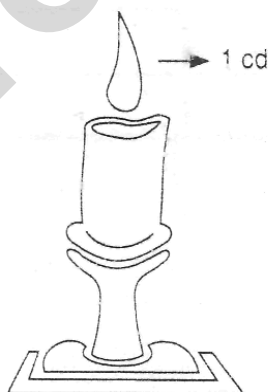


Рис. 6. Сила света 1 cd (одна свеча диаметром 25 мм)

*Пример.* Если поверхность площадью ( $A$ ) =  $1\text{ м} \cdot 1\text{ м} = (1\text{ м}^2)$  равномерно освещается световым потоком, равным 1 люмен (см. рис. 7), освещенность будет равна

$$E = \Phi / A = 1\text{ lm} / 1\text{ м}^2 = 1\text{ lx (люкс)}. \quad (4)$$

Это справедливо, если мы имеем одинаковый световой поток по всей поверхности. Однако на практике это очень редко выполняется и, следовательно, полученный результат является средней освещенностью.

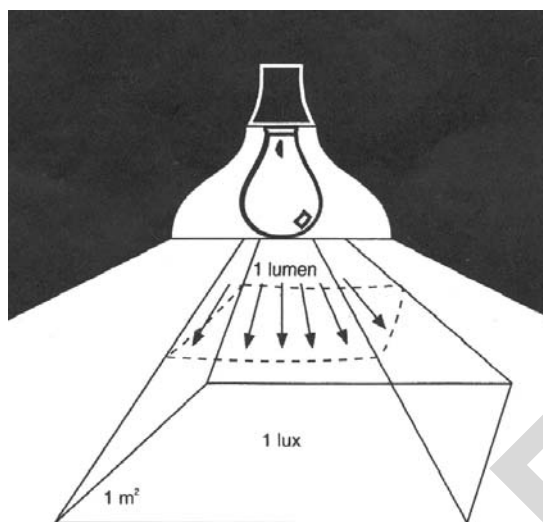


Рис. 7. Иллюстрация освещенности ( $E$ )

Освещенность зависит от расстояния до источника света (см. рис. 8) и снижается с увеличением этого расстояния по определенному закону. Так как  $E = \Phi/A$ , а  $I = \Phi/w$ , как рассмотрено ранее, и  $A = w \cdot r^2$ , то  $E = I/r^2$ , где  $E$  – освещенность в люксах,  $I$  – сила света в канделах и  $r$  – расстояние в метрах.

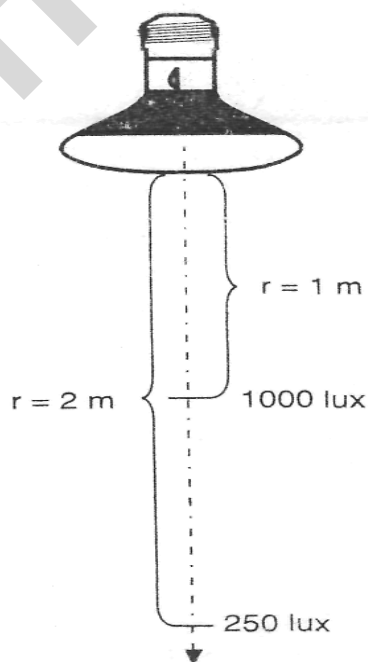


Рис. 8. Зависимость освещенности от расстояния



Если нужно рассчитать освещенность ( $E$ ), которая может быть достигнута в определенной точке, это можно сделать, приняв, что сила света ( $I$ ) от источника излучается в направлении этой точки.

Пример: освещенность для силы света в 1000 cd на расстоянии 1 м:  $E = I/r^2 = 1000/1^2 \text{ lx} = 1000 \text{ lx}$  на расстоянии 2 м:  $E = I/r^2 = 1000/2^2 \text{ lx} = 250 \text{ lx}$ . Эта зависимость формирует основу для проектирования прожекторного освещения с большой высоты в виде заливающего света на большой поверхности или в виде прожекторного луча и т. д.

**Яркость** выражается в канделах на м<sup>2</sup> ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) и является мерой светового воздействия на глаза человека от облучаемой поверхности («ощущаемая яркость»). Яркость определяется как сила света по отношению к проекции, освещенной поверхности, перпендикулярной направлению зрения. Другими словами, яркость - это сила света относительно величины восприятия глазом освещенной поверхности (см. рис. 9).

Яркость отражающей поверхности зависит от воздействующего света и от **отражательной способности** поверхности в направлении зрения.

Эта концепция имеет очень большое значение в контексте уличного освещения. Черная дорожная поверхность очень плохо отражает свет и, следовательно, яркость является слабой. Напротив, светлая дорожная поверхность обеспечивает лучшую видимость благодаря своей высокой яркости.

Хорошие отражающие свойства также означают, что при таких условиях можно обойтись меньшим освещением.

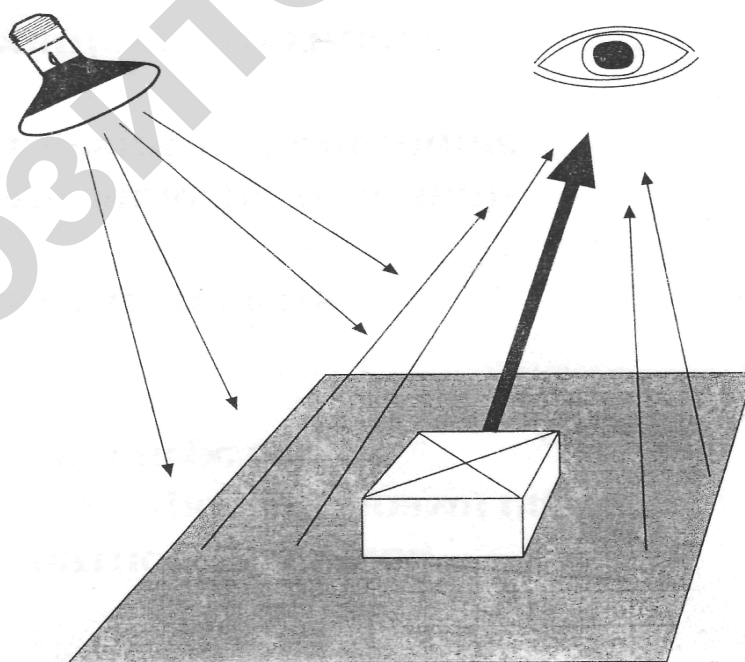


Рис. 9. Яркость воспринимается глазом как единица света, отражаемого с поверхности

Понятие яркости становится важным фактором, когда она становится

ослепляющей. Если наибольшие различия по яркости оказываются в поле зрения, это может привести к ослеплению и раздражению (раздражению).

Если бы мы бросили взгляд на мощный прожектор в ночное время, то ощутили бы очень сильное ослепление. Напротив, такого ослепления не было бы в солнечный день при воздействии такого же прожектора. Прожектор имеет одинаковую яркость и днем и ночью. Ночью окружающая яркость очень мала. Но получается большой **контраст** и высокий уровень **ослепления**. В дневное время окружающая яркость может быть почти одинаковой с яркостью прожектора. Следовательно, контраста нет, и нет ослепления.

**Светоотдача** выражается в люменах на Ватт (сокращенно lm/w) и является мерой эффективности или КПД источника света. Выход света указывает какой световой поток дает источник света по отношению к затраченной электрической энергии, т.е.

$$H = \Phi/P, \quad (5)$$

где  $\Phi$  – световой поток, lm;  $P$  – мощность, w.

Чем больше выход света, тем больше, как правило, эффективность источника света. Однако здесь необходимо также учитывать срок службы источника света. Сравнение свойств различных источников света приведено в табл. 3.

Таблица 3

Свойства различных источников света

Тип	Мощность, Вт	Поток света, люмен	Светоотдача, lm/w	Срок службы, ч
Лампа накаливания	60	730	12,1	1000
	100	1380	13,8	1000
Низковольтная галогенная лампа	20	350	17,5	2000
Лампа малой мощности	11	600	54,5	8000
Флуоресцентная лампа	36	3450	95,8	12000
Ртутная флуоресцентная лампа	80	4000	50	15000

### 3.3. Типы ламп

#### 3.3.1. Лампы накаливания

Лампы накаливания изготавливаются с патронами по международному стандарту. Лампы с винтовым цоколем обозначаются E 5,5; E 10; E 14 и E 27, где цифры обозначают наружный диаметр резьбы в миллиметрах. Например, лампа E 27 имеет винтовой цоколь диаметром 27 мм, который нормальным цоколем Эдисона. Лампы с байонетным цоколем обозначаются, например, BA 7S, BA 9S, BA 15S и т. д. Имеются также миниатюрные лампы с цоколями «нажимного» или «клинового» типа и типа «телефон», а также лампы с двумя выводами типа «Bi Pin», которые устанавливаются в цоколях или припаиваются. Имеются также лампы в виде стеклянных трубок наряду с разными моделями миниатюрных ламп.

Рабочим элементом лампы накаливания, как известно, является нить накаливания, которая нагревается под действием проходящего через нее электрического тока до очень высокой температуры, и излучает видимый свет. В качестве материала для нити накала применяется вольфрам, который имеет точку плавления 3655 К. В обычных лампах накаливания нить накала достигает температуры от 1800 К до 2500 К. Чем выше температура, тем белее свет (его цветовая температура выражается в Кельвинах – К), но более высокая температура снижает также срок службы лампы. В некоторых случаях требуются лампы более белого света, например, для фотографирования и пленки. Для этой цели существуют лампы накаливания, которые выдерживают температуры в пределах 2500–2900 К, что обусловлено заполнением стеклянной колбы лампы инертным газом.

Лампа накаливания в момент включения дает заброс тока примерно в 12 раз больше, чем в режиме нормального разогрева нити накала. Самое короткое время включения для слаботочных ламп. В течение 20 мс ток падает до двух номиналов для лампы 0,10 А. Ток включения лампы может быть ограничен с помощью тока предварительного нагрева, который может протекать через лампу без ее включения.

Если рабочее напряжение лампы накаливания отличается от номинального напряжения, ее свойства изменяются. На рис. 10 видно, как снижается срок службы на 0,05 раз от номинального при 25 % импульсном напряжении. С другой стороны, светоотдача больше в 2,1 раза. В то же время цветовая температура возрастает (более белый свет). Это может быть желательным для некоторых применений. В других случаях, например, для индикаторных ламп, в оборудовании, где

надежность имеет первостепенную важность, обоснованно снижать напряжение. Однако в таких случаях более приемлемо использование в качестве индикаторных ламп светоизлучающих диодов (СИД).

На срок службы ламп накаливания оказывает влияние не только величина напряжения, но и использование напряжения постоянного тока вместо переменного. Это снижает срок службы ламп наполовину. Удары и вибрации также снижают срок их службы. Низковольтные лампы противостоят ударам и вибрации наилучшим образом. Повышенная окружающая температура также снижает срок службы ламп накаливания.

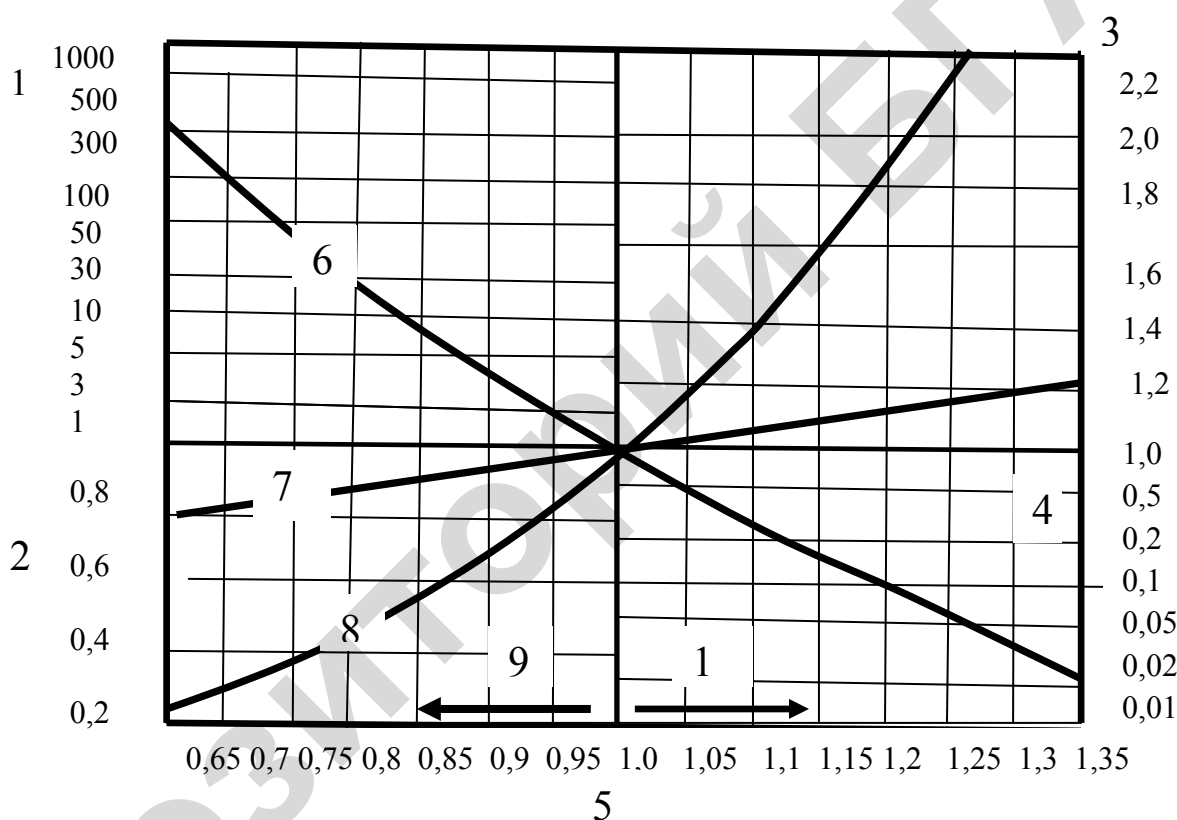


Рис. 10. Потребление мощности, сила света и срок службы лампы накаливания в функции рабочего напряжения:

- 1 — срок службы, ч; 2 — ток, сила света; 3 — ток, сила света; 4 — срок службы;
- 5 — рабочее напряжение (номинальное напряжение); 6 — срок службы; 7 — ток;
- 8 — сила света; 9 — снижение напряжения; 10 — повышение напряжения

### 3.3.2. Галогенные лампы накаливания

Галогенные лампы имеют нить накала, как в обычных вакуумных лампах, но в них постоянно протекает вольфрам-галогенный процесс. Вольфрам-галоген является газообразным и прозрачным. В процессе циркуляции тепла он образует отложение на нити накала, но не на колбе лампы. Это означает,

что световой поток остается постоянным в течение всего срока службы лампы. Светоотдача лучше, чем в обычных лампах накаливания, а цветовая температура выше (около 3000 К), что полезно при использовании для освещения пленок и фотографий, диаскопов и осветительных работ в искусстве и т. д. Другим преимуществом является больший срок службы, чем у обычных ламп накаливания.

### 3.3.3. Флуоресцентные лампы

Флуоресцентные лампы дают очень высокую светоотдачу, зачастую 100 lm/w или выше. Их можно сравнить с галогенными лампами, которые дают светоотдачу около 12–25 lm/w, или с обычными лампами с вольфрамовыми нитями накала, которые обеспечивают 18 lm/w при температуре 2500–2900 К или 1–8 lm/w при 1800–2500 К. Срок службы их примерно в 6 раз выше, чем у ламп накаливания. Трубки изготавливаются с цветовой температурой от 2700 К до 6300 К и для ультрафиолетового излучения.

Последовательно с флуоресцентными лампами должно быть балластное сопротивление для ограничения тока. Это сопротивление имеет также и другое назначение – обеспечить достаточное напряжение зажигания. С помощью стартера (пускателя) балласт (как две нити накала лампы) пересекается током перед включением флуоресцентной лампы. Энергия, запасенная в балласте, дает рост импульса напряжения при прекращении тока. При этом напряжении включается флуоресцентная лампа. Величина балластного сопротивления должна быть отрегулирована, чтобы соответствовать отдаваемой мощности лампы. Флуоресцентные лампы изготавливаются, как правило, для напряжения 230 В переменного тока. Отклонения от этого напряжения требуют замены балластного сопротивления.

Имеются компактные лампы со специальным цоколем или с нормальным винтовым цоколем Е 27. В последнем случае всегда предусматриваются «драйверные» схемы, т. е. балласт и стартер.

Флуоресцентные лампы имеют угол сдвига фаз  $\cos\varphi = 0,40–0,50$ . Следовательно, в перманентных установках необходима фазная компенсация с помощью конденсатора примерно до  $\cos\varphi = 0,9$ .

### 3.3.4. Лампы на светоизлучающих диодах (лампы СИД)

Лампы СИД отличаются от обычных ламп накаливания тем, что они не имеют нити накала; вместо них они имеют светоизлучающие диоды с полупроводящим материалом, который излучает свет. При протекании постоянного

тока в полупроводнике электрон встречается с «дыркой» (положительный заряд), он тормозится и занимает ее место. В результате этого выделяется избыточная энергия электрона. В обычных диодах (на основе кремния или германия) эта энергия выделяется в виде тепла. В диодах, выполненных на основе сложных полупроводников, избыточная энергия выделяется в виде кванта света. В зависимости от полупроводника и примеси в нем можно получить свет от видимого диапазона всех цветов, включая белый, до инфракрасного. Например, красный, оранжевый и желтый цвета получаются в полупроводнике арсенид-фосфида-галлия (GaAsP), тогда как фосфид галлия (GaP) используется для получения зеленого и синего цветов.

Лампы СИД обычно приспособлены к определенному напряжению питания. Имеются лампы СИД, которые содержат только один СИД с ( $U_{\text{диода}}$ ), с падением прямого напряжения около 2 В. Они должны быть снабжены последовательным резистором  $R$ , рассчитанным по формуле:

$$R(\text{кОм}) = \frac{U_{\text{пит}}(\text{В}) - U_{\text{диода}}(\text{В})}{I_{\text{пр}}(\text{мА})}. \quad (6)$$

*Пример.* Мы хотим применить лампу, потребляющую ток 10 мА при ( $U_{\text{пит}}$ ) напряжении питания 5 В. По формуле, приведенной выше, получаем  $(5-2) / 10 = 0,3$  кОм. Мы обеспечим рабочий режим СИД-резистором посредством ограничения тока. Однако, следует обратить внимание на полярность включения СИД. СИД работает при подаче на анод положительного напряжения. При обратном, смещающем напряжении, светодиод не будет светиться.

### 3.3.5. Неоновые лампы

Принцип работы неоновых ламп полностью отличается от ламп накаливания. Они состоят из двух электродов, расположенных в стеклянном корпусе, заполненном инертным газом. Когда приложенное напряжение превышает определенное значение, газ ионизируется и становится проводящим. В этом устройстве также необходимо использовать балластный резистор для ограничения тока. Напряжение на самой лампе остается постоянным. Величина напряжения зависит от давления газа, что определяется изготовителем. Обычно рабочее напряжение находится в пределах от 60 до 150 В. Однако напряжение зажигания имеет более высокое значение. Следовательно, напряжение питания должно быть, по крайней мере, равно напряжению зажигания. Величина балластного резистора ( $R_6$ ) определяется по формуле:

$$R_{\text{с}} (\text{кОм}) = \frac{\text{Напряжение питания (В)} - \text{Рабочее напряжение (В)}}{\text{Ток (mA)}} \quad (7)$$

Неоновая лампа может использоваться как стабилизатор напряжения, что обусловлено ее принципом действия. Неоновая стабилизаторная лампа работает аналогичным образом. На самом деле она отличается от неоновой лампы только механической конструкцией и тем, что рабочее напряжение стабилизаторной лампы точно задается.

Имеются также неоновые лампы с встроенными балластными (интегральными) резисторами. Для них оговаривается напряжение питания.

### 3.3.6. Цоколи ламп накаливания

У цоколя любой лампы две задачи – обеспечить механическое закрепление лампы в патроне и надежный электрический контакт выводов лампы с цепями подачи напряжения. Принята международная индексация цоколей ламп накаливания, представленная в масштабе 1:1 на рис. 11.

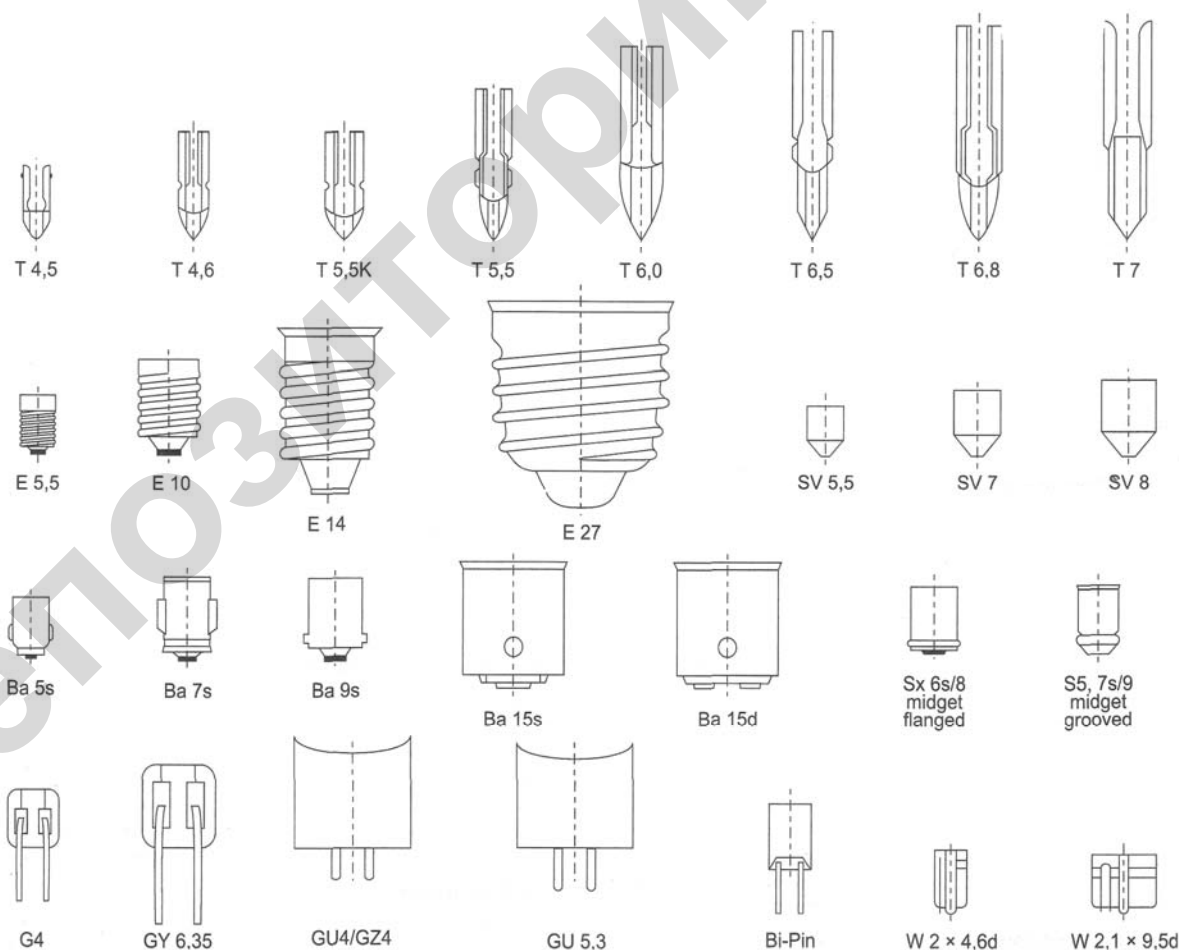


Рис. 11. Международная индексация цоколей ламп накаливания

Флуоресцентная (люминесцентная) лампа имеет изогнутую форму колбы, что позволяет разместить лампу в светильнике меньших размеров. Существуют несколько типов цоколей компактных люминесцентных ламп (рис.12). Наиболее распространенные: 2 D, G 23, 2 G7, G 24Q1, G 24Q2, G 24Q3, G 53. Кроме того, есть лампы для установки в патроны ламп накаливания: E 14, E 27 и E 40.

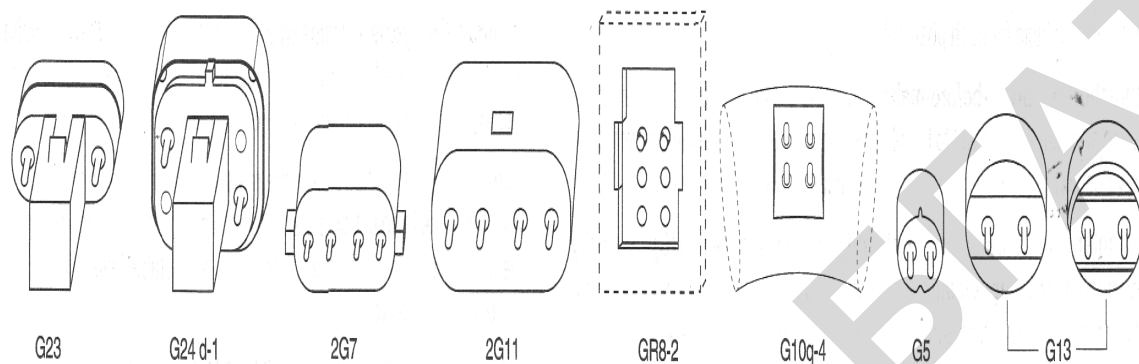


Рис. 12. Цоколи флуоресцентных ламп по международной индексации



## 4. ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ И РЕЛЕ

---

### 4.1. Переключатели

Термин «переключатели» используется для описания широкой гаммы компонентов, которые механически (вручную) замыкают или размыкают электрическую цепь или переключают ее с одной линии на другую.

Напряжение на переключателе должно быть известно заранее, поскольку более высокие напряжения требуют лучшей изоляции. Сила тока является другим важным фактором. Заметим, что замыкание переключателя может вызывать значительные броски тока на нагрузке (на потребителе).

Допустимый ток зависит от конструкции контактных поверхностей, выбранного материала, габаритных размеров и давления контакта. Этот ток имеет разные значения для постоянного и переменного напряжения, что обусловлено образованием дуги (искрением) в момент размыкания переключателя. Чтобы погасить дугу, должен быть или достаточно большим промежуток между контактами, или более низким ток.

В устройствах переменного тока меньше вероятность образования дуги. Переменный ток также предотвращает перенос материала с одного полюса к другому. Некоторые изготовители оговаривают «плюсовой» и «минусовой» полюса для подсоединений, в которых один из контактов имеет серебряное покрытие, тогда как другой выполнен из серебра. Полярность выбирается так, что материал переносится (мигрирует) от серебряного контакта к контакту с серебряным покрытием. Материал изоляции следует выбирать на базе применяемости переключателя; он вызывает потери, которые возрастают с частотой. Сигналы высокой частоты требуют керамической изоляции (РТЕЕ). В случае очень высоких частот пути проводимости также должны быть импедансно согласованными, чтобы поддержать на минимальном уровне потери и отражения сигналов.

С точки зрения механической конструкции имеются различные типы переключателей:

- *рычажные (перекидные)* – обычно требуют значительного механического усилия и приводного перемещения, но его положения четко определены;

- *ползунковые (скользящие)* – не имеют четких положений переключения;  
- *переключатели с минимальным зазором типа «Microgap»* являются идеальными, когда требуется небольшое приводное перемещение при очень малом рабочем усилии. Оригинальный механизм позволяет увеличить ход контактов. Переключатели этого типа содержат изогнутые пружины, позволяющие подвижному контакту перемещаться в любое положение. Между этими положениями переключатель неустойчив. Как результат, имеют место точные и четкие положения и быстрое переключение;

- *язычковые* – чувствительны к магнитным полям. Стеклообразная трубка содержит металлический нож (лезвие), который при воздействии на него магнитного поля замыкает электрическую цепь между двумя электродами переключателя. Язычковые переключатели имеются как в автономном исполнении, так и в виде составной части язычковых реле.

При использовании язычковых переключателей следует помнить, что:

- чувствительность снижается при изгибе или срезании соединительных штырьков;

- при изгибе контактов стекло может треснуть. Чтобы избежать этого, захватывайте контакты плоскогубцами в месте их выхода из стеклянного корпуса. Это неприменимо для переключателей с плоскими стеклянными частями и плоскими контактами.

## 4.2. Функциональное описание

В зависимости от функционального назначения выключатели имеют следующее обозначение:

1. SP (Single Pole) – 1 полюс.
2. DP (Double Pole) – 2 полюса.
3. ST (Single Throw) – двухпозиционный контакт с выходом только для одного положения (т. е. или замыкать, или размыкать).
4. DT (Double Throw), CO (Change Over) – двухпозиционный контакт с отдельными выходами для каждого положения (т. е. переключение из одного положения в другое).
5. Типа «А»: контакт замыкания.
6. Типа «В»: контакт размыкания.
7. Типа «С»: контакт переключения; замыкание после размыкания.
8. Типа «D»: контакт переключения; размыкание после замыкания.

Если в названии имеется цифра, это относится к числу контактов.

9. Короткозамкнутый, с размыканием после замыкания. Когда переключатель изменяет одно положение на другое, контакт в новом положении замыкается до размыкания предыдущего положения. Это означает, что соединения с выводами старого и нового положений оказываются на мгновения короткозамкнутыми (если только переключатель не имеет полностью отдельных контактов для каждого положения).

10. Не короткозамкнутый, с замыканием после размыкания. Когда переключатель изменяет одно положение на другое, контакт размыкается к начальному положению до замыкания контакта к новому положению. Здесь между выводами нет короткого замыкания.

11. Мгновенного, моментального действия, (ВКЛ), (ВЫКЛ), нормально замкнутый (NC), нормально разомкнутый (NO), размыкание, замыкание – все эти термины используются для описания контактов в начальном положении, в которое они возвращаются, когда кнопка отпущена. Однако термин «с пружинным возвратом» также означает, что контакта нет, когда кнопка возвращается в первоначальное положение.

Термины «ВКЛ» и «ВЫКЛ» означают, что контакты возвращаются из «ВКЛ/ВЫКЛ» положений соответственно. Термин «нормальный» относится к функции в начальном положении, а «размыкание» и «замыкание» обозначают, как изменяется положение контактов из начального положения.

Запирающее действие означает, что положение контакта изменяется при нажатии кнопки, и оно не реверсируется в начальное положение до тех пор, пока кнопка не будет нажата повторно.

Групповое действие (срабатывание) означает, что несколько переключателей соединены в группу таким способом, что при приведении в действие одного из переключателей любые, уже сработавшие переключатели, возвращаются в свои начальные положения.

### **4.3. Реле**

Реле – это переключатели, которые могут управляться дистанционно, обычно путем пропускания электрического тока через обмотку электромагнита (катушку), магнитное поле которой приводит в действие механические контакты (рис. 13). Главные различия между реле состоят в контактной функции и характеристиках катушек.

### 4.3.1. Контактная функция.

Контакты могут иметь функцию замыкания (тип «А»), функцию размыкания (тип «В») или функцию переключения (тип «С»). Контакты проектируются на максимальную мощность, которая зависит от контактного давления, размеров и материала контактных поверхностей. Полная информация о реле включает в себя максимальное напряжение, ток и мощность.

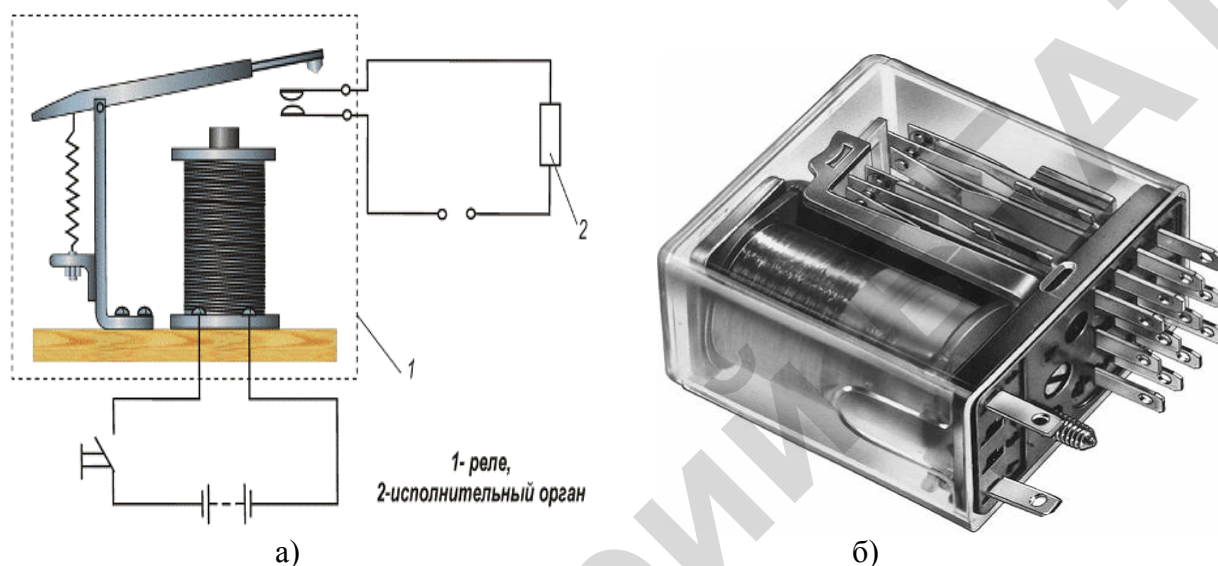


Рис. 13. Функциональная схема (а) и внешний вид реле (б).

Реле выпускаются с катушками для постоянного и переменного тока в диапазоне напряжений от 5 до 220 В. При подборе реле необходимо учесть потребляемую мощность. В реле постоянного тока потребление зависит от сопротивления катушки; чем выше сопротивление, тем меньше реле потребляет энергии.

Можно использовать напряжение ( $U$ ), подаваемое на катушку, и сопротивление ( $R$ ) для расчета мощности ( $P$ ) по следующей формуле:

$$P = U^2 / R, \quad (8)$$

где  $P$  – мощность;  $U$  – напряжение;  $R$  – сопротивление катушки.

### 4.3.2. Специальные реле

**Реле замкнутого типа** остаются в переключенном положении, пока не будет подан импульс обратной полярности. Если имеются две катушки, то одна может использоваться для замыкания, а другая – для размыкания.

**Твердотельные реле** обычно состоят из одного задающего каскада и одного выходного каскада. Между каскадами обычно располагается изолирующий материал: оптоизолятор или язычковое реле. В зависимости от типа тока и мощности выходной каскад состоит из транзистора, двунаправленного триодного тиристора или двух противоположных тиристоров.

**Язычковое реле** состоит из язычкового переключателя (см. описание выше), приводимого в действие с помощью катушки.

#### **4.4. Защита контактов**

Переключатели и реле только тогда будут иметь ресурс, оговоренный изготовителем, когда соблюдены все требования по напряжению, току и мощности. Контактная информация обычно оговаривается только для резистивных нагрузок. В случае емкостных и индуктивных нагрузок переключающая способность (мощность) реле снижается. Информационные листы изготовителя содержат подробности, касающиеся индуктивной нагрузки реле.

##### **4.4.1. Емкостные нагрузки**

Когда лампа накаливания, электродвигатель или емкостная нагрузка, например, флуоресцентная лампа, запускаются (включаются), имеет место бросок тока, который превышает номинальный в 10–15 раз. Этому можно противодействовать путем присоединения дросселя, резистора NTC (с отрицательным температурным коэффициентом) или PTC (с положительным температурным коэффициентом) последовательно с нагрузкой. Это можно применять как для постоянного, так и для переменного тока.

##### **4.4.2. Индуктивные нагрузки**

Когда индуктивная нагрузка выключается, например, соленоидный клапан или электродвигатель, имеет место размыкающий переходный процесс, который может повысить напряжение питания на несколько сотен вольт. Чтобы это исключить, используются различные типы контактной защиты: «Комгэп» (Comgar), варисторы, двойные диоды Зенера, диоды и резистивно-емкостные связи.

1. «КОМГЭП». Это переходное предохранение плазменного типа. Когда напряжение на «Комгэпе» превысит номинальное, сопротивление упадет от более чем 10 Мом до нескольких Мом в течение менее 1 мкс. Это справедливо как для постоянного, так и для переменного тока.

2. Варисторы. В варисторе при конкретном напряжении сопротивление изменяется от крайне высоких до очень низких значений за предельно короткое время. Варистор поглощает энергию переходного процесса, поддерживая напряжение на приемлемом уровне. К сожалению, варистор негативно влияет на время размыкания.

При рабочих напряжениях 24–28 В варистор должен быть соединен с нагрузкой, а при напряжениях 100–240 В его следует соединить с контактами реле. Это касается схем постоянного и переменного тока.

3. Двойные диоды Зенера. Два противоположных диода Зенера соединены последовательно и подключены параллельно контакту или нагрузке. Они действуют аналогично варисторам. Это касается схем постоянного и переменного тока.

4. Диоды. Нормальный диод или диод–разрядник от перенапряжений переходного процесса присоединяется к нагрузке. Если диод Зенера присоединен последовательно с диодом, то на время размыкания не оказывается такого большого воздействия, как от самого диода. Это относится к схемам постоянного тока. Некоторые типы диодов–разрядников напряжения переходного процесса могут быть также использованы в схемах переменного тока.

5. «RC»-комбинация. Резистивно-емкостная комбинация состоит из резистора и конденсатора, соединенных последовательно. Комбинация может быть присоединена параллельно контактам или нагрузке. В некоторых случаях ее следует использовать с чисто резистивными нагрузками, например, при использовании ртутных реле.

«RC»-комбинация может также защищать от переходных явлений при размыкании и предотвращать появление радиопомех. «RC»-комбинация должна быть присоединена к нагрузке при напряжениях питания 24–28 В, и к контактам для напряжений 100–240 В. Это касается схем постоянного и переменного тока и может сочетаться с другими методами защиты контактов.

Максимальный ток размыкания  $I$  дает емкость  $C$  непосредственно на левой вертикальной оси (рис. 14). Форма кривой в центре в качестве параметра имеет максимальное напряжение размыкания  $U$ . Если провести прямую линию через значения  $I$  и  $U$ , то пересечение ее с правой вертикальной осью дает значение  $R$ .

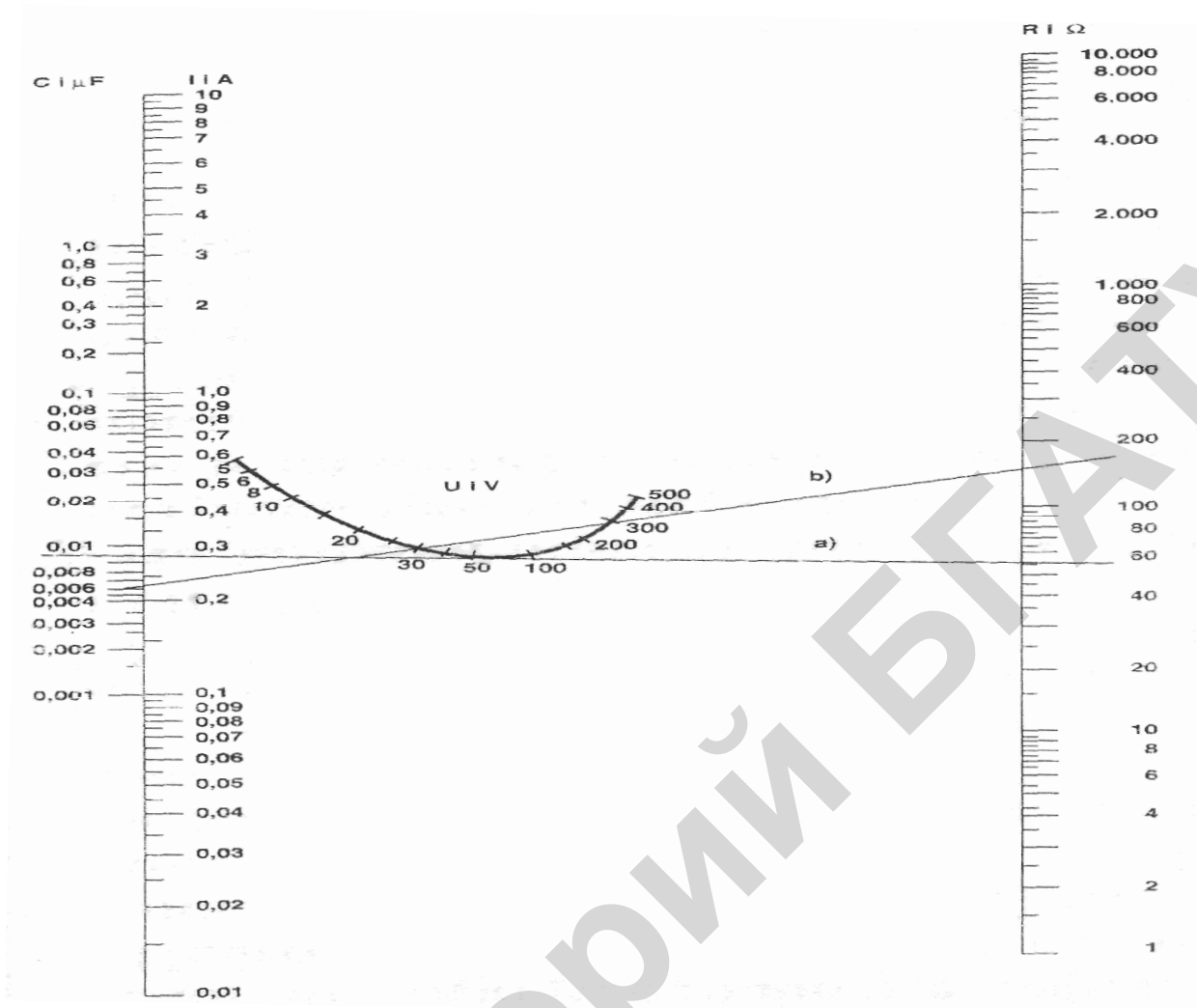


Рис. 14. Номограмма определения значений  $R$  и  $C$  в резистивно-емкостной схеме (при стандартной размерности по Хэмлину [Hamlin])

а) Например, при  $I = 0,3$  А и  $U = 50$  В получаем  $C = 0,009$  мкФ и  $R = 55$  Ом.

б) При  $I = 0,23$  А и  $U = 300$  В находим  $C = 0,0065$  мкФ и  $R = 150$  Ом.

#### 4.5. Датчики

**Датчик, сенсор** (от англ. *sensor*) – это первичный преобразователь, преобразующий контролируемую величину (давление, температура, расход, концентрация, частота, скорость, перемещение, напряжение, электрический ток и т. п.) в сигнал (электрический, оптический, пневматический), удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации информации о состоянии объекта измерений.

По принципу действия датчики классифицируются:

- оптические (фотодатчики);
- магнитоэлектрические (на основе эффекта Холла);
- пьезоэлектрические;
- тензопреобразователи;
- емкостные;
- потенциометрические;
- индуктивные.

По характеру выходного сигнала:

- дискретные;
- аналоговые;
- цифровые;
- импульсные.

Рассмотрим некоторые типы датчиков.

1. *Датчики контроля уровня* могут содержать поплавки с магнитом, который может воздействовать на язычковый переключатель.

2. *Датчики давления* осуществляют переключение, если достигнуто предварительно заданное давление.

3. *Переключатели наклона* реагируют на небольшие изменения угла наклона и они используются в датчиках положения.

4. *Емкостные датчики* выдают сигнал, который изменяется с изменением емкости, когда датчики находятся, например, в веществах с различной диэлектрической проницаемостью. Они используются, например, для контроля влажности зерна, уровня жидкостей.

Чем ниже диэлектрическая постоянная, тем ближе должен располагаться датчик, прежде чем произойдет активирование (срабатывание). Примеры диэлектрических констант: воздух – 1; полиамид – 4–7; стекло – 5–15; металл – 50–80; вода – 80. Датчик, например, может обнаружить воду на другой стороне стеклянной панели, другими словами, более высокая диэлектрическая постоянная может быть обнаружена через материал с более низкой диэлектрической постоянной (см. типовую характеристику на рис. 15).

Обычно датчик должен быть чувствителен к конкретному уровню контролируемой величины и реагировать на него. Некоторые датчики поставляются вместе с функциями переключения. Они включают в себя триггер, который переключается, когда значение емкости достигает заданного уровня. Датчики также могут содержать первичные преобразователи и транзисторные усилители мощности.



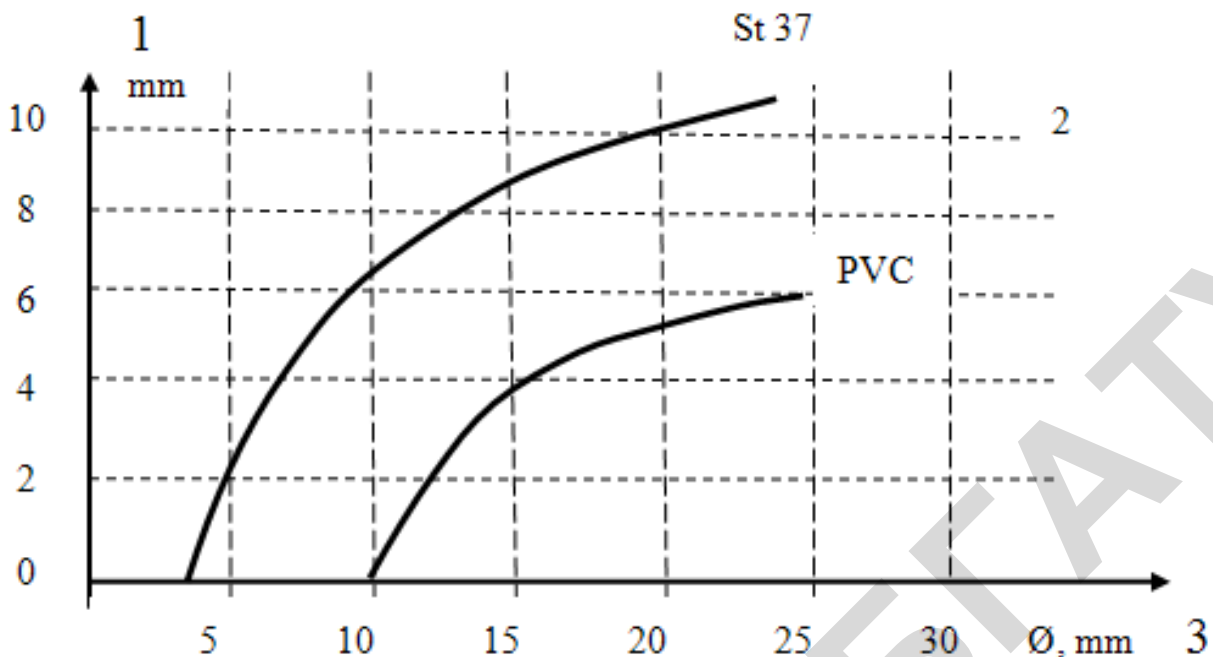


Рис. 15. Типовая зависимость (для различных материалов) между сенсорным расстоянием и размером чувствительной поверхности емкостных датчиков:  
 1 – измерительное расстояние (расстояние восприятия), мм;  
 2 – коэффициенты: сталь 37 (St 37) – 1; дерево – 0,8; стекло – 0,7; ПВХ (PVC) – 0,4; PE – 0,37; 3 – активная поверхность, мм

Емкостной датчик может быть использован для контроля уровня жидкости или порошка в контейнерах, в качестве импульсного датчика для индикации транспортерных и клиновидных ремней или для индикации положения продукта (изделия) на транспортерной ленте. Детектирование является полностью бесконтактным. Этот тип датчика не требует технического обслуживания, не подвержен износу, генерирует отчетливые импульсы и не испытывает дребезга контактов и искрообразования. Высокие частоты также допустимы.

**5. Индуктивные датчики**, по существу, состоят из катушки, которая реагирует на изменения магнитного поля.

Имеются датчики, которые не требуют внешнего магнитного поля, реагируя на изменения магнитного поля, создаваемого самим датчиком. Поле подвержено влиянию металлических предметов. Магнитное поле создается внутренним генератором импульсов.

Имеются датчики со встроенными пусковыми (триггерными) схемами, обеспечивающими замыкание или размыкание под определенным воздействием магнитного поля. Действие замыкания или размыкания происходит с гистерезисом, который является коротким. Фактически эти датчики следует классифицировать как индуктивные переключатели. Выход датчиков непосредственно управляет электронными схемами, реле или контакторами.

Переключение является неконтактным на определенном расстоянии от датчика. Имеются неэкранированные и экранированные датчики. Экранированные датчики имеют меньшее расстояние между контактами, но могут быть полностью закрыты металлической капсулой (см. типовые характеристики на рис. 16).

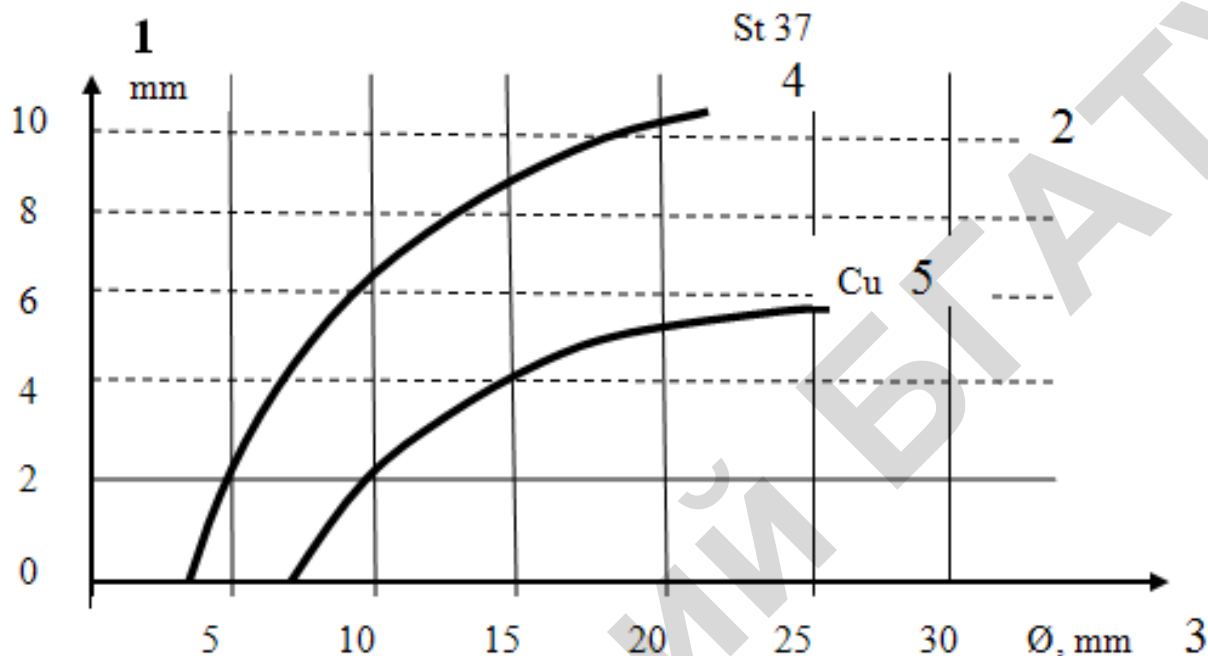


Рис. 16. Индуктивные датчики. Типовая зависимость между сенсорным расстоянием и размером чувствительной поверхности:

1 — чувствительное расстояние; 2 — коэффициент материала: сталь 37 — 1; CrNi — 0,85; V2A — 0,75; V4A — 0,7; латунь — 0,45; Al — 0,4; Cu — 0,3; Au — 0,24; Ag — 0,22; 3 — активная поверхность; 4 — Сталь st 37; 5 — Медь (Cu)

К обычным применениям индуктивных датчиков можно отнести использование их в качестве неконтактных конечных выключателей. Они успешно применяются для целей позиционирования или отсчета объектов.

6. *Оптические датчики* состоят из источника модулированного излучения, фотоприемника, преобразователя и усилителя сигнала. Приемник анализирует поступивший световой поток, проверяет, поступил ли он от источника излучения, и передает соответствующий сигнал на усилитель и далее на исполнительное устройство. Фотоприемник содержит чувствительный элемент (фоторезистор, фотодиод или фототранзистор) (см. также раздел «Оптические компоненты»). Оптические датчики могут работать как в видимом диапазоне, так и в инфракрасной области.

Имеются три главных типа датчиков:

- комбинированный передатчик/приемник, работающий с отражателем. Этот тип датчика реагирует на прерывание света;

- комбинированный передатчик/приемник, регистрирующий световой объект, который при прохождении в пределах диапазона датчика создает отражение сигнала, в результате чего получается реакция на выходе;

- отдельный передатчик и приемник. Оба они могут быть включены в комбинированный датчик. Свет проходит через оптическое волокно к точкам передачи и приема. Датчики имеют полупроводниковый или релейный выходы.

Тот факт, что свет является модулированным, означает, что датчики чувствительны к инфракрасному (IR) свету с наложенной частотной модуляцией, которая защищает его от интерференции. Дополнительная надежность получается в системах датчиков, использующих синхронизированный свет, в которых приемник является чувствительным только к модулированному свету в фазе со светом от передатчика.

## 5. ИМПУЛЬСНЫЕ СЧЕТЧИКИ И ТАЙМЕРЫ

---

### 5.1. Импульсные счетчики

Традиционным импульсным счетчиком является электромеханический счетчик, в котором приращение чисел происходит механически. В электронных импульсных счетчиках количество поступивших импульсов подсчитывается электронной схемой (микросхема), и имеются дешифраторы с выводом информации на жидкокристаллические или светодиодные дисплеи. Полученная информация и алгоритм работы счетчика сохраняются в энергонезависимой памяти EEPROM (электронно-стираемого программируемого ПЗУ) счетчика.

Некоторые счетчики являются реверсивными, счет может выполняться как в сторону увеличения, так и уменьшения показаний. Системы с встроенными счетчиками могут измерять частоту, обороты двигателя или периодическое время, т. е. время импульса и время между импульсами.

Отсчет базируется на входящих импульсах напряжения или на напряжении замыкания входной цепи, в зависимости от конструкции счетчика.

### 5.2. Таймеры

**Таймер** (англ. *timer* < *time* – время) – это прибор, который в заданный момент времени выдает определенный сигнал, либо включающий – выключающий какое-либо оборудование через свое устройство коммутации электроцепи.

В настоящее время используются три основных вида таймеров: цифровые, по принципу действия аналогичные электронным часам; механические, базовым элементом которых является часовой механизм; электромеханические, основой которых является реле времени.

Электронные таймеры постоянного тока (DC) имеют встроенный генератор, как правило, с кварцевой стабилизацией частоты, электронный счетчик. Сигнал с генератора поступает на счетчик, с выхода которого на исполнительное устройство. Таймеры могут быть как с сетевым, так и с автономным питанием. Электронные схемы построены по КМОП-технологии (низкое потребление мощности) с выводом информации на жидкокристаллический дисплей.

## 6. АВАРИЙНЫЕ СИГНАЛИЗАТОРЫ

---

Средства аварийной сигнализации предназначены для подачи сигналов в случае возникновения чрезвычайной ситуации, например, несанкционированного проникновения злоумышленников на объект. В состав сигнализации входят датчики, устройства первичного преобразования и средства сигнализации (сирены, световые сигнализаторы). Звуковая аварийная сигнализация представлена сиренами, создающими очень высокое акустическое давление. Сирены выполняются в виде электроакустических преобразователей и пьезоэлектрического динамика с рупором. Встроенные задающие контуры создают постоянный, недлительный или пульсирующий звук. Сирены внутри помещений обычно используют высокие частоты для создания наибольшего раздражения. Внешние сирены используют более низкие частоты, чтобы воздействовать на органы слуха, находящиеся на большом удалении.

Сигнализаторы могут быть в виде света от ксеноновых радиомаяков, мигающих ламп красного цвета или подачи напряжения на стационарные световые приборы (например, автомобиля).

В аварийной сигнализации используются датчики различных типов, включая:

- механические управляемые контакты давления;
- магнитные контакты, например, прикрепленные к окнам и дверям: одна часть является магнитом, другая – язычковым переключателем;
- инфракрасные датчики (IR), реагирующие одновременно на тепло и перемещения, например, людей.

Выбор датчика должен учитывать место установки. В жилых помещениях наиболее часто применяются магнитные переключатели, возможно, с пьезодатчиками на окнах.

## 7. ВЕНТИЛЯТОРЫ

---

Компактные схемы и увеличенная плотность их компонентов означают, что самые незначительные потери энергии отдельными компонентами могут вызвать перегрев. При возрастании рабочей температуры срок службы компонентов снижается. Вот почему столь важно удалять излишнее тепло. Наиболее подходящим способом достижения цели является использование вентилятора. Вентиляторы могут вводить холодный воздух или отводить теплый воздух из помещения или в аппаратуру. С точки зрения повышения срока службы наилучшим способом является подача вентилятором холодного воздуха. По этому способу происходит охлаждение самого вентилятора, создается избыточное давление в оборудовании. Вентиляторы, используемые в компьютерах, называются кулерами.

Находят применение следующие типы вентиляторов.

1. *Осевые вентиляторы* – наиболее широко применяются в электронных устройствах. Они могут быть различных типоразмеров, с различными параметрами по пропускной способности, давлению воздуха, уровням шума и т. д. В производстве находятся вентиляторы с шарикоподшипниками или с подшипниками скольжения. Вентиляторы с подшипниками скольжения пригодны для большинства применений, но вентиляторы с шарикоподшипниками рекомендуются в случаях, когда требуется большой срок службы или при высокой окружающей температуре. Вентиляторы с подшипниками скольжения должны иметь горизонтальное расположение вала. Чтобы получить увеличение пропускной способности, на одной панели могут быть установлены рядом друг за другом два вентилятора. С другой стороны, для увеличения давления воздуха они могут быть установлены один за другим в одном канале подачи воздуха.

2. *Радиальные вентиляторы* применяются в тех случаях, когда требуется увеличение давления воздуха при данном количестве воздуха. Радиальные вентиляторы имеют более высокий уровень шума в сравнении с осевыми вентиляторами.

3. *Тангенциальные вентиляторы* работают очень тихо при данном количестве воздуха. К их недостаткам можно отнести большие габариты и низкое давление воздуха.

Из рис. 17 видно, что оптимальная эффективность и уровни шума вентиляторов достигаются в диапазоне между штриховыми линиями. Статическое давление (и сопротивление воздуха) должно быть оптимальным.

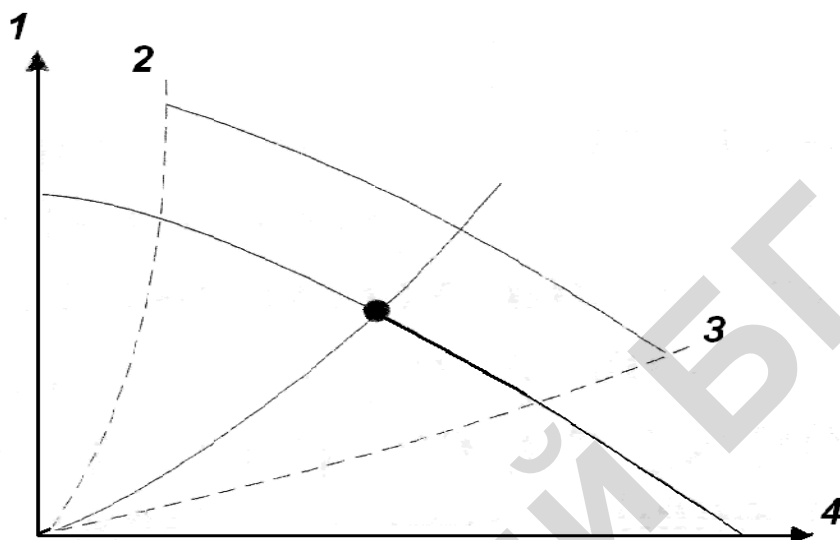


Рис. 17. Кривые давления и расхода воздуха для выбора рабочего диапазона вентилятора: 1 — статическое давление; 2 — высокое сопротивление воздуха; 3 — низкое сопротивление воздуха; 4 — величина воздушного потока

## 7.1. Выбор вентиляторов

В качестве руководства можно пользоваться упрощенными формулами для расчета пропускной способности ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) воздуха, чтобы отводить потери тепла:

$$V = 3,0 \cdot P / (T_2 - T_1), \quad (9)$$

где  $V$  — пропускная способность,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $P$  — тепловые потери, Вт;  $T_1$  — температура окружающей стороны,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_2$  — максимально допустимая температура внутри пакета,  $^{\circ}\text{C}$ .

Для уверенности правильного выбора вентилятора следует провести рабочие испытания в конкретных условиях, например, для измерения роста температуры внутри блока. Если желаемые результаты не были достигнуты, замените вентилятор на более мощный или установите параллельно несколько.



## 8. ТЕПЛООТВОДЫ

---

Количество тепла, выделяемого полупроводниками, такими, как мощные транзисторы и диоды, слишком велико для самих компонентов, чтобы можно было удовлетворительно передать это тепло в окружающую среду. Для предотвращения роста температуры до недопустимого уровня компоненту следует помочь в отводе излишнего тепла.

Одним из способов обеспечения отвода тепла является установка теплоотвода, который переносит тепло от компонента в окружающую атмосферу через проводимость и излучение.

Простейшим теплоотводом является плоская металлическая пластина, но такой теплоотвод является весьма неэффективным. Более сложная конструкция выбирается с учетом стоимости, габаритов и массы.

В полупроводнике тепло создается в барьерном слое. Оно передается обычно к корпусу и затем в окружающую среду через теплоотвод. Этот способ передачи тепла аналогичен протеканию тока через электрические проводники. Следовательно, термическое (тепловое) сопротивление ( $K$ , °C/W) соответствует электрическому сопротивлению ( $R$ , V/A).

Следующую простую формулу можно использовать для расчета теплоотвода:

$$T_j - T_{амв} = P \cdot (K_{j-m} + K_{m-h} + K_h), \quad (10)$$

где  $T_j$  – температура в барьерном слое;  $T_{амв}$  – температура окружающего воздуха;  $P$  – тепло, создаваемое в полупроводнике;  $K_{j-m}$  – тепловое сопротивление между барьерным слоем и корпусом;  $K_{m-h}$  – тепловое сопротивление между корпусом и теплоотводом. (Эта величина зависит от размеров и структуры контактной поверхности. Данную информацию можно найти в справочной информации прибора (паспорте));  $K_h$  – тепловое сопротивление теплоотвода, т. е. тепловое сопротивление между контактной поверхностью и окружающим воздухом.

Тепловое сопротивление между полупроводником и теплоотводом должно быть по возможности небольшим. Этого можно достичь путем использования больших, плоских и хорошо обработанных поверхностей контакта. Винты должны быть затянуты рекомендуемым моментом затяжки для гарантии хорошей теплопроводности, но без снижения механической прочности. Любые воздушные карманы могут быть заполнены силиконовой смазкой между полупроводником и теплоотводом, но количество смазки должно быть не более достаточной. Толстые слои снижают теплопередачу. Тепловое сопротивление  $K_{m-h}$  находится в пределах 0,14–0,05 °C/W.

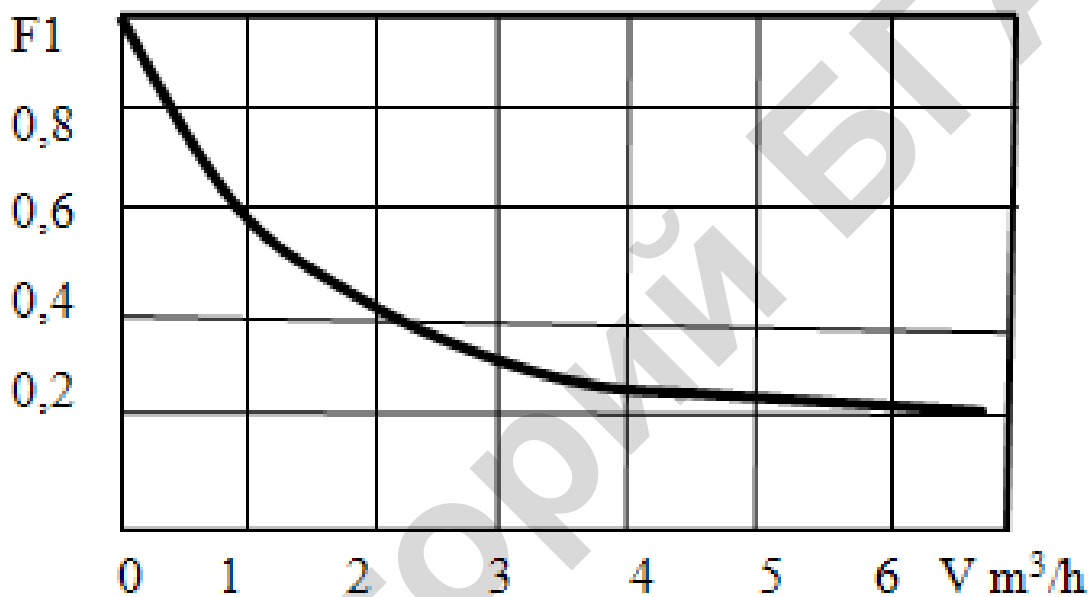


Рис. 18. Принудительное охлаждение с помощью вентилятора  
Тепловое сопротивление фланца охлаждения умножают на коэффициент  $F$  для различных скоростей воздушного потока:  
 $F$  – корректирующий коэффициент;  $V$  – скорость воздушного потока, м³/ч

Иногда желательно изолировать полупроводник от теплоотвода с использованием прокладки. Различные типы прокладок имеют разное тепловое сопротивление. Тепловое сопротивление прокладки «Мика» из слюды толщиной 0,05 мм равно около 1 °C/W, вставки из слюды толщиной 0,40–0,06 мм и прокладки с двухсторонним серебрением – около 0,5 °C/W и вставки из алюминия толщиной 3,0 мм с изолирующей окисью алюминия – около 0,3 °C/W. Могут применяться прокладки из картона, силиконовой резины и оксида бериллия. Оксид бериллия относится к наилучшим вставкам и весьма эффективен для мощных усилителей. Однако этот материал является крайне токсичным.

Тепловое сопротивление многих теплоотводов устанавливается (оговаривается) для черных вертикальных поверхностей. Если теплоотвод установлен

так, что охлаждаемая поверхность является горизонтальной, тепловое сопротивление возрастает примерно на 20 %, и, если поверхность блестит, а не матовая, то тепловое сопротивление увеличивается на 15 %. Отметим, однако, что теплоотводы, применяемые в различной цветовой гамме, будут иметь заданное тепловое сопротивление.

Для увеличения охлаждающего эффекта можно обратиться к принудительному воздушному охлаждению с помощью вентилятора (рис. 18).

Другим методом является термоэлектрическое охлаждение на основе эффекта Пельтье [Peltier]. При пропускании электрического тока через элемент сторона, обращенная к полупроводниковому прибору, охлаждается и нагревается со стороны, обращенной к окружающему воздуху или теплоотводу. Наиболее эффективными являются теплоотводы, имеющие каналы для водяного или фреонового охлаждения.

Если схемы выделяют большое количество тепла в виде коротких импульсов, то другим важным фактором является тепловой импеданс (полное тепловое сопротивление). Это величина, зависящая от времени, соответствующая инерции или массе системы. Тепловое сопротивление внутри корпуса полупроводника приобретает особое значение в случае кратковременных тепловых пиков.

## 9. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ И МОТОРЫ

---

### 9.1. Тяговые и толкающие магниты

Электромагниты тягового и толкающего типа должны выбираться на базе непрерывного подключения – 100 % или уменьшенного подключения, – 25 %. Например, электромагнит тягового типа может быть подключен в течение 20 с с последующим освобождением на 60 с.

Сила притяжения (отталкивания) изменяется с расстоянием, но изменение не является линейным. Следует учитывать также и положение установки. Усилия обычно оговариваются для горизонтального положения. При вертикальном расположении электромагнитов необходимо учитывать массу устройства, которая или противодействует, или усиливает действие электромагнита в зависимости от того, действует ли толкающий электромагнит вниз или является тяговым – вверх.

### 9.2. Электродвигатели небольшой мощности

Небольшие электродвигатели проектируются в соответствии с самыми разными назначениями и принципами действия. Они могут быть следующих типов.

1. *Электродвигатели с постоянным магнитом* являются широко известными электродвигателями постоянного тока. Они обладают хорошим пусковым моментом. Скорость вращения падает линейно с током, и нарастание тока связано линейно с крутящим моментом.

2. *Электродвигатели постоянного тока с воздушным сердечником* называются именно так, потому что сердечник ротора не содержит железа, а только медную обмотку. Железо является причиной значительных потерь при частом реверсировании магнитных полюсов. Это влияет на малые электродвигатели постоянного тока, работающие с очень высокими оборотами. Этим обосновано удаление железа из ротора. Железо в роторе заменено стационарным железным цилиндром.

Электродвигатели постоянного тока с воздушным сердечником имеют небольшой момент инерции, обеспечивая низкую механическую временную константу. Этот тип двигателя пригоден для применения в *сервоприводах* и следящих системах.

3. *Шаговые электродвигатели* имеют в качестве ротора постоянный магнит, а статор имеет 2 или 4 обмотки. При каждом изменении фаз в обмотках ротор движется шаг за шагом на угол, определяемый числом полюсов в роторе и числом фаз. Механический шаговый угол равен  $360 / (npr)$ , где  $p$  – число полюсов;  $n$  – число фаз в электродвигателе.

Рабочие свойства шаговых электродвигателей делают их пригодными для целей позиционирования, например, в «*x-y*-самописце». Шаговые электродвигатели наилучшим образом приводятся посредством специальных задающих схем, которые, в свою очередь, приводятся микропроцессором.

## 10. ПНЕВМАТИКА

---

**Пневматическая система** — это техническая система, состоящая из устройств, находящихся в непосредственном контакте с рабочим газом (воздухом) под давлением, и предназначенная для выполнения полезной работы. Основными элементами пневматических устройств являются: пневмоцилиндры (пневмоприводы), блоки подготовки воздуха, устройства очистки, фильтры, регуляторы давления, пневмораспределители, пневмоклапаны, пневмо-дрессели, пневмотрубки и фитинги.

### 10.1. Пневмоцилиндры

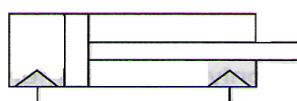
Пневмоцилиндры преобразуют пневматическую энергию в механическую (линейное перемещение). Подача воздуха в пневмоцилиндры осуществляется клапанами направления. Цилиндры по принципу работы подразделяются на:

1. *Цилиндр одинарного действия*, в котором давление воздуха действует только в одном направлении. Обратный ход совершается внешними силами и/или встроенными пружинами (рис. 19).

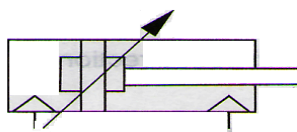


Рис. 19

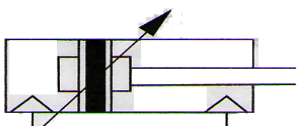
2. Цилиндры двойного действия, в которых давление воздуха действует в обоих направлениях (рис. 20 а, б, в).



а) цилиндр двойного действия



б) цилиндр двойного действия с регулируемым демпфированием с обеих сторон



в) цилиндр двойного действия с магнитными поршнями для неконтактной индикации положения

Рис. 20 (а, б, в)

## 10.2. Клапаны направления

Клапаны направления используются для направления воздушного потока. Положение может быть изменено вручную, электрически или посредством сжатого воздуха. Каждое из возможных положений клапана представляется в отдельном прямоугольнике. На рисунках ниже показано положение клапанов в холостом состоянии. Воздушный поток обозначен стрелками и линиями. Типы окон (отверстий) обозначаются надписями после присоединений. Используемые буквенные надписи заменяются цифрами в соответствии с предварительной рекомендацией SETOP RP68P (см. табл. 4).

Таблица 4

Числа в RP68P	Тип окон
1	Окно подвода
2,4,6	Выходное окно
3,5,7	Окно выпуска
10,12,14	Окно управления

## 10.3. Клапан 3/2 (три окна /два положения)

Обычное применение: подача и отвод единичного объема, например, цилиндры одинарного действия.

В клапане питания (рис. 21, а) в холостом режиме выходное окно (2) соединено с выпуском (3) и входное окно (1) заблокировано. Когда клапан сработал, выходное окно (2) соединено с входным окном (1) и заблокировано нагнетание (3).

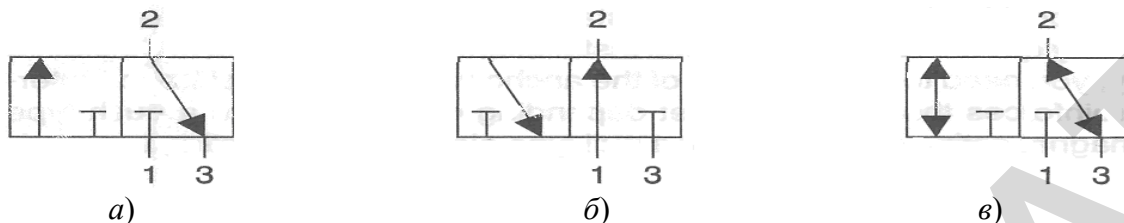


Рис. 21. Клапан 3/2: а) клапан питания; б) клапан выпуска; в) клапан питания/выпуска; 1 – окно подвода; 2 – выходное окно; 3 – окно выпуска

В клапане выпуска (рис. 21, б) в холостом режиме входное окно (1) соединяется с выходным окном (2) и блокируется выпуск (3). При срабатывании клапана выходное окно (2) соединяется с выпуском (3) и блокируется входное окно (1). Функция клапана 3/2 может быть обеспечена клапаном 4/2 и 5/2, если блокируются выходные окна (4) или (2) (см. рис. 22 и 23).

#### 10.4. Клапан 4/2 (четыре окна /два положения)

Попеременная операция питания и выпуска в двух объемах, т. е. цилиндры двойного действия (рис. 22).

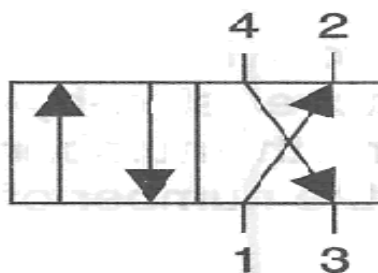


Рис. 22. Клапан 4/2

В клапанах 4/2 два выходных окна (4) и (2) попеременно сообщаются с входным окном (1) и окном выпуска (3).

Оба выходных окна (2), (4) имеют связь с окном (3). Это означает, что невозможно ограничить выходной поток, как способ регулирования скорости в каждом направлении, отдельно, при работе с цилиндром двойного действия.



## 10.5. Клапан 5/2 (5 окон/2 положения)

Клапан 5/2 используется в основном как клапан 4/2 (рис. 23) в специальных применениях.

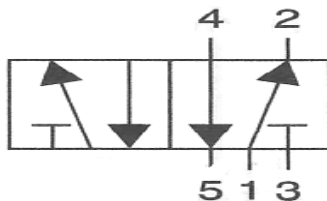


Рис. 23. Клапан 5/2

В клапанах 5/2 два выходных окна (4, 2) попеременно связаны с входным окном (1) и окном выпуска (5) и (3). Выходные окна (4, 2) используют соответственно окна (5, 3). Это делает возможным ограничить поток выпуска с целью регулирования скорости в каждом направлении отдельно, в комбинации с цилиндром двойного действия.

## 10.6. Обратный и дроссельный клапаны

**Обратный клапан** (рис. 24, а) позволяет воздуху проходить только в одном направлении. Он открывается, когда давление на входе превышает давление на выходе.

**Регулируемый дроссельный клапан** (рис. 24, б) обеспечивает регулируемое ограничение воздушного потока в обоих направлениях.

**Регулируемый обратный дроссельный клапан** (рис. 24, в) позволяет ограничить воздушный поток в одном направлении. В обратном направлении ограничения потока нет.

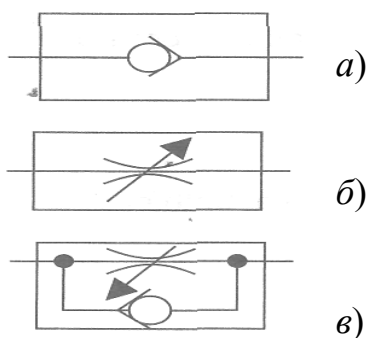


Рис. 24. Обратный (а) и дроссельные (б, в) клапаны

## 10.7. Клапаны регулирования давления

Клапаны регулирования давления – это устройства, которые срабатывают, когда давление на входе или выходе превышает заранее заданное значение (механические, пневматические или электрические операции). На схемах они изображаются в виде прямоугольника, в котором штриховая линия показывает воздушную линию действия на клапан при изменении давления. Стрелка обозначает направление потока, символ пружины представляет настройку давления (рис. 25).

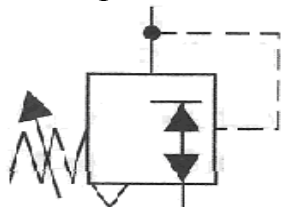


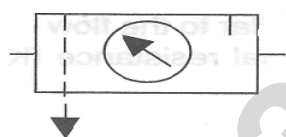
Рис. 25. Клапан регулирования давления (редукционный клапан). Колебания входного давления снижаются до постоянного давления на выходе

## 10.8. Элементы пневмосистемы

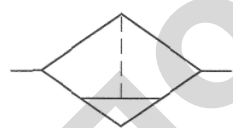
Как отмечалось ранее, кроме рассмотренных выше элементов, пневмосистема содержит элементы подготовки воздуха перед подачей в пневмоцилиндры.

Блоки подготовки воздуха включают устройства очистки, фильтры, регуляторы давления, предназначенные для очистки рабочего воздуха, поддержания давления, т. е. для подготовки воздуха такого качества, которое соответствует требованиям пневматической системы.

Условные обозначения некоторых элементов показаны на рис. 26–28.



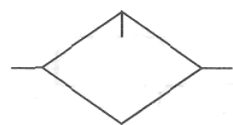
а) упрощенная схема устройства управления



(1) б) фильтр с водоотделителем. Отделяет твердые включения и воду в виде конденсата. Ручной слив (1)



(2) в) то же с автоматическим сливом конденсата (2)



г) смазка масляным туманом. Устройство вводит в сжатый воздух масляный туман для смазки оборудования приема воздуха

Рис. 26. Условные обозначения элементов системы подготовки воздуха

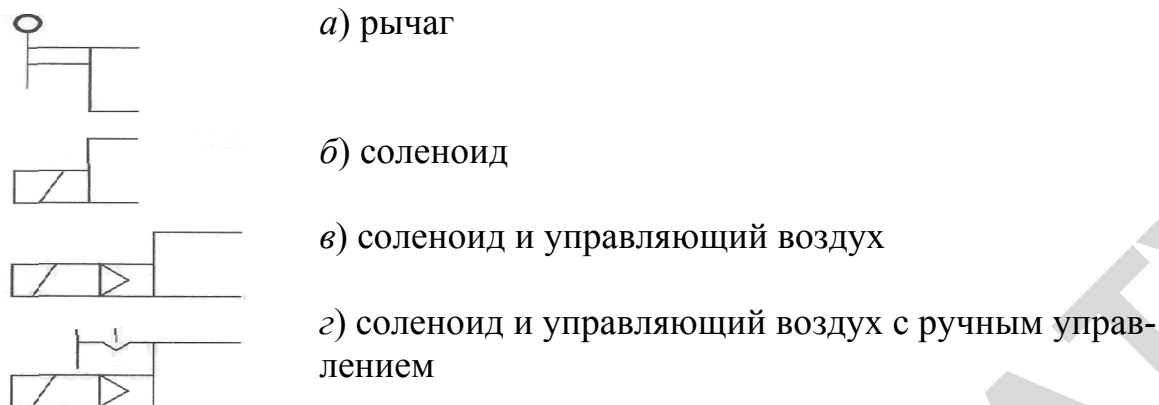



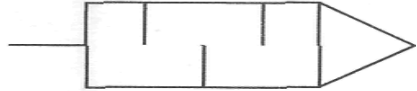

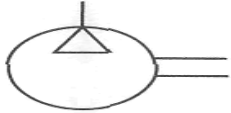



Рис. 27. Условные обозначения элементов управления

## 10.9. Передача мощности

Для подачи воздуха в пневмосистему используются воздушные магистрали. На структурных схемах используется символика пневматических схем, показанная в табл. 5.

Таблица 5

	Воздушная магистраль основного потока
	Воздушная магистраль управляющего потока
	Пересечение магистралей воздуха (соединение)
	Пересечение, при котором магистрали не соединяются
	Гибкая воздушная магистраль
	Компрессор
	Воздушная магистраль заглушена
	Соединение с воздушной магистралью

	Электрический проводник
	Выпуск без трубопровода
	Выпуск с трубопроводом
	Шумоглушитель
	Запорный клапан (упрощенный символ)
	Компрессор. Устройство для сжатия газов, превращает воздух в сжатый. Механическая энергия превращается в пневматическую энергию
	Манометр. Измеряет давление

## 11. РАЗЪЕМЫ

---

Электрическое соединение совершается путем механического контакта проводников. Разъемы представляют собой связь (звено), которая может быть легко разорвана (разомкнута). Этим достигается гибкость системы.

Разъемы обычно изготавливаются в соответствии с определенными стандартами или спецификациями, такими, как BS (Британский стандарт), ССТU (Французский стандарт), DIN (Германский стандарт), IEC (Европейский стандарт), MIL (Военный стандарт США) и т. д.

Такая стандартизация крайне важна в отношении возможности переключаться от одного изготовителя к другому при выборе одинаковых разъемов, удовлетворяющих наилучшим образом таким требованиям, как срок службы, окружающие условия и т. д. В качестве примера на рис. 28, рис. 29 приведены примеры разъемов для материнской платы компьютера и кабельного разъема.

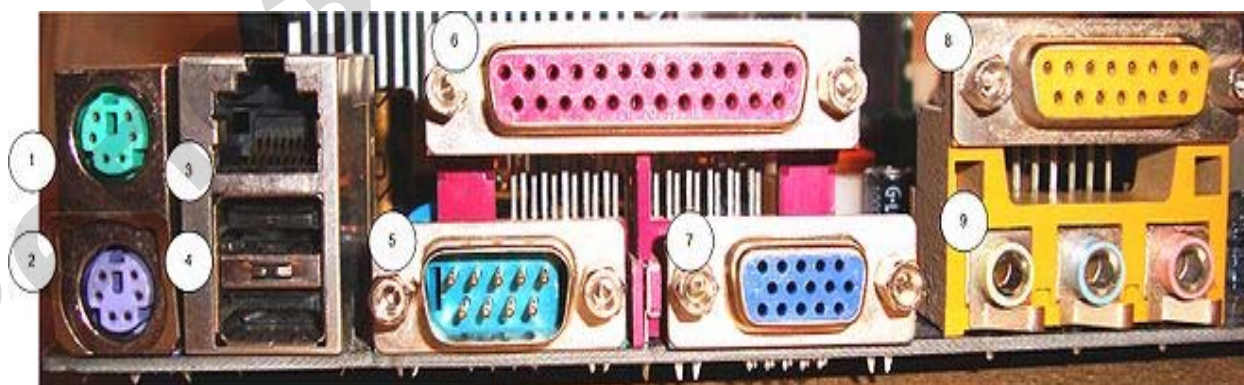


Рис. 28. Наружные разъемы материнской платы: PS/2 (1 – мышь, 2 – клавиатура), 3 – сетевой RJ-45, 4 – USB, D-subminiature; 5 – 9-контактный разъем COM-порта, 6 – 25-контактный разъем LPT порта, 7 – VGA порт, 8 – MIDI) и 9 – 3,5 мм аудио «ВХОДЫ-ВЫХОДЫ»



Рис. 29. BNC-коннектор (*BNC* сокр. от *Bayonet Neill Concelman*) для подсоединения коаксиального кабеля

При выборе разъемов необходимо иметь полную ясность о том, каким требованиям должен отвечать разъем по току, напряжению, сроку службы и окружающим условиям. Не существует разъемов универсального использования. Идеальным был бы контакт, имеющий нулевое сопротивление при замыкании и бесконечность – при размыкании.

Выбор материала контакта, толщины покрытия и качества покрытия играют решающую роль для долговечности контактного элемента. Различные сферы применения, естественно, накладывают дополнительные требования к разъемам.

В контактных штырях и гнездах широкое применение получила дешевая латунь. Существуют также разные качественные уровни, касающиеся эластичных свойств и твердости. Фосфористая бронза, обладающая прекрасными упругими свойствами, является намного хорошим материалом. Бериллиевая медь обычно используется в гнездовых соединителях (розетках) и в пружинах, используемых для разъемов высокого качества.

Контактные элементы обычно покрываются разными материалами для снижения переходного сопротивления. Материалами покрытий могут быть золото, серебро, родий, палладий, олово, никель, медь и т. д., которые применяются по отдельности или в комбинациях. Доказано, что очень хорошей комбинацией является золото с никелем в отношении переходного сопротивления, механических напряжений и длительной стабильности. Твердые сплавы обеспечивают хорошее сопротивление износу, но при малых токах дают высокое переходное сопротивление. Слой окисла, который образуется, может создать диодный эффект в комбинации с металлом, приводя к искажениям (дисторсии). Следовательно, для аудиоразъемов преимуществом обладает покрытие золотом. В разъемах для передачи больших токов позолота неприемлема из-за низкой температуры плавления золота. В этом случае более подходит серебрение из-за его хорошей проводимости, но следует не допускать

размыкания при больших токах через контакты, поскольку дугообразование может вызвать расплавление серебра.

Изготовители разъемов обычно декларируют или толщину покрытия и/или число операций (циклов), т. е. количество замыканий и размыканий (отталкивания и притягивания контакта).

Например, для разъемов «Eurocard» предусмотрены три разных рабочих класса согласно стандарту DIN:

Класс I: 500 операций.

Класс II: 400 операций.

Класс III: 50 операций.

В основных разъемах в качестве изолирующих материалов используются бакелит, макролон, нейлон, керамика, ПВХ и т. д. Лучшими изолирующими материалами являются силиконовая резина, DAP, PTFE, «нелон 66» и дельрин, которые имеют хорошие высокочастотные и температурные свойства. Латунь, ABS, сталь, нержавеющая сталь, резина, алюминий и т. д. используются в контактных корпусах, оболочках, крышках и демпферах деформаций.

## **11.1. Методы соединений**

Ниже приведено краткое описание пяти наиболее распространенных типов соединений.

### **11.1.1. Пайка**

Пайка – образование неразъемного соединения с межатомными связями путем нагрева соединяемых материалов ниже температуры их плавления, их смачивания припоем, затекания припоя в зазор и последующей его кристаллизации. Пайка является относительно легко осуществимым методом. Она не требует дорогостоящего оборудования, и размер проводника не является критическим фактором. По особенностям процесса и технологии пайку можно разделить на капиллярную, диффузионную, контактно-реактивную, реактивно-флюсовую и пайку–сварку.

Пайку обычно выполняют с использованием паяльника, паяльного флюса и припоя. По химическому составу припои делятся на свинцово-оловянные, серебряные, медно-фосфорные, цинковые, титановые и др. Все припои по температуре плавления подразделяют на низкотемпературные ( $t_{пл} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и твердые. Наиболее распространенными паяльными флюсами

являются бура ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) и борная кислота ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), хлористый цинк ( $\text{ZnCl}_2$ ), фтористый калий (KF) и другие галоидные соли щелочных металлов.

К недостаткам можно отнести «неровное» качество в том смысле, что некоторые компоненты соединения плохо поддаются пайке, а в точке контакта могут быть загрязнения. Качество зависит от квалификации лица, выполняющего пайку, выбора припоя и флюса и качества инструмента.

### **11.1.2. Обжимка**

Обжимку можно осуществлять быстро и легко. В результате получается равномерное качество, позволяющее достичь безопасного и газостойкого соединения. Однако этот метод требует специального инструмента и дополнительной по выбору площади проводника.

### **11.1.3. Соединение с прорезанием изоляции (I DC – Insulation Displacement Connection)**

Используется при соединении многополюсных контактов с ленточными кабелями. Все проводники могут быть соединены за несколько секунд. Кабель одновременно прижимается и оголяется. Соединение безопасное и газогерметичное. Однако проводники являются тонкими, и поэтому значения тока и напряжения ограничены. Этот способ соединений требует специального инструмента, и могут быть использованы только некоторые типы ленточных кабелей. Ленточные кабели с соединениями по этому способу используются в печатных схемах, например, для внутреннего соединения твердых дисков, и т. д.

### **11.1.4. Прессовая подгонка**

Техника прессовой подгонки также разработана для многополюсных соединений печатных плат. Все типы «евро»-соединений применяют сегодня технику прессования. Она основана на соединительных штырях, имеющих эластичное соединение, которые подгоняются к покрытым отверстиям печатной платы. Так как соединительные штыри запрессованы в плату, припой разравнивается по торцам покрытого отверстия и создается новое газогерметичное соединение, не имеющее окислов. Одним из преимуществ этого метода является исключение значительного нагрева, присущего соединениям с помощью пайки с большим числом штырей. Более того, не требуется последующей очистки соединений, и соединительные штыри могут быть сделаны более длинными, чтобы обеспечить дополнительное соединение путем накрутки проводов.



### **11.1.5. Монтаж накруткой проводов**

Накрутка проводов, как метод соединений, хорошо подходит для строительных прототипов. Правильно проводящая накрутка создает прочный и газонепроницаемый контакт. В такой конструкции легко проводить изменения путем раскрутки и последующей накрутки проводов. Одним из недостатков метода является потребность в дополнительном пространстве. Штырь имеет прямоугольное сечение. Он должен иметь определенную высоту для расположения ряда проводов. Обычно провод накручивается на 5–7 оборотов. Накрутка проводов требует специального инструмента.

### **11.1.6. Монтаж контактной сваркой**

Метод высокоточной контактной сварки применяется вместо пайки при изготовлении жгутов. Отличается надежностью соединений, отсутствием переходных контактов и окислений. Контактная сварка требует применения специального оборудования. Находит применение в автомобилестроении.

## **11.2. Фиксированные соединения**

Соединения всегда являются слабым местом системы, и во многих случаях только соединители по военным спецификациям являются вполне пригодными. Погрешность нарастает по мере увеличения числа полюсов. Однако в некоторых электронных устройствах средний интервал времени между отказами является настолько жестким, что разъемы должны быть полностью или частично заменены на **фиксированные соединения**. Это может применяться в космических отраслях, где удары, вибрации, изменения температуры и, возможно, газы или жидкости могут повредить контактную часть.

## **11.3. Применения разъемов**

### **11.3.1. Двухполюсные разъемы по DIN**

Используются для выводов динамиков средней выходной мощности. Широкий штырь всегда соединяется с землей (рис. 30). Для более высоких мощностей используются полюсные переключатели.

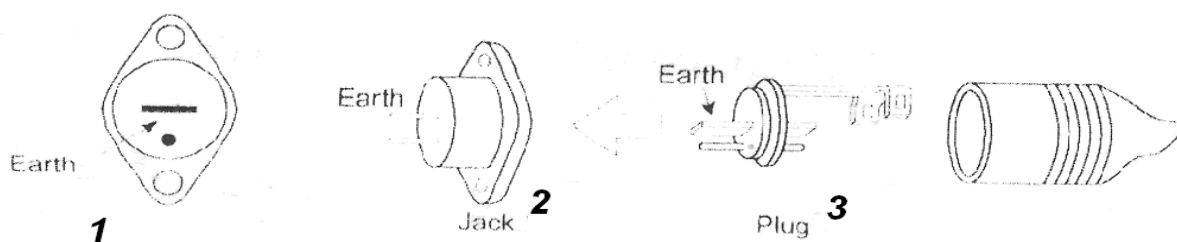


Рис. 30. Двухполюсные разъемы DIN:  
1, 2 – гнездо; 3 – штекер

### 11.3.2. Пятиполюсные разъемы по DIN

Пятиполюсные разъемы находят широкое применение в европейских высокочастотных устройствах (HiFi) как для входа, так и для выхода (рис. 31). Основные области применения пятиполюсных разъемов DIN представлены в табл. 6.



Рис. 31. Пятиполюсный разъем DIN:  
а – штекер; б – гнездо

Таблица 6

Тип устройства	Разъемы для:	Вход		Выход		Земля
		V	H	V	H	
Усилитель	Адаптера, тюнера	3	5			2
То же	Ленточного рекордера	3	5	1	4	2
Настраечное устройство (тюнер)	Усилителя			3	5	2
То же	Ленточного рекордера			1	4	2
Дисковый плеер	Усилителя			3	5	2
Ленточный рекордер	Усилителя	1	4	3	5	2
То же	Микрофона	1	4			2

### 11.3.3. Фоноразъемы

Фоноразъемы применяются в японских и американских устройствах, но находят довольно широкое применение и в европейских устройствах, причем вместе или параллельно с разъемами по германскому стандарту DIN. Чтобы соединить стереосигнал с фоноразъемами, требуются два экранированных кабеля с фоноразъемом каждый (рис. 32).

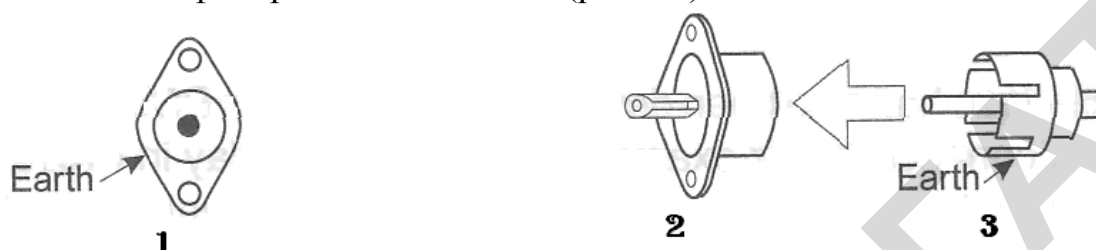


Рис. 32. Фоноразъемы:  
1, 2 – гнездо; 3 – штекер; Earth – земля

### 11.3.4. Телештекеры и телегнезда (штекеры питания)

Такие устройства используются в основном для выходных сигналов к головным телефонам и входных сигналов для микрофонов. Трехполюсные разъемы используются для стереосигналов с левым и правым каналами в одном разъеме. Трехполюсные разъемы используются также в сбалансированных системах. «Горячий» (HOT) соединяется с выводом «L», а «холодный» (COLD) – с выводом «R» (рис. 33).

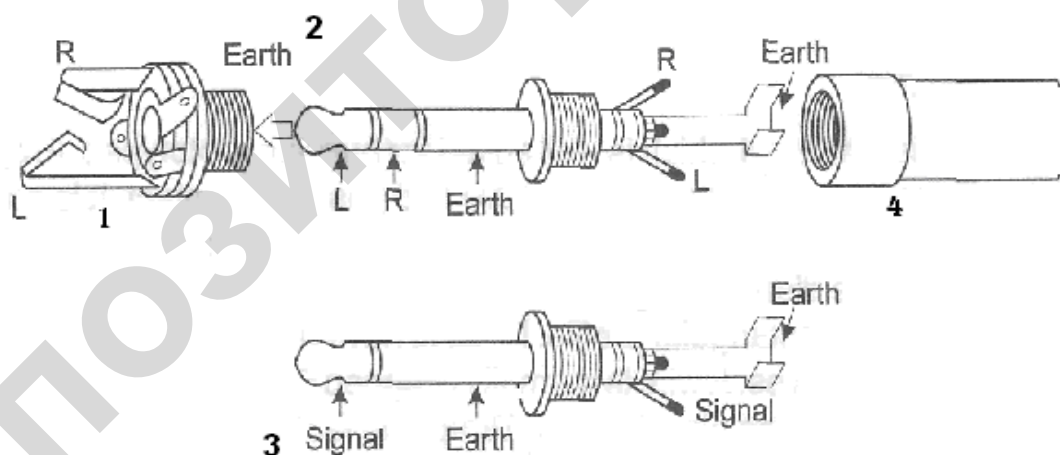


Рис. 33. Телештекеры и телегнезда:  
1 – гнездо; 2 – земля; 3 – сигнал; 4 – штекер

### 11.3.5. Разъемы «XLR»

Разъемы «XLR» наиболее широко используются для микрофонов и звуковых систем. В сбалансированных системах вывод «1» (рис. 34) соединяется с землей, вывод «2» – с плюсовым проводом («горячий», передача), а вывод «3» – с минусовым проводом («холодный», возврат). В несбалансированных

системах выводы «3» или «2» могут быть также заземлены. В некоторых американских устройствах (микрофоны, смесительные пульта) выводы «2» и «3» можно менять местами.



Рис. 34. Внешний вид XLR-разъемов.

### 11.3.6. «S»-видеоразъем

«S»-видеоразъем представляет собой четырехполюсный мини-разъем по DIN (рис. 35). Разъем используется для двух видеосигналов от видеокамер. Сигналами являются: яркость «Y» (уровень сигнала – 1 В; импеданс – 75 Ом) и цветность «C» (уровень сигнала – 0,3 В пиковый; импеданс – 75 Ом).

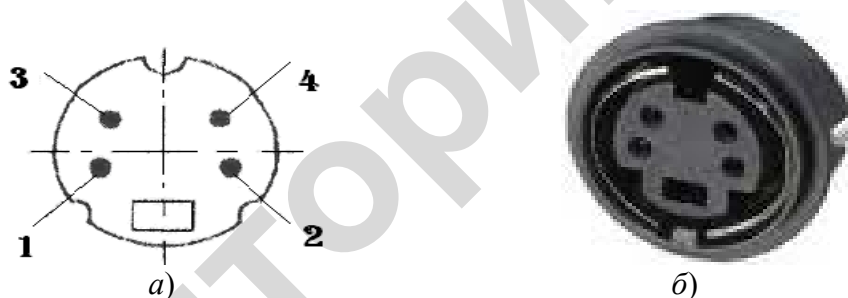


Рис. 35. Контактная конфигурация «S»-видеоразъема со стороны пайки штекера (а) и внешний вид (б):

1 – земля для яркости «Y», 2 – земля для цветности «C», 3 – яркость «Y», 4 – цветность «C»

### 11.3.7. Разъем «SCART» (Европейский унифицированный разъем)

Разъем «SCART» используется для видео- и аудиосигналов в телевизионной аппаратуре. SCART унифицирует соединения различных устройств, он объединяет все необходимые сигналы в одном многополюсном штекере (рис. 36). Сегодня каждый произведенный для Европы теле- или видеоаппарат оснащен как минимум одним SCARTом. Через SCART возможна передача аналоговых и цифровых команд. Распайка выводов представлена в табл. 7. Самым главным преимуществом интерфейса SCART является его универсальность, через него можно как воспроизводить, так и записывать сигнал, подключаться к источнику с RGB сигналом (что обеспечило одну из самых качественных «картинок»), передавать звук и видео через один разъем.

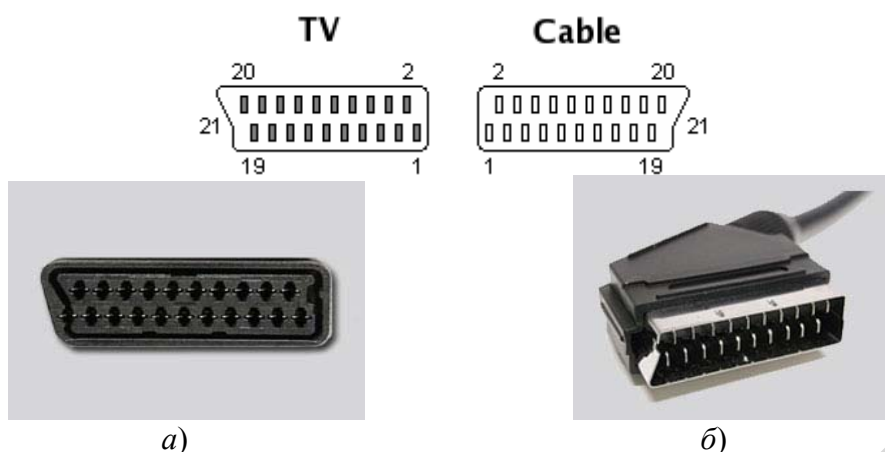


Рис. 36. Разъем «SCART» (21 контакт). Внешний вид и расположение контактов гнезда в телевизоре (а), штекера подключения (б)

Таблица 7

№№ вывода	Название сигнала	Описание	Уровень сигнала	Импеданс
1	AOR	Аудиовыход, правый	0,5В ср. кв	<1 кОм
2	AIR	Аудиовыход, правый	0,5В ср. кв	> 10 кОм
3	AOL	Аудиовыход, левый + моно	0,5В ср. кв	< 1 кОм
4	AGND	Аудио земля		
5	BGND	RGB синий, земля		
6	AIL	Аудио, левый + моно	0,5В ср. кв	> 10 кОм
7	B	RGB синий IN	0,7В	75 Ом
8	SWTCH	Переключ. «Аудио/ RGB» 16:9		
9	GGND	RGB, зеленый, земля		
10	CLKOUT	Дата 2: Врем. импульс, выход		
11	G	RGB, зеленый, вход	0,7В	75 Ом
12	DATA	Дата 1: Вывод данных		
13	RGND	RGB, красный, земля		
14	DATA GND	Данные, земля		
15	R	RGB, красный, вход/хрома	0,7В 0,3В пик	75 Ом
16	BLNK	Сигнал пробела	1 - 3В 0 - 0,4В	75 Ом
17	VGND	Составной видео, земля		
18	BLNKGND	Сигнал пробела, земля		
19	VOUT	Составной видео, выход	1,0В	75 Ом
20	VIN	Составной видео,	1,0В	75 Ом
21	SHIELD	вход/цветность Земля/шасси		

## 12. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРОВОДНИКИ

---

Оптическое волокно (ОВ) – нить из оптически прозрачного материала (стекло, пластик), используемая для переноса света внутри себя посредством полного внутреннего отражения. Оптическая передача означает, что линия связи нечувствительна к электромагнитным помехам, что является важным фактором в промышленной сфере. Другим преимуществом оптической передачи является его потенциал для широкого диапазона применения, позволяя применить оптическую передачу для телефонии, компьютерной и телевизионной передачи сигналов в цифровой форме.

Все оптические волокна имеют одинаковую структуру, в которой сердечник окружен оболочкой. Коэффициент отражения сердечника значительно выше, чем у оболочки. Лучи света остаются в сердечнике, потому что они отражаются при скользющем падении на поверхность раздела между сердечником и оболочкой. Защитное покрытие обычно наносится на внутренние составные части.

Волокна бывают двух основных типов: одномодовые и многомодовые. Многомодовые волокна отличаются от одномодовых диаметром сердцевины, который составляет 50 микрон в европейском стандарте и 62,5 микрон в североамериканском и японском стандартах. Многомодовые волокна, в свою очередь, подразделяются на два типа: ступенчатые и градиентные. Профили показателей оптических волокон показаны на рис. 37.

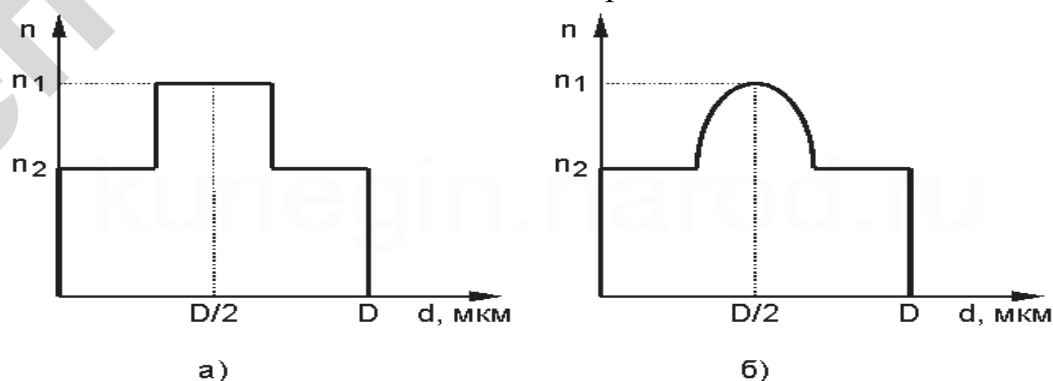


Рис. 37. Профили показателей преломления ступенчатого (а) и градиентного (б) оптических волокон

У ступенчатых ОВ показатель преломления сердцевины постоянен (рис. 37, а). У градиентных ОВ показатель преломления сердцевины плавно меняется вдоль радиуса от максимального значения на оси до значения показателя преломления оболочки (рис. 37, б).

Количество мод зависит от значения нормированной частоты:

$$V = \frac{D\pi}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (10a)$$

где  $D$  – диаметр сердцевины ОВ;  $\lambda$  – рабочая длина волны.

Одномодовый режим реализуется при  $V < 2.405$ . Заранее определенными и сравнительно малыми величинами являются рабочая длина волны и разность показателей преломления  $\delta_n = n_1 - n_2$ . Обычно ОВ изготавливают с величиной  $\delta_n = 0,003-0,05$ . Поэтому диаметр сердцевины одномодовых волокон также является малой величиной и составляет 5–15 (обычно 9 или 10) мкм. Для многомодовых волокон диаметр сердцевины составляет около 50 (обычно 50 или 62,5) мкм. Диаметр оболочки у всех типов ОВ 125 мкм. Диаметр защитного покрытия – 500 мкм. Наружный диаметр кабеля с числом ОВ от 2–32 с учетом всех защитных оболочек и элементов обычно составляет 5–17 мм.

Принципиальными факторами, ограничивающими расстояния передачи света, являются дисперсия и затухание. Эффект дисперсии состоит в том, что лучи света проходят по кабелю с разными скоростями. Дисперсия светового импульса определяет границу (предел) по максимальной частоте повтора импульсов, посредством чего ограничивается диапазон передачи света (ширина полосы). Разные режимы передачи с разными скоростями в многорежимном волокне еще более ограничивают ширину полосы. Эта проблема исключена в одnoreжимных волокнах. В одnoreжимных, а также и в многорежимных волокнах дисперсия имеет место в самом материале, поскольку индекс преломления стекла изменяется в зависимости от длины волны и дефектов изготовления.

Дисперсия зависит от скорости, которая, в свою очередь, изменяется в зависимости от рефракционного индекса:

$$V = C_0/n, \quad (11)$$

где  $C_0$  – скорость света в вакууме;  $n$  – коэффициент отражения.

Волоконно-оптический кабель состоит из скрученных по определенной системе оптических волокон из кварцевого стекла (световодов), заключенных

в общую защитную оболочку. При необходимости кабель может содержать силовые (упрочняющие) и демпфирующие элементы.

Существующие ОК по своему назначению могут быть разделены на три группы: магистральные, зоновые и городские. В отдельные группы выделяются подводные, объектовые и монтажные ОК.

Затухание и дисперсия изменяются в соответствии с длиной волны передаваемого света. Первые волокна, которые появились в 1970 г. имели затухание 20 дБ/км. С тех пор изготовители научились снижать затухание в оптическом волокне, были увеличены длины волн передачи, что также позволило уменьшить затухание. Первое поколение оптико-волоконных систем использовало длину волны 0,85 мкм, второе поколение – 1,3 мкм и третье – 1,55 мкм. Длина волны в третьем поколении позволяет получить наименьшее затухание, теоретически равное 0,16 дБ/км при минимальной дисперсии около 1,3 мкм.

Внешний вид оптоволоконного кабеля представлен на рис. 38.



Рис. 38. Внешний вид оптоволоконного кабеля

Сращивание и соединение оптико-волоконного кабеля является трудным процессом. Это, в частности, справедливо для однорежимного волокна, в котором тонкие сердечники в каждом сегменте кабеля должны быть точно выровнены относительно друг друга. Явление, названное отражением Френеля [Fresnel], также имеет место на границе раздела с минимальным теоретическим пределом около 4 %. Контактное затухание изменяется в зависимости от типа в пределах от 0,2 до 2,0 дБ.



## 13. ПРОИЗВОДСТВО ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

---

Имеются разные методы изготовления печатных плат. Ниже кратко описаны два метода:

1. Непосредственный перенос рисунка схемы на плату.
2. Фотографический перенос рисунка схемы на плату.

Эти методы подходят для производства одинарных плат или небольших объемов.

### 13.1. Непосредственный перенос

При непосредственном переносе конфигурация токопроводящих дорожек наносится на поверхность фольгированного текстолита с помощью материала, не поддающегося травлению, или нанесению краски. Затем производится травление в растворе сульфата пероксида натрия и воды. Может быть использован хлорид железа, но при этом необходимо соблюдать меры предосторожности из-за вредного воздействия его на здоровье.

### 13.2. Фотографический перенос

При фотографическом переносе для печатной платы используется фольгированный диэлектрик (фольгированный текстолит), покрытый слоем специального вещества (фоторезиста), который чувствителен к ультрафиолетовому излучению. Фоторезист может быть позитивным или негативным. Процедура производства печатных плат фотографическим способом состоит из следующих операций:

*1. Создание оригинала рисунка печатной платы.* Для создания рисунка печатной платы в настоящее время используются специальные компьютерные

программы. Для переноса рисунка печатной платы на фольгированный диэлектрик используют специальную фотопленку. В зависимости от вида использованного фоторезиста изображение на пленке может быть позитивным или негативным.

2. *Очистка поверхности фольгированного текстолита от грязи и окислов.* Нанесение на поверхность эмульсии фоторезиста.

3. *Экспонирование.* Оригинал рисунка кладется непосредственно (масштаб 1:1) на эмульсионную сторону платы с резистовым покрытием и, плата экспонируется с помощью лампы ультрафиолетового света или более профессиональным устройством UV-излучения.

Ультрафиолетовое «UV»-излучение должно иметь длину волны в пределах 300–370 нм. Не рекомендуются кварцевые или солнечные лампы, которые дают свет с длиной волны 256 нм. В процессе экспонирования важно располагать пленку на плате как можно более точно и исключить попадание пыли и других посторонних частиц. Время экспонирования, в частности при использовании «UV»-ламп, зависит от высоты лампы над освещаемой платой, стеклянного листа между лампой и пленочным ламинатом и др. Ниже приведены некоторые рекомендуемые значения времени:

- Для UV-лампы – 300 Вт, стеклянный лист и расстояние 40-50 см – 5-7 мин.
- Для UV-устройства – 2-5 мин.

Примечание: При работе с ультрафиолетовым светом пользуйтесь безопасными стеклами.

4. *Проявление.* За экспонированием следует проявление. Это производится в ванне с гидроокисью натрия и водой. Используется 1,5 % раствор. Время проявки – от 30 с до 4 мин, в зависимости от типа резиста, и должно быть соответственно отрегулировано. После проявки рисунок должен быть четко виден. При использовании позитивного резиста те части, которые не были экспонированы (т. е. были затемнены на пленке), будут защищены в процессе травления (фоторезист задубливается и не подвергается травлению), оставляя проводники на поверхности. После проявки плата полностью промывается перед травлением проточной водой.

5. *Травление.* Для непосредственного и фотографического переноса используется преимущественно сульфат пероксида натрия или хлорного железа. Для ванны травления эффективно растворить порошок в кипяченой горячей воде, получая температуру раствора около + 50 °С, что увеличит скорость травления.

6. Удаление с поверхности проводников фоторезистов.

7. Лужение выводов.

Качество печатной платы зависит от режимов выполнения операций. Если время экспонирования фоторезиста слишком короткое, или если используется неподходящая лампа, это станет заметным при проявлении и/или последующем травлении. Не тот тип лампы, слишком короткое время экспонирования или слишком старый или слабый проявитель приведут к тому, что части фоторезиста останутся на медной поверхности. Эти части, которые зачастую трудно заметить, потому что они могут быть очень тонкими, будут проявляться как непротравленные площадки при травлении.

Чтобы избежать этих недостатков, необходимо принять следующие меры:

1. Оригинал должен быть плоским и хорошего качества. Ультрафиолетовый свет не должен проходить через дорожки, которые представляют печатную плату. Исключением из этого является непосредственная позитивная пленка, которая дает глубокие красные линии, блокирующие «UV». Оригинал, блокирующий UV, упрощает и позволяет иметь полное экспонирование фоторезиста. Это дает возможность и создает условия для полного удаления проявленного фоторезиста. Желательно продлить время экспонирования на 1-2 мин, если есть неуверенность в эффективности лампы.

2. Используйте свежий проявитель. Использованный и отработанный проявитель может ухудшить результаты, особенно, если проявитель использовался многократно.

3. При проявке следите, чтобы весь экспонированный фоторезист фактически исчез. Если экспонирование было слишком коротким время проявки должно быть увеличено до 10 мин. Перемешивание ускоряет процесс.

4. В процессе травления платы необходимо все время перемешивать раствор травления, чтобы гарантировать постоянный контакт активных частей с медной поверхностью. При температуре ниже + 30 °C значительно теряется способность травления, поэтому предпочтительно применение устройств для подогрева раствора.

Необходимо пользоваться защитными перчатками и очками. При работе с химикатами, особенно при травлении и проявке, лучше всего процесс травления производить в помещениях с хорошей вытяжкой.

### 13.3. Размерность проводников из фольги

Размерность проводников из фольги определяется их сопротивлением, максимальным током и минимальным расстоянием между дорожками.

#### 13.3.1. Сопротивление проводников из фольги

Сопротивление ( $R$ ) медного проводника из фольги можно рассчитать по формуле:

$$R = \rho_{Cu} \cdot L / (b \cdot t) = (\rho_{Cu} / t) \cdot (L / b), \quad (12)$$

где  $\rho_{Cu}$  – удельное сопротивление меди (Cu);

$L$  – длина проводника;

$b$  – ширина проводника;

$t$  – толщина фольги.

Для фольги толщиной 70 мкм  $\rho_{Cu} / t = 0,25 \cdot 10^{-3}$  Ом; для фольги 35 мкм  $\rho_{Cu} / t = 0,5 \cdot 10^{-3}$  Ом и для фольги 17,5 мкм  $\rho_{Cu} / t = 1,0 \cdot 10^{-3}$  Ом.

*Пример.* Сопротивление проводника из медной фольги толщиной 0,35 мкм, длиной 10 см и шириной 1 мм равно:

$$R = (\rho_{Cu} / t) \cdot (L / b) = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot (10 \cdot 10^{-2}) \text{ м} / 1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,05 \text{ Ом}. \quad (13)$$

#### 13.3.2. Максимальный ток и минимальное расстояние (шаг) между дорожками

Максимально допустимый ток зависит от толщины фольги, ширины проводника, температуры, которой может противостоять проводник. Если он расположен на печатной плате, предпочтительно использовать фольгу шириной 1,57 мм (0,062") или 1,27 мм (0,05") (табл. 8-10).

Минимальная ширина проводника, которая может быть получена при фотографическом экспонировании конструкции проводника, равна 0,3 мм.

Таблица 8

Максимальный ток (А) через проводники на печатной плате с фольгой 17,5 мкм

Ширина проводника, мм	Допустимая температура в проводнике					
	10 °С	20 °С	30 °С	60 °С	75 °С	100 °С
0,5	0,6	1,0	1,2	1,7	2,0	2,3
1,0	1,1	1,5	2,0	3,0	3,2	3,7
1,5	2,0	2,6	3,4	4,3	5,0	6,0
2	2,3	3,2	4,0	5,0	6,0	7,0
4	4,0	5,0	7,0	9,0	10,0	11,0
6	5,0	7,0	9,0	12,0	13,0	14,0
8	6,0	9,0	11,0	14,0	16,0	18,0
10	7,0	10,0	13,0	16,0	19,0	21,0

Таблица 9

Максимальный ток (А) через проводники на печатной плате с фольгой 35 мкм

Ширина проводника, мм	Допустимая температура в проводнике					
	10 °С	20 °С	30 °С	60 °С	75 °С	100 °С
0,5	1,3	2	2,3	3	3,5	4
1,0	2	2,8	3,1	4	5	6
1,5	2,6	3,7	4,4	6	7	8
2,0	3,2	5	6	8	9	10
4,0	5,5	8	10	11	15	16,5
6,0	8	11	13	18	21	23
8,0	9,5	13	16	22	24	26
10,0	11	16	20	27	29	33

Таблица 10

Максимальный ток (А) через проводники на печатной плате с фольгой 70 мкм

Ширина проводника, мм	Допустимая температура в проводнике					
	10 °С	20 °С	30 °С	60 °С	75 °С	100 °С
0,5	2,4	3,2	4	5	6	7
1,0	3,3	4,5	6	8	9	10
1,5	4,3	6	8	10	12	13
2	5	8	10	13	14	15
4	9	13	15	21	23	25
6	12	16	22	30	32	35

Минимальное допустимое расстояние между проводниками, расстояние изоляции, зависит от методов изготовления и максимального напряжения (см. табл. 11).

Таблица 11

Минимальное допустимое расстояние между проводниками из фольги при фотографическом экспонировании схемы проводников

Напряжение (V) между проводниками	50	150	300	500
Минимальное расстояние (мм) между проводниками	0,3	0,6	1,2	1,8

## 14. КАБЕЛИ

---

**Кабель** – группа из нескольких электрических или оптических проводников, заключенных в общую оболочку.

### 14.1. Проводящие материалы

Основным проводником кабелей является медь. В исключительных случаях и для специальных целей используются серебро, алюминий, константан или аналогичные материалы. Сопротивление является важной характеристикой проводника и определяется по формуле:

$$R = \rho (L/A), \quad (14)$$

где  $R$  – сопротивление;  $\rho$  – удельное сопротивление, зависящее от температуры и материала;  $L$  – длина;  $A$  – площадь сечения.

Сопротивление зависит от температуры. Для металлов зависимость удельного сопротивления от температуры имеет почти линейный характер (табл. 12). Следовательно, сопротивление можно вычислить по формуле:

$$R_T = R_{T_{ref}} + \alpha (T - T_{ref}) R_{T_{ref}}, \quad (15)$$

где  $R_T$  – сопротивление при температуре  $T$ ;  $R_{T_{ref}}$  – сопротивление при эталонной температуре;  $\alpha$  – температурный коэффициент;  $T$  – температура проводника;  $T_{ref}$  – эталонная температура.

Таблица 12

Удельное сопротивление  $\rho$  и температурный коэффициент  $\alpha$  для некоторых металлов

Металл	Удельное сопротивление при 20 °С ( $10^{-6}$ Ом · м)	Температурный коэффициент ( $10^{-3}/$ °С)
Алюминий	0,027	4,3
Золото	0,022	4,0
Железо	0,105	6,6
Медь	0,0172	3,9

Металл	Удельное сопротивление при 20 °С (10 <sup>-6</sup> Ом · м)	Температурный коэффициент (10 <sup>-3</sup> /°С)
Никель	0,078	6,7
Серебро	0,016	3,8
Константан	0,50	±0,03
Латунь	0,065	1,5
Сталь (0,85%С)	0,18	-

Сопротивление создает потери мощности, которые возрастают с температурой проводника. Термин «плотность тока» ( $S$ , А/см<sup>2</sup>) может быть использован для выбора правильных размеров проводника в единицах увеличения температуры. В случае обычного медного провода короткие или неплотные проводники могут иметь плотность тока 6-10 А/мм<sup>2</sup>. В больших трансформаторах электронного оборудования 2,5 А/мм<sup>2</sup> является обычной величиной, а в малых трансформаторах – 3,0-3,5 А/мм<sup>2</sup>. Следует пользоваться следующей формулой, чтобы выразить диаметр, соответствующий данной плотности тока и силе тока:

$$d = 1,13 \sqrt{I/S}, \quad (16)$$

где  $d$  – диаметр, мм;  $I$  – сила тока, А;  $S$  – плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

При высоких частотах электроны обычно движутся по поверхностям проводника, ток вытесняется к поверхности (Скин-эффект). Следовательно, при очень высоких и сверхвысоких частотах используемые провода зачастую обладают лучшими проводящими свойствами по поверхности (например, провода с серебряным покрытием) или имеют большую площадь поверхности по отношению к размерам (так называемый «литц-провод», состоящий из большого числа отдельно изолированных проводников).

Проводники должны быть изолированы диэлектрическим материалом прежде, чем располагать их рядом друг с другом. Самым распространенным изоляционным материалом является поливинилхлорид (ПВХ) [PVC]. К другим обычным изоляторам относятся резина или «EP»-резина (этиленпропилен), и пластики, такие как полиэтилен [PE], полипропилен [PP], полиуретан [PUR], полиамид (нейлон), политетрафлюоретин [PTFE] (торговая марка Дюпона называется «Тефлон»), FEP (Тефлон FEP), силиконовая резина и неопрен.

В таких устройствах, как трансформаторы, в различных типах дросселей и реле используется провод с эмалевой изоляцией, которая разработана для различных температурных классов.

### **14.1.1. Коаксиальный кабель**

В коаксиальных кабелях между внутренним проводником и экраном имеется слой сплошного полиэтилена с внешней оболочкой из ПВХ. В миниатюрных кабелях или в специальных кабелях с низким уровнем потерь используется фторопласт (тефлон) между внутренним и наружным проводником. Коаксиальный кабель имеет импедансную характеристику, делающую его пригодным для высокочастотного применения. Экран защищает от высокочастотных электромагнитных полей. При низких частотах предусмотрена только электростатическая защита. Чтобы защититься от электромагнитных помех, используют витую (скрученную) пару. Специальные аудиокабели также используют скрученную пару, закрытую одним экраном. Иногда предусматривают дополнительную фольгу внутри экрана для обеспечения дополнительной защиты от помех. Имеются также кабели с многими сердечниками, в которых проводники экранированы парами.

### **14.1.2. Кабельные витые пары**

Эти кабели находят применение в электронных системах мобильных машин для передачи различных сигналов информации. Витые пары представляют собой два или три провода, свитые между собой, с шагом свивки, зависящим от параметров передаваемых сигналов.

В настоящее время в автотракторной технике для такого применения широко используются специализированные CAN-кабели (шины), с помощью которых осуществляется последовательная передача цифровых данных в сети электронных блоков управления, системах бортовой диагностики и др. Международной организацией по стандартизации (ISO) установлены стандарты для систем передачи данных CAN со скоростью до 125 Кбит/с (ISO 11519-2) и со скоростью свыше 125 Кбит/с (ISO 11898).

### **14.1.3. Высокотемпературные кабели**

В автотракторных двигателях внутреннего сгорания применяются специальные кабели, работающие в условиях высоких температур. Такие высокотемпературные кабели устанавливаются под клапанными крышками ДВС для передачи управляющих сигналов к электромагнитным клапанам инжекторов впрыскивания топлива. Их применяют также в системах облегчения пуска дизельных ДВС для управления штифтовыми свечами накаливания закрытого типа, алгоритм работы которых определяется электронным модулем свечей накаливания.



## 14.2. Коды кабелей

Системы обозначений коаксиальных кабелей в разных странах устанавливаются международными, национальными стандартами, а также собственными стандартами предприятий-изготовителей (наиболее распространенные серии марок RG, DG, SAT). Рассмотрим некоторые из широко применяемых систем.

«CENELEC» – Европейская организация, функция которой состоит в облегчении торговых операций и сотрудничества между странами – членами ЕС за счет максимально возможного устранения технических препятствий, возникающих в связи с различными национальными нормами и стандартами по электрическим и электронным системам. Кабель, спроектированный и испытанный в соответствии с документом гармонизации [HD], должен иметь знак [HAR] и знак происхождения.

### **Коды Швеции.**

*Кабели питания.* RDOE – Маслостойкий (хлоропреновый) резиновый кабель. REV – Резиновый кабель для использования в помещениях. RKK – Круглый кабель с пластиковой изоляцией. SKX – Овальный кабель с пластиковой изоляцией.

*Слаботочные кабели.* ЕККХ – Однопроводный телефонный кабель с изоляцией ПВХ. RKUB – Сверхмногожильный кабель для автомобилей.

### **Коды Германии.**

LiYCY – Широко применяемый кабель, соответствующий Германскому стандарту кодирования: J – Монтажный кабель; S – Сигнальный кабель; Li – Многожильный провод; C – Плетеный медный экран. L – Экран из алюминиевой фольги.

### **Материал изоляции и оболочки:**

Y – ПВХ [PVC];

2Y – Полиэтилен [PE];

5Y – Политетрафлюоретин [PTFE];

11Y – Полиуретан [PUR];

2G – Силиконовая резина;

5G – Хлоропреновая резина.

*Пример.* LiYCY – Многожильный провод, с изоляцией ПВХ, экранированный, с оболочкой ПВХ.

## 14.2.1. Силовые и монтажные кабели – коды согласно стандартам CENELEC

### Структура обозначения

Пример	H	05	V		V		-		F	3	G	1,5			
Таблица	13	14	15	16	17	18	-	19	20	21	22	23	+21	+22	+23

Таблица 13

### Тип стандарта

Символ	Значение
H	Кабель согласно стандартам «Cenelec»
A	Национальный стандарт, принятый как дополнительный стандарт «Cenelec»

Таблица 14

### Номинальное напряжение

Символ	Значение
01	100/100В
03	300/300В
05	300/500В
07	450/750В

Таблица 15

### Изоляция

Символ	Значение
B	Этилен-пропиленовая резина [EPR] для рабочей температуры 90°C
G	Этилен-винил-ацетат [EVA]
J	Стекловолоконная оплетка
M	Минеральный материал
N	Хлоропреновая резина [CR] или аналогичный материал
N2	Специальный хлоропреновый компаунд для сварочных кабелей по HD 22.6
N4	Хлоросульфонадный полиэтилен [GSM] или хлорированный полиэтилен
N8	Особо водостойкая полихлоропреновая резина
Q	Полиуретан [PUR]
Q4	Полиамид
R	Этилен-пропиленовая резина (нормально) или синтетический эластомер для рабочей температуры 60 °C
S	Силиконовая резина
T	Текстильная оплетка, пропитанная или без пропитки

Символ	Значение
T6	Текстильная оплетка, пропитанная или непропитанная в многожильных кабелях
V	Поливинилхлорид [PVC]
V2	[PVC] для максимальной рабочей температуры 90 °С
V3	[PVC] для кабелей при низких температурах
V4	[PVC] с перекрещиванием
V5	[PVC] маслостойкий
Z	Перекрестный компаунд на основе полиолефина с малой эмиссией коррозионных газов, пригодный для кабелей с малой дымностью при горении
Z1	Термопластический компаунд на основе полиолефина с низкой эмиссией коррозионных газов, для кабелей с малой дымностью при горении

Таблица 16

## Металлические оболочки, концентрические проводники, экраны

Символ	Значение
C	Концентрический медный провод
C4	Медный экран в виде оплетки на кабельной части

Таблица 17

## Специальные конструкции и специальные проекты

Символ	Значение
D3	Конструкция с пределом прочности одного или многих компонентов из ткани или металла, расположенных в центре круглого кабеля или распределенного в плоском кабеле
D5	Заполнение (нет предела прочности) в центре кабеля (только для лифтовых кабелей)
(нет)	Кабель круглого поперечного сечения
H	Плоский, разделяемый кабель, с оболочкой и без оболочки
H2	Плоский, неразделяемый кабель
H6	Плоский кабель с тремя или более проводниками согласно HD или EN 50214
H7	Кабель с двойным слоем выдавленной изоляции
H8	Спиральный (катушечный) провод

Таблица 18

## Материал провода

Символ	Значение
(нет)	Медь
-А	Алюминий

Таблица 19

## Форма проводника

Символ	Значение
-D	Многожильный проводник для использования в сварочном кабеле согласно HD22, часть 6 (другая гибкость, чем в HD 383, класс 5)
-E	Тонкожильный проводник для сварочных кабелей согласно HD22 часть 6 (другая эластичность, чем в HD 383, класс 6)
-F	Многожильный проводник для соединительного кабеля (эластичность согласно HD 383, класс 5)
-H	Многожильный проводник для соединительного кабеля (эластичность согласно HD 383, класс 6)
-K	Многожильный проводник для кабеля с фиксированным монтажом (эластичность согласно HD 383, класс 5, если нет других указаний)
-R	Круглый проводник, несколько проводов
-U	Массивный круглый проводник
-Y	Спиральный (скрученный) проводник

Таблица 20

## Число проводников

Символ	Значение
Число	Количество проводников

Таблица 21

## Защитный проводник

Символ	Значение
X	Зелено-желтый защитный проводник опущен
G	Зеленый/желтый защитный проводник включен

Таблица 22

## Площадь сечения проводника

Символ	Значение
(число)	Номинальная площадь сечения ( $\text{мм}^2$ )
/	Ограничивающий знак перед числом, указывающим сечение (в $\text{мм}^2$ ) для концентрических проводников
Y	Спиральный проводник, площадь сечения не оговаривается

## 14.2.2. Силовые, управляющие и монтажные кабели – коды согласно Шведскому стандарту SS4241701

### Первая буква – проводник

- A – Алюминий.
- B – Алюминиевый сплав.
- E – Медь, одна жила (класс 1).
- F – Медь, грубо свитая (класс 2).
- J – Стальной провод.
- R – Медь, тонкосвитая (класс 5).
- S – Медь, сверхтонкосвитая (класс 6).

### Вторая буква – изоляция

- B – Огнестойкая, термопластичный полиолефин (безгалогенная, низкий уровень дымности).
- C – Пропитанная бумага.
- D – Резина + резиновая оболочка.
- E – Этиленпропиленовая резина.
- H – Силиконовая резина.
- I – Уретановый пластик.
- K – ПВХ.
- L – Полиэтилен (ПЭ).
- O – Неопреновая резина.
- Q – Огнезащитный, термопластичный полиолефин (безгалогенная, низкий уровень дымности).
- T – Флюоридный пластик.
- V – Резиновая, без внешней оболочки.
- X – Перекрестно связанный полиэтилен [PEX].
- Z – Огнестойкая, перекрестно связанный полиолефин (безгалогенный, низкий уровень дымности).

### Третья буква – оболочка или другие конструктивные детали

- A – Экран из алюминиевой фольги.
- B – Огнестойкий, термопластический полиолефин (безгалогенный, низкий уровень дымности).

- С – Концентрический медный провод.
- F – Медная проволочная оплетка.
- I – Уретановый пластик, оболочка.
- J – Стальная проволочная арматура.
- К – ПВХ .
- L – Алюминиевый экран из полосы с покрытием пластиком.
- O – Хлоропреновая резина.
- P – Стальное армирование с цинкованием.
- Q – Огнестойкий термопластичный полиолефин (безгалогенный, низкая дымность).
- R – Алюминиевое армирование с пластиковым покрытием.
- T – Стальное проволочное армирование.
- U – Без внешней оболочки.
- V – Этилен-пропиленовая резина.
- X – ПВХ, овальное сечение .
- Z – Огнестойкий, перекрестносвязанный полиолефин (безгалогенный, низкий уровень дымности).

#### **Четвертая буква – конструктивные детали или применение**

- B – Схемный (монтажный) провод.
- E – Армированная конструкция.
- F – Оплетка из медной или стальной проволоки.
- H – Лифтовой кабель.
- J – Проложенный в земле.
- К – ПВХ .
- P – Армирование стальной оцинкованной полосой.
- R – Кабель управления (контроля).
- S – Самоподдерживание .
- T – Кабель тяжелого соединения.
- V – Проложенный в воде.
- Z – Кабель для систем неоновое освещение.

#### **Пятая буква – конструктивные детали или применение**

- E – Армированная конструкция.
- К – ПВХ .
- L – Полиэтилен [PE].

### 14.2.3. Телекоммуникационные кабели – коды в соответствии со Шведским Стандартом SS4241675

#### Первая буква – оптический или электрический проводник

- A – Алюминий, без покрытия.
- B – Алюминиевый сплав.
- C – бронза.
- D – Стекло/пластик, волокно.
- E – Медь, одна жила.
- F – Медь, свитая.
- G – Стекло/стекло, волокно.
- H – Волоконный пучок.
- J – Омедненный стальной провод.
- K – Коаксиальная пара.
- L – Проводящий пластик.
- M – Медь, многожильная.
- P – Пластик/ пластик, волокно.
- R – Медь, сверх многожильная.
- S – Медь, тонкая свивка.
- T – Медь, сверхтонкая свивка.
- Z – Проводник с «yam kemel».

#### Вторая буква – изоляция проводника и вторичная защита

- A – Покрытая акрилом волоконная полоса.
- C – Комбинация ячеистого и гомогенного полиолефина .
- I – Термопластический полиуретановый эластомер.
- J – Волокно без вторичной защиты.
- K – ПВХ.
- L – Полиэтилен.
- M – Полипропилен [PP].
- N – [PA].
- O – Термопластический эластомер.
- P – Бумага, пропитанная .
- Q – Безгалогенный, огнестойкий материал.
- R – Полиэстер.

- S – Прорезной сердечник.
- T – Флюоретановый пластик, например [PTFE], [FEP].
- U – Ячеистый полиолефин.

### **Третья буква – оболочка или другие конструктивные детали**

- A – Экран из алюминиевой полосы.
- B – Свинцовая оболочка.
- C – Комбинация ячеистого и гомогенного полиолефина.
- D – Кабель только из диэлектрического материала.
- E – Индивидуально экранированные части или скрученная группа .
- F – Металлическая оплетка или металлическое снятие напряжений деформации .
- G – Неметаллическая армирующая оплетка, проволочная оплетка.
- H – Части, установленные вокруг разгрузки от деформаций.
- I – Термопластический полиуретановый эластомер [TPU].
- J – Стальная армирующая полоса .
- K – ПВХ.
- L – Полиэтилен [PE].
- M – Металлическая оболочка, без канавок.
- N – [PA].
- O – Термопластический эластомер.
- P – Оцинкованное стальное армирование полосой.
- Q – Безгалогенный, огнестойкий материал.
- R – Полиэстер.
- S – Сердечник прорезной.
- T – Оцинкованное стальное армирование.
- U – Без оболочки.
- W – Металлическая оболочка, с канавкой.
- X – Овальное сечение.
- Z – Экран из медной полосы.

4-я, 5-я и следующие буквы – Свойства и детали.



#### 14.2.4. Цветное кодирование и нумерация кабелей

Таблица 23

Телефонный кабель по Шведскому стандарту «ЕККХ»

Номера пар	Цвета пар проводов	Номера пар	Цвета пар проводов	Номера пар	Цвета пар	Номера пар	Цвета пар
1	Белый/ синий	6	Красный/ синий	11	Черный/ синий	16	Желтый/ синий
2	Белый/ оранжевый	7	Красный/ оранже- вый	12	Черный/ оранжевый	17	Желтый/ оранжевый
3	Белый/ зеленый	8	Красный/ зеленый	13	Черный/ зеленый	18	Желтый/ зеленый
4	Белый/ коричне- вый	9	Красный/ коричне- вый	14	Черный/ коричне- вый	19	Желтый/ коричне- вый
5	Белый/ зеленый	10	Крас- ный/серый	15	Черный/ серый	20	Желтый/ серый

Таблица 24

Кабель большой силы тока 450/750В

Проводник	Цветовой код
2	Светло-синий, коричневый
3	Желтый/зеленый, коричневый, светло-синий
4	Желтый/зеленый, коричневый, светло-синий, черный
5	Желтый/зеленый, черный, коричневый, светло-синий, серый

Таблица 25

Британский оборонный стандарт DEF STAN 61-12

Номер	Цвет	Номер	Цвет	Номер	Цвет
1	Красный	10	Розовый	19	Желтый/синий
2	Синий	11	Бирюзовый	20	Белый/синий
3	Зеленый	12	Серый	21	Синий/черный
4	Желтый	13	Красный/синий	22	Оранжевый/синий
5	Белый	14	Зеленый/ красный	23	Желтый/ зеленый
6	Черный	15	Желтый/красный	24	Белый/зеленый
7	Коричневый	16	Белый/ красный	25	Оранжевый/ зеленый
8	Фиолетовый	17	Красный/ черный		
9	Оранжевый	18	Красный/ коричневый		

Кабели с числом проводов от 26 до 36 (DEF STAN 61-12)

Номер	Цвет	Номер	Цвет	Номер	Цвет	Номер	Цвет
1	Красный	10	Розовый	19	Желтый/ синий	28	Оранжевый/ зеленый
2	Коричневый	11	Бирюзовый	20	Белый/ синий	29	Серый/ зеленый
3	Зеленый	12	Серый	21	Синий/ черный	30	Желтый/ коричневый
4	Желтый	13	Красный/ синий	22	Оранжевый/ синий	31	Белый/ коричне- вый
5	Белый	14	Зеленый/ красный	23	Зеленый/ синий	32	Коричневый/серый
6	Черный	15	Желтый/ красный	24	Серый/ синий	33	Серый/ коричневый
7	Коричневый	16	Белый/ красный	25	Желтый/ зеленый	34	Желтый/ фиолетовый
8	Фиолетовый	17	Красный/ черный	26	Белый/ зеленый	35	Фиолетовый/ черный
9	Оранжевый	18	Красный/ коричневый	27	Зеленый/ черный	36	Белый/ фиолетовый

#### 14.2.5. Таблица размеров AWG (США)

«AWG» – означает «Американский размер проводов» [American Wire Gauge], т. е. «Американская система толщин проводов». Каждый последующий «AWG» – размер означает изменение толщины на величину константы (коэффициент). Система «AWG» придумана Дж.Р. Брауном [J.R.Broun] в 1957 г.

Таблица 27

Размеры «AWG»

Размер «AWG»	Конструкция проводника x «AWG»	Конструкция проводника x диаметр, мм	Сечение проводника, мм <sup>2</sup>	Диаметр неизолированного проводника, мм
1	1x1	1x7,35	42,4	7,35
1	259x25	259x0,45	42,1	9,50
1	81x30	817x0,25	41,4	9,70
2	1x2	1x6,54	33,6	6,54
2	133x23	133x0,57	34,4	8,60
2	665x30	665x0,25	33,8	8,60
3	1x3	1x5,83	26,7	5,83
3	133x24	133x0,51	27,2	7,60

Продолжение таблицы 27

Размер «AWG»	Конструкция проводника х «AWG»	Конструкция проводника х диаметр, мм	Сечение проводника, мм <sup>2</sup>	Диаметр неизолированного проводника, мм
4	1x4	1,х5,19	21,1	5,19
4	133x25	133x0,45	21,6	6,95
5	1x5	1x4,62	16,8	4,62
6	1x6	1x4,11	13,2	4,11
6	133x27	133x0,36	13,6	5,51
7	1x7	1x3,66	10,5	3,67
8	1x3,66	1x3,26	8,37	3,26
8	133x29	133x0,29	8,61	4,38
9	1x9	1x2,91	6,83	2,91
10	1x10	1x2,59	5,26	2,59
10	105x30	105x0,25	5,32	2,85
11	1x11	1x2,30	4,17	2,30
12	1x12	1x2,05	3,31	2,05
12	18x25	18x0,45	3,09	2,24
12	37x28	37x0,32	2,99	2,31
13	1x13	1x1,83	2,70	1,83
14	1x14	1x1,63	2,08	1,63
14	18x27	18x0,36	1,94	1,76
14	41x30	41x0,25	2,08	1,83
15	1x15	1x1,45	1,65	1,45
16	1x16	1x1,29	1,31	1,29
16	18x29	18x0,29	1,23	1,40
16	28x30	28x0,25	1,32	1,47
17	1x17	1x1,15	1,04	1,15
18	1x18	1x1,03	0,824	1,03
18	7x26	7x0,40	0,897	1,03
18	19x30	19x0,25	0,963	1,02
19	1x19	1x0,91	0,653	0,91
20	1x20	1x0,81	0,519	0,81
20	7x28	7x0,32	0,563	1,01
20	10x30	10x0,25	0,507	0,97
21	1x21	1x0,72	0,412	0,72
22	1x22	1x0,64	0,325	0,64
22	7x30	7x0,25	0,355	0,80
22	19x34	19x0,16	0,382	0,78
23	1x23	1x0,57	0,259	0,57
24	1x24	1x0,51	0,205	0,51
24	7x32	7x0,20	0,227	0,64
24	19x36	19x0,13	0,241	0,62

Размер «AWG»	Конструкция проводника х «AWG»	Конструкция проводника х диаметр, мм	Сечение проводника, мм <sup>2</sup>	Диаметр изолированного проводника, мм
25	1x25	1x0,45	0,163	0,45
26	1x26	1x0,40	0,128	0,40
26	7x34	7x0,16	0,140	0,50
26	19x38	19x0,10	0,154	0,50
27	1x27	1x0,36	0,102	0,36
28	1x28	1x0,32	0,080	0,32
28	7x36	7x0,13	0,089	0,40
28	19x40	19x0,08	0,092	0,39
29	1x29	1x0,29	0,065	0,29
30	1x30	1x0,25	0,051	0,25
30	7x38	7x0,10	0,057	0,33
30	19x42	19x0,06	0,057	0,36
31	1x31	1x0,23	0,040	0,23
32	1x32	1x0,20	0,032	0,20
32	7x40	7x0,08	0,034	0,26
33	1x33	1x0,18	0,025	0,18
34	1x34	1x0,16	0,020	0,16
34	7x42	7x0,06	0,022	0,21
35	1x35	1x0,14	0,016	0,14
36	1x36	1x0,13	0,013	0,13
37	1x37	1x0,11	0,010	0,11
38	1x38	1x0,10	0,009	0,10
39	1x39	1x0,09	0,006	0,09
40	1x40	1x0,08	0,005	0,08
41	1x41	1x0,07	0,004	0,07

Таблица 28

## Данные для медного провода

Диаметр оголенного провода, мм	Диаметр эмалированного провода, мм	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Номер размера «AWG»	Сопротивление при 20 °С, Ом/км	Сила тока при плотности 3 А/мм <sup>2</sup> , мА	Длина, м/100 г	Масса, 100 г/км
0,04	0,05	0,0013	46	13700	3,8	8200	0,12
0,05	0,06	0,0020	44	8750	6	5400	0,18
0,06	0,07	0,0028	42	6070	9	3800	0,22
0,07	0,08	0,0039	41	4460	12	2800	0,35
0,08	0,09	0,0050	40	3420	15	2100	0,47
0,09	0,11	0,0064	39	2700	19	1700	0,59

Диаметр оголенного провода, мм	Диаметр эмалированного провода, мм	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Номер размера «AWG»	Сопротивление при 20 °С, Ом/км	Сила тока при плотности 3 А/мм <sup>2</sup> , мА	Длина, м/100 г	Масса, 100 г/км
0,10	0,12	0,0078	38	2190	24	1400	0,71
0,11	0,13	0,0095	37	1810	28	1100	0,91
0,12	0,14	0,011		1520	33	950	1,00
0,13	0,15	0,013	36	1300	40	820	1,21
0,14	0,16	0,015	35	1120	45	710	1,40
0,15	0,17	0,018		970	54	620	1,60
0,16	0,18	0,020	34	844	60	560	1,80
0,17	0,19	0,023		757	68	490	2,05
0,18	0,20	0,026	33	676	75	440	2,25
0,19	0,21	0,028		605	85	390	2,55
0,20	0,22	0,031	32	547	93	360	2,77
0,25	0,27	0,049	30	351	147	230	4,35
0,30	0,33	0,071	29	243	212	160	6,25
0,35	0,38	0,096	27	178	288	120	8,35
0,40	0,43	0,13	26	137	378	90	11,15
0,45	0,48	0,16	25	108	477	70	14,10
0,50	0,53	0,20	24	87,5	588	57	17,50
0,55	0,58	0,24		72,3	715	47	21,01
0,60	0,64	0,28		60,7	850	40	25,0
0,65	0,69	0,33	22	51,7	1,0А	34	29,4
0,70	0,74	0,39		44,6	1,16	29	34,5
0,75	0,79	0,44		38,9	1,32	25	40,0
0,80	0,84	0,50	20	34,1	1,51	22	45,5
0,85	0,89	0,57		30,2	1,70	20	50,0
0,90	0,94	0,64	19	26,9	1,91	18	55,5
0,95	0,99	0,71		24,3	2,12	16	62,5
1,00	1,05	0,78	18	21,9	2,36	14	71,5
1,10	1,15	0,95		18,1	2,85	12	83,5
1,20	1,25	1,1		15,2	3,38	10	100,0
1,30	1,35	1,3	16	13,0	3,97	8,5	118,0
1,40	1,45	1,5		11,2	4,60	7,5	140,0
1,50	1,56	1,8		9,70	5,30	6,4	155,0
1,60	1,66	2,0	14	8,54	6,0	5,5	179,0
1,70	1,76	2,3		7,57	6,7	5,0	200,0
1,80	1,86	2,6	13	6,76	7,6	4,5	225,0
1,90	1,96	2,8		6,05	8,5	4,0	250,0
2,00	2,06	3,1	12	5,47	9,40	3,5	285,5

## 15. КАТУШКИ И ДРОССЕЛИ

---

Индуктивные компоненты (катушки и дроссели) служат для избирательного выбора частот. Катушка, используемая в основном для подавления фона переменного тока, часто известна как дроссель.

Как правило, катушки и дроссели состоят из некоторого числа витков медной проволоки, плотно намотанной, имеющей сердечник определенной формы или без сердечника. Выпускается большое разнообразие моделей этих дросселей с индуктивностью от нескольких нН до десятков Н (Генри).

Индуктивность – это свойство катушки, которое противодействует всем изменениям протекающего через нее тока. При этом в катушке возникает напряжение, противодействующее изменению тока, известное как противодействующая электродвижущая сила (ЭДС) [Counter EMF]. Катушка с индуктивностью 1 Н имеет противоЭДС 1 В при изменении тока со скоростью 1 А/с:

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ В} \cdot \text{с/А}. \quad (17)$$

### 15.1. Области применения

Примерами применения катушек (индуктивностей) и дросселей являются:

- **настроенные фильтры** (колебательные контуры). Предназначены для выделения или подавления определенных частот. Полоса частот индуктивности и стабильность характеристик определяются добротностью [Q-factor]. Индуктивности часто имеют воздушный сердечник или сердечник из железного порошка, или феррита (в этом случае с воздушным зазором). Обычно применяются тороиды и регулируемые броневые (горшковые) сердечники с экранированием или без него;

- **фильтры радиочастотных помех [RFI]**, предназначены для гашения нежелательных высокочастотных сигналов (помех). Катушка должна иметь

высокий импеданс в широком частотном диапазоне (низкую добротность). Для этой цели подходят ферритовые сердечники. При слабом токе часто используются тороидальные сердечники, имеющие замкнутую магнитную цепь и небольшое поле помех. При более высоких токах вводится воздушный зазор или используется сердечник с разомкнутой магнитной цепью, например ферритовый стержень;

- **фильтры постоянного тока и хранения энергии.** Используются в качестве дросселя при переключении источников питания, например, для фильтрации высокочастотных пульсаций и в качестве дросселя хранения энергии в преобразователях постоянного тока (DC/DC). В этом случае важно, чтобы сердечник мог выдерживать высокие значения постоянного тока в обмотке без насыщения сердечника (высокая плотность потока насыщения). Для этого обычно используется железный порошок.

## 15.2. Импеданс катушки

Катушки имеют частотно-зависимое сопротивление, известное как реактивное сопротивление, и сопротивление напряжения постоянного тока, которое является сопротивлением провода.

**Индуктивное сопротивление ( $X_L$ )** рассчитывается по формуле:

$$X_L = \omega L, \quad (18)$$

где  $\omega$  = угловая частота ( $2 \cdot \pi \cdot f$ ), рад/с;

$f$  = частота, Гц ;

$L$  = индуктивность, Генри (H);

Импеданс катушки ( $Z$ ) при определенной частоте является комбинацией сопротивления и реактивного сопротивления:

$$Z = \sqrt{(X_L^2 + R^2)}. \quad (19)$$

Чтобы легче понять индуктивность как компонент схемы, можно воспользоваться упрощенной эквивалентной схемой (рис. 39).

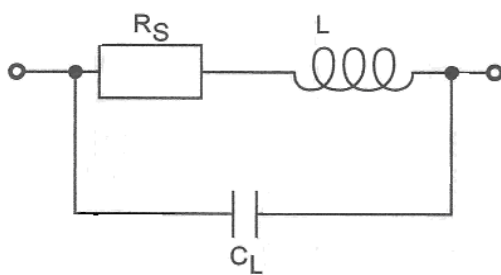


Рис. 39. Упрощенная эквивалентная схема катушки:

$L$  – индуктивность;  $R_s$  – активное сопротивление (сопротивление провода + потери в проводе и сердечнике);  $C_L$  – собственная емкость катушки, т. е. емкость между ветками провода (известна также как распределенная емкость, паразитная емкость, побочная емкость);  $Q$  – добротность равная отношению реактивного (индуктивного) сопротивления катушки к активному сопротивлению

Более низкое сопротивление дает более высокую добротность ( $Q$  – фактор) и более крутой фронт фильтра.

$$Q = X_L / R_s \quad (20)$$

### 15.3. Резонанс

Вместе с конденсатором индуктивность образует колебательный контур, который имеет резонансную частоту. При этой частоте, реактивное сопротивление индуктивности и емкостное сопротивление одинаковы, а полный импеданс – самый низкий при их последовательном соединении (рис. 40) самый высокий – при их параллельном соединении (рис. 41).

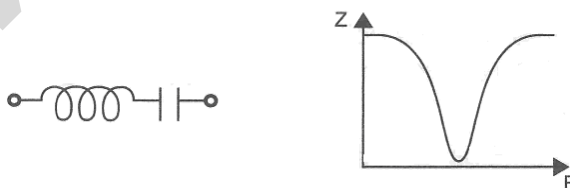


Рис. 40. Схема последовательного соединения катушки  $L$  и емкости  $C$ :  
 $Z$  – (сопротивление) минимальное

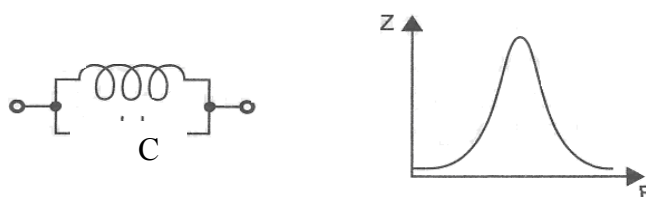


Рис. 41. Схема параллельного соединения катушки  $L$  и емкости  $C$ :  
 $Z$  – максимальное



Формула резонансной частоты имеет вид:

$$f = 1 / (2\pi \cdot (LC)). \quad (21)$$

Частота выражается в Гц, если  $L$  в Генри и  $C$  в Фарадах. Если  $L$  и  $C$  выражаются в мкГ ( $\mu\text{H}$ ) и мкФ ( $\mu\text{F}$ ) соответственно, то частота выражается в МГц.

Собственная емкость катушки ( $C_L$ ) образует колебательный контур с индуктивностью. Его резонансная частота известна как собственная резонансная частота [SRF]. Собственная емкость может создавать проблемы при высоких частотах, если это не принимать во внимание. Испытательная частота для определения добротности  $Q$  должна почти в 10 раз превышать эту частоту.

#### 15.4. Расчеты катушек без сердечников

Энергию, запасаемую в дросселе, можно рассчитать по формуле

$$W = 1/2L \cdot I^2, \quad (22)$$

где  $W$  – энергия; Джоуль;

$L$  – индуктивность катушки, Генри;

$I$  – сила тока через катушку, Ампер.

Прежде чем приступить к расчетам, следует учесть, что даже прямолинейный проводник имеет индуктивность. Это необходимо принимать во внимание при работе проводников на высоких частотах. Следовательно, необходимо иметь как можно более короткие кабели, например, последовательно с развязывающим конденсатором, иначе может получиться колебательный контур.

Формула индуктивности проводника имеет вид:

$$L = 0,002 s (\ln (4 s/d) - x). \quad (23)$$

Для длины ( $s$ ) и диаметра ( $d$ ) провода, выраженных в см, индуктивность выражается в мкГ ( $\mu\text{H}$ ). Коэффициент ( $x$ ) зависит от частоты и формы. Прямолинейный провод и высокая частота дают  $x = 1$ , низкая частота будет давать  $x = 0,75$ . Если проводник изогнут, индуктивность будет ниже. Круг с одним

витком будет давать  $x = 2,45$  при высокой частоте и  $x = 2,20$  при низких частотах, в то время как квадрат будет давать  $x = 2,85$  и  $2,60$  соответственно.

При необходимости увеличения индуктивности можно на кабель надеть кольцо из магнитного материала, такого как феррит, или намотать несколько витков провода в спираль. В последнем случае проводник изогнут, но получается большой комбинированный эффект. Индуктивность катушки возрастает пропорционально квадрату числа витков катушки. Индуктивность **однослойной катушки с воздушным промежутком** рассчитывается по формуле:

$$L = (0,08d^2n^2) / (3d + 9s), \quad (24)$$

где  $s$  – длина катушки;  $d$  – диаметр, см;  $n$  – число витков.

Индуктивность катушки выражена в  $\mu\text{H}$  ( $\text{мкГ}$ ). Наивысшая добротность ( $Q$ ) получается, если длина катушки в 2,0-2,5 раза превышает ее диаметр. Диаметр катушки должен быть в 5 раз больше диаметра провода.

**Короткая, многослойная катушка с воздушным промежутком** рассчитывается по формуле:

$$L = (0,08d^2n^2) / (3d + 9s + 10a), \quad (25)$$

где  $d$  – средний диаметр обмотки, см;  $a$  – радиальная толщина обмотки, см.

Индуктивность выражена в  $\text{мкГ}$  ( $\mu\text{H}$ ).

Для печатных катушек, которые выполнены из фольгированного диэлектрика при толщине листа 35  $\mu\text{м}$ , индуктивность рассчитывается по формуле:

$$L = nD_m (nK_1 + K_2), \quad (26)$$

где  $L$  – индуктивность в  $\text{мкГ}$  ( $\mu\text{H}$ );

$n$  – число витков;

$D_m$  – средний диаметр катушки, см.

Постоянные  $K_1$  и  $K_2$  зависят от формы катушки. Диаграмма для расчета  $D_m$ ,  $K_1$  и  $K_2$  приведена на рис. 42, 43 и 44.

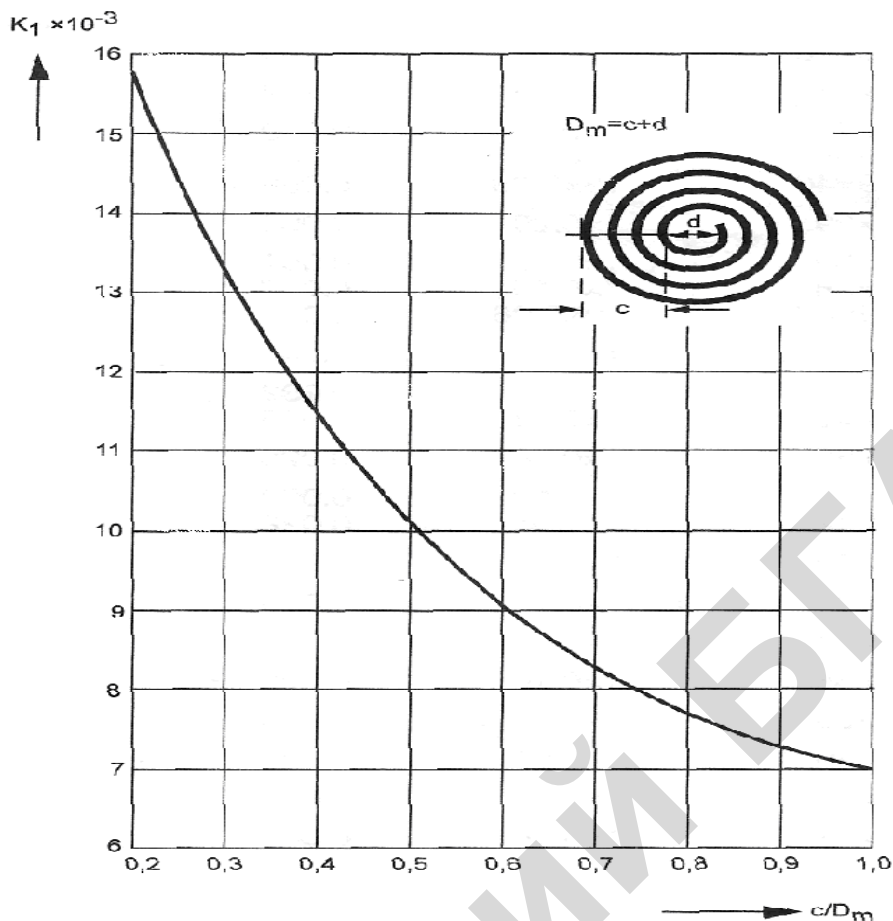


Рис. 42. Диаграмма для расчета катушек печатных плат

*Пример.* Рассчитать индуктивность печатной спиралевидной катушки с  $d_1 = d_2 = 0,5$  мм; толщина листа 35 мкм; 14 витков;  $d = 10$  мм.

Из диаграммы на рис. 42 можно определить:

$$c = n(d_1 + d_2) = 14 (0,5 + 0,5) \text{ мм} = 1,4 \text{ см};$$

$$D_m = c + d = 1,4 + 1,0 \text{ см} = 2,4 \text{ см (см. рис. 41)};$$

$c/D_m = 1,4/2,4 = 0,58$ , которое дает значение  $K_1 = 9,2 \cdot 10^{-3}$  (см. кривую на диаграмме) (рис. 40);

$$(d_1 + d_2)/d_1 = (0,5 + 0,5)/0,5 = 2,0, \text{ которое дает } K_2 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ (см. рис. 44).}$$

Отсюда можно получить:

$$L = nD_m (nK_1 + K_2) = 14 \cdot 2,4 (14 \cdot 9,2 \cdot 10^{-3} + 3,5 \cdot 10^{-3}) = 4,45 \text{ мкГ}.$$

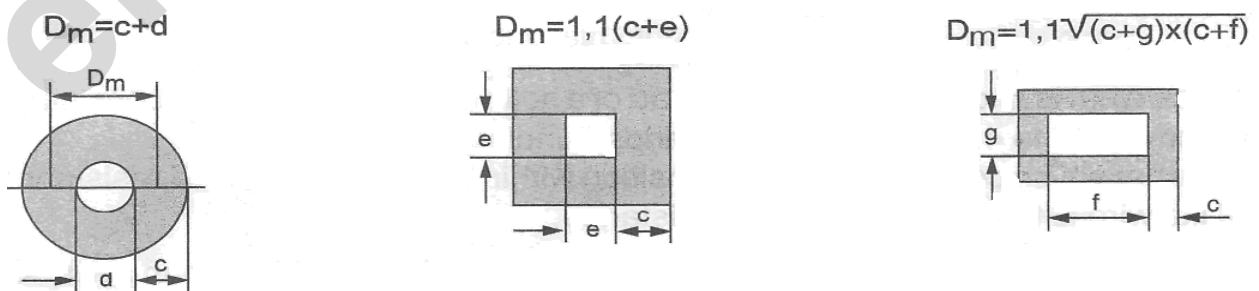


Рис. 43. Схема расчета  $D_m$  (средний диаметр катушки)

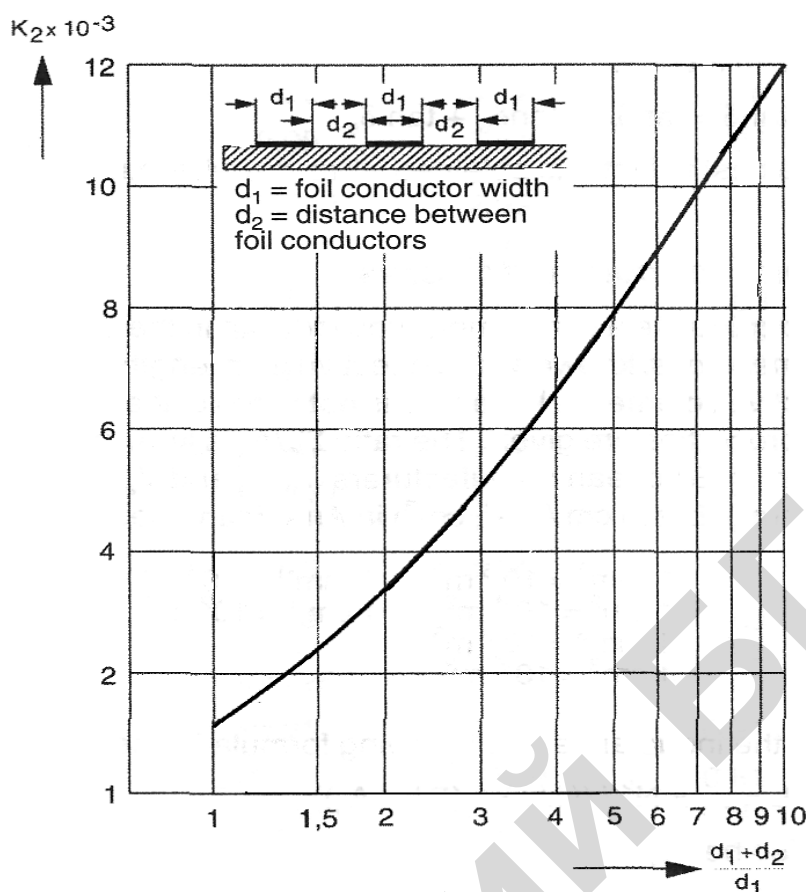


Рис. 44. Диаграмма расчета коэффициента  $K_2$  для печатной катушки:  $d_1$  – ширина проводника из фольги;  $d_2$  – расстояние между проводниками из фольги

## 15.5. Катушки с сердечниками

Для изменения индуктивности катушек, как уже было отмечено, необходимо использовать сердечник и/или оболочку из ферромагнитного материала. Наиболее широко применяемыми материалами являются ферриты и железный порошок. Они известны как магнитомягкие материалы.

**Феррит** – спекаемый керамический, микрокристаллический кубический материал, который состоит из окиси железа ( $F_2O_3$ ) и комбинации металлов. Наиболее широко применяемой комбинацией являются марганец/цинк (MnZn) и никель/цинк (NiZn).

Ферриты MnZn имеют самую высокую проницаемость ( $\mu_i$ ) и плотность потока насыщения ( $B_s$ ), тогда как ферриты NiZn обладают более высоким удельным сопротивлением (более низкие потери) и наиболее пригодны для частот выше 1 МГц.

Феррит имеет высокую проницаемость ( $\mu_i = 100-1000$ ), низкие потери и высокую частотную способность, но имеет низкую плотность потока насыщения ( $B_s \leq 0,5 T$ ). Это означает, что феррит очень легко насыщается

и это следует учитывать при высоких постоянных токах. Одним из способов преодоления этой проблемы является использование ферритового сердечника с разомкнутой магнитной цепью, например, стержня, или введение некоторого воздушного промежутка в цепи.

Ферритовые сердечники используются в высокочастотных индуктивностях (катушках ВЧ); и фильтрах радиочастотных помех (RFI), в силовых трансформаторах до 1 МГц. Они изготавливаются как тороиды, броневые сердечники и т. д., «С»- и «Е»-сердечники и их варианты, стержни, резьбовые стержни, бусины, блоки и т. д.

**Железопорошковые** сердечники, как следует из названия, состоят из порошкового железа, в котором частицы изолированы друг от друга посредством, например, оксидирования поверхностей. При добавлении связующего агента материал прессуется по форме сердечника и спекается в печи.

Самым большим преимуществом железопорошковых сердечников в сравнении с ферритовыми является их способность работать при высоких токах через проводник, а плотность потока насыщения ( $B_s$ ) примерно равна  $1,5 T$ . Кроме того, они температуроустойчивы, имеют высокую добротность и способны работать на невысоких частотах. Главный их недостаток заключается в низкой проницаемости ( $\mu_i = 2-90$ ). Это происходит от того, что большое количество небольших воздушных промежутков между частицами железа в сумме дают большой воздушный зазор (распределенный воздушный зазор).

Железопорошковые сердечники используются в основном в дросселях для фильтрации напряжения постоянного тока или низкочастотного напряжения (50 Гц) переменного тока. Их используют также в качестве дросселей хранения энергии в переключающих стабилизаторах, перестраиваемых фильтрах и при согласовании импеданса, например, при высоких частотах. Железопорошковые сердечники изготавливаются в основном в виде тороидов.

**Железные сердечники** используются, главным образом, для трансформаторов питания, так как потери (индуктированные вихревые токи, обусловленные низким удельным сопротивлением), несмотря на слоистость (ламинацию) сердечника, настолько велики, что становится непрактичным иметь дело с частотами свыше 1 кГц.

При проектировании катушек с ферромагнитными стержнями необходимо знать о явлениях магнетизма. Следовательно, имеет смысл остановиться на некоторых базовых основах теории магнетизма.

## 15.6. Магнитное поле

При протекании тока через катушку, намотанную на сердечник, возникает магнитодвижущая сила (МДС) [mmf], которая, в свою очередь, приводит к росту магнитного потока ( $\Phi$ ) через сердечник. Величина этого потока зависит от магнитного сопротивления ( $R_m$ ) сердечника. По аналогии с законом Ома ( $E = I \times R$ ) магнитодвижущую силу можно выразить в виде

$$\text{МДС} = \Phi \cdot R_m. \quad (27)$$

МДС измеряется в Ампер-витках ( $N \times I$ ), но выражается в Амперах, поскольку число витков является безразмерной величиной. Иногда встречается запись At (ампер-витки) (Ав), хотя это некорректно, но зато проще для понимания. Магнитный поток выражается в Веберах [Wb].

Если МДС рассматривать в связи с длиной пути магнитного потока ( $l_e$ ) в метрах, получим **напряженность магнитного поля** (H) в А/м (или Ав/м).

$$H = N \cdot I / l_e. \quad (28)$$

Следовательно, напряженность поля (H) равна числу витков (N), умноженному на отношение силы тока (I) к длине пути магнитного потока. Заметим также, что длина пути не то же самое, что физическая длина сердечника.

**Магнитная индукция** (B) (плотность потока) равна потоку ( $\Phi$ ), деленному на эффективную магнитную площадь ( $A_e$ ):

$$B = \Phi / A_e. \quad (29)$$

Магнитная индукция (B) – в Теслах (Т).  $1 \text{ Т} = 1 \text{ Wb/m}^2$  ( $1 \text{ Вб/м}^2$ ).

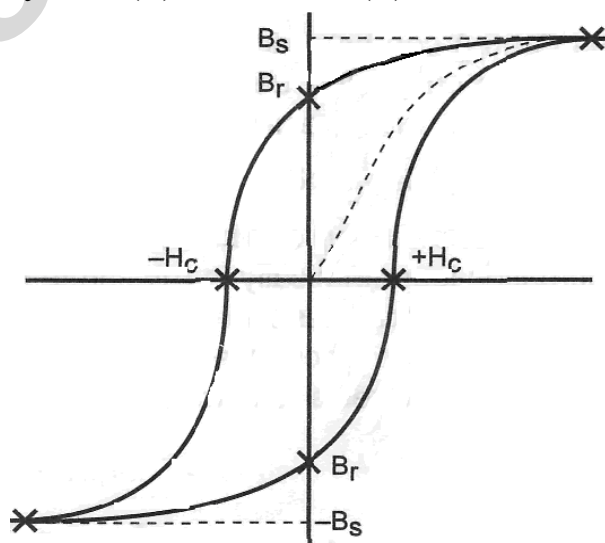


Рис. 45. Петля гистерезиса

**Петля (кривая) гистерезиса** (петля  $B-H$ ) (рис. 45) – это метод изображения зависимости магнитной индукции ( $B$ ) материала от напряженности магнитного поля ( $H$ ). В ферромагнитном материале в состоянии покоя существует хаотическое распределение магнитных моментов, которые сориентированы произвольно в разных направлениях. Эти моменты взаимокompенсируют друг друга. Когда приложено магнитное поле, молекулярные моменты ориентируются в направлении магнитного потока, и чем выше напряженность магнитного поля ( $H$ ), тем сильнее это будет проявляться. Когда все молекулярные магнитные моменты направлены в одном направлении, материал становится насыщенным ( $B_s$ ), и более высокая магнитная индукция не может быть достигнута даже при дальнейшем возрастании напряженности магнитного поля ( $H$ ). При уменьшении напряженности магнитного поля кривая (рис. 45) не будет следовать по старой траектории, так как ряд молекулярных магнитных моментов не полностью вернутся в свои исходные положения. Если напряженность  $H = 0$ , определенная величина индукции потока остается в материале. Эта магнитная индукция известна как остаточная магнитная индукция ( $B_r$ ). Потребуется противоположно направленная индукция для возврата к нулевому значению. Требуемая для этого напряженность поля известна как коэрцитивная (понудительная) сила ( $H_C$ ), или коэрцитивность.

## 15.7. Магнитная проницаемость

Магнитную индукцию ( $B$ ) можно выразить через напряженность магнитного поля следующим образом:

$$B = \mu \cdot H, \quad (30)$$

где  $\mu$  – **проницаемость**, которую можно сравнить с магнитной проводимостью, (сравните с магнитным сопротивлением выше).

Рассматривая графически, проницаемость – это крутизна (наклон) кривой гистерезиса. Проницаемость является широким термином и фактически равна  $\mu_0 \cdot \mu_r$ , где  $\mu_0$  – проницаемость в абсолютном вакууме, а  $\mu_r$  – проницаемость материала относительно  $\mu_0$ . Например,  $\mu_r = 100$  означает, что проницаемость материала в 100 раз выше проницаемости в вакууме. Следовательно, формулу (30) можно переписать как

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H. \quad (31)$$

Проницаемость в вакууме  $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}(\text{H/m})$ . В замкнутой магнитной цепи, такой как тороид,  $\mu_r$  известна как **первоначальная проницаемость**  $\mu_i$  (или тороидальная проницаемость,  $\mu_{tor}$ ). Это дает точное значение только при малой магнитной индукции ( $B < 0,1 \text{ мТ}$ ). Изготовители в технических данных зачастую указывают проницаемость  $\mu_i$ .

В магнитной цепи с воздушным промежутком  $\mu_r$  известна как эффективная проницаемость  $\mu_e$ . Зависимость между  $\mu_e$  и  $\mu_i$  выражается формулой

$$\mu_e = \mu_i / (1 + (G/l_e \times \mu_i)), \quad (32)$$

где  $G$  – длина воздушного промежутка;

$l_e$  – длина магнитного пути.

Поскольку проницаемость материала нелинейна относительно ( $B$ ) и ( $H$ ) (см. рис. 45), уместно сослаться на другие типы проницаемости.

**Амплитудная магнитная проницаемость** ( $\mu_a$ ), является проницаемостью только при прохождении через сердечник переменного тока. Даже при нескольких (мТ) может быть большое расхождение с  $\mu_i$ . Наибольшее расхождение получается в области около половины магнитной индукции насыщения ( $B_s$ ): здесь амплитудная проницаемость в два раза больше, чем  $\mu_i$ . Следовательно, проницаемость изменяется с изменением напряженности поля.

**Обратимая магнитная проницаемость**, или дифференциальная проницаемость ( $\mu$ ), имеет место, когда переменный ток накладывается на постоянный, например, дроссель фильтра в источнике питания. Здесь проницаемость изменяется в зависимости от напряженности магнитного поля. Железопорошковый стержень сохраняет проницаемость на высоком уровне до десятков тысяч А/м, тогда как феррит насыщается даже при нескольких сотнях А/м и утрачивает всю проницаемость.

## 15.8. Магнитные потери

В отношении **комплексной проницаемости** учитывают потери в катушке.

Для расчета магнитных потерь к проницаемости добавляют резистивное слагаемое:

$$\mu = \mu_s' - j \mu_s'', \quad (33)$$

где  $\mu_s' = \mu_i$  и  $\mu_s'' = \tan \delta \cdot \mu_i$ .



Из информационных материалов изготовителей часто можно вывести  $\mu_S^I$  и  $\mu_S^{II}$  в функции частоты непосредственно из диаграммы. Магнитные потери ( $\tan\delta_m$ ) можно разделить на 3 части: потери гистерезиса ( $\tan\delta_h$ ), зависящие от магнитной индукции ( $B$ ), вихревые потери ( $\tan\delta_F$ ), зависящие от частоты, и остаточные потери ( $\tan\delta_r$ ), которые постоянны:

$$(\tan\delta_m) = (\tan\delta_h) + (\tan\delta_F) + (\tan\delta_r). \quad (34)$$

Можно вывести коэффициент потерь ( $\tan\delta/\mu_i$ ) при данной частоте. ( $\tan\delta/\mu_i$ ) возрастает с частотой по логарифмической зависимости. Здесь мы учитываем потери вихревых токов и остаточные потери ( $\tan\delta_F$ ) + ( $\tan\delta_R$ ), но не гистерезисные потери ( $\tan\delta_h$ ). Для показа гистерезисных потерь дается гистерезисная константа ( $\eta_B$ ). С помощью этой константы можно рассчитать гистерезисные потери для данной магнитной индукции:

$$\tan\delta = \eta_B \cdot B \cdot \mu_i. \quad (35)$$

Для сердечника с воздушным промежутком магнитные потери ( $\tan\delta\mu$ ) могут быть умножены на отношение  $\mu_i / \mu_e$ . Кроме потерь в сердечнике имеются потери в проводнике ( $\tan\delta_W$ ), которые обусловлены сопротивлением проводника, потери вихревых токов ( $\tan\delta_C$ ), зависящие от частоты, и диэлектрические потери в изоляции ( $\tan\delta_d$ ), которые можно представить как серийное сопротивление к собственной емкости. Последние две составляющие относительно невелики, в сравнении с омическими потерями (при умеренных частотах):

$$\tan\delta_W = \tan\delta_R + \tan\delta_C + \tan\delta_d. \quad (36)$$

## 15.9. Поверхностный эффект («скин-эффект»)

Омические потери ( $\tan\delta_R$ ) можно рассматривать как сопротивление постоянного тока, если частота не превышает 50 кГц. При более высокой частоте следует принимать во внимание так называемый «скин-эффект», увеличивающий сопротивление переменного тока. При протекании тока через кабель образуется магнитное поле не только вокруг, но и внутри кабеля.

Это магнитное поле внутри кабеля, действующее под прямым углом к напряжению тока, в свою очередь индуцирует вихревой ток вдоль кабеля. Проницаемость меди невелика ( $\mu_r \approx 1$ ), но удельное сопротивление также мало, а это означает, что при частотах свыше 50 кГц вихревые токи могут быть значительными. Продольные вихревые токи протекают против направления

тока в центре кабеля и в направлении тока на поверхности кабеля. Это приводит к концентрации тока на поверхности кабеля, в результате этого уменьшается активная площадь кабеля, что, в свою очередь, увеличивает сопротивление. Термин «**скин-глубина**» означает глубину, на которой плотность тока снижается на 37 % ( $1/e$ ). Эта глубина – то же самое, что толщина стенки трубы с сопротивлением постоянного тока, соответствующим сопротивлению переменного тока кабеля такой же длины. Эта глубина рассчитывается по формуле

$$\delta = 1/f \mu \rho, \quad (37)$$

где  $\delta$  – «скин» – глубина, м;

$f$  – частота, Гц;

$\mu$  – проницаемость,  $\mu_0 \cdot \mu_r$ ;

$\rho$  – удельная проводимость, S/m.

Для меди  $\mu_r = 1$  и  $\rho = 5,8 \cdot 10^7$ . Следовательно, можно рассчитать сопротивление:

$$R_{AC} = R_{DC} \times A / (2\pi \cdot r \cdot \delta) = R_{DC} \cdot r / (2 \cdot \delta), \quad (38)$$

где  $R_{AC}$  – сопротивление переменного тока;

$R_{DC}$  – сопротивление постоянного тока;

$A$  – площадь сечения проводника;

$r$  – радиус проводника;

$\delta$  – «скин»-глубина.

Кроме того, провод в катушке индуцирует вихревые токи в смежных проводах, что еще более повышает сопротивление переменного тока.

Одним из путей снижения эффекта вихревых токов является использование **литц-проводника** вместо сплошного проводника. Литц-проводник состоит из ряда (от 3 до 400) изолированных, покрытых эмалью гибких жилок, которые постоянно меняют свое положение (скручены) внутри пучка. Сопротивление переменного тока литц-провода одинаково с его сопротивлением постоянного тока.

Сопротивление в медном кабеле при 100 °C примерно на 30 % выше, чем при 25 °C. Если вблизи имеется экран (медная оболочка) или компонент из ферромагнитного материала (например, конденсатор X7R или Z5U), в нем имеют место потери ( $\tan\delta_s$ ). Их часто относят к незначительным потерям.

Общие потери в катушке равны:

$$\tan\delta = \tan\delta_m + \tan\delta_W + \tan\delta_s. \quad (39)$$

Как правило, добротность выше, когда потери проводника такие же большие, как и потери в сердечнике.

## 15.10. Расчеты катушек с сердечниками

Для простого расчета сердечника необходимы данные по **эффективным магнитным параметрам**, известным как эффективная длина пути  $l_e$ , эффективная площадь сечения  $A_e$  и эффективный объем  $V_e$ . Если сердечник не тороидальный, приводятся данные для тороида с аналогичными свойствами. Отношение  $\Sigma l_e/A_e$  известно как коэффициент сердечника. Технические параметры от европейских изготовителей, такие как  $l_e$ ,  $A_e$ ,  $V_e$ , часто выражаются в мм ( $\text{мм}^2$ ,  $\text{мм}^3$ ), а американские изготовители приводят данные в см ( $\text{см}^2$ ,  $\text{см}^3$ ). Для расчета индуктивности используют следующую формулу:

$$L = \mu_0 \cdot N^2 / ((1/\mu_r) \cdot (\Sigma l_e/A_e)), \quad (40)$$

которую можно выразить как

$$L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r / (\Sigma l_e/A_e). \quad (41)$$

Для упрощения расчетов часто опускают проницаемость и коэффициент сердечника и вводят коэффициент индуктивности  $A_L$ :

$$A_L = \mu_0 \cdot \mu_r / (\Sigma l_e/A_e). \quad (42)$$

Отсюда получаем:

$$L = N^2 \cdot A_L. \quad (43)$$

Величина  $A_L$  чаще всего выражается в  $nH/N^2$ .

*Пример.* Требуется катушка 100  $\mu H$ , а сердечник имеет  $A_L = 800 nH/N^2$ .

Из формулы (43) можно выразить  $N$ :

$$N = L / A_L. \quad (44)$$

$N = (100000/800) \approx 11$  витков, если  $A_L$  выражается в  $nH/N^2$ , то  $L$  выражается в  $nH$ .

Ферритовые стержни используются не только в антеннах, но также и в высокочастотных сердечниках и дросселях RFI (радиочастотных помех). Они имеют разомкнутую магнитную цепь, что означает прохождение через

катушку больших токов без насыщения сердечника. Проницаемость ( $\mu_{rod}$ ), кроме первоначальной ( $\mu_i$ ), зависит от отношения длины к диаметру.  $\mu_{rod}$  можно получить из кривых на рис. 46.

Поскольку индуктивность сильно зависит от длины обмотки и ее расположения на стержне, трудно получить величину  $A_L$ . Поэтому индуктивность следует рассчитывать по формуле:

$$L = \mu_0 \cdot \mu_{rod} \cdot N^2 \cdot A/l, \quad (45)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ;  $\mu_{rod}$  – проницаемость стержня, которую можно получить из кривых на рис. 46;

$N$  – число витков;

$A$  – площадь сечения стержня;

$l$  – длина обмотки, сцентрированной на стержне.

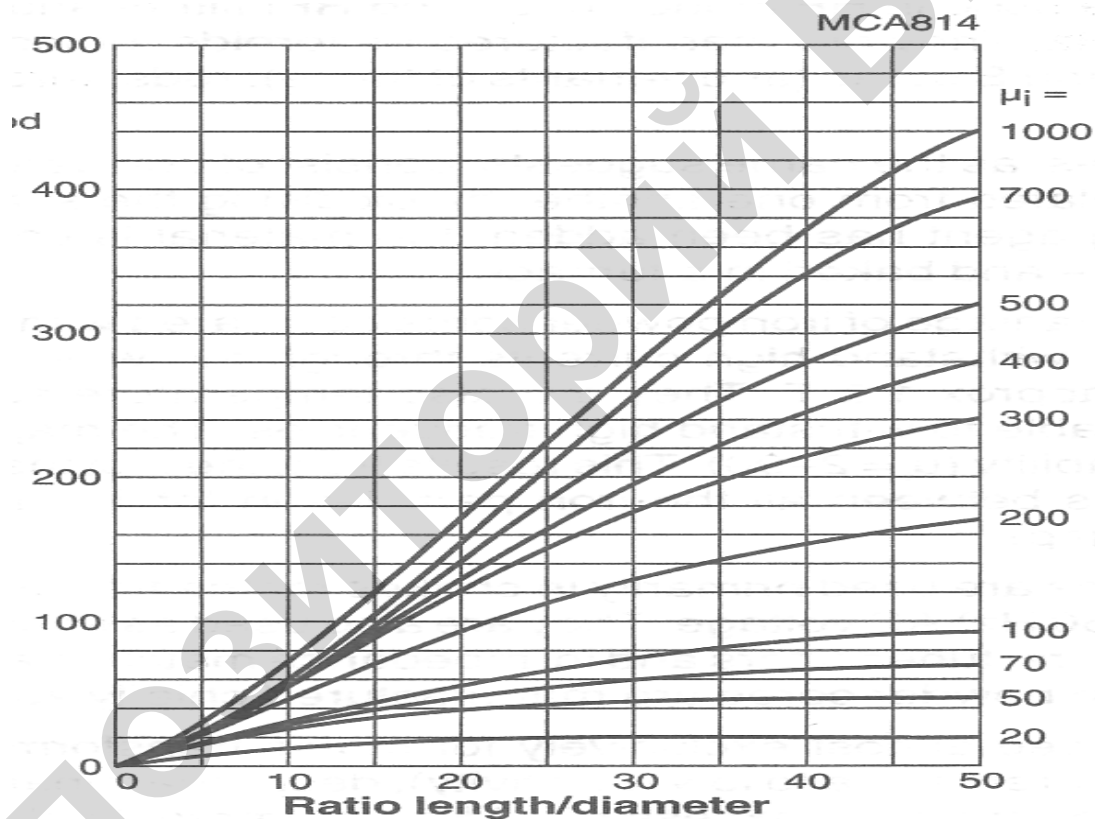


Рис. 46. Кривые зависимости проницаемости ферритового сердечника от отношения длины к диаметру: 1 – отношение длины к диаметру; 2 – проницаемость  $\mu_{rod}$ ; 3 – проницаемость  $\mu_i$

## 15.11. Магнитная индукция стержня

Важно рассчитать магнитную индукцию в сердечнике ( $B$ ), чтобы избежать насыщения ( $B_S$ ). Насыщенный сердечник имеет проницаемость  $\mu_r = 1$  и посредством этого индуктивность соответствует воздушному сердечнику.

Кроме того, имеют место большие потери, которые приводят к тепловыделению, особенно при высоких частотах. Есть несколько способов расчета магнитной индукции. Первоначально надо произвести расчет напряженности поля ( $H$ ) по формуле:

$$H = N \cdot I/l_0, \quad (46)$$

а затем – расчет магнитной индукции по формуле:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H. \quad (47)$$

Магнитную индукцию ( $B$ ) выражают в Теслах (Т). Если ток является чисто постоянным, можно использовать следующую формулу:

$$B = L \cdot I (N \cdot A_0), \quad (48)$$

где  $L$  – индуктивность,

$I$  – сила тока;

$N$  – число витков;

$A_0$  – эффективная площадь сечения.

Для двухполупериодного выпрямления нефильтрованного напряжения постоянного тока применяется следующая формула:

$$B = U_{eff}/(19 \cdot N \cdot A_0 \cdot f), \quad (49)$$

где  $U_{eff}$  – эффективное значение пульсирующего напряжения;

$f$  – частота.

Зачастую имеется напряжение постоянного тока с определенными слабыми пульсациями. Следовательно, это необходимо учитывать или производить расчет пикового напряжения как напряжения постоянного тока.

Если напряжение является напряжением переменного тока, можно применить следующую формулу:

$$B = 2 \cdot U_{eff}/(\omega \cdot N \cdot A_e), \quad (50)$$

где  $U_{eff}$  – эффективная величина напряжения;

$\omega$  – угловая частота ( $2 \cdot \pi \cdot f$ ).

Для прямоугольных импульсов формула имеет вид:

$$B = 2,5 \cdot \dot{y}/(f \cdot NA_e), \quad (51)$$

где  $\dot{y}$  – пиковое (амплитудное) напряжение.

## 15.12. Нагрев сердечников

При применении катушек с сердечниками с частотой тока свыше 100 кГц проблема заключается в редком магнитном насыщении и в более частом образовании тепла. Проводник в катушке нагревается как постоянным током, так и переменным. В приведенной ниже таблице 30 величины максимальной магнитной индукции (переменного тока) могут служить руководством для подбора ферритового и железного порошка для снижения нагрева сердечника.

Таблица 30

Справочные значения максимальной магнитной индукции в зависимости от частоты тока для исключения высокой температуры в сердечнике

Частота	100 кГц	1 МГц	7 МГц	14 МГц	21 МГц	28 МГц
Магнитная индукция	50 мТ	15 мТ	6 мТ	4,5 мТ	4 мТ	3 мТ

При применении катушек с сердечниками с пульсацией постоянного тока, например, дроссели фильтров в источнике питания, имеются незначительные магнитные потери, если общая магнитная индукция не превышает 200 мТ для большинства ферритов и 500 мТ для железопорошковых сердечников.

## 15.13. Температурная зависимость

Проницаемость феррита и железопорошкового сердечника в значительной степени зависит от температуры. Обычно она растет до определенной температуры (точки Кюри,  $T_C$ ,  $\nu_C$ ), после которой круто падает до 1. Температурный коэффициент обозначается  $\alpha_F$  и указывает на изменение на единицу К в определенном температурном диапазоне. Изменение индуктивности ( $\Delta L$ ) с изменением температуры рассчитывается по формуле:

$$\Delta L = \alpha_F \cdot \mu_i \cdot \Delta \nu \cdot L, \quad (52)$$

где  $\Delta \nu$  – изменение температуры по Кельвину.

Если сердечник имеет воздушный промежуток,  $\nu$  умножают на отношение  $\mu_e/\mu_i$ . Чем выше температура, тем больше потери. Когда проницаемость возрастает, повышается магнитная индукция, и растут потери гистерезиса ( $\tan \delta_h$ ). Кроме того, с ростом температуры снижается удельное сопротивление, что приводит к росту потерь на вихревые токи ( $\tan \delta_i$ ).

Спонтанное увеличение проницаемости происходит непосредственно после размагничивания, учитывая воздействие на материал поля медленно снижающегося переменного тока и тот факт, что превышена точка Кюри. Она возвращается к своей нормальной величине по логарифмической зависимости. Эта временная нестабильность известна как *дизаккомодация*. Она представляется коэффициентом *дизаккомодации* ( $D_F$ ), который связан с первоначальной проницаемостью ( $\mu_i$ ). Индуктивность, изменяющаяся по времени, рассчитывается по формуле:

$$\Delta L = -D_F \cdot \mu_i \cdot \log(t_1/t_2) \cdot L, \quad (53)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – два промежутка времени после размагничивания, в интервале которых рассчитывают изменение индуктивности.

Здесь также  $\Delta L$  снижается, если сердечник имеет воздушный промежуток, посредством отношения  $\mu_e/\mu_i$ .

#### 15.14. Магнитные единицы измерения

Для измерения магнитных параметров во многих странах мира широко применяется система единиц СИ. В некоторых странах, например в США, приняты другие единицы измерения. Названия магнитных единиц измерения по системе СИ и принятые в США приведены ниже в таблице 31.

Таблица 31

Магнитные единицы СИ и США

Параметр	Единицы СИ	Единицы принятые в США
Магнитодвижущая сила	А (Ампер; ампер-витки)	1G (Гильберт) = 1,257А
Поток ( $\Phi$ )	Wb (Вебер)	1M (Максвелл) = $10^{-8}$ Wb
Напряженность поля (H)	A/m (ампер-витки/м)	1Oe (Эрстед) = 79,6 A/m
Магнитная индукция (B)	T (Тесла)	1G (Гаусс) = $10^{-4}$ T

## 16. РЕЗИСТОРЫ

---

Резисторы являются наиболее широко применяемыми компонентами электронных устройств. Они состоят из корпуса, который обычно изолирован с соединениями и содержит резисторный элемент, выполненный из материала с известным удельным сопротивлением ( $\rho$ ). Резисторный элемент с сопротивлением  $R$  может быть в виде стержня, трубки, пленки, поверхностного слоя или провода определенной длины ( $l$ ) и площади сечения ( $A$ ).  $R$  определяется по формуле:

$$R = \rho \cdot l/A. \quad (54)$$

Сопротивление  $R$  измеряется в Омах ( $\Omega$ ). 1 Ом – это сопротивление, которое при напряжении 1 В позволяет протекать количеству электричества, равному 1 кулон/с, т. е. электрическому току – 1 Ампер.

Резисторы, которые должны иметь сопротивление, независящее от силы тока, напряжения и внешних факторов, таких как температура и свет, называются **линейными резисторами** или просто резисторами. Если резистор должен менять сопротивление в зависимости от тока, напряжения или некоторых внешних факторов, то он называется **нелинейным резистором**, или носит название, указывающее зависимость от того или иного фактора.

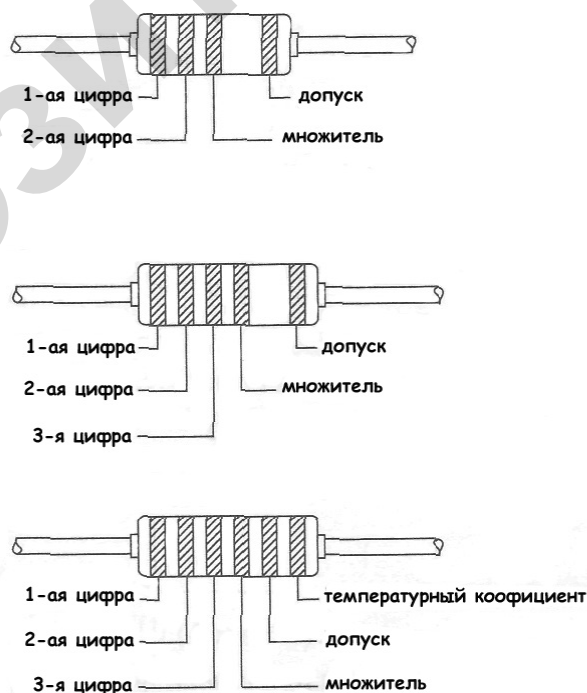


Рис. 47. Маркировка резисторов



Величина сопротивления, допускаемое отклонение и иногда температурный коэффициент небольших резисторов часто маркируются с помощью 4-6 цветных колец (рис. 47, табл. 31).

Таблица 31

Цветовые коды маркировки резисторов

Цвет	Номер	Множитель	Допускаемое отклонение, ±%	Температурный коэффициент, ±ppm/к
Черный	0	$10^0$	20	200
Коричневый	1	$10^1$	1	100
Красный	2	$10^2$	2	50
Оранжевый	3	$10^3$	3	15
Желтый	4	$10^4$	0...+100	25
Зеленый	5	$10^5$	0,5	-
Синий	6	$10^6$	0,25	10
Фиолетовый	7	$10^9$	0,1	5
Серый	8	$10^{-2}$	-	1
Белый	9	$10^{-1}$	-	-
Золотой	-	$10^{-1}$	5	-
Серебряный	-	$10^{-2}$	10	-

Иногда применяются только три цветных кольца. В этом случае допуск, равный  $\pm 20\%$ , не маркируется. В исключительных случаях применяются другие цветовые маркировки, например, некоторые резисторы по спецификации «MIL» (для оборонных целей), которые имеют конечное кольцо, обозначающее частоту отказов. Розовое конечное кольцо ранее использовалось для очень стабильных резисторов.

Следует помнить, что дроссели, конденсаторы, термисторы и предохранители по внешнему виду могут быть схожими и иметь такую же цветовую маркировку.

Крупные резисторы часто маркируются текстом. В этом случае «R» или «E» (в Омах), «K» (в кило-Омах) и «M» (в Мега-Омах) пишется перед запятой.

$$\begin{aligned} 0R1 &= 0,1 \Omega \\ 0E1 &= 0,1 \Omega \\ 4k7 &= 4,7 \text{ k}\Omega \\ 22M &= 22 \text{ M}\Omega \end{aligned}$$

Иногда используются трех- или четырехцифровые коды, где первые две или три цифры являются значащими, а последняя цифра обозначает число нулей.

$$\begin{aligned} 100 &= 10 \Omega \\ 101 &= 100 \Omega \\ 103 &= 10 \text{ k}\Omega \\ 4754 &= 4,75 \text{ M}\Omega \end{aligned}$$

## 16.1. Частотная зависимость

Чтобы облегчить понимание поведения резистора в частотном диапазоне, можно воспользоваться упрощенной сравнительной схемой (рис. 48).

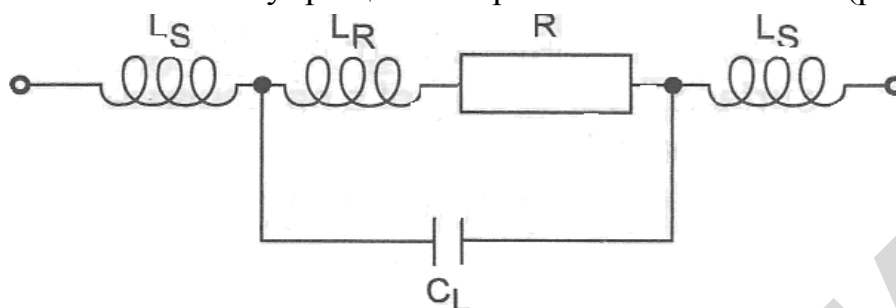


Рис. 48. Схема моделирования резистора:  $R$  – сопротивление;  $C_L$  – внутренняя емкость (или паразитная емкость);  $L_R$  – индуктивность в резисторном элементе;  $L_S$  – индуктивность в проводах

Из схемы можно видеть наличие в резисторе множества емкостных и индуктивных составляющих. В схемах переменного тока (особенно при высоких частотах) они приводят к росту реактивных сопротивлений, которые в сочетании с сопротивлением создают импеданс. На это в некоторых случаях необходимо обращать внимание.

Например: какой импеданс будет иметь металлический пленочный резистор при частоте 400 МГц? Мы оцениваем  $C_L$  на уровне 0,1 пФ (pF). Соединительные провода имеют длину 10 мм и диаметр 0,6 мм. Используя формулу индуктивности в прямолинейном проводнике (см. раздел «Катушки и дроссели»), получим в каждом соединительном проводе индуктивность  $L_S = 8,4$  нГн (nH). Индуктивность в резисторном элементе ( $L_R$ ) можно рассчитать по формуле для однослойной катушки с воздушным промежутком. Мы принимаем диаметр корпуса, равным 2,0 мм, длина спирализации равна 4 мм и три витка. Формула дает 6,9 нГн (nH). При преобразовании в реактивность это дает 3979 Ом при  $C_L$ , 21 Ом при  $L_S$  и 17 Ом при  $L_H$  (рис. 49).

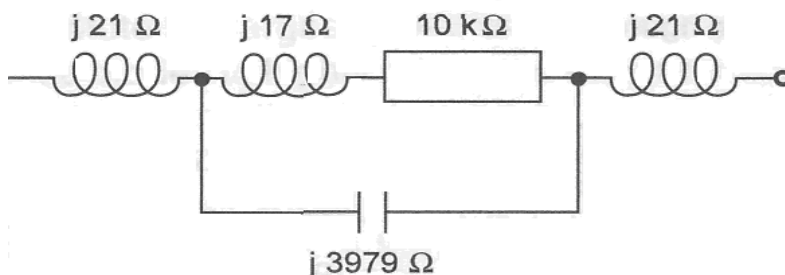


Рис. 49. Эквивалентная схема для металлопленочного резистора 10 кОм при частоте 400 МГц

Индуктивным сопротивлением можно пренебречь. Импеданс ( $Z$ ) при параллельном соединении находим по формуле:

$$1/Z = \sqrt{((1/R)^2 + (1/X_{CL})^2)}, \quad (55)$$

которую можно записать как

$$Z = R \cdot X_{CL} \cdot 1/(), \quad (56)$$

$$Z = 10k \cdot 3979 \cdot 1/() = 3697 \Omega.$$

Резистор 10 кОм имеет импеданс 3,7 кОм при 400 МГц.

Пленочные резисторы ниже 100  $\Omega$  можно, как правило, считать индуктивными (импеданс возрастает с частотой); при 100–470  $\Omega$  он почти идеален. Свыше 470  $\Omega$  резисторы являются емкостными (импеданс снижается с увеличением частоты). Чем выше величина сопротивления, тем выше емкостное сопротивление. На рис. 50 показаны кривые зависимости импеданса от частоты для металлопленочных резисторов по данным, полученным от изготовителей.

Катушечные резисторы имеют и большой импеданс, и емкость, что означает наличие резонансной частоты, когда импеданс имеет наибольшее значение. В случае низких частот они являются индуктивными, а в случае высоких частот – емкостными.

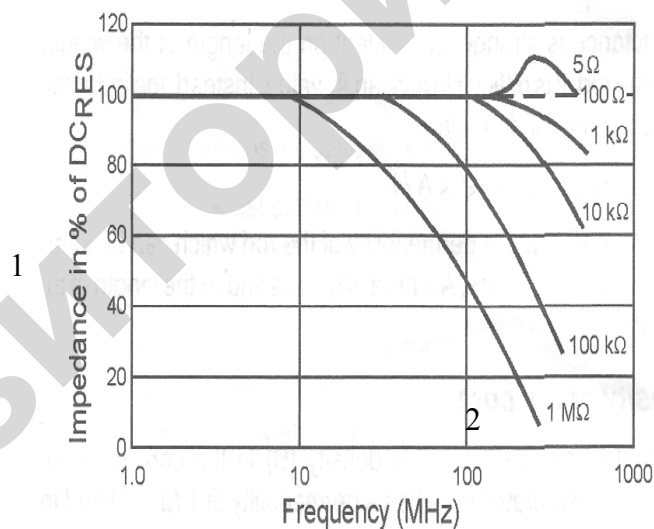


Рис. 50. Кривые зависимости импеданса от частоты в металлопленочных резисторах:  
1 – импеданс в % от сопротивления постоянного тока  $DC_{RES}$ ; 2 – частота (МГц)

## 16.2. Температурная зависимость

Резистор, через который проходит ток, нагревается. Количество тепла зависит от развиваемой мощности ( $P$ ) [OUTPUT DEVELOPMENT], которая может быть представлена как произведение силы тока ( $I$ ) через резистор и напряжение ( $U$ ), которое вызывает ток  $P = U \cdot I$ .

Зависимость «мощность/теплообразование» носит название *тепловое* (термическое) *сопротивление* ( $R_{th}$ ). Температуру резистора можно рассчитать по формуле

$$T_{hs} = T_{amb} + P \cdot R_{th}, \quad (57)$$

где  $T_{hs}$  – температура «точки перегрева», т. е. температура самой нагретой точки на поверхности резистора;

$T_{amb}$  – окружающая температура;

$P$  – мощность; W (Вт);

$R_{th}$  – тепловое сопротивление, к/ W.

Максимальная температура  $T_{hs}$  зависит от изоляции, запайки, материала сопротивления и теплового сопротивления ( $R_{th}$ ) между резисторным элементом и поверхностью.

Мощность, указанная в технической характеристике (максимальная непрерывная мощность), представляет собой мощность, при которой рост температуры ( $P \cdot R_{th}$ ) в сочетании с указанной окружающей температурой ( $T_{amb}$ ) достигает максимального значения, при которой резистор может работать без влияния на такие параметры, как долгосрочная стабильность и допуски.

Если окружающая температура выше температуры, при которой оговорена мощность (как правило, 25, 40 или 70 °C), выходная мощность снижается линейно до нулевого значения при «температуре нулевой мощности». Для резисторов с эпоксидным лаковым покрытием эта температура равна примерно 150 °C, для резисторов с силиконовой изоляцией и резисторов в алюминиевой оболочке – примерно 200 °C; для глазурованных резисторов – примерно 350 °C.

Если максимальная температура  $T_{hs}$  превышена еще больше, укорачивается ожидаемый срок службы. Если это превышение находится в больших пределах, фактический срок службы может сократиться до секунд или долей секунд.

Имеются разные стандарты проведения испытаний мощности, которые применяют изготовители. Эти стандарты отличаются друг от друга, например, процедурой монтажа, длиной штыря, циркуляцией воздуха (вертикальный или горизонтальный монтаж), окружающей температурой, ростом температуры, температурой поверхности и ожидаемым сроком службы. По этой причине резистор, который, согласно одному изготовителю, может обслуживать 1 W(Вт), будет только для 1/10 W(Вт), несмотря на то, что они имеют одинаковые размеры.

Опыт показал, что практически редко резистору нужно «оставаться на максимальной мощности», в частности, когда температура припаянных соединений не должна превышать 100 °С, для предотвращения преждевременного старения.

**Допуск на сопротивление** – это максимальное отклонение сопротивления, выраженное в %. Сопротивление измеряется согласно стандартам, определяющим тип измерительного оборудования, напряжение, температуру, длину штывря и т. д.

В стандартных резисторах допуск равен  $\pm 1$ – $\pm 10$  %, но имеются специальные типы резисторов с допусками до  $\pm 0,005$  %. Все резисторы в некоторой степени являются зависимыми от температуры, что оговаривается через **температурный коэффициент**. Он выражается обычно в ppm/k (одна миллионная доля на градус) или  $10^{-6}/\text{K}$ . Величина температурного коэффициента изменяется для различных типов резисторов. Угольные сопротивления имеют относительно большой отрицательный коэффициент (от -200 до -2000 ppm/K в зависимости от сопротивления), тогда как специальные металлопленочные резисторы имеют коэффициент ниже  $\pm 1$  ppm/K.

**Максимальное рабочее напряжение** – максимальное напряжение постоянного или переменного тока, которое может быть непрерывно приложено к резистору. Это применимо только к сопротивлениям выше «критического» сопротивления, т. е. сопротивления, при котором максимальное напряжение дает максимальное развитие мощности, с которой может справиться резистор. Для сопротивлений ниже критического значения максимальное напряжение равно

$$U = \sqrt{(R \cdot P)}. \quad (58)$$

**Напряжение изоляции** – напряжение, при котором может работать изоляция вокруг резисторного элемента.

### 16.3. Шум

Шум имеет место во всех резисторах. С одной стороны, это «тепловой шум», который возникает во всех средах, проводящих ток, что обусловлено тем фактом, что не все электроны всегда двигаются в направлении тока и, с другой стороны, шум тока, который зависит от типа резистора. Тепловой шум, который не зависит от типа резистора, можно рассчитать по формуле:

$$U = \sqrt{4KTRB}. \quad (59)$$

где  $U$  – среднеквадратичное напряжение шума, вольт;  
 $K$  – постоянная Больцмана ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К(J/K));  
 $T$  – абсолютная температура по Кельвину;  
 $R$  – сопротивление, Ом;  
 $B$  – ширина полосы частот, Герц.

Шум тока, который обусловлен, например, типом материала резистора, неравномерной площадью сечения и загрязнениями в материале резистора, обычно оговаривается в информации от изготовителей. Уровень шума оговаривается в мкВ/В( $\mu\text{V/V}$ ) или в дБ.  $0 \text{ дБ} = 1 \text{ мкВ/В}(\mu\text{V/V})$ . Общий шум является комбинацией теплового и токового шумов.

$$\text{Общий шум} = \sqrt{(\text{токовый шум}^2 + \text{тепловой шум}^2)}. \quad (60).$$

## 16.4. Зависимость от напряжения

Сопротивление всех резисторов в некоторой степени зависит от напряжения, которое находится в пределах от 10 до 1000 ppm/V. Это дает рост искажения в виде обертонов (высших гармоник), если добавить переменный ток. Зачастую это называется *нелинейностью* и определяет зависимость между напряжениями сигнала и третьего обертона в дБ.

## 16.5. Конструкция резисторов

Ниже приведен обзор конструкций резисторов, представленных на рынке стран ЕС и США, с рассмотрением их преимуществ и недостатков.

### 16.5.1. Угольный композитный резистор

Угольный композитный или композитный резистор относится к резисторам старого типа. Он изготавливается в виде угольного стержня или угольной трубки с припаянными соединительными проводниками. Композиция материала в угольном стержне определяет величину сопротивления. Эти резисторы имеют преимущество в своей низкой индуктивности.

По этой причине они пригодны для использования в импульсных схемах, таких как «RC»-схемы для защиты от пиковых импульсов и при переключении источников питания. Другое преимущество состоит в том, что резисторы могут переносить временные перегрузки без сгорания. Главным их недостатком является большая внутренняя емкость (около 0,2–1,0 пФ), в зависимости от типа и величины сопротивления. Большая внутренняя емкость, обусловленная структурой угольных частиц и связующего агента, означает, что угольный композитный резистор в большей или меньшей мере неприемлем при частотах выше 5-10 МГц. Он имеет высокий температурный коэффициент (от -200 до -2000 ppm/K), большую зависимость от напряжения (200–500 ppm/V). Уровень шума достаточно высок, а долгосрочная стабильность плохая. Однако композитные резисторы отличаются дешевой изготовлением.

### **16.5.2. Угольные пленочные резисторы**

Угольные пленочные резисторы включают в себя керамическую трубку, на которую напылен (осажден) резистивный слой угля. Пленка имеет спиральность примерно до 10 витков с помощью алмазной режущей кромки или лазера, чтобы получить точное значение сопротивления. Индуктивное сопротивление, создаваемое через спирализацию, незначительно по сравнению с реактивностью внутренней емкости – около 0,2 пФ. Они имеют высокий температурный коэффициент (от -200 до -1000 ppm/K). Зависимость от напряжения ниже 100 ppm/V. Уровень шума достаточно высок, а долгосрочная стабильность плохая. Однако, угольные пленочные резисторы крайне дешевы в изготовлении.

### **16.5.3. Металлопленочный резистор**

Металлопленочный резистор отличается от угольно-пленочного резистора только тем, что угольная пленка заменена металлической. Процесс изготовления в основном одинаков. Резисторы имеют хорошие высокочастотные свойства, когда внутренняя емкость мала (ниже 0,2 пФ).

В случае высоких величин сопротивления и высоких частот реактивность может быть все еще важной. Температурный коэффициент низкий (от 5 до 100 ppm/K), зависимость по напряжению равна примерно 1 ppm/V, низкий шум и хорошая долгосрочная стабильность. Однако импульсная нагрузка у металлопленочных резисторов низкая, даже ниже, чем у угольно-пленочных резисторов. По этой причине следует быть предельно осторожным при замене угольно-пленочного резистора металлопленочным.

#### **16.5.4. Толстопленочный резистор**

Этот резистор иногда называют металлоглазурованным или «керметовым» резистором. Пленка состоит из смеси окислов металлов и стекла или керамики, трафаретно напечатанных (нанесенных) на керамической основе. Они обладают хорошими высокочастотными свойствами и низкими значениями сопротивления. Внутренняя емкость равна примерно 0,1 – 0,3 пФ. Зависимость от напряжения ниже 30 ppm/V. Очень хорошая долгосрочная стабильность. Резисторы импульсно-устойчивы, надежны и могут противостоять высоким температурам. Уровень шума сравним с угольно-пленочными резисторами. Поверхностно установленные резисторы обычно изготавливаются из толстой пленки.

#### **16.5.5. Тонкопленочные резисторы**

Тонкопленочные резисторы имеют очень тонкую пленку металла, обычно никелехромового, который испаряется (напыляется) на стеклянном или керамическом основании. Резистор подвергается травлению и лазерной подстройке для получения точного сопротивления. Высокочастотные свойства редко бывают хорошими. Температурный коэффициент очень хороший, и вполне реально изготовить резисторы с коэффициентом даже ниже 1 ppm/K. Коэффициент напряжения ниже 0,05 ppm/V. Очень хорошая долгосрочная стабильность. Уровень шума самый низкий из всех типов пленочных резисторов. Мощность и импульсная мощность низки. Высокая стабильность означает, что тонкопленочные резисторы зачастую используются для точных применений, таких, как сверхточные делители напряжения.

#### **16.5.6. Металлооксидные резисторы**

Резисторы имеют пленку из оксида металла, часто оксида олова, который может быть спирализован. Высокочастотные свойства – средние, так как внутренняя емкость равна около 0,4 пФ. Температурный коэффициент равен около  $\pm 200$  ppm/ K, зависимость от напряжения ниже 10 ppm/ V, уровень шума низкий. Резисторы являются импульсостойкими, могут противостоять высоким температурам, что делает их хорошей альтернативой проволочному сопротивлению, особенно при высоких сопротивлениях.



### 16.5.7. Резистивные схемы

Такие схемы делают из толстой или тонкой пленки. Следовательно, они включают в себя керамическую подложку с запрессованными резисторами и кабельными путями. Имеются два типа оболочек, смонтированных в отверстиях. Оболочки «SIL» (одинарный в линию) с одним рядом с 4-14 штырями и 2-24 резисторами и оболочки «DIL» (двойные в линию) с двумя рядами и общим числом 14-20 штырей и 7-36 резисторов. Ряд различных типов оболочек изготавливается для поверхностного монтажа. Резистивные схемы часто изготавливают специально, чтобы соответствовать конкретным применениям. Следовательно, возможно иметь разные внутренние соединения между резисторами, разные значения сопротивления для резисторов, а также для насыщения схем другими компонентами (конденсаторами и диодами).

К преимуществам резистивных схем можно отнести экономию пространства на печатной плате, из чего происходит температурный дрейф (смещение) резистора, упрощается монтаж и экономится время, которое, в свою очередь, приводит к снижению стоимости установленных компонентов.

### 16.5.8. Проволочные резисторы

**Проволочные резисторы** состоят из проволоки с высоким удельным сопротивлением, обычно изготовленной из «никротала» (CrNi), «кандала» (CrAlFe) или «константана» (CuNi), намотанной на основание из керамики, стекла или фиброгласса. Они изолированы пластиком, силиконом, эмалью или капсулируются в алюминиевом корпусе. Последний применяется для обеспечения распределения тепла к охлаждающему основанию. Для точности их изготавливают из высококачественной и стабильной проволоки, а для силовых применений – из толстой и износостойкой проволоки. Высокочастотные свойства плохие. Высокая индуктивность (0,1-10 мкГ(μH)) и высокая емкость (0,2 - 10 пФ) [pF] зависят от числа витков проволоки и размеров основания. Чтобы уменьшить индуктивность, можно наматывать проволоку разными способами, например, бифилярной слоевой намоткой (Ayrton Perry Winding), секционной намоткой в разных направлениях. В прецизионном (точном) типе температурный коэффициент низок (1-100 ppm/K). Зависимость от напряжения – около 1 ppm/V. Шум очень низкий, долгосрочная стабильность хорошая. Однако выходная мощность низкая. Мощные типы имеют температурный коэффициент от -50 до +1000 ppm/K в зависимости от типа проволоки. Зависимость от напряжения и шум такие же, как и для резисторов прецизионного типа.

Долгосрочная стабильность сильно зависит от поверхностной температуры резистора ( $T_{hs}$ ). При установке проволочных мощных резисторов важно помнить о том, что поверхностная температура может быть в пределах 200-400 °С, которая может негативно влиять на окружающие компоненты, материалы и пайку.

### 16.5.9. Резисторы «NTC» (с отрицательным температурным коэффициентом)

Эти резисторы являются нелинейными, и сопротивление сильно зависит от температуры корпуса резистора. Как следует из их названия (Negative Temperature Coefficient), они имеют отрицательный температурный коэффициент, т. е. сопротивление, которое снижается с ростом температуры. Они изготавливаются из поликристаллических полупроводников, которые состоят из смеси хрома, марганца, железа, кобальта и никеля. Эти вещества спекаются вместе с пластиковым связующим агентом.

Сопротивление изменяется по формуле:

$$R = A \cdot e^{B/T}, \quad (61)$$

где  $A$  и  $B$  – константы, зависящие от материала;  $T$  – температура.

Однако, это упрощенная формула. В больших температурных диапазонах величина « $B$ » несколько изменяется с температурой.

Для приближенного расчета сопротивления ( $R_1$ ) при определенной температуре ( $T_1$ ) можно воспользоваться формулой (61), если известно сопротивление ( $R_2$ ) при эталонной температуре ( $T_2$ ) и величина ( $B$ ):

$$R_1 = A \cdot e^{B/T_1}; \quad (62)$$

$$R_2 = A \cdot e^{B/T_2}. \quad (63)$$

При делении  $R_1$  на  $R_2$  получим:

$$R_1/R_2 = A \cdot e^{B/T_1}/A \cdot e^{B/T_2}. \quad (64)$$

Затем можно исключить  $A$  и переместить  $R_2$ , что дает в результате «Бета»-формулу:

$$R_1 = R_2 \cdot e^{(B/T_1 - B/T_2)}. \quad (65)$$

«Бета»-формула» дает относительно точное значение в пределах заданного температурного диапазона ( $B$ ). Запись  $B_{25/85}$  указывает, что величина ( $B$ ) имеет высокую точность в диапазоне 25-85 °С.

**Постоянная мощности ( $D$ )** – это величина мощности в Ваттах (или мВт), которая требуется для повышения температуры резистора на 1 К выше окружающей температуры.

**Постоянная времени  $\tau$**  – это время, требуемое для нелинейного «NTC» резистора, чтобы достичь 63,2 % ( $1 - e^{-1}$ ) величины нового сопротивления при изменении температуры без нагрева протекающим через него током. Это является мерой скорости регулирования и зависит от массы резистора.

Нелинейный (NTC) резистор используется, например, для измерения, регулирования и компенсации температуры, задержки времени, ограничения пусковых токов и измерения потоков.

#### **16.5.10. Резисторы «PTC» (с положительным температурным коэффициентом)**

**Резисторы «PTC»** имеют положительный температурный коэффициент (т. е. сопротивление его растет с ростом температуры). Они изготавливаются так же, как и резисторы «NTC», но имеют основу из  $\text{VtTiO}_3$ , к которой добавляют различные вещества. При добавлении большого количества кислорода во время охлаждения после спекания получается положительный температурный коэффициент. Сопротивление несколько снижается при низких температурах, но при достижении точки Кюри ( $T_C$ ) материала, сопротивление резко возрастает.

**Температура переключения ( $T_{sw}$ )** – это температура, при которой сопротивление равно двойному минимальному сопротивлению ( $2 \cdot$  миним. сопротивление). Резисторы «PTC» выпускаются с температурами переключения в пределах от 25 °С до 160 °С (до 270 °С, если выпускаются как нагревательные элементы).

**Время переключения ( $t_{sw}$ )** – это время, которое требуется для резистора «PTC», чтобы достичь температуры переключения при его разогреве протекающим током при постоянном напряжении. В это время ток снижается на половину. Время переключения можно рассчитать по формуле:

$$t_{sw} = h \cdot v \cdot (T_{sw} - T_{amb}) / (R_{25} - D \cdot (T_{sw} - T_{amb})), \quad (66)$$

где  $h$  – удельная теплоемкость, например, керамики  $-2,5 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mm}^{-3}$ ,  
 $v$  – объем керамики,  $\text{mm}^3$ ;  $T_{sw}$  – температура переключения;  $T_{amb}$  – окружающая температура;  $I_t$  – сила тока, А;  $D$  – постоянная мощности, W/K.

Под температурным коэффициентом мы подразумеваем максимальный температурный коэффициент резистора «PTC» в сечении, где кривая имеет максимальную крутизну (рис. 51).

Важно, чтобы не было превышено максимальное напряжение. Если оно превышено, есть вероятность короткого замыкания с разрушением резистора. Нет никакой возможности соединить последовательно несколько резисторов «РТС» для достижения более высокой мощности по напряжению. Наибольшая часть напряжения будет на одном из резисторов, который неизбежно будет поврежден.

Резисторы «РТС» используются как предохранители сверхтоков, для электродвигателей, саморегулируемых нагревательных элементов, звеньев (связей) размагничивания в цветном телевидении, схем задержки и для индикации температуры.

### 16.5.11. Варистор (резистор, зависимый от напряжения) [VDR]

**Варистор** – это резистор, чье сопротивление несколько снижается с увеличением напряжения. В настоящее время варисторы обычно изготавливаются из гранулированного оксида цинка с добавлением различных компонентов, таких как  $Bi$ ,  $Mn$ ,  $Sb$  и др., которые спекаются в виде таблетки. Контактные поверхности между гранулами (их миллионы), которые работают как полупроводниковый переход с падением напряжения около 3 В при токе 1 мА, образуют длинные цепи. Общее падение напряжения зависит от размеров гранул и толщины варистора. До этой величины напряжения (напряжения варистора), когда ток через него равен  $\leq 1$  мА, варистор имеет высокий импеданс. Если варисторное напряжение превышено, происходит логарифмическое возрастание тока, т. е. сопротивление падает. Варистор может переключаться с высокого импеданса на низкий в течение менее 20 нс. Диаметр варистора определяет выходную мощность и срок службы. Структура гранул означает, что варистор имеет внутреннюю емкость в пределах от 50 до 2000 пФ в зависимости от напряжения и размеров.

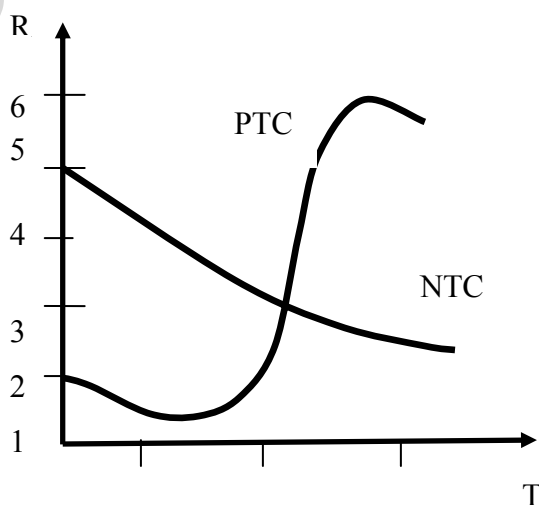


Рис. 51. Температурная зависимость сопротивления резисторов PTC в сравнении с резисторами NTC

Мы можем использовать нелинейность, чтобы обеспечить защиту от напряжений переходных процессов, которые имеют место при грозе или переключении индуктивных нагрузок. Варистор можно использовать для постоянного и переменного напряжения. Импульсный переходный процесс снижает сопротивление в варисторе до 0,1–50 Ом, в зависимости от напряжения переходного процесса, напряжения варистора и его диаметра.

Варисторы устанавливаются между фазой и нулем и, возможно, с землей, в схемах 230 В переменного тока для гашения входных переходных процессов. В устройствах подачи напряжения – между «+» и «-». Между деталями и землей – в сигнальных кабелях. Выше контакта, который прерывает катушку, – для исключения искрообразования. Выше триака (двунаправленного триодного тиристора) – для снижения радиопомех.

### 16.5.12. Фоторезисторы

Эти резисторы имеют аббревиатуру названия LDR [Light Dependent Resistor] и, о чем говорит название, являются резисторами, сопротивление которых изменяется в зависимости от количества света (фотопроводимость). Чем сильнее свет, тем ниже сопротивление.

Фоторезисторы изготавливаются в основном из двух различных материалов – сульфида кадмия (CdS), который чувствителен почти к такому же спектру света, что и человеческий глаз, и селенида кадмия (CdSe), чья чувствительность ближе к инфракрасному краю шкалы. Сульфид кадмия имеет максимальную чувствительность при 515 нм, а селенид кадмия – при 730 нм, хотя путем смешивания двух материалов можно достичь различных форм кривых при максимальной чувствительности между 515 и 730 нм. Без освещения CdS или CdSe не имеют свободных носителей заряда, и их сопротивление высокое. При освещении полупроводники поглощают энергию квантов, которая приводит к появлению свободных электронов.. Поэтому сопротивление полупроводника уменьшается, и через него протекает ток.

Степень изменения сопротивления обусловлена, не говоря о составе материала и типе процесса изготовления, состоянием поверхности и расстоянием между электродами и поверхностью, которая может быть освещена. Светозависимые резисторы имеют относительно большую температурную зависимость – от 0,1 до 2 %/К. Время реагирования изменяется от 1 мс до нескольких секунд, в зависимости от силы света и времени освещения или времени нахождения в темноте. Резисторы, работающие на CdSe, быстрее, чем на CdS. Оба вида фоторезисторов обладают определенным «эффектом памяти». После длительного ста-

тического светового воздействия сопротивление временно смещается. Тип CdSe имеет более мощный «эффект памяти», чем тип CdS.

## 16.6. Закон Ома

На рис. 52 показана простая диаграмма значений напряжения  $U$  (Вольт), силы тока  $I$  (Ампер), сопротивления  $R$  (Ом) и мощности  $P$  (Вт). Формулы во внешних секторах используются для расчета величин во внутренних секторах.

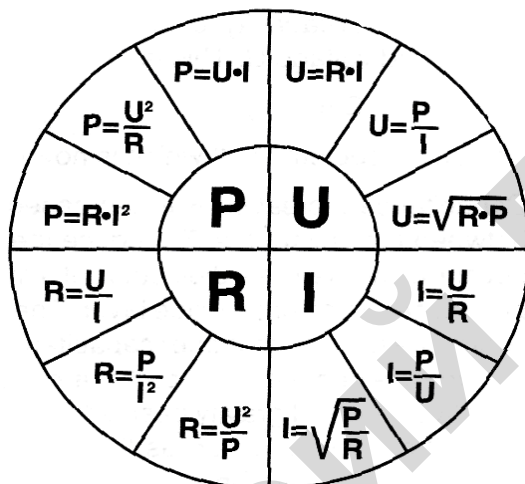


Рис. 52. Диаграмма значений  $U$  (В),  $I$  (А),  $R$  (Ом) и  $P$  (Вт)

Таблица 32

Стандартные серии значений в декаде  
(магазине сопротивлений) в соответствии с Европейским стандартом IEC-63

E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48
100	100	100	178	178	178	316	316	316	562	562	562
101			180			320			569		
102	102		182	182		324	324		576	576	
104			184			328			583		
105	105	105	187	187	187	332	332	332	590	590	590
106			189			336			597		
107	107		191	191		340	340		604	604	
109			193			344			612		
110	110	110	196	196	196	348	348	348	619	619	619
111			198			352			626		
113	113		200	200		357	357		634	634	
114			203			361			642		
115	115	115	205	205	205	365	365	365	649	649	649
117			208			370			657		
118	118		210	210		374	374		665	665	
120			213			379			673		
121	121	121	215	215	215	383	383	383	681	681	681

Продолжение таблицы 32

E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48
123			218			388			690		
124	124		221	221		392	392		698	698	
126			223			397			706		
127	127	127	226	226	226	402	402	402	715	715	715
129			229			407			723		
130	130		232	232		412	412		732	732	
132			234			417			741		
133	133	133	237	237	237	422	422	422	750	750	750
135			240			427			759		
137	137		243	243		432	432		768	768	
138			246			437			777		
140	140	140	249	249	249	442	442	442	787	787	787
142			252			448			796		
143	143		255	255		453	453		806	806	
145			258			459			816		
147	147	147	261	261	261	464	464	464	825	825	825
149			264			470			835		
150	150		267	267		475	475		845	845	
152			271			481			856		
154	154	154	274	274	274	487	487	487	866	866	866
156			277			493			876		
158	158		280	280		499	499		887	887	
160			284			505			898		
162	162	162	287	287	287	511	511	511	909	909	909
164			291			517			920		
165	165		294	294		523	523		931	931	
167			298			530			942		
169	169	169	301	301	301	536	536X	536	953	953	953
172			305			542			965		
174	174		309	309		549	549		976	976	
176			312			556			988		

Окончание таблицы 32

E24	E12	E6	E3	E24	E12	E6	E3	E24	E12	E6	E3
10	10	10	10	22	22	22	22	47	47	47	47
11				24				51			
12	12			27	27			56	56		
13				30				62			
15	15	15		33	33	33		68	68	68	
16				36				75			
18	18			39	39			82	82		
20				43				91			

*Пример.* При подсоединении светоизлучающего диода (СИД) [LED] к напряжению 24 В требуется резистор зажигания, чтобы ограничить ток значением, например, 20 мА (0,02 А). Следовательно, смотрим сектор  $R$  (рис. 52), т. е. сектор сопротивления, и используем формулу  $R = U/I$  внешнего сектора. В результате получим:  $R = 24 \text{ В}/0,02 = 1200 \text{ Ом}$ . Чтобы знать, с какой мощностью может иметь дело наш резистор зажигания, мы обращаемся к сектору  $P$  (мощность) и используем формулу  $P = U \cdot I = 24 \text{ В} \cdot 0,02 \text{ А} = 0,48 \text{ Вт}$ . Следовательно, выбираем резистор 1200 Ом и 0,5 Вт.



## 17. ПОТЕНЦИОМЕТРЫ

---

**Потенциометр** – это переменный резистор, который может приводиться механически. Он имеет два соединения, связанные с любым концом резисторного элемента, а третье соединение связано со скользящим контактом (движком), который может перемещаться по резисторной дорожке. Название «потенциометр» происходит от его функции регулирования потенциала или, если выразиться более обобщенно, от его функции делителя напряжения. При использовании соединения с одного конца и переменного соединения потенциометр можно использовать как регулируемый резистор (реостат). Могут выпускаться различные варианты потенциометров, в зависимости от их назначения и применения (рис. 53).



Рис. 53. Схемное обозначение потенциометров: а – переменный резистор; б – реостат; в – внешний вид переменных и подстроечных резисторов

## 17.1. Панельные потенциометры

**Панельные потенциометры** предназначены для управления с панели. Они установлены в панели с помощью втулки (резьбовой шейки вокруг оси) или с помощью винтов. Иногда их устанавливают на кронштейне сзади панели, и через панель проходит только ось. Потенциометры проектируются в виде поворотных потенциометров с круговой дорожкой сопротивления и осью, которая перемещает бегунок поворотным образом, или в виде скользящего потенциометра с линейной дорожкой. Для большинства основных применений резисторный элемент изготавливается из угля (угольный резистор), который отличается своей небольшой ценой. Однако для применений с более жесткими требованиями используется «кермет» (металлокерамика), проводящий пластик, или дорожки с проволочной намоткой.

## 17.2. Прецизионный потенциометр

**Прецизионный потенциометр** относится к панельному типу и изготавливается в основном в двух вариантах: многооборотный потенциометр с дорожкой из проволочной обмотки, чтобы обеспечить очень точную настройку, или однооборотный потенциометр с пластиковой или обмоточной дорожкой без механических упоров в предельных положениях. Последний тип имеет высокое разрешение и большой срок службы при использовании его, например, в качестве датчика углового положения. Для измерения линейного перемещения имеются датчики линейного положения, когда дорожка является линейной и бегунок перемещается тягой.

## 17.3. Подстроечные триммерные потенциометры

**Потенциометры подстройки** изготавливаются с угольными или керметовыми дорожками, одно- или многооборотными, с кожухом или без него. Как правило, они меньше панельных потенциометров, так как не имеют оси или втулки, и к ним предъявляют меньше механических требований. Триммер часто имеет срок службы только 200 вращений. Это справедливо при очень высоком контактном давлении на движок для получения высокого уровня стабильности.

Имеются два типа многооборотных триммерных потенциометров: с линейной дорожкой и редукторным шпиндельным приводом, в котором длинный резьбовый шпиндель перемещает движок; и с круговой дорожкой и движком, который поворачивается червячным механизмом.

#### 17.4. Ослабительные адаптеры

**Ослабительные адаптеры** включают в себя резисторы в Т- или  $\pi$ -связях (звеньях), которые означают, что входной и выходной импедансы постоянны при изменении степени затухания. В адаптерах переменного затухания эти резисторы включают в себя присоединенные потенциометры, которые сгруппированы (управляются одним и тем же шпинделем). Во многих отношениях важно точно знать, какое имеется затухание (ослабление). По этой причине имеются ступенчатые (шаговые) адаптеры, где можно использовать переключатели для комбинирования нужного затухания.

#### 17.5. Джойстик

**Джойстик** – это один или несколько потенциометров, сопротивление которых регулируется прямым проходящим валом (рычагом). Их используют в качестве устройств контроля в одном, двух или трех размерах (фазы X, Y, Z). Потенциометры в джойстике изготавливаются специально для такого применения и имеют угол поворота только 30-60°. В самых дешевых типах используются угольные дорожки, тогда как для более высококачественных типов используются пластиковые дорожки. Джойстики часто дополняются микропереключателями и снабжаются рукоятками специального типа. Как упомянуто выше, дорожка сопротивления в потенциометре изготавливается из различных материалов, чтобы иметь выигрыш от использования подходящих материалов для конкретных применений.

Одним из основных элементов потенциометров является резистивный элемент. Самой дешевой и простой в изготовлении является **резистивная угольная дорожка**. Она изготавливается из угольного компаунда, который напрессован на основание фенольной платы. Потенциометры с угольными дорожками могут применяться только для низких мощностей. Они отличаются

плохим разрешением и линейностью, высоким уровнем шума и небольшим сроком службы. Однако они очень дешевы в изготовлении, что делает их пригодными для многих некритических применений.

Вариантом угольной дорожки является **проводящая пластиковая дорожка**, в которой тонкозернистый угольный порошок смешивается с пластиком и напрессовывается на основу. Получается выигрыш в неограниченном разрешении и низком уровне шума, как при неподвижном движении (статический шум), так и при его перемещении (динамический шум). Тот факт, что возможно иметь очень низкое контактное давление, означает возможность большого срока службы. К недостаткам проводящей пластиковой дорожки относятся низкая допустимая мощность и низкий допустимый ток движка, а также большая температурная зависимость  $\pm 1000 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ . Потенциометры с пластиковой дорожкой находят промышленное применение, например, при жестких требованиях к разрешению и сроку службы, а также в аудиоаппаратуре, где важным преимуществом является низкий уровень шума.

С другой стороны, высокая допустимая мощность является одним из преимуществ **металлокерамической (керметовой) дорожки**. Керметовая дорожка состоит из смеси металлов и керамики, которая напрессовывается на керамическое основание. Дорожка отличается температурной стабильностью, мощностью, хорошим разрешением и низким статическим шумом. Так как дорожка работает при высоком контактном давлении движка, получается очень хорошая долгосрочная стабильность. По этой причине керметовая дорожка находит широкое применение в триммерных и панельных потенциометрах.

**Обмоточные дорожки** используются для достижения высокой допустимой мощности и хорошей температурной и долгосрочной стабильности. Обмоточные потенциометры предпочтительны при больших токах через движок. В многооборотных прецизионных потенциометрах иногда используется обмоточная дорожка, располагаемая над слоем проводящего пластика для увеличения разрешения. К другим сферам применения обмоточных потенциометров можно отнести, например, регулируемые серийные резисторы (реостаты) для регулирования тока различных типов нагрузок.

Для различных применений резисторные дорожки изготавливаются с различными **характеристиками (формами кривых)**: линейной, логарифмической (рис. 54) и антилогарифмической.

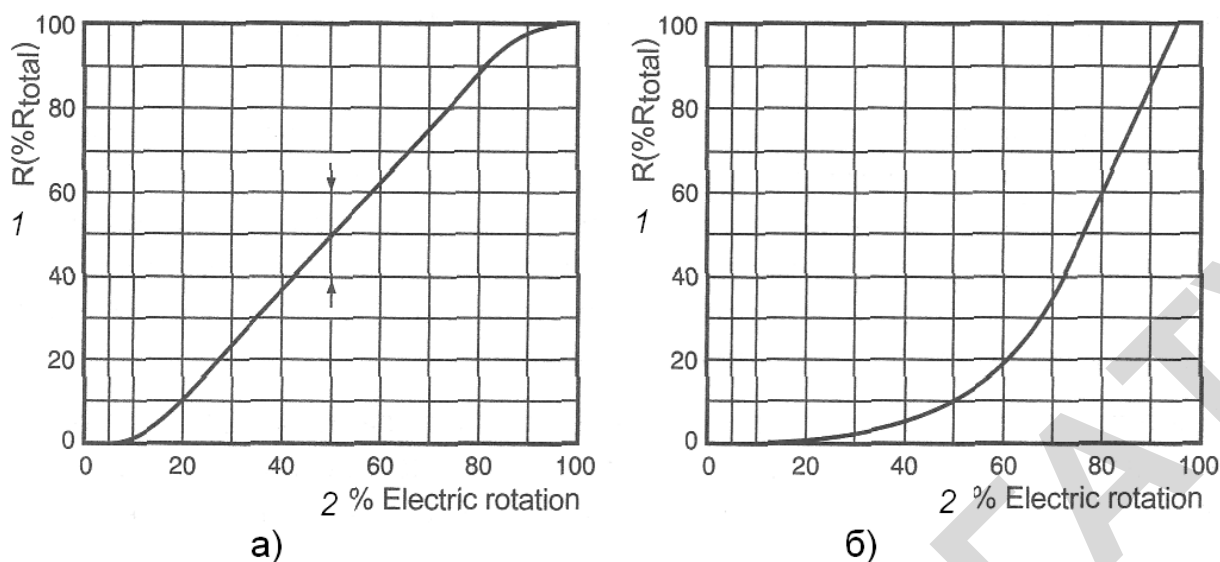


Рис. 54. Потенциометры с различными формами кривых:  
*a* – линейный потенциометр; *б* – логарифмический потенциометр;  
 1 – сопротивление  $R$  (в %  $R_{\text{общ}}$ ); 2 – электрическое вращение, %

**Линейный** потенциометр (рис. 54, *a*) имеет дорожку сопротивления с постоянным удельным сопротивлением (резистивностью) и поверхностью по всей длине дорожки. В **логарифмическом** потенциометре (рис. 54, *б*) дорожка сопротивления обычно делится на три секции. Каждая секция является линейной, но с разными сопротивлениями. Когда бегунок находится в начале дорожки, удельное сопротивление низкое, изменение сопротивления небольшое. В конце дорожки удельное сопротивление высокое, и в этой точке удельное сопротивление изменяется намного быстрее, чем в начале дорожки. Кроме общепринятых форм кривых, линейной и логарифмической, применяется большое разнообразие форм кривых для конкретных целей.

**Максимальная мощность** – наивысшая мощность, при которой потенциометр может работать. Важно помнить, какая оговоренная мощность действует на всей дорожке. Если используется только часть дорожки, как, например, в реостатном соединении, допустимая мощность пропорционально снижается. Ток через движок не должен превышать величины тока через дорожку сопротивления при максимальной мощности. Этот ток может быть превышен, когда, например, с помощью обычного мультиметра измеряется сопротивление между конечным выходом и бегунком, который сдвигается к конечному выходу.

**Максимальное рабочее напряжение** обычно связывают с напряжением изоляции. Это наивысшее напряжение, которое может быть подключено

к потенциометру. На дорожке сопротивления максимальное напряжение также ограничено максимально допустимой мощностью, которую можно считать по формуле:

$$U = \sqrt{(R \cdot P)}, \quad (67)$$

где  $U$  – напряжение на всей дорожке сопротивления;

$R$  – сопротивление;

$P$  – мощность.

**Пробное напряжение** – напряжение между одним из соединений и внешним корпусом потенциометра. Оно часто ограничено во времени. **Допуск** на сопротивление потенциометра редко имеет значение. В делителе напряжения решающим фактором является зависимость между сопротивлениями с любой стороны движка. В реостатном соединении допуск означает, что можно иметь разные максимальные сопротивления, но если величина выбрана так, что движок останавливается где-то посередине дорожки, то и здесь допуск также не имеет значения.

**Температурный диапазон** можно описать двумя способами: **динамический температурный диапазон**, где потенциометр удовлетворяет всем данным в процессе перемещения движка, и **статический температурный диапазон**, который определяется при неподвижном движке. Диапазоны отличаются главным образом моментом вращения при низких температурах. **Температурный коэффициент** описывает изменения сопротивления в зависимости от температуры. Он указывается в ppm/°C (миллионные доли на градус Цельсия). Делитель напряжения отличается стабильностью при изменениях температуры, поскольку сопротивление с любой стороны движка изменяется на одну и ту же величину.

Во многих контекстах, например, при угловом измерении, используется **линейный прецизионный потенциометр**. Важно, чтобы фактическая форма кривой была как можно ближе к теоретической. Это называется **линейностью**, где наибольшее отклонение в сопротивлении выражено в процентах (рис. 53). Линейность зависит от таких факторов, как чистота сырьевых материалов и изменений (вариаций) поверхности (площади) дорожки сопротивления.

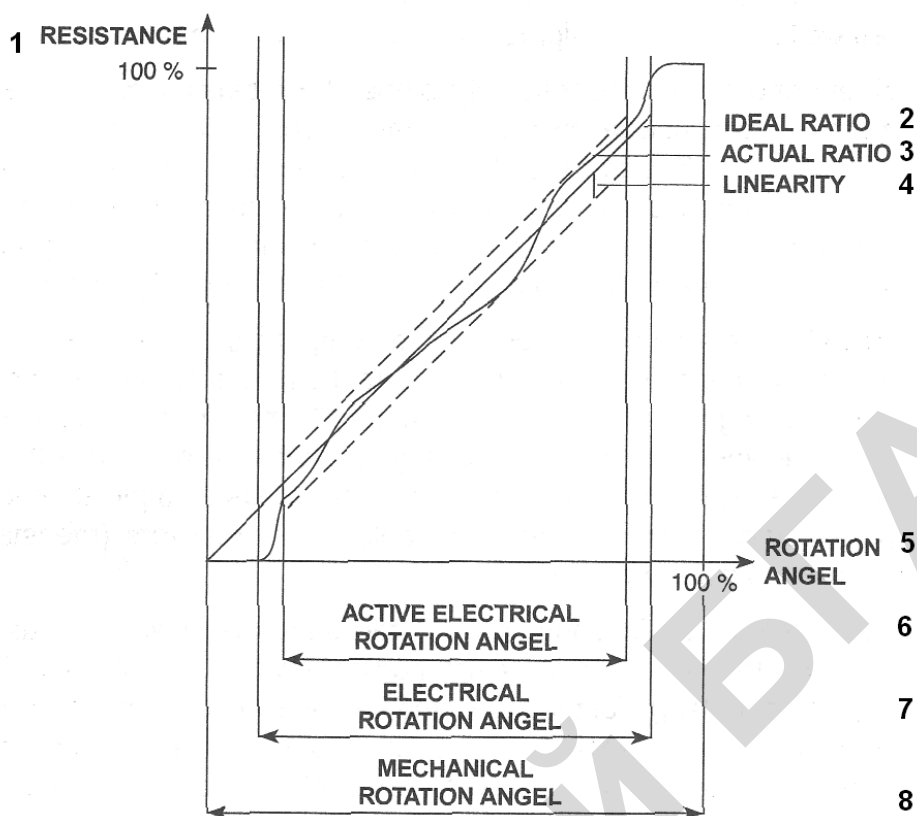


Рис. 53. Отклонение линейности потенциометра:

1 – сопротивление; 2 – идеальное отношение; 3 – фактическое отношение; 4 – линейность; 5 – угол поворота; 6 – угол активного электрического поворота; 7 – электрический угол поворота; 8 – механический угол поворота

Если имеется потенциометр, соединенный как делитель напряжения, сопротивление нагрузки будет присоединено параллельно с частью дорожки сопротивления. Это означает, что линейность будет подвержена негативному воздействию. Нагрузочное сопротивление, которое вдвое больше сопротивления потенциометра, дает погрешность линейности около 11 %. Чтобы считать погрешность незначительной, нагрузочное сопротивление должно быть, по крайней мере, в 100 раз больше сопротивления потенциометра.

**Электрический угол поворота** – это угол, при котором имеет место изменение сопротивления. Активный электрический угол поворота примерно на  $20^\circ$  меньше. Примерно  $10^\circ$  с начала и конца дорожки может быть связано с влиянием крепления соединений. Линейность часто измеряется только в пределах угла.

**Механический угол поворота** примерно на  $30^\circ$  больше электрического угла, чтобы достичь хорошего контакта с концевым соединением.

Когда движок находится в начальном положении, его сопротивление может отличаться от нулевого сопротивления. Это частично обусловлено

переходным сопротивлением между движком и дорожкой, сопротивлением в соединениях и механическими допусками, которые могут означать, что движок не достигает конца дорожки.

**Контактное сопротивление**, которое существует между движком и дорожкой, в частности, когда движок находится в движении, в значительной степени зависит от силы тока. Предельно малые токи имеют трудность шунтирования диодного эффекта, вызываемого в тонком оксидном слое. Контактное сопротивление изменяется значительно, когда движок находится в движении. Это называется «CRV» (Вариация контактного сопротивления) [Contact Resistance Variation] и может наблюдаться как помехи (шум). Термином «ENR» (Эквивалентное сопротивление шумов) [Equivalent Noise Resistance] учитывается изменение сопротивления, существующее в дорожке. Обмоточный потенциометр имеет высокое ENR, так как имеют место скачки сопротивления всякий раз, когда движок сдвигается от одного витка к другому. CRV выражается в процентах от полного сопротивления, а ENR – в Омах.



## 18. КОНДЕНСАТОРЫ

---

**Конденсатор** состоит из двух и более пластин (электродов, называемых обкладками), разделенных диэлектриком, толщина которого мала, по сравнению с размерами обкладок конденсатора (рис. 54). Такая система обладает взаимной емкостью и способна сохранять электрический заряд.

**Емкость** ( $C$ ) конденсатора – это способность заряжаться зарядом ( $Q$ ), в Кулонах на Вольт при приложении напряжения ( $U$ )

$$C = Q/U. \quad (68)$$

Единица Кулон/Вольт называется Фарадой (F).

Емкость растет с увеличением площади (поверхности) электродов и с уменьшением расстояния между электродами. Для уменьшения расстояния между электродами в качестве диэлектрика обычно используется не воздух, а очень тонкий материал, например, пластик, керамика или оксидный слой.

Диэлектрические материалы содержат связанные заряды (диполи). В диполе электроны атомов образуют удлинённые овалы траектории вокруг ядер, создавая отрицательный центр тяжести около положительных ядер. Диполи могут вращаться и принимать то же направление, что и электрическое поле, когда они притягиваются заряженными электродами. Ориентация диполей вдоль электрического поля уменьшает внутреннее поле и вызывает увеличение емкости. Количественная мера влияния диэлектрика на емкость называется **диэлектрической проницаемостью**.

Формула емкости плоского конденсатора имеет вид:

$$C = \varepsilon_r S/d = \varepsilon \varepsilon_0 S/d, \quad (69)$$

где  $C$  – емкость, Фарад;

$S$  – площадь, м<sup>2</sup>;

$d$  – расстояние между электродами, м;

$\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость, которая равна  $\epsilon_r = \epsilon_0 \times \epsilon_r$ ;

$\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость в вакууме,

$\epsilon_r$  – относительное число, определяющее отношение проницаемости диэлектрика к проницаемости в вакууме;  $\epsilon_r$  часто называют диэлектрической постоянной или диэлектрическим числом.

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}(\Phi/\text{м}). \quad (70)$$



Рис. 54. Внешний вид конденсаторов различного типа

Как видно из табл. 33, выбор диэлектрика в значительной мере определяется емкостью и размерами конденсатора. Однако материалы имеют разные свойства и недостатки, что не позволяет всегда использовать материал, имеющий наивысшую постоянную.

Таблица 33

Диэлектрические постоянные  $\epsilon_r$  для определенных материалов

Материал	$\epsilon_r$	Материал	$\epsilon_r$
Воздух	1	Слюда	4-8
Вода	80	Окись алюминия $Al_2O_3$	7
Стекло	10	Окись тантала $Ta_2O_5$	11
Пропитанная бумага	3,5-6	Керамика. Класс 1	5-450
Пертинакс	3,5-4,5	Керамика. Класс 2	200-15000
Полиэстер	3,3	Керамика. Класс 3	10000-50000
Поликарбонат	2,8	Керамика. NPO	60
Полипропилен	2,2	Керамика. X7R	1500
Полистирен	2,6	Керамика. Z5U	5000

Для понимания конденсатора как компонента можно воспользоваться следующей упрощенной эквивалентной схемой (рис. 55).

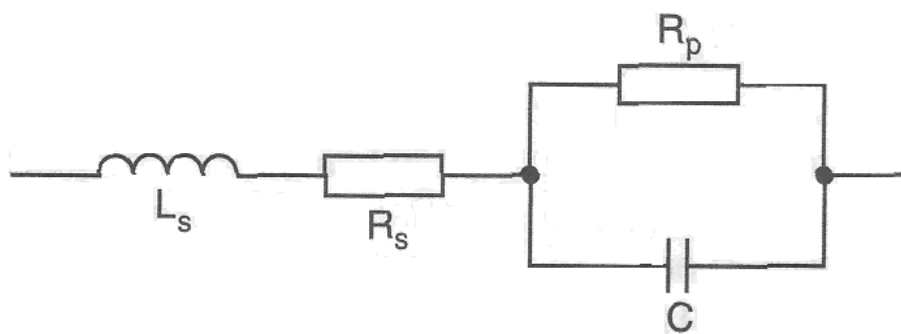


Рис. 55. Эквивалентная схема конденсатора:

$R_s$  – последовательное (серийное) сопротивление проводов питания, электродов и любого электролита и потери диэлектрика;  $L_s$  – индуктивность проводов питания и электродов;  $C$  – емкость;  $R_p$  – сопротивление изоляции диэлектрика

Эквивалентное последовательное (активное) сопротивление  $ESR$  [Equivalent Series Resistance] означает все потери мощности конденсатора, которые, кроме активного сопротивления ( $R_s$ ) проводов питания и электродов, включают сопротивление изоляции конденсатора (реактивное сопротивление) ( $R_p$ ), появляющиеся, когда диэлектрик подвергается воздействию переменного электрического поля.  $ESR$  является переменной величиной, изменяющейся с частотой и температурой.

Потери мощности вызывают рост температуры, который следует контролировать, чтобы не допускать ее значительных значений. Чтобы охарактеризовать сопротивление рассеяния, вводится коэффициент потерь – тангенс угла диэлектрических потерь (это отношение мнимой и вещественной части комплексной диэлектрической проницаемости):

$$\operatorname{tg}\delta = ESR/X_C. \quad (71)$$

Потери мощности в конденсаторе рассчитываются по формуле:

$$P = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg}\delta. \quad (72)$$

Если применена та же частота, что и при определении  $ESR$ , формула может быть записана следующим образом:

$$P = U^2 \cdot ESR/X_C^2. \quad (73)$$

Эта формула справедлива только тогда, когда  $ESR$  намного меньше по абсолютной величине  $X_C - X_L$  ( $X_L$  см. ниже).

ESL (Эквивалентная последовательная индуктивность) [Equivalent Series Inductance] – это собственно индуктивность обкладок и выводов конденсатора  $L_s$ . Индуктивность современных конденсаторов обычно находится в пределах от 10 до 100 нН (нГн).

**Импеданс** (полное сопротивление) конденсатора можно рассчитать по формуле:

$$Z = \sqrt{(ESR^2 + (X_C - X_L)^2)}, \quad (74)$$

где  $Z$  – импеданс, Ом;

$X_C$  и  $X_L$  – емкостное и индуктивное сопротивления при определенной частоте.

Конденсатор имеет также **собственную** резонансную частоту, где  $X_C$  и  $X_L$  имеют одинаковое значение и превосходят друг друга. При этой частоте импеданс равен  $ESR$  (эквивалентному активному сопротивлению). Реактивное сопротивление ( $R_p$ ) никогда не равно бесконечности, а всегда имеет слабую проводимость. Это вызывает появление тока через диэлектрик, называемый **током утечки**, и вызывает определенный саморазряд конденсатора. Это может стать критическим показателем, например в схемах памяти.

Многие свойства конденсатора изменяются с температурой, например как диэлектрическая постоянная,  $ESR$  и ток утечки. Следовательно, нужный тип диэлектрика следует выбирать в соответствии с диапазоном температур, при котором будет работать конденсатор. Чтобы описать изменение емкости в зависимости от температуры, используют температурный коэффициент емкости (ТКЕ – относительное изменение емкости при изменении температуры окружающей среды на один градус Цельсия (Кельвина)).

Более того, многие параметры в большей или меньшей мере зависят от частоты и напряжения, которые следует учитывать при выборе диэлектрика.

**Импульсный потенциал** является способом оценки, с какой скоростью конденсатор может заряжаться и разряжаться (время заряда и разряда конденсатора). Импульсный потенциал указывается при рабочем напряжении, равном номинальному напряжению. Если рабочее напряжение ниже, импульсный потенциал может быть умножен на частное между номинальным и рабочим напряжением.

Ток, вызываемый при изменении напряжения, можно рассчитать по формуле:

$$I = C \cdot (\Delta V / \Delta t), \quad (75)$$

Если емкость ( $C$ ) и импульсный потенциал ( $\Delta V / \Delta t$ ) выразить в  $\mu\text{F}$  ( $\text{мкФ}$ ) и  $\text{V}/\mu\text{s}$  ( $\text{В}/\text{мкс}$ ) соответственно, то получим ток ( $I$ ) в Амперах (А) (обычно расчеты делаются в системе СИ).

**Максимальное рабочее напряжение** зависит от разных факторов, таких как: вид и толщина диэлектрика, расстояние между соединительными проводами и корпусом. Следовательно, важно не превышать максимальное напряжение при реальных рабочих условиях. Даже, если не происходит прямого пробоя диэлектрика, слишком высокая напряженность поля может привести к долгосрочным изменениям в диэлектрике. Когда конденсатор заряжен и созданы диполи диэлектрика, которые поворачиваются в линию с полем напряжения, то при разряде конденсатора не все диполи возвратятся в первоначальное положение. Эти оставшиеся диполи вызовут повторное появление определенного напряжения в разряженном конденсаторе.

Это называется **диэлектрической релаксацией**, которая присутствует во всех конденсаторах в той или иной мере. В некоторых случаях применения, таких как схемы отбора и хранения, в аудиоаппаратуре, желательно, чтобы повторное напряжение было как можно более низким. Диэлектрическую релаксацию измеряют в процентах от первоначального напряжения после короткого замыкания на определенное время. Однако есть разные стандарты измерений диэлектрической релаксации.

## 18.1. Сферы применения конденсаторов

Конденсаторы имеют различные сферы применения. Например:

- **конденсаторы связи**, блокирующие напряжение постоянного тока, но проводящие напряжение переменного тока;
- **развязывающие конденсаторы**, накоротко замыкающие напряжение переменного тока, налагаемое на напряжение постоянного тока;
- **в подстроечных фильтрах и резонансных схемах**, в которых конденсатор определяет частоту, как правило, в сочетании с резистором или катушкой, например, в генераторе колебаний (осциллятор) или фильтре распределения для динамика (громкоговорителя);
- блоки питания содержат **электролитические конденсаторы** для запаса энергии, которая используется для фильтрации (сглаживания) напряжения постоянного тока;
- для подавления EMI (Electromagnetic Interference) – электромагнитных помех – **фильтрующий конденсатор** используется для поглощения неустановившихся переходных процессов по напряжению как резисторно-емкостная схема, связанная с катушкой реле. Конденсаторы, например, X- и Y-конденсаторы, также используются для подавления радиочастотных помех (RFI);

- для высокого напряжения переменного тока зачастую используется **емкостный делитель напряжения**, чтобы, например, измерять напряжение. Такой делитель имеет меньшие потери мощности, чем резистивный делитель напряжения.

## 18.2. Типы конденсаторов

### 18.2.1. Пленочные конденсаторы

В таких конденсаторах диэлектриком служит тонкая неорганическая пленка. Такие конденсаторы имеют малое рассеяние, что обусловлено небольшим сопротивлением электродов, а сопротивление изоляции велико. Их изготовление автоматизировано и, как следствие, они имеют небольшую цену. Конденсаторы являются неполяризованными (любой электрод может быть положительным или отрицательным) и имеют очень малый ток утечки. Токопленочные конденсаторы используются, например, как связующие и развязывающие в аналоговых и цифровых схемах, в хранирующих схемах и в подстроечных фильтрах. Емкость таких конденсаторов находится в пределах от 10 пФ до 100 мкФ.

Электроды состоят из металлической фольги или металлизации. Последнее представляет собой тонкий испарительный металлический слой, имеющий преимущества в случае искрения (пробоя). В этом случае металлическое покрытие будет испаряться вокруг зоны искрения, что исключает любое короткое замыкание. Могут использоваться различные типы обмоток. На рис. 56 показаны некоторые из них, получившие широкое применение.

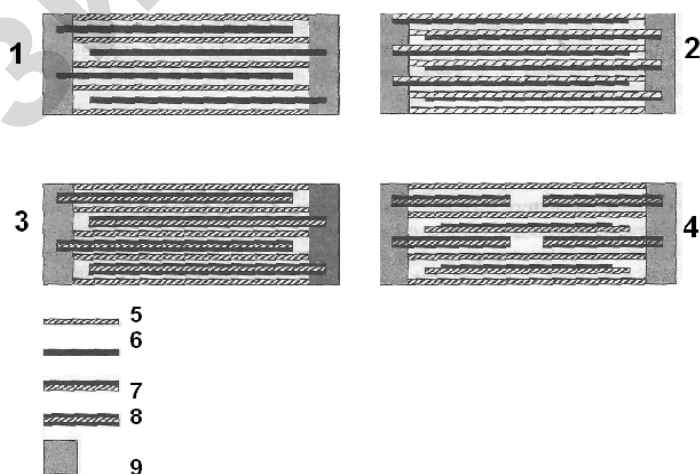


Рис. 56. Различные конструкции пластмассо-пленочных конденсаторов:

1 – металлическая фольга; 2 – металлизированная пленка; 3 – двойная металлизированная пленка; 4 – двойная металлизированная пленка. Серийная конструкция; 5 – пластмассовая пленка; 6 – металлическая фольга; 7 – металлизированная пластмассовая пленка; 8 – двойная с пластмассовой пленкой; 9 – контактный слой пламенно-распыленного металла

Как показано выше, обмотки могут быть расположены так, что конденсатор собирается внутренне посредством двух конденсаторов, соединенных последовательно. Это увеличивает импульсную долговечность конденсатора.

В более ранних конструкциях тонкопленочных конденсаторов провод питания был присоединен к одному концу обмотки. В современных конденсаторах такого типа сторона скрученной фольги покрыта металлическим контактным слоем с применением процесса, называемого пламенным распылением. По этому процессу вся длинная кромка фольги или пленочная полоска может быть соединена с проводом и, следовательно, значительно снижаются сопротивление и индуктивность конденсатора.

В конденсаторах используются различные типы неорганических пленок (табл. 34):

**а) полиэстер (РЕТ, телефтатат полиэтилена, майлар)** легко изготавливается в тонком виде (возможная толщина около 1 мкм) и его легко подвергнуть металлизации. Следовательно, достигаются малые размеры и низкая стоимость. Полиэстер имеет наихудшие характеристики из современных пластмасс. Полиэстеровые конденсаторы с электродами из металлической фольги часто обозначаются «КТ» и «МКТ», если металлизированы. Они используются для менее критичных применений, таких, как развязывающие устройства;

**б) поликарбонат (РС)** также легко можно изготовить в тонком виде и он относительно легко металлизуется. Материал имеет более низкую диэлектрическую постоянную, чем полиэстер, и поэтому конденсаторы получаются несколько крупнее и дороже по цене. Однако они имеют значительно более низкое рассеяние и лучшую стабильность. Эти конденсаторы обозначаются «КС» или «МКС», если металлизированы. Поликарбонатные конденсаторы используются в критических применениях, где полезна их хорошая стабильность, например, в перестраиваемых фильтрах и осцилляторах;

**в) полипропилен (РР)** трудно изготовить тонким. Он также требует предварительной обработки перед металлизацией. Следовательно, полипропиленовые конденсаторы громоздки и дорогостоящи, в сравнении с полиэстером и поликарбонатом.

Среди преимуществ можно отметить низкое рассеяние, высокую стабильность и низкое диэлектрическое поглощение. Полипропиленовые конденсаторы с электродами из фольги обозначаются «КР» или «МКР», если металлизированы. Они часто используются в импульсных устройствах и там, где требуется низкое диэлектрическое поглощение, например, в импульсных схемах и схемах стабилизации (хранения), а также в аудиоаппаратуре;

г) **полистирен** (стирол, стирофлекс) является старым материалом, который в значительной мере заменен поликарбонатом и полипропиленом. Он с трудом поддается металлизации, а его низкая диэлектрическая прочность (емкость напряжения) делает пленку значительно более толстой, чем для других пластмасс. С другой стороны, он имеет очень низкое рассеяние, высокую стабильность и низкое диэлектрическое поглощение. Полистирен используется в основном для фильтров с критическими требованиями;

д) **сульфид полипропилена (PPC)** является новым материалом, наиболее важными свойствами которого являются высокое температурное сопротивление, хорошая стабильность и очень низкие потери энергии. Однако емкость напряжения этого материала низкая и, следовательно, должна быть увеличена толщина пленки.

Таблица 34

Сравнительные данные неорганических материалов (типичные значения)

Параметры	Полиэстер	Поликарбонат	Полипропилен	Полистирен
Диэлектрическая постоянная	3,3	2,8	2,2	2,5
$\operatorname{tg}\delta$ при 1 кГц	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
$\operatorname{tg}\delta$ при 100 кГц	$18 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
Максимальная рабочая температура, °С	125	125	100	70
Диэлектрическое поглощение, %	0,20 – 0,25	0,12 – 0,20	0,05 – 0,10	0,02 – 0,05
Температурный коэффициент, ppm/°С	+400	+150	-200	-150
Диэлектрическая прочность, V/mm	250	180	350	150

### 18.2.2. Бумажные конденсаторы

**Бумажные конденсаторы** сейчас заменены тонкопленочными для большинства применений. Несмотря на высокую диэлектрическую постоянную, бумажные конденсаторы, как по размерам, так и по стоимости, уступают пластмассовым. Преимущества бумажных конденсаторов связаны только с их импульсным номиналом и низким содержанием углерода (около 3 % против 40–70 % для пластмасс), что обеспечивает их отличные свойства самовосстановления и незначительный риск воспламенения. В настоящее время они используются почти исключительно для подавления электромагнитных помех



(EMI) (X- и Y-конденсаторы), где хорошо используются преимущества бумаги перед пластмассой. Иногда пластмасса и бумажная фольга используются в конденсаторной обмотке. Диэлектрик называют смешанным, если используются преимущества различных материалов.

### 18.2.3. Керамические конденсаторы

**Керамические конденсаторы** изготавливаются с одной или более керамическими пластинами, имеющими печатные металлические электроды. Керамический конденсатор только с одним слоем диэлектрика называется однослойным, однопластинчатым или пластинчатым конденсатором. Если конденсатор имеет несколько слоев диэлектрика с промежуточными электродами, он называется многослойным или монокристаллическим конденсатором. Диапазон имеющихся материалов и конструкций огромен. Керамические конденсаторы изготавливаются с пределами емкостей от 0,5 пФ до нескольких сотен мкФ. Однако конденсаторы емкостью свыше 10 мкФ применяются редко из-за их высокой стоимости.

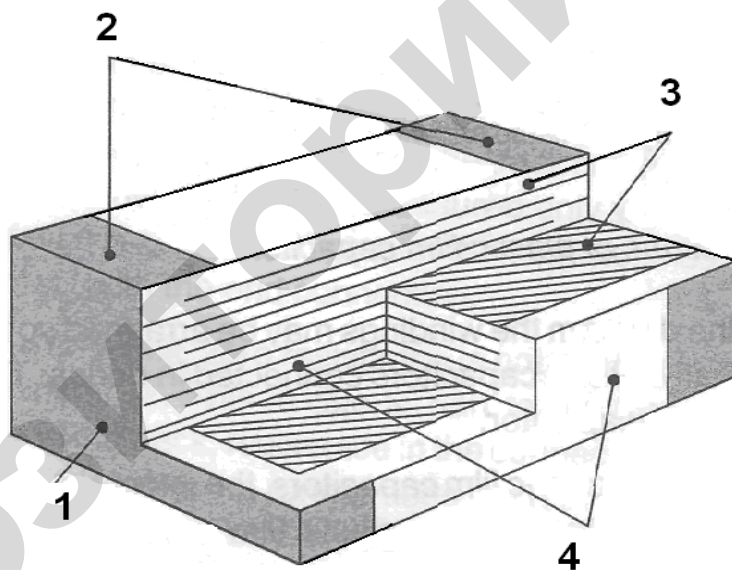


Рис. 57. Секция многослойного конденсатора:  
1 – концевая часть; 2 – припой; 3 – электроды; 4 – керамика

**Керамические материалы подразделяются на три класса.**

**1. Класс 1** охватывает материалы с низкой диэлектрической постоянной. Они наиболее стабильны не только по температуре, но также и по частоте, напряжению и времени, имеют очень низкие потери мощности даже при высоких частотах. Конденсаторы с одним слоем выпускаются с пределами емкости от 0,47 до 560 пкФ. Многослойные конденсаторы выпускаются с NPO – диэлектриком со значениями емкости в пределах от 10 пФ до

0,1 мкФ. Они используются в высокочастотных схемах и при критических температурах, а также в частотоопределяющих устройствах, таких, как осцилляторы. Диэлектрики класса 1 имеют почти линейный температурный коэффициент. Они обозначаются буквой «Р» или «N», указывая на положительный (Р) или отрицательный (N) коэффициент, и цифрой, указывающей величину температурного коэффициента (см. табл 35).

Таблица 35

Обозначение и маркировка конденсаторов класса 1

Диэлектрик	Температурный коэффициент, ppm/°C	Цветовой код	Обозначение по стандарту EIA
P100	+100 ±30	красный / фиолетовый	M7G
NP0	0±30	черный	COG
N075	-75 ±30	красный	U1G
N150	-150±30	оранжевый	P2G
N220	-220 ±30	желтый	R2G
N330	-330 ±60	зеленый	S2H
N470	-470 ±60	синий	T2H
N750	-750±120	фиолетовый	U2J
N1500	-1500±250	оранжевый / оранжевый	P3K

**2. Класс 2** включает материалы с высокой диэлектрической постоянной. Они имеют нелинейную зависимость от температуры, частоты и напряжения. Эта группа охватывает множество типов диэлектриков с изменяющимися свойствами. Диэлектрики класса 2 имеют низкие потери при средних частотах. Они стареют на 1-5 % на логарифм десятичный часа. Первоначальные значения могут быть восстановлены путем нагрева выше точки Кюри керамики, которая равна примерно 150 °С.

Их изготавливают в виде однослойных конденсаторов с пределами емкостей от 100 пФ до 0,1 мкФ и в виде многослойных конденсаторов емкостью от 10 пФ до 10 мкФ. Они используются в некритических применениях, таких как связывание и развязывание.

Диэлектрики класса 2 обозначаются буквой «К» и цифрой, указывающей диэлектрическую постоянную по стандарту EIA, и тремя знаками (символами), из которых первые два – указывают температурный диапазон, а третий знак показывает изменение емкости в этом температурном диапазоне (см. табл. 36).

Обозначение конденсаторов класса 2 согласно стандарту EIA

1-ый знак	Нижний предел температурного диапазона	2-ой знак	Верхний предел температурного диапазона	3-ий знак	Изменение емкости
Z	+10 °C	2	+45 °C	A	±1,0%
Y	-30 °C	4	+65 °C	B	±1,5 %
X		5	+85 °C	C	±2,2 %
		6	+105 °C	D	±3,3 %*
		7	+125 °C	E	±4,7 %
		8	+150 °C	F	±7,5 %
		9	+200 °C	P	±10 %
				R	±15 %
				S	±22 %
				T	+22, -33 %
				U	+22, -56 %
				V	+22, -82 %

Из таблицы 36 видно, что у конденсатора, например, Z5U, изменение емкости может быть в пределах от +22 до -56 % в температурном диапазоне от +10 °C до +85 °C.

**3. Класс 3** создан на базе полупроводящих материалов, которые зачастую имеют спекаемую гранулированную внутреннюю структуру, в которой отдельные гранулы (зерна), имеющие низкую емкость между собой, создают высокую суммарную емкость. Материал обладает в основном такими же или несколько худшими характеристиками, чем конденсаторы класса 2, но имеет низкую нагрузку по напряжению. Максимальное рабочее напряжение обычно находится в пределах 16-50 В. Из-за предельно высокой диэлектрической постоянной могут быть получены большие емкости при небольших размерах и цене. Конденсаторы выпускаются с емкостями в пределах от 1000 пФ до 1 Ф.

#### 18.2.4. Слюдяные конденсаторы

**Слюдяные конденсаторы** по конструкции аналогичны керамическим многослойным конденсаторам, но поскольку конденсаторный элемент не нуждается в спекании, в электродах можно использовать серебро. Слюда фактически является минеральным мусковитом, который добывается в индийских рудниках и имеет высокое качество. Мусковит является неломким и стойким минералом, который расслаивается на тонкие пластинки, которые могут быть снабжены электродами и уложены стопками. Его электрические свойства, такие как сопротивление изоляции, потери мощности и стабильность являются превос-

ходными и сравнимы с самыми лучшими пластмассами и керамикой. Однако слюдяные конденсаторы относительно большие по размерам и дорого стоят, что является причиной замены их, например, полипропиленовыми конденсаторами. Конденсаторы со слюдяными диэлектриками часто используются в высокочастотных схемах, где важны небольшие потери мощности, высокая температурная и частотная стабильность. Их изготавливают с величинами емкости в пределах от 1 пФ до 0,1 мкФ.

### 18.2.5. Электролитические конденсаторы

**Электролитические конденсаторы** имеют алюминиевые или танталовые электроды, в которых поверхность анодного электрода («+» вывод) оксидирована, и этот очень тонкий оксидный слой используется в качестве диэлектрика. Для уменьшения расстояния между диэлектрическим оксидным слоем и катодным электродом («-» вывод) используется электролит с очень низким удельным сопротивлением.

#### 18.2.5.1. Мокрые алюминиевые электролитические конденсаторы

Эти конденсаторы имеют электролит, состоящий, например, из борной кислоты, гликоля, соли и растворителей. Электроды протравливаются в кислотных ваннах для получения пористых поверхностей. Таким способом можно увеличить площадь электродов почти в 300 раз. Диэлектрический оксидный слой анода создается в ванне гидратного электролита со скоростью  $13 \text{ \AA}/\text{В}$ . Катод снабжается тонким оксидным слоем (около  $40 \text{ \AA}$ ). Чтобы исключить контакт между электродными оксидными слоями, которые затем могут быть повреждены, между электродами размещают тонкую бумагу в качестве сепаратора. Так как электролит является отрицательным, корпус конденсатора соединяется с отрицательным выводом. Однако корпус не может быть использован как соединитель. Конструкция конденсатора показана на рис. 58.

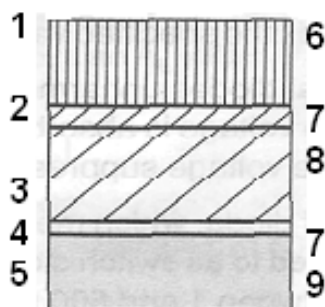


Рис. 58. Конструкция мокрого электролитического конденсатора:

1 – анод («+» вывод); 2 – диэлектрический слой; 3 – сепаратор; 4 – диэлектрический слой;  
5 – катод («-» вывод); 6, 9 – протравленная алюминиевая фольга;  
7 –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (окись алюминия); 8 – бумага и электролит

Оксидный слой действует как диод и проводит ток в обратном направлении. Максимальное обратное напряжение равно 1,5 В. Если это напряжение превышено, наступают катастрофические последствия. Эквивалентное последовательное сопротивление (*ESR*) мокрого алюминиевого электролита относительно высокое из-за высокого удельного сопротивления электролита, по сравнению с алюминием или медью.

**Температурная зависимость** очень велика, особенно при низких температурах. На нижнем пределе температурного диапазона *ESR* может быть в 20 раз выше, чем при комнатной температуре. Изменение емкости, обусловленное температурой, составляет  $\pm 20\%$  во всем температурном диапазоне.

**Ток утечки** диэлектрика оговаривается при номинальном напряжении. При более низком напряжении ток утечки снижается. При напряжении, равном половине номинального, ток утечки составляет только 20 % от заданного. Ток утечки возрастает с ростом температуры. На верхней границе температурного диапазона он в 10 раз выше.

**Срок службы** является неопределенным термином. Срок службы электролитического конденсатора – это срок его работы до тех пор, пока какой-либо из параметров не достигнет значения, выходящего за указанные пределы.

Разработано множество стандартов для измерения срока службы, поэтому сравнения затруднены. Измеряемыми параметрами, например, являются емкость, коэффициент рассеяния и ток утечки. Электролит подвержен старению и изменению различными путями. Он пробивается под воздействием химических реакций, оксидный слой также подвержен разрушению. Современные электролитические конденсаторы изготавливаются с использованием очень летучих сольвентов, которые испаряются, несмотря на эффективные уплотнения, и конденсатор высыхает. Высокая температура в конденсаторе заметно ускоряет старение. Снижение температуры на 10 °С увеличивает срок службы вдвое.

Мокрые алюминиевые электролитические конденсаторы изготавливаются с величинами емкостей от 0,1 мкФ до 0,5 Ф. Конденсаторы мощностью по напряжению свыше 500 В не выпускаются. Наиболее распространенным применением таких конденсаторов являются конденсаторы фильтров (накопительные конденсаторы) в электроснабжении.

Для напряжения переменного тока изготавливаются специальные алюминиевые электролитические конденсаторы, так называемые *неполяризованные алюминиевые электролитические конденсаторы*, в которых каждый провод питания присоединен к анодному электроду с оксидным слоем. Между анодами установлена катодная фольга без провода питания.

В начале XX века было начато изготовление **сухих алюминиевых электролитических конденсаторов**. Однако выпускаемые в то время конденсаторы имеют мало общего с современными сухими алюминиевыми электролитическими конденсаторами. Для различия двух групп конденсаторов современные конденсаторы с двуокисью марганца или органическими полупроводниками в качестве электролита часто называют **твердыми алюминиевыми электролитическими конденсаторами (SAL)**.

Первый тип конденсатора имеет электролит из двуокиси марганца и низкое сопротивление. Алюминиевые электроды протравливаются и погружаются в формовочные ванны для образования оксидного слоя. Плетеный фиброглассовый слой, который действует также как сепаратор между электродами, покрывается двуокисью марганца и располагается между электродами, которые намотаны или свернуты в компактный конденсаторный элемент. Затем конденсатор снабжается корпусом и проводами питания. Он имеет много преимуществ в сравнении с другими электролитическими конденсаторами: большой срок службы, отсутствие испарения электролита, широкий температурный диапазон от  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+175\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для некоторых типов – от  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , высокая теплоемкость, способность непрерывно функционировать при 30 % номинального напряжения в обратном направлении, а также то, что перегрев не приводит к короткому замыканию. Его срок службы не слишком зависит от температуры, как в других электролитах, но зависит от напряжения. Этот тип конденсаторов выпускается с емкостями в пределах от 0,1 мкФ до 2200 мкФ.

Второй тип имеет в качестве электролита органический полупроводник. Он состоит из комплексной соли, называемой TCNQ, обладающей превосходными электрическими и температурными свойствами. Этот тип также имеет протравленные электроды с сепаратором между ними. Кроме того, он имеет *ESR*, сравнимое с имеющимся в керамических и пластмассовых конденсаторах. И чтобы получить одинаково низкое *ESR* с мокрым алюминиевым электролитом, величина его емкости должна возрасти примерно в 50 раз.

Он находит применение как конденсатор фильтра при переключении электроснабжения, где высокая частота делает более важной величину *ESR*, чем емкость. Его нельзя применять при таких высоких температурах как конденсатор с двуокисью марганца, и  $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$  для него является максимально допустимой температурой. При низких температурах (до  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) он, как и тип с двуокисью марганца, имеет очень малое отклонение емкости и *ESR*. Он может обслуживать примерно 10 % номинального напряжения как обратное напряжение. Его срок службы более зависим от температуры,

чем у обычных мокрых электролитических конденсаторов. Срок службы 2000 ч при +105 °С возрастает до 20 000 ч при +85 °С. Перенапряжение может привести к короткому замыканию, но если ток меньше, чем 1 А, температура будет ниже +200 °С (температура пробоя электролита), и конденсатор работает без повреждений непрерывно. Эти конденсаторы выпускаются с величинами емкостей в пределах от 0,1 до 220 мкФ.

### 18.2.5.2. Танталовые электролитические конденсаторы

В танталовых конденсаторах (рис. 59) при их изготовлении в качестве диэлектрика применяется оксид тантала, который обладает превосходными электрическими свойствами. Анод конденсатора изготавливается из танталового порошка, который прессуется и спекается в пористый цилиндр или куб вокруг отрезка танталового провода. Примерно 50 % объема занимает воздух, что означает в 100 раз большую внутреннюю поверхность, чем наружная поверхность. После снабжения его оксидным слоем в кислотной ванне конденсаторный элемент погружается в раствор нитрата марганца, который заполняет все поры. Нитрат превращается в двуокись марганца, который становится сухим электролитом. Для получения контакта с катодным электродом, состоящим из проводящего агента, конденсаторный элемент покрывается слоем угольного графита. Танталовый конденсатор раннего типа с мокрым электролитом и серебряной оболочкой заменен сухим типом по ряду причин, включая и стоимость.

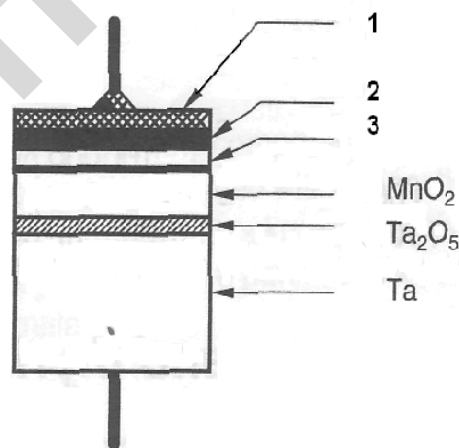


Рис. 59. Конструкция танталового электролитического конденсатора:  
1 – припой; 2 – серебряная эмаль; 3 – графит

Танталовый конденсатор имеет низкое *ESR*, обусловленное свойством тантала, и низкое удельное сопротивление оксида марганца. По габаритам он значительно меньше алюминиевого электролитического конденсатора эквивалентных параметров. Танталовые конденсаторы применяются для связывания,

развязывания, хранения энергии и в хранирующих схемах, где важным параметром является малый ток утечки. Самым крупным недостатком танталовых конденсаторов является склонность к коротким замыканиям при слишком большом напряжении или высокой температуре. Это может привести к возгоранию конденсатора. В ранних конструкциях танталовых конденсаторов рекомендовалось использовать серийный резистор 3 Ома/Вольт, чтобы ограничить ток заряда и разряда, что приводило к потере мощности и нагреву. Для современных конденсаторов рекомендуется схемный импеданс 0,1 Ом/В, т. е. вообще нет необходимости в серийном резисторе, поскольку сопротивление медных дорожек и проводников обеспечивает достаточную безопасность.

Максимальное обратное напряжение составляет 15 % от номинального напряжения при +25 °С, но снижается при более высоких температурах. При 85 °С он может обслуживать только 5 % в обратном направлении. Танталовые электролитические конденсаторы имеют высокую температурную стабильность. Они выпускаются с величинами емкостей от 0,1 до 1000 мкФ.

#### 18.2.6. Двухслойный конденсатор

**Двухслойный конденсатор** (конденсатор поддержки, «суперкэп», «голдкэп» и др.) – это нечто промежуточное между конденсатором и батареей. В отличие от всех других типов конденсаторов, он не имеет диэлектрика и работает согласно теории, опубликованной Гельмгольцем в 1879 г., по электрическим двойным слоям, в которых возникает свойство электрических зарядов притягиваться друг к другу и создавать положительный и отрицательный слой на разных сторонах контактной поверхности между двумя средами. Конденсатор конструируется из нескольких элементов (ячеек), соединенных последовательно и состоящих из двух слоев частиц активированного угля, пропитанных электролитом (рис. 60).

Между угольными слоями находится ионопроницаемый сепаратор 4. Два слоя и сепаратор заключены в вулканизированной резине 2. Когда к конденсатору приложено напряжение, и частицы угля анодного слоя заряжены положительно, а частицы угля катода заряжены отрицательно, отрицательные ионы электролита проходят через сепаратор и накапливаются вокруг положительных угольных частиц. Аналогично положительные ионы накапливаются в катодном слое. Следовательно, в конденсаторе этого типа могут храниться большие заряды. Один грамм угольного порошка теоретически может обеспечить емкость от 200 до 400 фарад.

Так как электролит ячеек содержит воду, максимальная емкость напряжения будет 1,2 В на ячейку. При этом напряжении вода разлагается на кислород



и водород. Конденсаторы имеют высокое ESR от 1 до 300 Ом, что сильно ограничивает ток разряда. Их можно полностью зарядить в течение примерно 1 мин, а срок службы равен более 10 тыс. циклов заряда/разряда или 10 лет непрерывного заряда. Ток утечки (саморазряд) равен около 1 мкА, а это означает, что примерно 50 % напряжения остается после месячного периода.

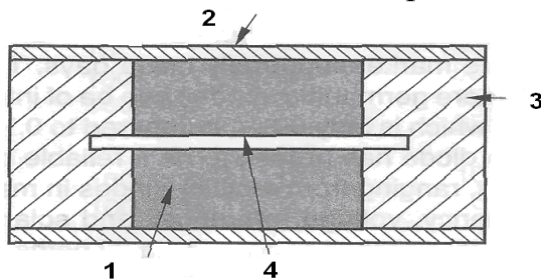


Рис. 60. Конструкция двухслойного конденсатора:  
 1 – активированный уголь с электролитом; 2 – проводящая резина;  
 3 – изолирующая резина; 4 – ионопроницаемый сепаратор

Температурная зависимость высокая. В диапазоне температур от  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  емкость может изменяться от  $-50$  до  $+150\%$ . ESR в три раза выше при  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , чем при комнатной температуре. Конденсаторы являются неполяризованными, но соединение с корпусом предпочтительно должно быть отрицательным. Конденсаторы выпускаются с пределами емкостей от 10 мФ [mF] до 22 Ф [F] и современные разработки имеют тенденцию к увеличению емкостей. Их используют для резервного напряжения, например в запоминающих устройствах и микропроцессорах. Но их используют также для хранения энергии с краткосрочными требованиями, например для пуска электродвигателя, замыкания релейного переключателя или генерирования импульса зажигания. Перевод номиналов емкостей показан в табл. 37.

Таблица 37

Перевод единиц емкостей

0.000001 $\mu\text{F}$	=	0.001 nF	=	1 pF
0.00001 $\mu\text{F}$	=	0.01 nF	=	10 pF
0.0001 $\mu\text{F}$	=	0.1 nF	=	100 pF
0.001 $\mu\text{F}$	=	1 nF	=	1000 pF
0.01 $\mu\text{F}$	=	10 nF	=	10000 pF
0.1 $\mu\text{F}$	=	100 nF	=	100000 pF
1 $\mu\text{F}$	=	1000 nF	=	1000000 pF
10 $\mu\text{F}$	=	10000 nF	=	10000000 pF
100 $\mu\text{F}$	=	100000 nF	=	100000000 pF

$\mu\text{F}$  (мкФ) – микрофарада

nF (нФ) – нанофарада

pF (пФ) – пикофарада

## 19. ДИОДЫ, ТРАНЗИСТОРЫ И ТИРИСТОРЫ

---

### 19.1. Общие сведения о полупроводниках

Отличительной особенностью полупроводниковых материалов является сильная зависимость их удельного сопротивления от внешних факторов: температуры, действия света, ионизирующих излучений и магнитных полей, а также от концентрации легирующих примесей в структуре.

Для создания современных полупроводниковых приборов в качестве исходного материала применяются элементарные полупроводники: *германий* Ge, *кремний* Si, *селен* Se, *теллур* Te; *соединения*  $A^{III}B^V$  ( $A^{III}$  – элементы третьей группы таблицы Менделеева,  $B^V$  – элементы пятой группы): арсенид галлия GaAs, арсенид индия InAs, фосфид галлия GaP, карбид кремния SiC и т. д.; *соединения*  $A^{II}B^{VI}$ ; *тройные полупроводниковые соединения*  $A^{II}B^{III}C^V$ ,  $A^I B^{III} C^{VI}$  и др.

Применяемые в радиоэлектронике полупроводники являются *примесными*. Свойства собственного полупроводника изменяются введением (легированием) в него при высокой температуре соответствующей примеси или ее внедрением (имплантацией). Для образования электронного типа проводимости (*n*-типа) в германии и кремнии используются в качестве примеси элементы пятой (фосфор, сурьма, мышьяк – *донорные примеси*), а дырочной проводимости (*p*-типа) – элементы третьей группы таблицы Менделеева (бор, алюминий, галлий – *акцепторные примеси*).

Развитие радиоэлектроники в послевоенные годы (начиная с 50-х г. XX в.) тесно связано с появлением полупроводниковой электроники. В 1947 г. американские исследователи Дж. Бардин и У. Бреттеин создали и испытали первый германиевый точечный транзистор. В 1951 г. Шокли продемонстрировал миру первый плоскостной транзистор, который получил впоследствии наиболее широкое распространение как «*n-p-n*-транзистор». В 1954 г. Гордон Тил [Gordon Teal] из компании «Texas Instruments» продемонстрировал самые первые образцы кремниевых транзисторов; и уже в 1955 г. на рынке появились первые промыш-

ленные партии таких транзисторов. В течение семи лет после этого события в США были внедрены сотни различных транзисторов.

В 1952 г. У. Шокли выдвинул идею создания полевого транзистора с управляемым «*p-n*-переходом» в качестве затвора. Идею Шокли реализовал в 1958 г. польский ученый С. Тешнер, работавший во Франции. В 1960 г. Д. Кинг и М. Аттала создали полевой транзистор с изолированным затвором (МОП-транзистор). В 1960 г. Д. Килби и Р. Найс (США) сообщили об изобретении интегральных схем, составляющих основу современной микро- и наноэлектроники. Разработка полупроводниковых микропроцессоров и микроконтроллеров, развитие микропроцессорной техники позволили в конце XX в. перевести радиоэлектронику на цифровую обработку информации.

Полупроводники составляют самую большую группу активных компонентов – от простых диодов до самых современных интегральных схем. Базисом конструкции таких компонентов является «*p-n*-переход». Переход между *p*- и *n*-областями проводит ток в одном направлении. В диоде, простейшим из полупроводниковых компонентов, эта односторонняя проводимость является основой его работы.

## 19.2. Диоды

Важнейшей функцией диода является обеспечение одностороннего протекания электрического тока. Когда диод имеет напряжение прямого смещения, он будет проводить ток, тогда как при напряжении обратного смещения он блокирует протекание тока. Это простое, но очень важное качество.

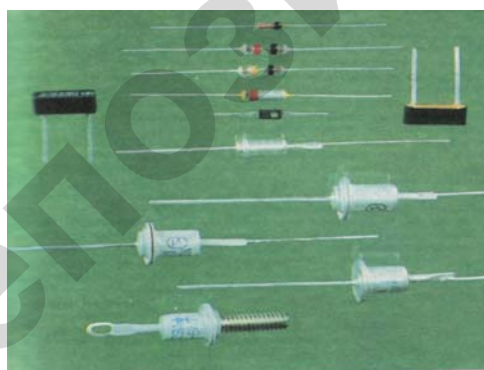
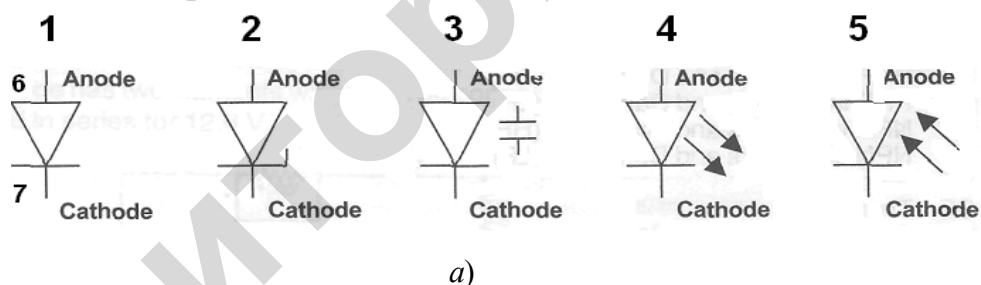
Первые диоды изготавливались из селена и германия, но в настоящее время господствующее положение на рынке заняли кремниевые диоды. Германиевые диоды находят свое применение и в настоящее время из-за их низкого падения прямого напряжения, составляющего только 0,3 В, в сравнении с 0,7 В для кремниевых диодов. Кремниевый диод также утвердил себя как надежный компонент, пригодный почти для всех применений: от выпрямительных диодов в схемах питания до радиочастотных применений, устройств эталонного (опорного) напряжения и в солнечных панелях. Диоды часто используются в качестве последовательных переключателей для контроля сигнальных путей в аудиоустройствах и в качестве шунтовых компонентов для присоединения и отсоединения осцилляторов в радиочастотных применениях (RF). Условные обозначения диодов показаны на рис. 61.

### 19.2.1. Выпрямительные диоды

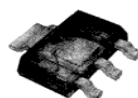
**Выпрямительные диоды** предназначены для выпрямления переменного тока с частотами от 50 Гц до 100 кГц. В качестве исходного материала для них используют в основном германий и кремний. Кремниевые диоды имеют падение прямого напряжения 0,7 В для диодов малой мощности, тогда как мощные диоды могут иметь падение прямого напряжения 1 В или более. Характерной особенностью выпрямительных диодов является низкое сопротивление в прямом направлении и большие прямые токи. Максимальное выпрямляемое напряжение диодов составляет 500–1000 В.

### 19.2.2. Лавинные диоды

**Лавинные диоды** – специальные диоды, работающие при обратных напряжениях, близких к пробое. Основное преимущество лавинных диодов перед силовыми выпрямительными диодами в том, что они не разрушаются при значительных перенапряжениях и после снятия напряжения восстанавливают свои параметры. Обратное пиковое напряжение гасится диодами, делая их пригодными для применений в качестве разрядников (подавителей) переходных и пиковых напряжений.



б)



в)



г)

Рис. 61. Условные обозначения некоторых диодов:

1 – диод; 2 – диод Зенера (стабилитрон); 3 – варикап; 4 – светоизлучающий диод (СИД) [LED]; 5 – фотодиод; 6 – анод; 7 – катод

Внешний вид диодов, варикапов и стабилитронов (б, в), динистора (г)

### 19.2.3. Переключающие диоды

**Переключающие диоды** – это тип быстродействующих диодов, имеющих малое время переключения. Их часто называют диодами переключения. Время их восстановления (переключения) находится в пределах от 1 нс до 500 нс.

### 19.2.4. Диоды малой утечки тока

Это разновидность диодов, имеющих очень малый ток утечки в обратном направлении.

### 19.2.5. Диоды Зенера (стабилитроны)

Полупроводниковыми стабилитронами, или диодами Зенера называются диоды, предназначенные для стабилизации напряжения. Их работа основана на использовании явления электрического пробоя «*p-n*-перехода» при его включении в обратном направлении. В этом случае область обратных напряжений, при которых наступает пробой, называется *областью стабилизации*. Для выхода стабилитрона на рабочий режим последовательно с ним должны быть соединены резистор или токовый генератор для ограничения тока. Температурный дрейф также должен быть минимальным. Минимальный температурный коэффициент напряжения ТКН имеют диоды Зенера, работающие в диапазоне напряжений от 5,6 до 6,2 В. Более низкое напряжение приведет к росту отрицательного температурного коэффициента, тогда как более высокое напряжение приводит к положительному коэффициенту.

Для уменьшения влияния температуры диоды включаются встречно последовательно. С диодом Зенера высокого напряжения включают обычный диод, и температурные коэффициенты будут компенсировать друг друга.

Для стабилизации напряжений в диапазоне ниже 2 В используются кремниевые диоды. Их называют **стабисторы**. Они работают в прямом направлении, что отличает их от диодов Зенера.

### 19.2.6. Варикапы

Полупроводниковый прибор с «*p-n*-переходом» может быть использован в качестве подстроечного конденсатора, управляемого напряжением. Специально созданные приборы, использующие зависимость барьерной емкости от обратного напряжения, называются **варикапами**.

Варикапы заменяют поворотные пластинчатые конденсаторы в контурах настройки. Их можно также использовать в каскадах частотного дублирования (удвоения), для систем переключения в узкой полосе частот и в параметрических усилителях.

### 19.2.7. Динистор (диодный тиристор)

**Тиристор** – это полупроводниковый прибор с двумя устойчивыми состояниями, имеющий три и более взаимодействующих выпрямляющих перехода, вольт-амперная характеристика которого имеет участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Тиристор, имеющий два вывода, называется **динистором**, или диодным тиристором (рис. 61, з). При превышении заданного напряжения имеет место пробой, и диак становится проводящим до тех пор, пока не станет очень малым удерживающий ток. Используется для управления двунаправленными триодными тиристорами.

### 19.2.8. Диоды ограничения тока

**Диодные ограничители** тока являются, по существу, полевыми униполярными транзисторами, в которых «исток» и «сток» соединены.

### 19.2.9. Туннельные диоды

**Туннельные диоды** имеют пробой уже при очень небольшом прямом напряжении, примерно при 0,1 В. При протекании через диод большого тока падение прямого напряжения возрастает до точки, где ток снижается при увеличении напряжения, т. е. как при отрицательном сопротивлении.

Если напряжение возрастает до 0,3 В, кривая поворачивается и показывает характеристики положительного сопротивления. Из-за своего отрицательного сопротивления туннельный диод может быть использован в качестве активного (квантового) элемента в генераторе (осцилляторе). Отрицательное сопротивление компенсирует потери сопротивления схемы, и возникают автоколебания.

### 19.2.10. PiN-диоды

**PiN-диоды** обычно используются в качестве переключателей в высокочастотных схемах. Они имеют низкое сопротивление в прямом направлении

и небольшую емкость при обратном напряжении. Это обеспечивает низкое затухание во включенном положении и высокое затухание в заблокированном положении. Определяющей характеристикой этого диода является инерция в процессе переключения. Это означает, что диод непрерывно не изменяет свои свойства в соответствии с радиосигналом, что, в свою очередь, не приводит к его искажению. Диод работает в основном как резистор для высоких частот. Инерция, время восстановления от обратного напряжения ( $\tau$ ) зависит от времени жизни неосновных носителей. PiN-диоды для микроволнового диапазона могут иметь величину ( $\tau$ ), равную нескольким наносекундам (нс), тогда как имеются PiN-диоды, постоянно используемые при частотах до нескольких МГц, с величинами ( $\tau$ ) в несколько миллисекунд (мс). Нижний предел частоты равен  $1/2 \pi \tau$ . Ниже этого предела диод работает как обычный *p-n*-переход.

Сопrotивление PiN-диода в прямом направлении может изменяться от 1 до 10 000  $\Omega$  (Ом) путем изменения протекающего тока. Это может быть использовано в устройствах демпфирования при измерении тока. PiN-диоды имеют собственный беспримесный слой полупроводникового материала (*i* – intrinsic (собственный)), который расположен между высоколегированными «*p*» и «*n*» областями полупроводника.

#### 19.2.11. Диод Ганна

**Диоды Ганна**, названные по имени их создателя Дж. Б. Ганна [J.V. Gunn] в корпорации IBM, используются, главным образом, в качестве осцилляторов в микроволновом диапазоне. Диод Ганна является диодом только в той мере, что имеет два вывода. Он не обладает эффектом выпрямления. В микроволновых устройствах лавинно-пролетные диоды (Impact Avalanche Transit Time) часто используются как усилители после осцилляторов на диодах Ганна.

#### 19.2.12. Светоизлучающие диоды (СИД) (LEDs)

**Светоизлучающий диод** (светодиод) – это диод с «*p-n*-переходом», который преобразует электрическую энергию в энергию светового излучения. В светодиодах свободные электроны рекомбинируют с «дырками», и лишняя энергия освобождается в виде квантов света. Более подробно СИД рассмотрены в разделе «Оптические компоненты».

### 19.2.13. Солнечные батареи

**Солнечные батареи** – полупроводниковый диод, принцип работы которого основан на эффекте поглощения энергии светового излучения и преобразовании ее в электрическую энергию. Изготавливаются фотодиоды (ФД) на основе «электронно-дырочных» переходов, контактов «металл-полупроводник» и гетеропереходов. При генерации фотонов вблизи «*p-n*-перехода» образуются пары «дырок» и электронов, которые разделяются на переходе. Разность потенциалов равна около 0,5 В, и максимальный ток зависит от поверхности ячейки, но чаще всего находится в пределах 1-2 мА. С применением параллельного или последовательного соединения можно создавать солнечные энергетические системы практически неограниченных размеров в качестве источников возобновляемой энергии.

### 19.3. Транзисторы

**Транзистором** называется электропреобразовательный прибор, предназначенный для усиления мощности и имеющий три и более выводов. Действие транзисторов основано на управлении движением носителей электрических зарядов в кристалле полупроводника. Внешний вид транзисторов показан на рис. 62.

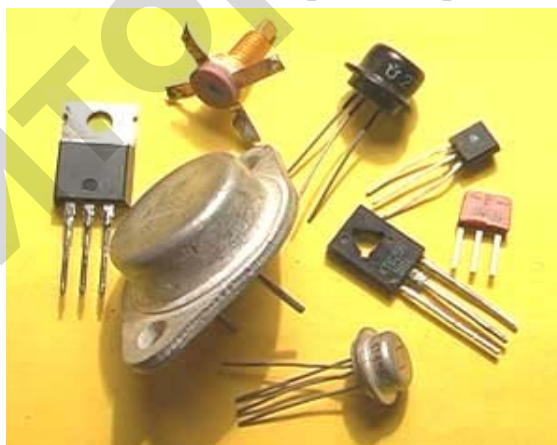


Рис. 62. Внешний вид транзисторов

Транзистор обладает способностью работать как усилитель тока и как усилитель напряжения. Транзисторы подразделяются на биполярные и полевые. Биполярные транзисторы обычно имеют три вывода, которые носят название «эмиттер», «база» и «коллектор». В полевых транзисторах (униполярные транзисторы) с управлением полем выводы называются «сток», «затвор» и «исток». Термин «транзистор» происходит от слов «transfer»



(«трансфер» – перенос, передача) и «resistor» («резистор» – сопротивление). Транзистор можно рассматривать как проводник электрического тока и как переменный резистор (регулируемое сопротивление, реостат). Двухполюсный транзистор функционирует как усилитель тока. Небольшой ток в базе управляет большим током между коллектором и эмиттером. Эквивалент базы в полевом транзисторе называется затвором, но вместо тока управления на затвор подается напряжение, которое дает возможность току протекать между истоком и затвором. Условные обозначения транзисторов показаны на рис. 63.

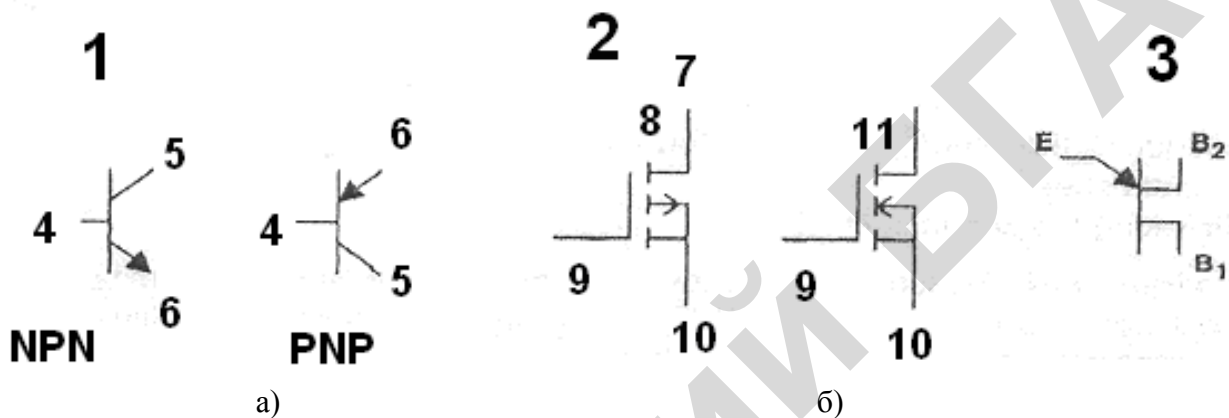


Рис. 63. Условное обозначение некоторых транзисторов. Транзистор «MOS» с обеднением обозначается так же, как и транзистор с обогащением, но с непрерывной линией между стоком и истоком: 1 – биполярные транзисторы; 2 – мощные MOS-транзисторы с обогащением; 3 – однопереходные транзисторы, двухбазовые диоды; 4 – база; 5 – коллектор; 6 – эмиттер; 7 – сток; 8 – «P»-канал; 9 – затвор; 10 – исток; 11 – «N»-канал; E – эмиттер; B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> – базы

Транзисторы, имеющие допустимую рассеиваемую мощность менее 1 Вт, относят к *маломощным*, а более 1 Вт – к *мощным*. Транзисторы с граничной частотой ниже 3 МГц относят к *низкочастотным*, выше 3 МГц – к *среднечастотным*, с граничной частотой, лежащей в пределах 30 – 300 МГц, – к *высокочастотным*, с граничной частотой выше 300 МГц – к *сверхвысокочастотным*.

По назначению транзисторы могут быть *универсальными*, *усилительными*, *генераторными*, *переключающими*, *импульсными* и др., в зависимости от типа схем, для применения в которых они предназначаются.

По физической структуре и технологии изготовления транзисторы подразделяют на *эпитаксиально-планарные*, *планарные*, *меза-планарные*, *диффузионно-сплавные* и др. По конструктивному оформлению различают *корпусные* и *бескорпусные* транзисторы; последние применяются в гибридных интегральных схемах и микросборках и могут иметь гибкие или жесткие выводы.

Некоторые транзисторы, как, например, мощные высокочастотные, имеют специальную конструкцию, чтобы оптимизировать высокочастотные свойства. Полевые транзисторы являются сегодня самыми распространенными дискретными компонентами. Они приняли роль, традиционно выполняемую биполярными транзисторами. Интегральные схемы в сочетании с полевыми транзисторами в большинстве случаев обеспечивают непревзойденные преимущества для высоких и низких частот, а также в источниках питания и для переключений.

**Биполярные транзисторы** можно наилучшим образом представить как два диода, направленные к базе ( $p-n-p$ ) или от базы ( $n-p-n$ ) (рис. 63).

**Однополюсные (униполярные) транзисторы** могут подразделяться на полевые [JFET – Junction Field Effect Transistor] транзисторы с управляемым переходом и на транзисторы со структурой «металл – окисел – полупроводник» [MOSFET – Metall Oxide Semiconductor Field – Effect Transistor].

Транзистор JFET основан на барьерном слое обратносмещенного  $p-n$ -перехода, ширина которого изменяется с изменением приложенного напряжения, и перекрывает канал протекания тока. Он имеет предельно высокое входное сопротивление и может функционировать как генератор тока, управляемый напряжением.

В транзисторе MOSFET (МОП-транзистор) входное сопротивление даже выше и управляющий электрод можно рассматривать как изолированный. Входное сопротивление равно 100 МОм. Однако входная емкость снижает импеданс с увеличением частоты. Мощный транзистор MOSFET может иметь очень высокую входную емкость – от нескольких сотен до нескольких тысяч пФ (пФ), что является важным фактором при проектировании, даже если иметь дело с низкочастотными конечными каскадами. Транзисторы MOSFET занимают сегодня доминирующие позиции в качестве мощных переключателей с превосходными характеристиками по времени переключения, допустимому отключению мощности, большой сфере безопасной работы [SOA = Safe Operating Area], а также хорошим свойствам  $dv/dt$ .

Полевые транзисторы имеют много преимуществ. Одним из них является то, что отрицательный температурный коэффициент для выходного тока транзистора способен предохранять его от теплового пикового тока в линейных каскадах.

Существуют два вида полевых транзисторов: работающие в режиме обеднения и в режиме обогащения. Транзистор с режимом обогащения при малом напряжении на затворе находится в закрытом состоянии и не проводит ток, пока

не увеличится напряжение на затворе выше порогового. Транзистор с режимом обеднения проводит ток при нулевом напряжении на затворе. Чтобы закрыть (запереть) транзистор, на затвор должно быть подано положительное напряжение, если это полевой транзистор с «*p*-каналом», или отрицательное напряжение – с «*n*-каналом».

**Биполярный транзистор с изолированным затвором [IGBT] [Insulated Gate Bipolar Transistor]** прекрасно сочетает в себе преимущества мощных транзисторов MOSFET и биполярных мощных транзисторов. Транзистор IGBT имеет небольшие потери мощности, в сочетании с высокими отклонениями биполярного транзистора для сложных нагрузок и простым возбуждением транзистора MOSFET.

**Двухбазовые диоды** известны также как **однопереходные транзисторы**. По существу, они сконструированы подобно однородной «*n*»-примесной области. В средней части этой области имеется «*p*-область». Это создает два диода с инверсным параллельным соединением с базовыми выводами с любого конца полосы и с эмиттером в «*p*-области». Если к этой области подать напряжение, потенциал будет пропорционален расстоянию от одного конца. Это означает, что область функционирует как делитель напряжения. Если напряжение между эмиттером и выводом отрицательной базы упадет ниже потенциала области в эмиттерной точке, «*p-n*-переход» запирается. Если напряжение «база-эмиттер» превышает этот потенциал, сопротивление в области снижается, поскольку эмиттер притягивает часть электронов, приходящих от отрицательной базы. Посредством этого напряжение «база-эмиттер» будет уменьшаться по мере увеличения тока эмиттера. Результат будет характерным для отрицательного сопротивления, что можно использовать для создания осциллятора. Двухбазовые диоды используются, например, в импульсных осцилляторах и пусковых схемах.

### 19.3.1. Основные транзисторные схемы

**Усилителем** электрических сигналов называется устройство, позволяющее при наличии на его входе электрического сигнала получить в нагрузке сигнал с большим уровнем мощности с сохранением формы и частоты. Существует несколько способов включения транзистора (как «*p-n-p*», так и «*n-p-n*-типов») в цепь: *с общей базой, с общим эмиттером и с общим коллектором*. В каждом способе включения один из выводов транзистора служит общей точкой, а два других являются входом и выходом. В совокупности с нагрузочным элементом *R* транзисторы образуют усилительные кас-

кады (рис. 64). Для работы транзисторов в качестве усилителей и обеспечения режимов его работы необходимы дополнительные цепи. Разновидности усилителей показаны на рис. 65 – 67:

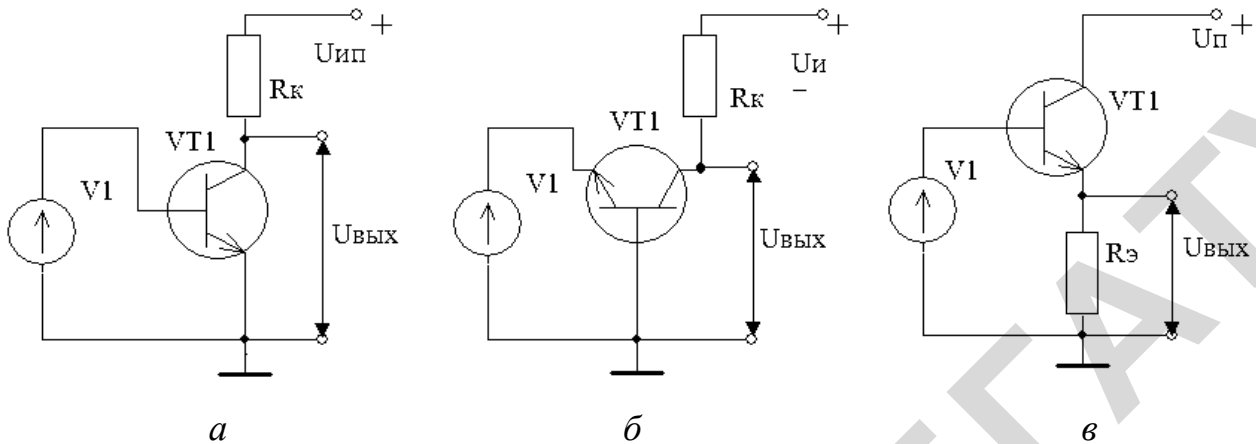


Рис. 64. Схемы транзисторных усилительных каскадов:

*a* – с общим эмиттером; *б* – общей базой; *в* – общим коллектором (эмиттерный повторитель)

Схема «СЕ» (с общим эмиттером) (СС – Common Emmiter) – рис. 65.

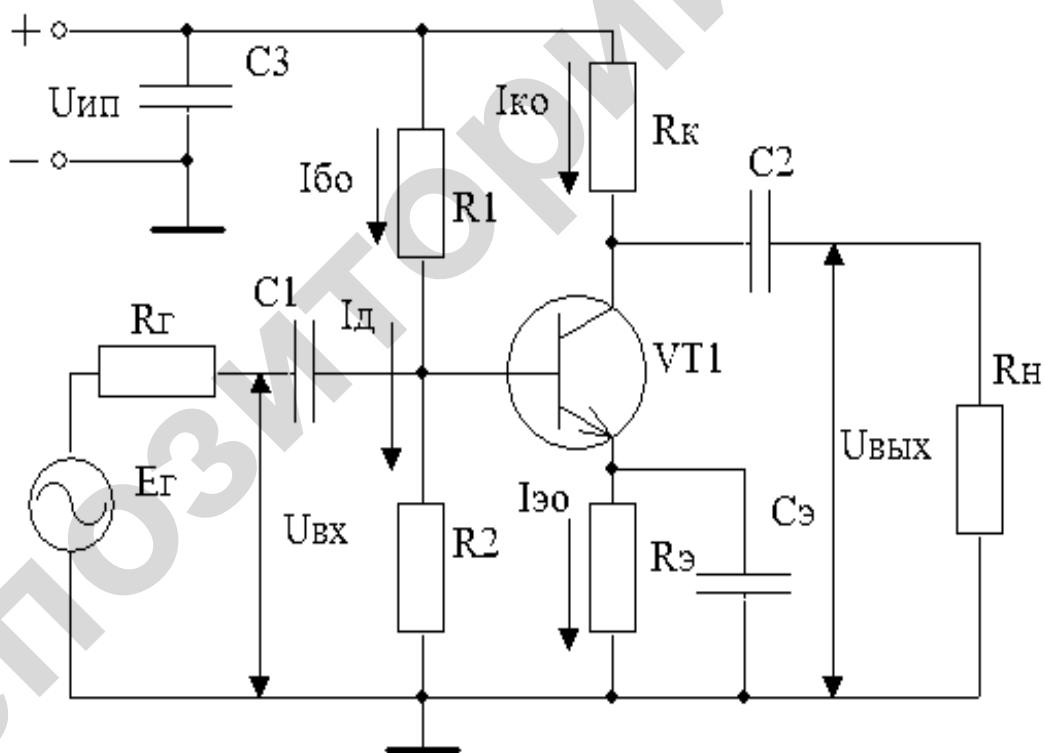


Рис. 65. Схема усилителя с общим эмиттером

Преимущество: высокое усиление.

Недостаток: в некоторых случаях может быть неустойчивым.

Схема «СС» (с общим коллектором), (СС = Common Collector) – рис. 66.

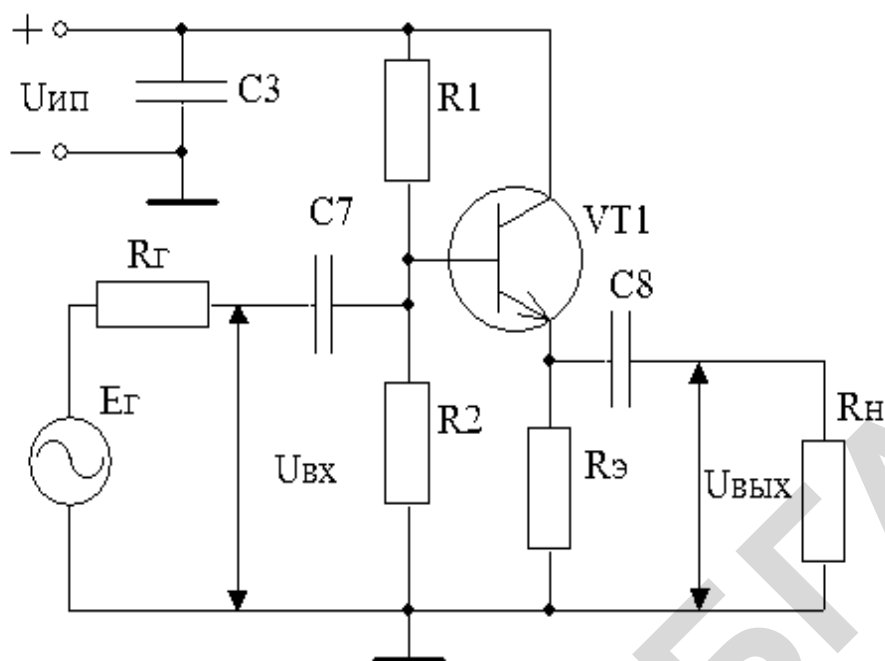


Рис. 66. Схема усилителя с общим коллектором

Используется как усилитель тока для создания преобразования импеданса (сопротивления).

Преимущество: низкое выходное сопротивление.

Недостаток: усиление по напряжению меньше 1.

Схема «СВ» (с общей базой) (СВ = Common Base) – рис. 67.

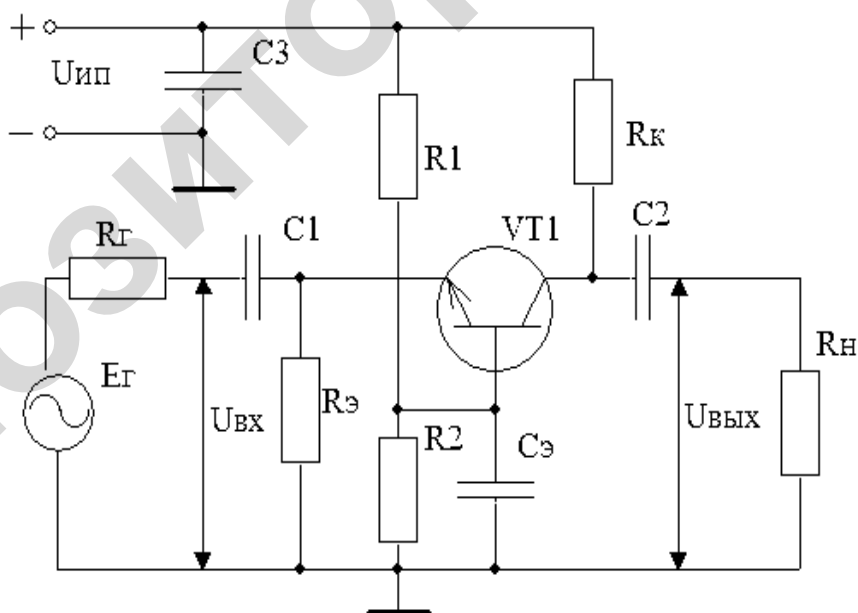


Рис. 67. Схема усилителя с общей базой

Преимущества: стабильность; использование в высокочастотных схемах.

Недостаток: более низкое усиление, в сравнении со схемами с общим эмиттером.

### 19.3.2. Некоторые замечания по схеме с общим эмиттером

Если в схеме усилителя (рис. 65) принять падение потенциала 1 В или более через сопротивление ( $R_e$ ) для хорошей температурной стабильности и так, чтобы на усиление не оказывал большого влияния разброс коэффициента усиления тока транзисторов, напряжение на базе должно составлять  $1 + 0,7 = 1,7$  В для кремниевых транзисторов, так как напряжение на эмиттерном переходе равно примерно 0,7 В (несколько меньше для маломощных транзисторов и выше – для мощных транзисторов).

Входной сигнал поступает на базу транзистора от генератора напряжения с внутренним сопротивлением  $R_g$ . Разделительный конденсатор С 1 служит для предотвращения протекания постоянной составляющей тока базы через источник входного сигнала. Конденсатор С 2 на выходе усилительного каскада обеспечивает выделение переменной составляющей коллекторного напряжения, которое поступает на нагрузочное устройство с сопротивлением  $R_n$ . Элементы  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_э$ ,  $C_э$  обеспечивают режим каскада по постоянному току и его температурную стабилизацию.

Сопротивление  $R_э$  образует эмиттерную обратную связь по постоянному току, которая снижает усиление. Это стабилизирует температурный дрейф и снижает разброс усиления в соединении из-за различий в коэффициентах усиления тока в отдельных транзисторах.

Конденсатор  $C_э$  шунтирует резистор  $R_э$  по переменному току. Выбор (С 1) и (С 2) связан с нижним пределом частоты. Заметим, что входной импеданс определяется параллельно соединенными величинами  $R_1$  и  $R_2$ , также параллельно с входным импедансом транзистора.

### 19.4. Тиристоры

**Тиристоры** являются четырехслойными структурой (« $p-n-p-n$ »). Обозначаются как диод, но с одним дополнительным выводом управляющего электрода. Тиристоры можно представить как два транзистора, соединенные друг с другом. Тиристоры не становятся проводящими (не возбуждаются) до тех пор, пока затвор (управляющий электрод) не будет соединен с положительным напряжением и не появится управляющий ток ( $I_{gt}$ ). Тиристор остается возбужденным независимо от того, есть ли прерывание управляющего тока, или подключено ли к затвору напряжение с отрицательной полярностью. Он может возвратиться в режим запираания (блокировки) посредством:

- уменьшения анодного тока до величины ниже тока удержания ( $I_h$ ), значение которого оговаривается в характеристиках;
- прерывания анодного тока.

**Симмистор (двунаправленный триодный тиристор)** можно охарактеризовать как два инверсных параллельно соединенных тиристора, встроенных в один блок (модуль), и имеющих общий управляющий электрод. Он запускается (отпирается) положительными или отрицательными импульсами и выключается, когда напряжение на нем равно нулю. Вывод, самый ближайший к управляющему электроду, называется МТ 1 (главный вывод «1»), а другой вывод – МТ 2. Пусковой импульс всегда связан с МТ 1. Условное обозначение триака приведено на рис. 68.

Полезным компонентом в схемах управления является динистор. Он имеет низкое напряжение возбуждения – около 30 В. Когда это напряжение превышено, он открывается и позволяет пусковому импульсу пройти через него.

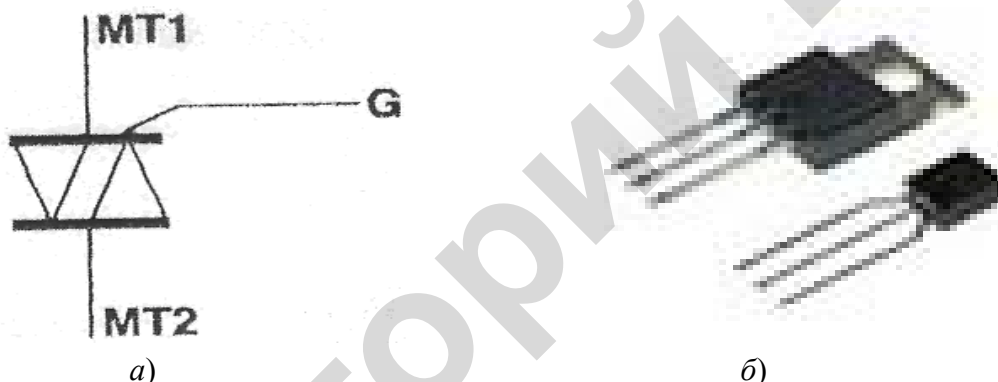


Рис. 68. Условное обозначение симмистора (а), внешний вид (б):

МТ 1 – главный вывод «1»; МТ 2 – главный вывод «2»;  $G$  – управляющий электрод

## 19.5. Системы обозначения полупроводников

Для обозначения полупроводников в настоящее время используются несколько независимых систем. Наиболее широко известной координирующей организацией по полупроводникам является JEDEC (Joint Electron Device Engineering Councils) – Объединенный Технический Совет по электронным устройствам (США). Все изготовители, принятые в члены JEDEC, выпускают электронные компоненты в соответствии с центральными спецификациями. Старейшей европейской организацией по стандартизации и управлению типовыми обозначениями является «ProElectron» («Проэлектрон»). Она была создана в 1966 г. в Брюсселе (Бельгия). Система позволяет группировать компоненты согласно сферам их применения, а также по материалам.

### 19.5.1. Европейская система ProElectron

Две или три буквы, следующие после 3-х или 4-х цифровой группы чисел, дают грубое представление о типах компонентов, а также об их классе.

#### Первая буква указывает материал:

- А – Ge, германий или материал с запрещенной зоной 0,6 – 1 eV (1 эВ – один электрон-вольт);
- В – Si, кремний или другой материал с запрещенной зоной 1,0–1,3 эВ;
- С – GaAs, арсенид галлия или другой материал с запрещенной зоной более 1,3 эВ.

#### Вторая буква указывает тип компонента:

- А – Диоды, сигнальные, низкого уровня.
- В – Емкостные диоды.
- С – Транзисторы, низкой частоты, низкого уровня.
- Д – Транзисторы, низкой частоты, мощные.
- Е – Туннельные диоды.
- F – Транзисторы, высокой частоты, низкого уровня.
- Н – Диоды, эффект Холла, низкого уровня.
- L – Транзисторы, высокой частоты, мощные.
- N – Оптопереключатели.
- P – Фототранзисторы.
- Q – светоизлучающие диоды, лазерные диоды.
- R – Тиристоры, низкого уровня.
- S – Транзисторы, переключения, малой мощности.
- T – Тиристоры, мощные.
- U – Транзисторы, мощные, переключения.
- W – Поверхностные волновые компоненты .
- X – Диоды, высокочастотный (HF) мультипликатор.
- Y – Выпрямители, бустерные.
- Z – Диоды Зенера, опорного напряжения.

Третья буква указывает, что компонент спроектирован для промышленных или профессиональных применений: обычно W, X, Y или Z. После этих букв следует серийный номер с 3-4-мя цифрами, и в некоторых случаях дополнительная буква, которая может указывать, например, коэффициент усиления.

### 19.5.2. Американская система JEDEC

Американская система не лишена двусмысленностей. Грубо говоря, транзистор, который начинается с «2N», например, «2N2222», может быть биполярным, тогда как «2N3819» является полевым (JFET). Обозначение,



которое начинается с «3N», например, «3N128», указывает, что это транзистор MOSFET (полевой МОП–транзистор). Некоторые изготовители также используют буквенные обозначения, например, TIP34, MJE3055 и т. д.

### 19.5.3. Японская система J I S

#### Первая цифра:

1. Два вывода.
2. Три вывода.
3. Четыре вывода.

#### Две следующие буквы:

SA – Транзисторы PNP и Дарлингтона (составные), высокой частоты.

SB – Транзисторы PNP и Дарлингтона (составные), низкой частоты.

SC – Транзисторы NPN и Дарлингтона (составные), высокой частоты.

SD – Транзисторы NPN и Дарлингтона (составные), низкой частоты.

SE – Диоды.

SG – Диоды Ганна.

SH – Однопереходные транзисторы.

SJ – Полевой транзистор, «P» - канальный.

SK – Полевой транзистор, «N» - канальный.

SM – Триаки, двунаправленные тиристоры.

SQ – Светоизлучающие диоды (LEDs).

SR – Выпрямительные диоды.

SS – Сигнальные диоды.

ST – Лавинные диоды.

SV – Емкостные диоды, диоды PIN.

SZ – Диоды Зенера.

Серийный номер состоит из 2-4-х цифр в числовом диапазоне между 10 и 9999. За ним следует индекс, состоящий из одной или нескольких букв. Последняя буква указывает на сферу применения полупроводника.

D – Одобрено Японскими властями в области телекоммуникаций (NTT).

G – Компонент используется для коммуникаций.

M – Одобрено Японским военно-морским флотом (DAMGS).

N – Одобрено Японской радиовещательной корпорацией (NHK).

S – Предназначен для промышленного применения.

Обозначения по японскому промышленному стандарту (J I S) не указывают, из чего изготовлен полупроводник – из кремния или германия. Первые два знака зачастую опускаются на чертежах, а также на печатных серийных номерах на самих компонентах. Это означает, что транзистор типа 2SC940 может быть обозначен C940.

## 19.6. Электронные лампы

Электронные лампы, которые, вероятно, рассматриваются многими как предшественники транзисторов, не во всех областях заменены ими. Существуют специальные сферы, в которых лампы еще используются, например, для проходных мощных усилителей для высоких частот. Рентгеновские трубки и трубки Гейгера-Мюллера относятся к специальным устройствам – катодно-лучевым трубкам. Кроме того, в будущем мы будем нуждаться в лампах для запасных частей. Одной из областей применения, в которой эти лампы действительно подвержены возрождению, являются мощные усилители для аудиоаппаратуры.

Ровные тона доминируют в этих лампах, а неравномерные гармонические составляющие, которые неприятны для уха, являются более ослабленными. Свойства насыщения в выходном трансформаторе способствуют этому «ламповому звуку». Это несколько не касается гитарных и басовых усилителей, в которых сигналы зачастую срезаются. Более мягкая срезка означает возможность модуляции мощного усилителя в более высокую среднюю мощность без ухудшения звучания. Это главная причина, почему ламповый усилитель может звучать намного громче, чем транзисторный усилитель, несмотря на то, что оба они имеют одинаковую измеренную мощность на выходе.

Вновь пробудившийся интерес к этим лампам для аудиосистем привел к разработке специальных аудиоламп. Они имеются в наличии в виде согласованных пар, выбираемых в соответствии со спектральным анализом. Определенные свойства введены в обозначения. В этом аспекте США и Европа имеют разные стандартные обозначения.

### 19.6.1. Европейские стандартные обозначения

Первая буква указывает напряжение накала/ток накала: А – 4 В; Е – 6,3 В; D – 1,4 В батарейного напряжения; G – 5 В; H – 150 мА серийной нити; K – 2 В батарейного напряжения; P – 300 мА серийной нити. Первая буква Q указывает, что это тетрод для проходных мощных усилителей.

Вторая буква оговаривает тип лампы: А – диод; В – двойной диод; С – триод; F – пентод для малых сигналов.

Третья буква указывает на то, выполняет ли лампа двойные функции или большее количество функций: например, ЕСС83 обозначает двойной триод с напряжением на нити накала 6,3 В переменного тока.

Иногда цифры и буквы меняются местами, чтобы указать на специальный тип лампы. Например, Е83СС обозначает то же самое, что и ЕСС83, но относится к модели с длительным неактивным периодом.

Имеются буквенные обозначения специальных ламп, которые вообще не укладываются в эту систему. Например, британская лампа КТ66 имеет напряжение накала 6,3 В, несмотря на вводящую в заблуждение первую букву «К», которая обозначает напряжение 2 В.

### **19.6.2. Американские стандартные обозначения**

Американские обозначения ламп обычно начинаются с цифры, указывающей напряжение накала, но в других отношениях из этих обозначений невозможно сделать какие-либо выводы. Американская лампа 12АХ7 является эквивалентом европейской лампы ЕСС83, что может показаться запутанным. Это обусловлено тем фактом, что этот двойной триод имеет две нити накала, которые могут быть присоединены параллельно для 6,3 В или последовательно для 12,6 В.

## 20. ОПТИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ

---

### 20.1. Светоизлучающие диоды (LEDs)

**Светоизлучающие диоды** [Light-Emitting Diodes] излучают свет (фотоны) при прохождении тока в прямом направлении через «*p-n*-переход» из «*p*-области» к «*n*-области» (рис. 68). Свет, который имеет довольно хорошо определяемый спектр, создается путем рекомбинации носителей заряда в «*p-n*-переходе». Наиболее широко используемыми материалами и их типичными цветами (длины волн) являются:

- арсенид галлия, GaAs, излучает свет от инфракрасного до красного цвета (650 нм);
- фосфид арсенида галлия, GaAsP, излучает свет от красного до желтого цвета (630-590 нм);
- фосфид галлия, GaP, излучает свет от зеленого до сине-зеленого цвета (565 нм);
- нитрид галлия, GaN, излучает синий цвет (430 нм);
- нитрид индия-галлия, InGaN/YAG, излучает белый свет.

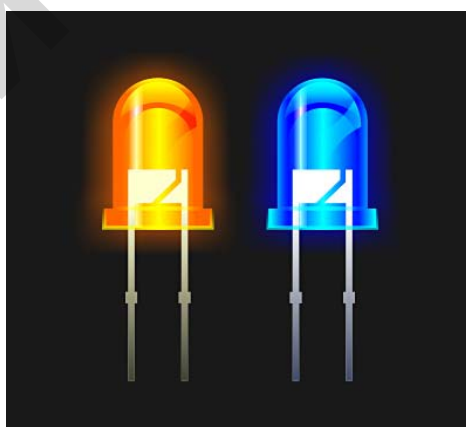


Рис. 68. Внешний вид светодиодов

К светодиодам прикладывается напряжение прямого смещения. Это означает, что ток должен быть ограничен последовательным резистором. Падение прямого напряжения равно примерно 1,4 В светодиодов на GaAs, 2 В – на GaAsP и 3 В – на GaP.

Конструктивно у многих типов диодов анодный вывод обычно короче катодного. Для диодов с монтажом на поверхности катодную сторону обычно маркируют цветом.

Светодиоды бывают как независимые компоненты или как части сегментных модулей (дисплеи), но их также устанавливают в кнопках со встроенной подсветкой. Двухцветные светодиоды используют два диода, соединенных параллельно, но повернутых в противоположных направлениях, для простых форм индикации или в многоцветных комбинациях в дисплеях и кнопках.

## **20.2. Приемники светового излучения (детекторы света)**

**Приемники светового излучения** могут быть с внешним источником напряжения или без него. Это собирательное название, охватывающее несколько типов компонентов.

### **20.2.1. Фотодиоды**

**Фотодиоды** – это фактически обычные диоды с приложенным напряжением обратного смещения. Когда  $p$ - $n$ -переход освещен, будет увеличиваться обратный ток (ток утечки). Диоды Шоттки (диоды с переходом «металл-полупроводник») функционируют подобным образом.

### **20.2.2. Фотопроводники или фоторезисторы**

**Фотопроводники или фоторезисторы** изменяют свое сопротивление в соответствии с уровнем света. Самая высокая чувствительность имеет место при определенной длине волны, определяемой подобранным полупроводниковым материалом и степенью помех. Они имеют большую ширину полосы частот и светочувствительность, но отличаются большим временем возврата в исходное состояние.

### **20.2.3. PIN-диоды**

**PIN-диоды** используют напряжение обратного смещения. Они имеют широкую полосу частот, низкий шум и большое быстродействие. Используются в качестве быстродействующих приемников оптического излучения.

#### **20.2.4. Фототранзисторы**

**Фототранзисторы** функционируют как обычные транзисторы, но избыточный заряд на базе создается входящим светом, а не током. Фототранзисторы действуют несколько медленнее, чем фотодиоды, но на выходе получается усиленный сигнал.

#### **20.2.5. Лавинные фотодиоды**

**Лавинные фотодиоды** – это высокочувствительные полупроводниковые приборы, преобразующие свет в электрический сигнал за счет фотоэффекта. Их можно рассматривать в качестве фотоприемников, обеспечивающих внутреннее усиление посредством эффекта лавинного умножения. С функциональной точки зрения они являются твердотельными аналогами фотоумножителей.

### **20.3. Оптопары (оптроны)**

**Оптопары** состоят из комбинации светопередатчика и светоприемника (детектора). Их можно использовать для передачи сигналов между устройствами, которые гальванически не соединены друг с другом. Передатчик оптрона обычно состоит из светодиода, а приемник – из фоторезистора, фотодиода или тиристора. Оптроны часто используют в цепях обратной связи, например, в управлении источников питания. Их легко смонтировать, как автоматические устройства, и они не имеют нижнего предела частоты, в отличие от импульсных трансформаторов. Имеются также оптопары с такими линейными характеристиками, что их можно использовать для передачи аналоговых сигналов.

### **20.4. Лазер**

**Лазер** [Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation] – оптический квантовый генератор (квантовый усилитель оптического диапазона) появился как:

- твердотельный лазер с оптической накачкой: например, рубиновый лазер;
- газоразрядный лазер: например, гелий-неоновый лазер (HeNe);
- полупроводниковый лазер с токовой накачкой.

Лазер генерирует свет определенной частоты, все исходящее излучение находится в фазе, так называемое «когерентное излучение».

Полупроводниковый лазер – это «*p-n*-переход», в котором «дырки» и электроны рекомбинируют, создавая фотоны по аналогии со светодиодом. Различие состоит в том, что светодиод не имеет усиления через стимулированную эмиссию, обеспечиваемую полупроводниковым лазером, и он генерирует намного более интенсивный и когерентный свет. Как правило, используется арсенид галлия (GaAs) с очень высоким легированием. «*P-n*-переход» расслоен в прямоугольном поперечном сечении с концевыми (граничными) поверхностями, воздействующими как зеркала на резонатор лазера.

## 20.5. Дисплеи

Дисплеи, или дисплейные экраны, могут быть выполнены на основе электронно-лучевых трубок, как в телевизионных приемниках или мониторах, жидких кристаллов – жидкокристаллические дисплеи [LCD – Liquid Crystal Display], эффекта электролюминесценции – электролюминесцентные экраны [EL], при переходе к дисплеям малого размера, из светоизлучающих диодных матриц [LED], и плазменные [PDP (Plasma Display Panel)] большого размера.

### 20.5.1. Жидкокристаллические дисплеи [LCDs]

Жидкокристаллические дисплеи (ЖКД) потребляют очень малую мощность и, следовательно, пригодны для систем с батарейным питанием. Жидкость удерживается между двумя подложками (субстратами), на которых протравлены электроды. Когда на жидкость действует электрическое поле, кристаллы изменяют направление, прерывая свет. Различные типы ЖКД имеют весьма отличающиеся характеристики. Более ранние типы, называемые «Twist Nematic», имели очень плохой контраст с очень ограниченным углом зрения (обзора). Это представляет определенную проблему при переходе к более крупным дисплеям.

Так называемые дисплеи «Super Twist Nematic» (STN) обеспечивают значительно усиленный контраст, который можно наблюдать под углами  $\pm 45^\circ$ . ЖКД не излучают никакого света, но часто отсвечивают соответствующими цветами. Освещение, используемое для отсвечивания, может быть обеспечено посредством светодиодов, холодных катодно-лучевых ламп или электролюминесцентных плат. Отражающие дисплеи отражают свет, а транс-отражающие

дисплеи имеют рефлекторное послесвечение, позволяющее обеспечить прохождение света, который, следовательно, может быть обратным светом.

### **20.5.2. Дисплеи «LCD – cSTN»**

**Дисплеи «cSTN»** (Colour Super Twist Nematic) являются пассивными цветными дисплеями с низким потреблением мощности, пригодными для систем с батарейным питанием, особенно, если они относятся к отражательному или транс-отражательному типу.

### **20.5.3. Дисплеи LCD – TFT**

**Дисплеи «LCD – TFT»** (Thin Film Transistor) на базе тонкопленочных транзисторов обеспечивают хороший контраст 40:1 и высокую частоту регенерации кадров. Увеличение контраста достигается каждым «пикселем» [pixel], имеющим свой собственный транзистор, изготовленный в аморфном силиконе непосредственно на стекле экрана. Транзистор посредством своего усиления обеспечивает более мощное возбуждение жидкого кристалла. Световая прозрачность составляет только около 3 %, что означает большое потребление энергии на обратный свет. Дисплеи «TFT» в цветном режиме используют такую же технику, что и цветные катодно-лучевые трубки. Отдельные «пиксели» ориентируются в красно-сине-зеленом формате [RGB].

### **20.5.4. Дисплеи «LCD – LTPS – TFT»**

**Дисплеи «LCD – LTPS – TFT»** (Low Temperature Poly Silicon – Thin Film Transistor) на основе низкотемпературного поликремния и тонкопленочного транзистора напоминают обычные тонкопленочные транзисторные дисплеи, но путем использования кристаллизованного кремния на стеклянных подложках достигается высокая степень интеграции, и значительно большее количество задающих («driver» – драйверных) электронных схем можно сконструировать непосредственно на стеклянной подложке, что позволяет иметь дисплеи малой мощности с батарейным питанием.

### **20.5.5. Электролюминесцентные дисплеи «EL»**

**Электролюминесцентные дисплеи** имеют хорошую яркость (с. 100 cd/m<sup>2</sup>) и относительно хороший контраст (с. 20:1). Цвет – желтый. Напряжение питания



минимум 80 В и минимум 60 Гц – подводится к слою цинка и фосфора. Напряжение вызывает миграцию электронов в материале фосфора, что приводит к излучению света.

### **20.5.6. Плазменные (газоразрядные) дисплеи**

**Плазменные (газоразрядные) дисплеи** имеют отличный контраст, вплоть до 150:1, но должны питаться высоким напряжением. Имеются плазменные экраны для телевидения с высокой яркостью (с. 400 cd/m<sup>2</sup>). Элементы в цветном плазменном дисплее способны функционировать, потому что ионизированный газ дает ультрафиолетовое излучение, которое, в свою очередь, обеспечивает энергию для фосфорных точек по аналогии с электронным лучом в электронно-лучевой трубке [CRT = Cathode Ray Tube] для телевидения.

### **20.5.7. Вакуумные флуоресцентные дисплеи**

**Вакуумные флуоресцентные дисплеи** имеют высокую интенсивность света с яркостью, которая примерно в 45 раз превышает такие же параметры электролюминесцентных дисплеев (EL). Цвет зачастую зеленый, но может быть также белым, оранжевым или синим.

### **20.5.8. Электронно-лучевые трубки**

**Электронно-лучевые трубки** [CRT = Cathode Ray Tubes] до сих пор являются типом индикаторов, которые обеспечивают самую высокую яркость (до 700 cd/m<sup>2</sup>), а также высокую контрастность. Операционные системы с электронно-лучевыми трубками являются сложными: видеоусилитель для регулировки яркости, сложная система отключения светового пучка, коррекция сходимости (конвергенция) для цветных трубок, и зачастую требуются схемы для противодействия искажению изображения, вызываемому, например, плоским и квадратным экраном.

### **20.5.9. Дисплейные модули**

**Дисплейные модули** означают, что сам дисплей любого типа (жидкокристаллический, СИД, тонкопленочный транзисторный, вакуумно-флуоресцентный, электролюминесцентный) дополняется усилительной (задающей) электроникой, которая уплотняет сегменты или содержит дешифратор и обычно микропроцессор для работы непосредственно по американскому стандартному коду для обмена информацией (ASCII) или видеосигналу.

**Скорость**, иначе говоря, переход от белого к черному и наоборот, заметно изменяется в различных типах индикаторов. Дисплей LED может изменять в пределах 10 нс, тогда как время перехода для CRT может быть менее 0,1 мс, для плазменного дисплея – около 1 мс, для электролюминесцентного (EL) – от 0,1 мс до 1 с и от 10 мс до 1 с – для LCD/TFT.

Время перехода для жидких кристаллов быстро возрастает по мере снижения температуры, и их функционирование полностью прекращается при температурах ниже  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 21. ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

---

**Операционный усилитель (ОУ)** впервые появился в 1960-х г. и с тех пор подвергся всесторонней разработке. Упрощенно его можно охарактеризовать как усилитель с одним инверсным (-) и одним прямым (+) входами (рис. 69). Разность напряжений между входами усиливается и обычно операционный усилитель имеет очень высокое усиление. При наличии обратной связи может быть получено желаемое усиление. Обратная связь увеличивает ширину полосы частот и улучшает линейность. Большинство типов операционных усилителей могут функционировать с обратной связью вплоть до коэффициента усиления от единицы до  $5 \cdot 10^7$  без каких-либо проблем устойчивости. Для некоторых типов для предотвращения возбуждения на некоторых частотах они должны иметь коррекцию с помощью RC-цепочек.

Максимальный размах (отклонение) выходного напряжения на выходе зависит от используемого напряжения питания. Традиционно преобладают типы усилителей с напряжением питания  $\pm 15$  В, но в настоящее время существует множество типов усилителей, принадлежащих нескольким семействам, для различных сфер применения и напряжений питания.

В некоторых применениях требуется низкий дрейф нуля, т. е. небольшое отклонение напряжения смещения на входе и низкий температурный дрейф напряжения. Чтобы удовлетворять этим требованиям, был разработан *стабилизированный усилитель операционный с прерывателем*. Входное напряжение прерывается с высокой частотой в аналоговой вентильной схеме и конденсатор обеспечивает хранение между процессами выборки. Такая техника прерывания позволяет получить погрешность напряжения только  $\pm 1$  мкВ. Дрейф напряжения может быть ниже  $0,05$  мкВ/°С. Техника прерывания используется, в основном, для статических и низкочастотных сигналов.

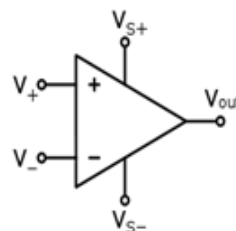
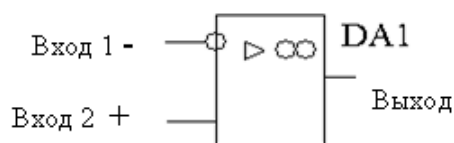


Рис. 69. Условные обозначения операционного усилителя

Когда оба входа операционного усилителя используются как одинарный балансный вход, важно, чтобы синфазные сигналы были балансными. В технических характеристиках оговаривается затухание (ослабление) в дБ, так называемый «коэффициент подавления синфазного сигнала» [CMRR = Common Mode Rejection Ratio].

Быстродействие ОУ обычно указывается в виде параметра [slew rate], означающего производную максимального напряжения или на сколько вольт может возрасти напряжение сигнала за одну микросекунду. Высокая производная напряжения соответствует широкой полосе частот.

Шум определяется шум-фактором. Обычно он выражается в нВ/Гц. Это означает, что напряжение шумов (фона) увеличивается с корнем квадратным используемой ширины полосы частот.

Для многих применений требуется высокий входной импеданс. В этих случаях предпочтительно использовать операционный усилитель с полевым [FET] транзистором или полевой МОП-транзистор [MOSFET] на входе. При использовании аппаратуры «bifet» (комбинация биполярного и полевого транзисторов) в одном чипе можно смешивать схемы с полевым и биполярным транзисторами. Усилители MOSFET обеспечивают даже более высокое входное сопротивление, поскольку входы, по существу, являются чисто емкостными, но на практике входное сопротивление такое же, как и для FET. Это обусловлено тем, что MOSFET должен предохраняться защитными диодами и что ток утечки внутри их снижает входное сопротивление.

К двум специальным типам усилителей относится усилитель Нортон [Norton] и усилитель крутизны [transconductance amplifier].

Усилитель Нортон имеет очень низкое входное сопротивление и является усилителем тока. В принципе, оба обращенных входа можно рассматривать как диод. Его можно назвать также «дифференциальным усилителем тока».

### **21.1. Усилитель крутизны**

**Усилитель крутизны** выполнен по CMOS-технологии и имеет высокоомный дифференциальный вход. Характерной чертой его является наличие третьего входа, которым можно контролировать усиление по току.

## 21.2. Компараторы

**Компараторы** по конструкции такие же, как и операционные усилители, но оптимизированы для быстрого переключения с полного положительного на полное отрицательное выходное напряжение, и наоборот – при небольшом изменении входного напряжения. Иногда используется определенная степень обратной связи, чтобы обеспечить гистерезис для уровней переключения. Так создается более надежное переключение и снижается риск колебаний при медленном изменении входного сигнала.

## 21.3. Приборные усилители

**Приборный усилитель** является вариантом операционного усилителя с интегральными резисторами, которые обеспечивают фиксированное и программируемое усиление. Высокое подавление синфазных сигналов (СММР) является другим требованием, поскольку для измерительных применений часто используют дифференциальный вход. Приборный усилитель часто создает высокоомную нагрузку для источников сигналов с очень низким выходным напряжением.

## 21.4. Усилитель с единичным усилением

**Усилитель с коэффициентом усиления, равным 1**, представляет собой операционный усилитель, вход которого соединен с выходом операционного усилителя. Этот тип усилителя обеспечивает коэффициент усиления, равный 1, отсюда и его название. Он используется для уменьшения выходного сопротивления схемы и согласования с низкоомной нагрузкой, подобно эмиттерному повторителю.

## 21.5. Усилитель малой мощности

**Усилитель малой мощности** специально приспособлен для потребления возможно малой мощности и имеет наименьшее возможное напряжение питания. Имеются усилители, потребляющие менее 1 мкА(αА) длительного

тока, а усилители с низким напряжением питания можно успешно использовать для многих переносных измерительных приборов, в которых для питания имеются только два батарейных элемента.

## 21.6. Видеоусилитель

**Видеоусилитель** оптимизирован для усиления видеосигналов. Такие операционные усилители обычно имеют ширину полосы частот свыше 100 МГц. Они также адаптированы к низкому уровню шума и имеют хорошие фазные свойства. Кроме того, многие типы имеют настолько высокую операционную способность, что их можно нагружать на 75 Ом.

## 21.7. Малошумный усилитель

**Малошумный усилитель** спроектирован для специальных измерений, аудио- и видео применений и предлагает наилучшие шумовые характеристики. Он позволяет проектировать и изготавливать системы повышенного технического уровня при производстве звукового и видеооборудования с профессиональными характеристиками.

## 21.8. Развязывающий усилитель

**Развязывающий усилитель** осуществляет линейную передачу сигналов, когда входы и выходы гальванически разделены от потенциалов земли. Эта передача может быть оптической, индуктивной и емкостной. Такой тип усилителя может иметь дело с напряжением во много тысяч вольт между входом и выходом, а сопротивление изоляции может быть свыше 10 МОм. Этот усилитель также может подавлять синфазные сигналы более чем 100 дБ. Это значит, что можно следить за малыми сигналами, которые присоединены к сильно измененному потенциалу. Примером их применения являются медицинские технологии, где жизненно необходимо иметь высокое сопротивление изоляции между пациентом и оборудованием. Другим примером применения является сбор величин измерений в окружающей среде, имеющей области с высоким уровнем шума. Разновидности электронных схем на основе операционного усилителя с обратными связями приведены на рис. 70-73.

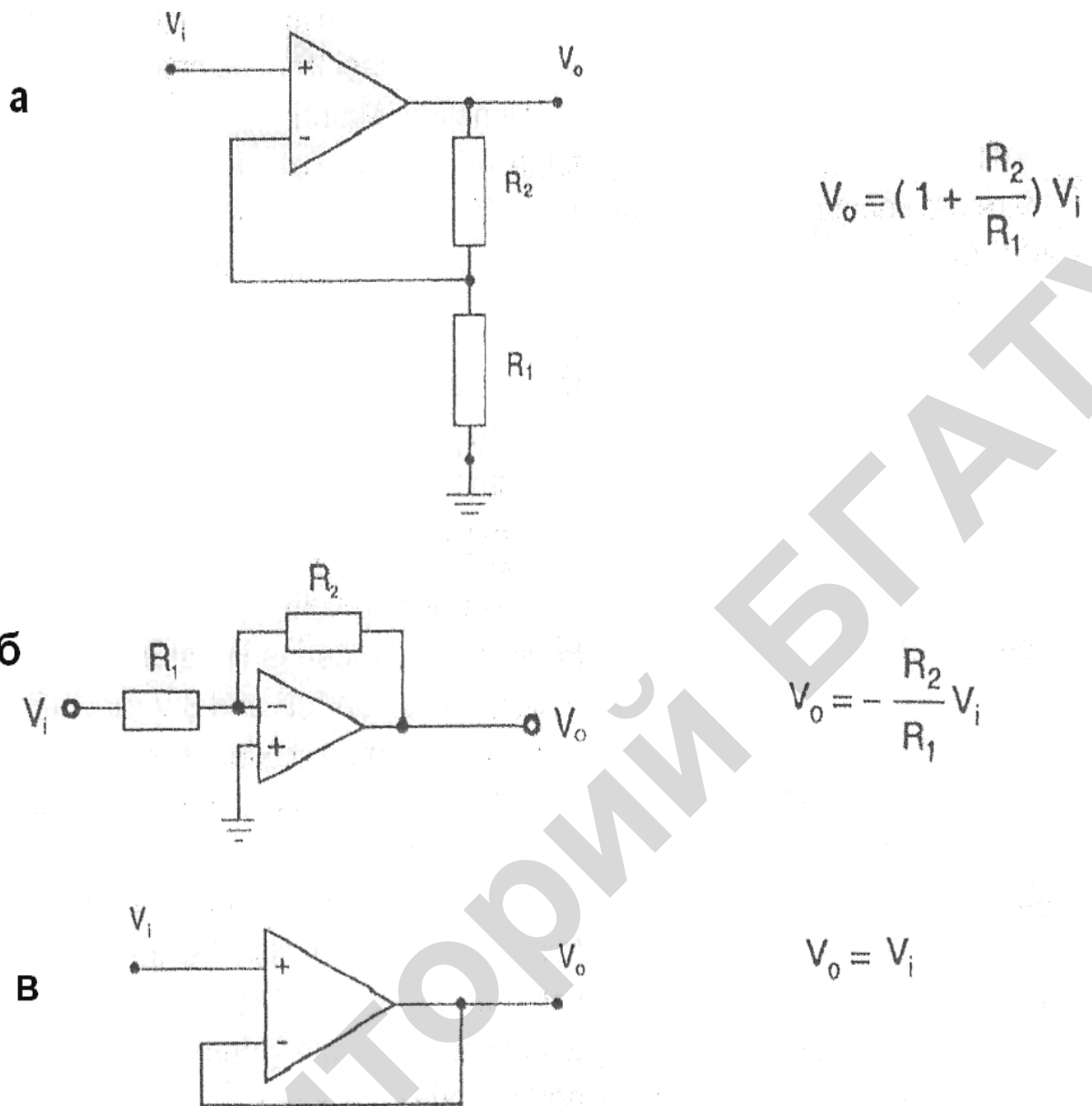


Рис. 70. Схемы усилителей:

*а* – неинвертирующий усилитель; *б* – инвертирующий усилитель; *в* – повторитель напряжения: высокий входной и низкий выходной импеданс

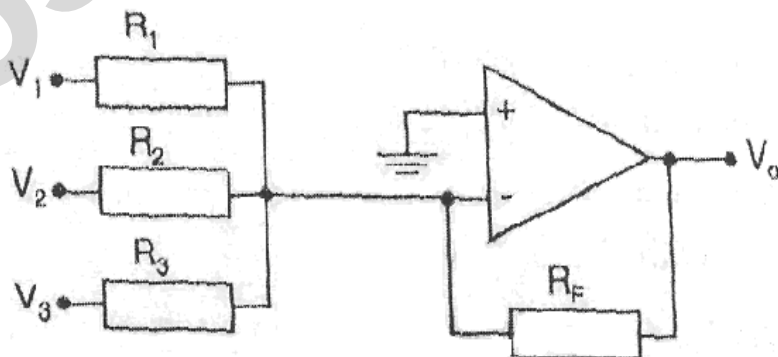


Рис. 71. Суммирующий усилитель

Если  $R_F$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  имеют одинаково большое значение, выходное напряжение  $V_o = -(V_1 + V_2 + V_3)$ .

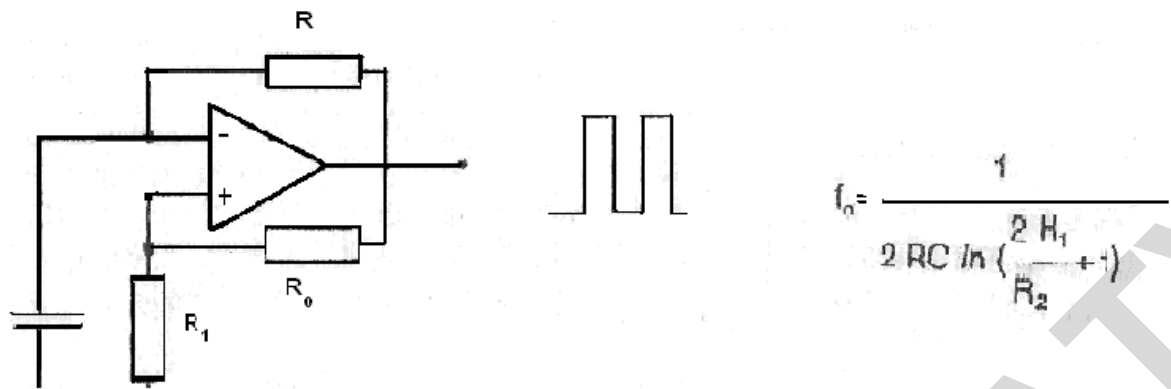


Рис. 72. Генератор прямоугольных импульсов

$R_1$  и  $R_2$  подобраны таким образом, что  $R_1$  равно примерно  $1/3 R$  и  $R_2$  равно  $(2 \dots 10) R_1$ .

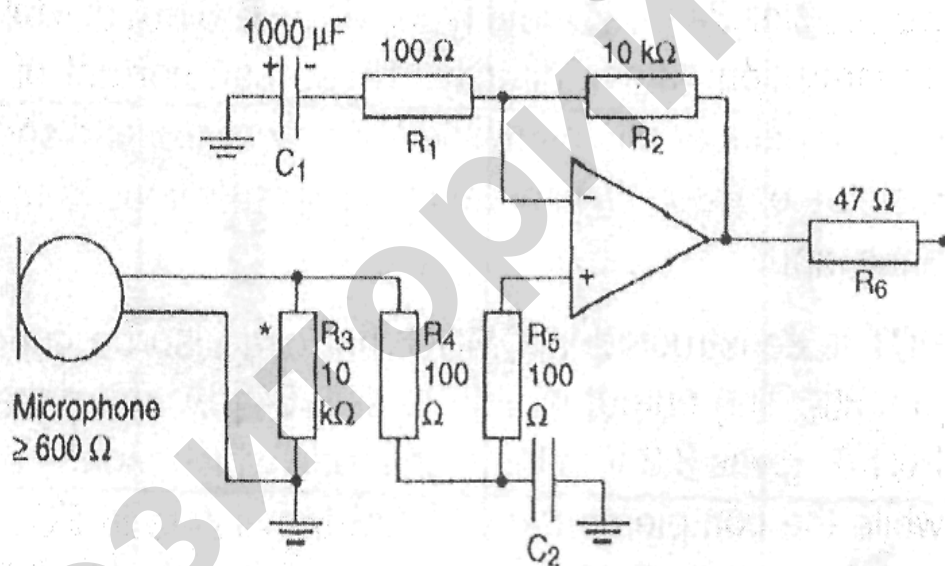


Рис. 73. Микрофонный усилитель

Усиление = 40 дБ. Для усиления 20 дБ  $R_2 = 1$  кОм ( $R_3$  должно быть равно  $10 \cdot$  импеданс микрофона).



## **22. АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ (А/D) И ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ (D/A) ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

---

Схемы преобразования аналоговых (Analog) сигналов в цифровые (Digital) и наоборот находят все более широкое применение. Для этого существует много причин. Цифровые схемы и микропроцессоры дешевы в массовом производстве. Производство аналоговых схем более сложное, так как нужно принимать во внимание такие аналоговые параметры, как шум, дрейф напряжения, расхождения напряжения, частотное реагирование и т. д. Имея дело с цифровыми сигналами, которые первоначально были аналоговыми, возможно добиться лучшего контроля параметров системы и посредством этого снизить потребность в тонкой настройке при изготовлении и в последующих контрольных измерениях и регулировках в процессе эксплуатации. Традиционные аналоговые схемы, например, в радиокommunikациях, все шире заменяются сигнальными процессорами. Программное оборудование в них имеет дело с алгоритмами, которые стимулируют развитие, например, фильтров (IIR или FIR), детекторов или модуляторов.

### **22.1. Аналого-цифровые преобразователи**

Обычной сферой применения схем являются компьютеры, например, для накопления (сбора) измерений. Аналоговые величины измерений преобразуются в цифровые коды в аналого-цифровом преобразователе. Этот аналого-цифровой преобразователь (АЦП) обычно предшествует мультиплексору, который гарантирует, что один преобразователь может обрабатывать показания измерений от различных датчиков в правильном порядке. Имеются АЦП с встроенными мультиплексорами и с согласованными интерфейсами непосредственно с микропроцессором, что упрощает соединение и обеспечивает защиту схем. Иногда на входе АЦП используется схема выборки и хранения [Sample-and-hold-circuit] для хранения аналоговой величины на период преобразования (конверсии).

Время преобразования в значительной мере зависит от используемого принципа преобразования. АЦП следуют трем основным принципам:

- а) быстрое изменение по линейному закону;
- б) последовательная аппроксимация;
- в) «флэш» (вспышка, сцинтилляция).

Они используют входной сигнал в качестве разрешающего сигнала для счета счетчика. Цифровой сигнал с выхода счетчика преобразуется в аналоговый сигнал цифро-аналоговым преобразователем. После преобразования он сравнивается с входным. Счетчик будет считать до тех пор, пока цифровая величина не будет соответствовать аналоговой величине на входе (рис. 74).

Основными недостатками такой простейшей структуры АЦП являются относительно невысокая точность и большое время преобразования.

Одним из наиболее распространенных методов построения АЦП является **метод последовательного приближения**, который иногда называют **методом поразрядного уравнивания**. В АЦП, использующих данный метод, код в регистрах результата меняется так, чтобы обеспечить по возможности быстрое уравнивание входного напряжения или тока напряжением или током, получаемым с выхода ЦАП, который, в свою очередь, подключается к регистру.

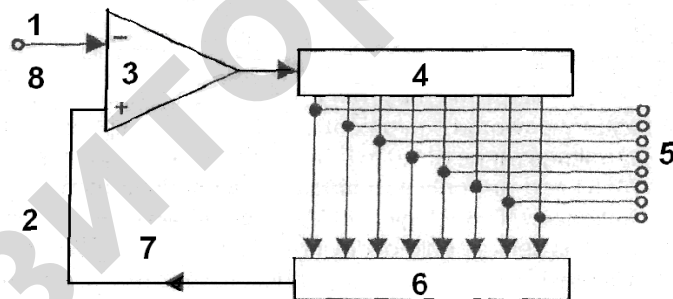


Рис. 74. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП), использующий последовательную аппроксимацию (приближение):

- 1 – неизвестная величина; 2 – известная величина; 3 – компаратор; 4 – счетчик (больше, меньше); 5 – цифровой выход; 6 – ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь); 7 – аналоговый сигнал; 8 – входное напряжение аналогового сигнала

Мультиметры обычно имеют преобразователь с **быстрым изменением по линейному закону («рэмп»-преобразователь)**, если только они не являются точными приборами, которые используют последовательную аппроксимацию. «Рэмп»-преобразователь требует довольно много времени для выполнения преобразования, но отличается дешевизной в изготовлении. Этот принцип используется в большом количестве вариантов. В цифровых мультиметрах наиболее

широко применяются двойные «рэмп»-преобразователи. Для фиксированного промежутка времени, например, для 1000 тактирующих импульсов, на конденсаторе создается напряжение. Напряжение на конденсаторе пропорционально напряжению измерения (входное напряжение).

Затем входной сигнал отключается. Конденсатор разряжается рядом тактирующих импульсов. Настройка счетчика на эти импульсы соответствует непосредственно входному напряжению (рис. 75).

Для некоторых применений требуются очень быстрые А/Ц-преобразователи, например, цифровые осциллографы и цифровые спектральные анализаторы. В этом случае «флэш»-преобразователь является непараллельным в отношении скорости. Изготовители приборов выпускают преобразователи для собственного использования, которые могут обрабатывать 1 ГГц (GHz) или более. На рынке имеются стандартные типы, имеющие дело с частотами в несколько сотен МГц (MHz). «Флэш»-преобразователь включает в себя цепную схему компараторов. Они одновременно преобразуют напряжение и немедленно выдают цифровую величину (рис. 76).

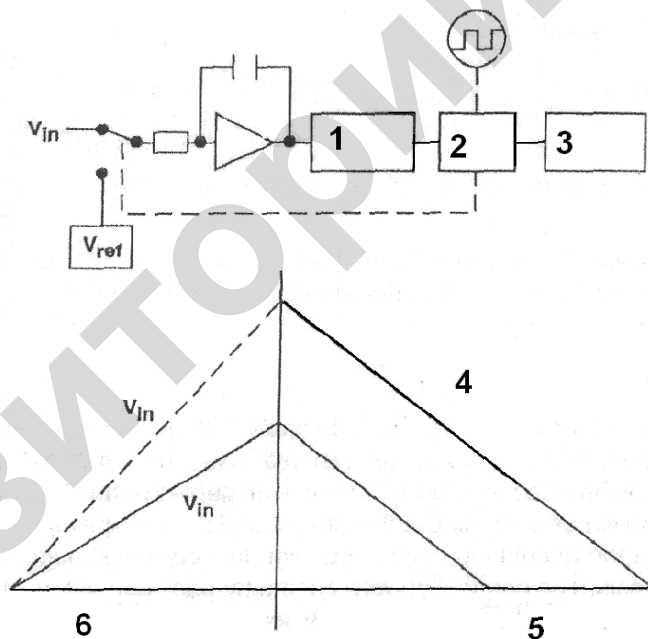


Рис. 75. АЦП с «рэмп»-преобразованием:

- 1 – нуль-детектор; 2 – логика; 3 – счетчик; 4 – разряд конденсатора постоянным током в зависимости от  $V_{ref}$  (опорное напряжение); 5 – отсчитанное число импульсов; 6 – фиксированное число импульсов;  $V_{in}$  – входное напряжение

Вариантом по этой теме является «полуфлэш» [«half-flash»], который выполняет преобразование в два этапа. В результате, этот метод по скорости составляет  $\frac{1}{2}$  скорости полного «флэш», но обеспечивает более высокое разрешение при данных затратах.

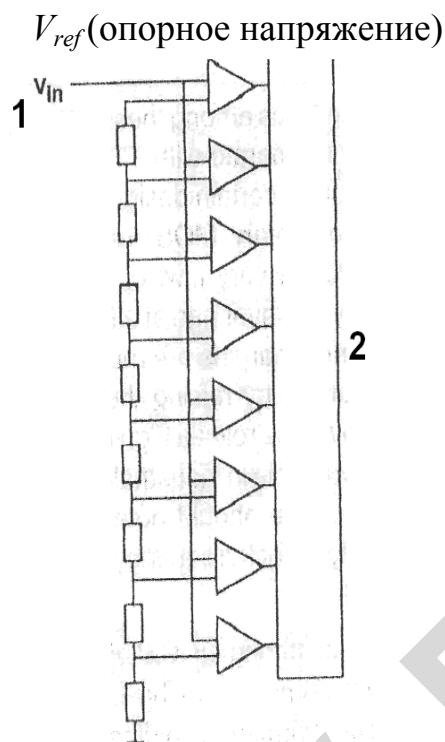


Рис. 76. АЦП с непосредственным сравнением («флэш»-преобразователь):  
 1 – входное напряжение ( $V_{in}$ ); 2 – дешифратор

Так как «флэш»-преобразователи имеют на входе большое число компараторов, они имеют низкий и широко изменяющийся входной импеданс. Следовательно, они должны предшествовать формирователю (драйверу) с хорошей формирующей способностью для гарантии того, что изменения импеданса не вызовут погрешностей линейности. Посредством использования формирования среднего значения возможно увеличить число бит разрешения сверх применяемого количества. Следовательно, преобразователь 8 бит создает разрешение, например, 10 бит. Преобразование требует ряда групп кодов (слов), чтобы получить среднее значение и, следовательно, время преобразования значительно возрастает.

Специальным типом формирования среднего значения является **«сигма/дельта»-преобразователь**.

Его называют также «дельта/сигма», или преобразователь потока бит. В основном – это однобитовый преобразователь, который использует формирование среднего значения, чтобы произвести до 20 бит, хотя и с крайне низкой полосой частот. Такая технология используется сейчас в CD-плеерах. Преобразователи потока бит дешевы в изготовлении, дают хорошую линейность и при их применении исключаются проблемы пиковых напряжений для самых крупных бит-превращений. Они также дешевле в изготовлении из-за того, что значительная часть схемы состоит из цифровых функций.

## 22.2. Цифро-аналоговые преобразователи (D/A)

Цифро-аналоговые преобразователи могут быть построены на взвешенных резисторах (1, 2, 4, 8, 16 Ом и т. д.) или с применением цепных (многозвенных) схем, питаемых током или напряжением. Имеются также другие варианты с применением монолитных схем. Технические данные цифро-аналоговых преобразователей включают данные по разрешению (число бит, точность выходного сигнала), времени установления, скорости нарастания выходного напряжения, коэффициенту максимального изменения выходного сигнала. Аудиоаппаратура, например, CD-плееры предъявляют предельно высокие требования к характеристикам цифро-аналоговых преобразователей.

## 23. ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

---

Простым способом классификации современных логических семейств является изучение их напряжения питания. Традиционное семейство транзисторно-транзисторных логических схем (ТТЛ) [TTL – Transistor – Transistor – Logic] и более современная версия ТТЛШ питаются напряжением 5 В. Сегодня имеются также семейства на 3,3 В и 2,5 В, призванные удовлетворять новым требованиям компонентов памяти, а также и предельно быстрым архитектурам электрических шин (рис. 77).

Другая классификация основана на технологии изготовления. Обычная биполярная и КМОП [CMOS] технологии дополняются БиКМОП [BiCMOS]–технологией и, следовательно, сегодня существуют три общие технологии.



Рис. 77. Внешний вид цифровых схем

### 23.1. Биполярные семейства

Биполярные семейства нормально работают с напряжением питания, которое является относительно критическим. Для семейства «74» (напряжение питания 5 В) оно должно быть в диапазоне от 4,75 до 5,25 В. Напряжение должно быть отключаемым от определенных диспергированных частей конструкции,

поскольку нагрузка изменяется в соответствии с сигналами и возникают броски тока, когда транзисторы тотемных полюсных выводов могут одновременно краткосрочно проводить ток. Соединительные провода блокировочных конденсаторов должны быть как можно более короткими. Чтобы получить достаточный запас (поле) взаимовлияний, даже, когда схемы имеют дело с быстрыми сигналами, фон земли должен быть устойчивым. Предельные уровни выхода ТТЛ и ТТЛШ составляют максимум 0,4 В для «0» и минимум 2,4 В вплоть до напряжения питания для «1». Тот факт, что уровень «1» не выше обусловлен структурой выхода ТТЛ с падением напряжения на резисторе 130 Ом, транзисторной и диодной секцией. Следовательно, нужно полагаться на интерференсное поле менее 0,4 В для «0» и более 2,4 В – для «1».

### **23.1.1. Транзисторно-транзисторная логика «74 – Стандарт – ТТЛ» (74 Standard-TTL)**

Это первоначальное семейство ТТЛ. В настоящее время с большим преимуществом используются более современные варианты. Время задержки составляет примерно 10 нс на логический элемент, а мощность составляет 10 мВт (10 mW).

### **23.1.2. Транзисторно-транзисторная логика с барьером Шоттки (74S Schottky-TTL)**

Первоначально это семейство ТТЛ являлось семейством быстрых схем. Введенный в схему диод Шоттки защищает транзистор от глубокого насыщения. Сегодня предпочтительнее использовать более быстрое семейство «AS». Время задержки составляет около 3 нс на логический элемент для S-TTL. Мощность равна 20 мВт на логический элемент. Диод Шоттки состоит из металлического контакта на поверхности полупроводника, образующего барьер вместо «*p-n*-перехода» обычного диода. Диод Шоттки имеет низкую емкость, более низкое падение прямого напряжения, чем кремниевый диод, и его легко использовать в интегральных схемах.

### **23.1.3. Усовершенствованная ТТЛ логика «74AS Шоттки-ТТЛ» (74AS Advanced Schottky-TTL)**

Она имеет время задержки около 1,5 нс, а потребление мощности составляет 22,5 мВт на логический элемент.

#### **23.1.4. Маломощная ТТЛ Шоттки-логика (74LS Low Power Schottky-TTL)**

Это семейство используется сегодня взамен стандартной ТТЛ логики. Время задержки составляет около 9 нс на логический элемент, т. е. несколько быстрее, чем стандарт ТТЛ. Кроме того, потребление мощности составляет только 2 мВт на логический элемент.

#### **23.1.5. Усовершенствованная маломощная логика ТТЛ Шоттки (74ALS Advanced Low Power Schottky-TTL)**

В этом семействе сочетаются скорость и низкая потребляемая мощность. Это означает снижение времени задержки до 4 нс на логический элемент при потребляемой мощности 1 мВт на элемент.

#### **23.1.6. Семейство быстродействующей ТТЛ логики (74 F Fast-TTL)**

Это семейство является предельно быстродействующим, с временем задержки 3 нс и потреблением мощности 4 мВт на элемент.

### **23.2. Семейства КМОП (CMOS)**

Среди этих схем можно выделить две основные группы: группа схем, оперирующих с уровнями КМОП, и группа схем, которые оперируют с уровнями ТТЛ. Последняя группа может быть использована с биполярными ТТЛ – схемами, если соблюдать определенные конструктивные правила. Выходы схем состоят из дополнительных МОП-транзисторов, отсюда и их название. Потребляемая мощность резервной аппаратуры («стэндбай») очень мала – около 10 нВт на элемент, и растет с увеличением рабочей частоты, однако и при нескольких МГц она примерно такая же, как и в усовершенствованных маломощных схемах ALS-TTL. Пределы взаимовлияний намного выше для КМОП-схем. Они могут возрастать и далее посредством повышения напряжения питания. Благодаря такой возможности, КМОП-схемы играют роль логики высокого уровня среди ранних биполярных семейств высокого уровня. Это представляет ценность в промышленных условиях, где рабочие частоты имеют умеренный уровень. Следует заметить, что сочетание высокого рабочего напряжения и высокой тактовой частоты может привести к большому потреблению мощности в схемах.



### **23.2.1. Семейство «4000»**

Это самые ранние среди семейств КМОП, которые появились в конце 1960-х годов. Они медленные, в сравнении с ТТЛ-семействами. Задержка равна примерно 20 нс на элемент.

Компоновка штырьковых выводов также отличается от ТТЛ. Напряжение питания может быть в пределах от 3 до 15 В (18 В – в некоторых схемах). Семейство включает также буферные варианты «4000 В». По сравнению с небуферными версиями они имеют более длинную пропускную задержку, но лучший предел взаимовлияний, постоянный выходной импеданс, более высокий коэффициент усиления и более низкую входную емкость. Существует риск колебаний, если буферные версии поставляются медленно нарастающим фронтом импульсов.

### **23.2.2. Семейство «74 С»**

Это вариант серии «4000», имеющий штырьковые соединения в соответствии с семействами ТТЛ, но с уровнями КМОП.

### **23.2.3. Семейства «74 НС» и «74 НС 4000»**

Эти семейства являются заменителями семейств «74 С» и «4000». Их штырьковая компоновка является неизменной, но они являются значительно более быстрыми. Задержка составляет примерно 8 нс на элемент. Напряжение питания допустимо в пределах от 2 до 6 В. Логический перепад составляет 1,4 В.

### **23.2.4. Семейство «74 НСТ»**

Оно заменяет вариант «НС» и отрегулирован для уровней ТТЛ. Скорость та же, что и для «НС». Напряжение питания допускается в пределах от 4 до 5,5 В. Пределы взаимовлияний (интерференции) составляют 0,7 В для низкого уровня и 2,4 В для высокого уровня при условии, что схема «НСТ» соединена со схемой НСТ. Если схема «НСТ» соединяется со схемой «LS-TTL», пределы составляют 0,47 В и 2,4 В, а от схемы «LS-TTL» к схеме «НСТ» – 0,4 и 0,7В, т.е. те же значения, что и для соединения «LS-TTL» с «LS-TTL».

### **23.2.5. Семейство ACL**

Это семейство с вариантами АС (КМОП-уровни) и АСТ (ТТЛ-уровни) появилось в 1985 г. Оно значительно быстрее, чем НС. Задержка вентиляционного

действия равна менее 3 нс. К преимуществам также следует отнести высокую и симметричную пусковую емкость, способную возбуждать и отводить 24 мА. Некоторые типы возбуждают  $\pm 48$  мА или  $\pm 64$  мА. Выход может непосредственно возбуждать трансмиссионные кабели. Они могут состоять из коаксиальных кабелей, кабелей со скрученными парами или несимметричных полосковых линий передач. Приемная часть должна быть затем нагружена резистором, например, 300 Ом, чтобы избежать отражений от предельно высокого импеданса на входе.

#### **23.2.6. Семейство FCT**

Это семейство сконструировано в КМОП, но может быть соединено с входами и выходами ТТЛ. Выход способен отводить 64 мА и возбуждать 15 мА. Один вариант, FCT – Т дает 3,3 В в высоком режиме, который означает номинально высокий уровень ТТЛ, тогда как дополнительные КМОП-транзисторы в семействе FCT действуют как резисторы к питанию или земле. FCT – Т такой же по скорости, как и F, тогда как FCT быстрее.

#### **23.2.7. Семейство усовершенствованных высокоскоростных КМОП-схем**

Для этого семейство выходной ток до 8 мА при 5 В и вентиляная задержка составляет 5,2 нс.

### **23.3. Семейства БиКМОП (BiCMOS)**

Эти семейства включают в себя биполярные транзисторы и дополнительные МОП-транзисторы. Биполярные транзисторы используются для выходов, чтобы обеспечить высокую нагрузочную способность, тогда как МОП-транзисторы используются для получения высокоомных входов и внутренних схем с экономией по току.

#### **23.3.1. Семейство ВСТ**

Оно является семейством БиКМОП, которое состоит в основном из шинных драйверных схем. Выходы нагружены на кабели передач сопротивлением 25 Ом, что означает их способность временно обеспечивать токи

до 188 мА. Входы и выходы становятся высокоомными при отключении напряжения питания.

Вход, построенный с использованием КМОП-схем, имеет пороговое напряжение ниже 1,5 В и, следовательно, является совместимым для схем ТТЛ.

### **23.3.2. Семейство АВТ**

Это очень быстродействующее семейство БиКМОП, где биполярные транзисторы имеют частоту  $f_T$  до 13 ГГц (13 GHz). Вентильная задержка равна 4,6 нс. Схемы пригодны для шинной регулировки, требующей высокой скорости и хорошей задающей [drive] емкости. Выходы отводят 64 мА и возбуждают 32 мА. Одним из преимуществ этого семейства является время задержки, которое не зависит от температуры. Статическое потребление мощности является очень малым, и при высоких частотах оно меньше, чем для КМОП.

## **23.4. Низковольтные семейства**

### **23.4.1. Усовершенствованное низковольтное семейство БиКМОП типа ALB**

Оно специально спроектировано для напряжения 3,3 В, обеспечивая токи на емкостной нагрузке 25 мА, с вентильной задержкой 2,2 нс. Входы имеют ограничивающие диоды, чтобы исключить положительный и отрицательный выбросы.

### **23.4.2. Усовершенствованное низковольтное семейство КМОП типа ALVC**

Это семейство 3,3 В КМОП с задержкой 2 нс и током на емкостной нагрузке 24 мА. Семейство специально отрегулировано для конструирования усовершенствованных запоминающих систем, например, SDRAM.

### **23.4.3. Усовершенствованное сверхнизковольтное семейство КМОП типа AVC**

Это семейство работает с напряжением питания 1,8 В, с задержкой только 3,2 нс.

#### **23.4.4. Усовершенствованное низковольтное семейство**

##### **БиКМОП типа ALVT**

Это семейство предназначено для работы с напряжением питания на 2,5 В и 3,3 В для быстродействующих шинных систем. Задержка 2,5 нс, и токи на емкостной нагрузке 64 мА. Оно также способно иметь дело с системами «hot-swap» с действующим напряжением в процессе извлечения и вставки схемных плат, при так называемом вставлении «вживую».

#### **23.4.5. Низковольтное семейство КМОП типа LVC**

Это дальнейшее развитие семейства «74 НС», в котором рабочие характеристики аналогичны по быстродействию, а токи на емкостной нагрузке сохранены, несмотря на тот факт, что напряжение питания снижено до номинала 3,3 В.

Снижение напряжения означает снижение потребляемой мощности, а также и меньшее количество батарейных элементов в оборудовании с питанием от батарей.

«74 LVC» имеет штырьковую совместимость с «74 НС» и диапазон напряжений питания в пределах от 1,0 до 3,6 В. Это семейство состоит из массы схем «74 НС» и выпускается только в виде компонентов поверхностного монтажа. При сочленении с логическими схемами 5 В, семейство «74 LV» может управляться от биполярных ТТЛ-схем, но не от семейств «74 НС» (Т). Схемы ТТЛ и «74 НСТ» обладают склонностью к самовозбуждению. Что касается «74 НС», то это семейство имеет технические данные, которые расходятся с упомянутыми семействами и это означает, что приводная схема может иметь на выходе больший ток, чем обычно.

#### **23.4.6. Низковольтное семейство БиКМОП типа LVT**

Это семейство 3,3 В с допустимым напряжением 5 В. Задержка 3,5 нс, токи на емкостной нагрузке до 64 мА для усовершенствованных, высокоскоростных решений.

## **23.5. Специальные логические семейства**

### **23.5.1. Усовершенствованная технология БиКМОП. Усиленная приемо-передающая логика (ABTE/ETL)**

Она обеспечивает токи на емкостной нагрузке до 90 мА и совместима со спецификацией VME64 – ETL.

### **23.5.2. Приемо-передающая логика (backplane) типа BTL/FT+**

Предназначена для стандартов IEEE 1199.1 и IEEE 896 (Futurebus +). Она имеет задержку менее 5 нс и токи на емкостной нагрузке 100 мА.

### **23.5.3. Логика типа GTL/GTLP (Gunning Transceiver Logic och Gunning Transceiver Logic Plus)**

Предназначена для высокопроизводительных решений «backplane» с тактовой частотой 80 МГц или выше. Выходная мощность переменная, и выходные токи достигают 100 мА. На выходах предусмотрен контроль времени нарастания/затухания для снижения отражений и электромагнитной индукции.

## **23.6. Более ранние логические семейства**

### **23.6.1. Логика с эмиттерными связями типа ECL**

Наиболее широко использовалась для увеличения быстродействия. Уровни являются типовыми (семейство MECL 10000) – 0,9 В для «1» и 1,75 В – для «0», т. е. размах напряжения равен 0,85 В. Внутренние операции схем основаны на дифференциальном усилителе, где ток направляется к одному или другому коллекторному выходу. Это направление тока предохраняет схемы от насыщения ввода и гарантирует высокую скорость. Существуют схемы ECL, которые могут управлять тактовой частотой, достигающей много ГГц (GHz). Они потребляют относительно большую мощность.

### **23.6.2. Резисторно-транзисторная логика (RTL)**

Она принадлежит к самому старому типу логики, связана с сопротивлением и содержит относительно мало транзисторов. Выходы состоят из ряда резисторов с одним транзисторным входом. Одним из недостатков является

перекрестная наводка между разными входами, что приводит к другому – схема становится медленной. Этот тип связи не был внедрен в интегральных схемах. Однако, был разработан вариант DCTL, который представлял тип резисторно связанной логики, в котором каждый вход имеет транзистор для исключения перекрестной наводки. Однако задержка является большой – от 50 до 100 нс. Его предел взаимовлияний (интерференции) достаточно низкий, только около 0,2 В. Единственная полезность этих схем в настоящее время – они выступают как запасные части для более старых устройств.

### 23.6.3. Диодно-транзисторная логика (DTL)

Это было первое большое семейство логических схем. Оно появилось в середине 1960-х годов и вскоре было заменено на более быстрое семейство ТТЛ. В то время было обычным делом смешивать схемы ДТЛ и ТТЛ в одной конструкции, поскольку уровни их не сильно отличались. В схемах ДТЛ многие резисторы из РТЛ были заменены диодами, которые занимали меньше пространства. Логические задачи решались диодами и транзистором, который возвращал уровень сигнала в исходное состояние. Выход с транзистором и коллекторным резистором предлагал недостаточную емкость (способность) возбуждения с положительным напряжением, и появилась потребность в лучшей способности возбуждения, обусловленной током утечки в диодах на входе. ТТЛ предложила решение своим тотемным полюсным выходом и своим входом с многоэмиттерными транзисторами. В настоящее время единственная полезность ДТЛ – запасные части.

### 23.6.4. Семейства DTLZ, HLL, HNL

Это примеры более ранних биполярных семейств, классифицируемых как схемы высокого уровня. Они подключаются к источникам питания 12 и 15 В. Схемы медленные, но имеют очень хорошие пределы взаимовлияний (интерференций). Иногда вводятся конденсаторы, которые еще больше замедляют их, но увеличивают пределы взаимовлияний.

## 23.7. Выходы

Для логических схем ТТЛ общепринятой является схема со **сложным инвертором** на выходе (рис. 78).

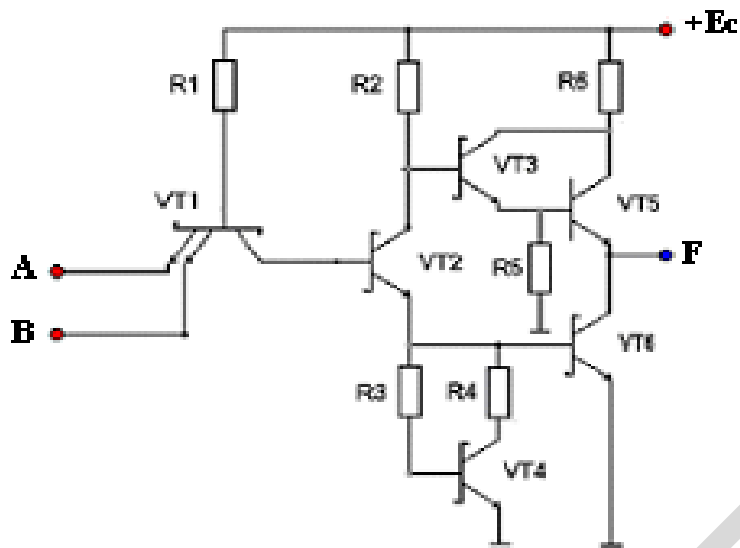


Рис. 78. Схема элемента ТТЛШ со сложным инвертором:  
А, В – входы; F – выход

**Разомкнутый (открытый) коллекторный выход** (open collector output) используется всякий раз, когда нужно активировать вход от нескольких присоединенных выходов (выполняется функция «или») или в качестве драйвера для нагрузок, для обеспечения высокого напряжения и/или высокого тока. Для возможности дальнейшего соединения выхода с другими логическими схемами присоединяется коллекторный резистор. Разомкнутый коллекторный выход состоит только из коллекторного соединения «*n-p-n*» транзистора. Выход или проводит на землю (положение «ВКЛ»), или полностью разомкнут (положение «ВЫКЛ») (рис. 79).

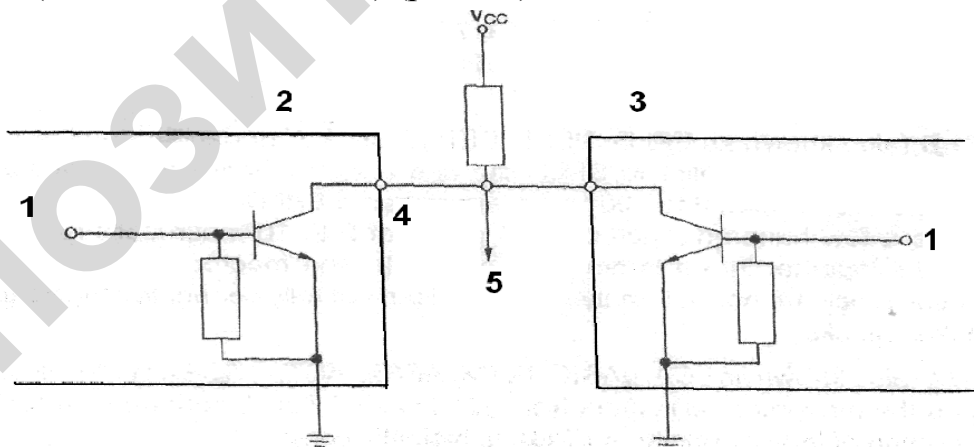


Рис. 79. Открытый коллекторный выход:  
1 – от логической функции; 2 – выход 1; 3 – выход 2; 4 – выход; 5 – к входу

**Трехрежимный выход** (tri-state output) используется для присоединения нескольких выходов к одному входу, например, в компьютерной шине в ЭВМ. Для активации выхода используется специальное соединение таким

образом, что транзистор (один из выходных транзисторов) будет способен проводить ток. При  $Z = \langle 0 \rangle$  схема работает как обычный инвертор, а при  $Z = \langle 1 \rangle$  транзисторы VT 1 и VT 4 закрываются и схема переходит в высокоомное состояние, что позволяет нескольким устройствам работать на одну линию связи (рис. 79).

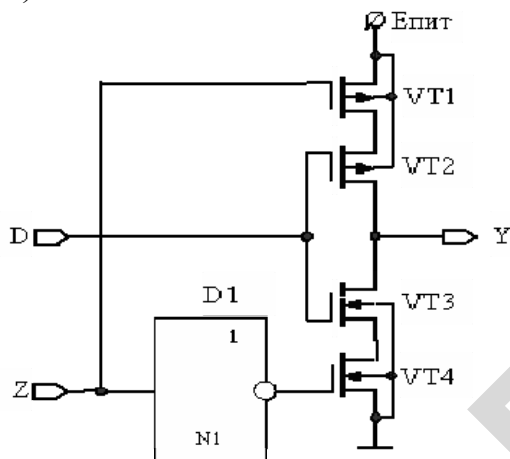


Рис. 79. Схема с триплетным трехрежимным выходом:  
 $Z$  – активированный выход;  $D$  – от логической функции;  $Y$  – выход

## 23.8. Некоторые правила проектирования

**1. Нагрузочный коэффициент по входу и выходу** должен быть учтен проектировщиком. Вентиль (gate) в стандартной ТТЛ-схеме типа «7400» имеет коэффициент разветвления, по выходу равный 10. Это значит, что он может быть загружен десятью входами. Это, в свою очередь, означает подачу 0,4 мА выхода высокого уровня или 16 мА на «землю» для выхода низкого уровня. Возможно также совмещать ТТЛ с настройкой КМОП и ТТЛШ. Выход НСТ, например, может быть нагружен двумя стандартными ТТЛ, двумя S-TTL, двумя AS-TTL, десятью LS-TTL, двадцатью ALS-TTL или шестью F-TTL.

**2. Потребление мощности** может быть очень низким при использовании КМОП. В статическом режиме логика потребляет очень малый ток. В динамике ток возрастает с ростом рабочей частоты. Это обуславливает нагружение «выходов» емкостями от проводящих схем и «входов» других логических схем. При предельно высоких частотах, следовательно, нет разницы в потреблении мощности между биполярными схемами и КМОП.

**3. Надежность при действии взаимопомех (интерференсная надежность, или помехозащищенность)** иногда должна проектироваться с самого начала. В этом смысле КМОП лучше ТТЛ, и не следует выбирать схемы более быстрые, чем это необходимо. Предпочтительно выбирать быстрые схемы, если



это определено проектом. Более низкое напряжение в схемах КМОП снижает степень создания помех, но, в то же время, снижаются пределы взаимопомех. Необходимо использовать буферные схемы, кабели передачи и оконечные нагрузки, если сигналы должны передаваться с высокой скоростью на большое расстояние. Схемы должны иметь короткие соединения с кабелями передач, заземленными. Должны проследиваться контуры заземления, чтобы можно было перехватить или отвести интерференционные помехи.

## **23.9. Программируемые логические схемы**

Программируемые логические схемы в новых конструкциях все больше вытесняют традиционные логические семейства. Их можно охарактеризовать как схемы с блоками логики и триггерными схемами. Эти блоки могут быть соединены довольно свободно и программируются посредством ячеек памяти для создания сложных логических конструкций.

В настоящее время на рынке предлагается множество программируемых логических схем различного построения и различных изготовителей.

К некоторым обычным типам программируемой логики относятся:

- SPLD – Простое программируемое логическое устройство;
- CPLD – Сложное программируемое логическое устройство;
- FPGA – Полевая программируемая вентиляционная матрица;
- FPIC – Полевое программируемое объединение.

### **23.9.1. Логическое устройство SPLD**

Логическое устройство SPLD известно также как PAL, GAL, PLA или PLD, в зависимости от изготовителя является самой небольшой и наименее дорогостоящей формой программируемой логики. SPLD обычно состоит из нескольких и до 10 или 20 макроячеек. Каждая из этих макроячеек содержит несколько последовательных схем типа «7400», которые могут быть соединены в схеме с другими ячейками. Программирование обычно производится по технологии «ЭСППЗУ» (EEPROM) или «флэш» (FLASH).

### **23.9.2. Устройство CPLD**

Устройство CPLD известно также как EPLD, PEEL, EEPLD или MAX в зависимости от изготовителя. Оно скорее похоже на SPLD, но имеет значительно

более высокую емкость. Типичное устройство CPLD зачастую в 2–100 раз крупнее SPLD и может содержать от десятков до нескольких сотен макроячеек. Группа из 8–16 макроячеек обычно входит в более крупный функциональный блок, внутри которого они полностью соединены. Функциональные блоки также соединены между собой.

### **23.9.3. Устройство FPGA**

Это устройство, известное также как LCA, pASIC, FLEX, APEX, ACT, ORCA или Virtex в зависимости от изготовителя, отличается от SPLD и CPLD тем, что оно предлагает наивысшую интеграцию логической емкости. FPGA обычно состоит из матриц логических блоков, охватываемых программируемыми блоками «входа/выхода», соединенными посредством программируемой взаимосвязи. Типовое FPGA содержит от сотен до десятков тысяч логических блоков и даже является более крупным среди триггерных схем. Большинство FPGA не обеспечивают 100 % взаимосвязи между логическими блоками. Вместо этого, усложненное программное обеспечение, подобное «роутерным» (router) программам, связывает блоки высокоэффективным способом. Даже блоки памяти и сложные функции, подобно процессорным сердечникам, зачастую объединяются в FPGA. Существуют большие вариации разных изготовителей и семейств FPGA.

### **23.9.4. Устройство FPIC**

Устройство FPIC фактически является не логическим, а скорее программируемым «записывающим» устройством. Через посредство программирования возможно связывать большое число штырей «входа/выхода» в схеме.

## **23.10. Описательный язык VHDL**

Чтобы упростить конструкции и программирование логических схем, разработан общий язык, который в настоящее время является стандартным в IEEE. Он называется VHDL (Very High Speed Integrated Hardware Description Language) – **описательный язык аппаратуры сверхскоростных интегральных схем**. Этот язык описывает структуру и поведение схемы, «входы» и «выходы» схемы, логическую связь между ними. Для этой цели предусмотрены также инструменты развития, с помощью которых можно моделировать функцию до того, как схема

запрограммирована. Для целей программирования разработан стандарт JEDEC, который предусматривает форму файла, который программирующее оборудование использует в качестве входных данных.

## 23.11. Микропроцессоры

Проследивая историю микрокомпьютеров, нельзя не вспомнить об ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator) – **электронном цифровом интеграторе и калькуляторе**, являющихся предшественниками современных микропроцессоров и индустрии печатных плат. ENIAC был способен производить 5 000 сложений и 300 умножений в секунду, когда он впервые появился в ноябре 1945 г. Его стоимость была равна 500 тысяч американских долларов. Он потреблял мощность 150 кВт, а его масса вместе с 19 000 электронных ламп была около 30 тонн. Алан Тьюринг (Alan Turing) предложил идею, что программа и информация могут сосуществовать в памяти компьютера. В 1945 г. Джон Ван Нейман (John Von Neuman) сформулировал эту идею в научном очерке. Она легла в основу теории «структуры Ван Ньюмена». Информация и программа сосуществуют в памяти, бок-о-бок, вместе с блоком управления, арифметическим блоком и устройством «ввода/вывода» (I/O). Ключом к первому микропроцессору стали исследования, проведенные Джеком Килби (Jack Kilby) – лауреатом Нобелевской премии по физике за 2000 г. В октябре 1958 г. он подал напряжение к самой первой интегральной схеме в «Texas Instruments». Последующие разработки в 1960-х годах снабдили Фредерико Фаггина (Frederico Faggin) из компании «Intel» всеми необходимыми предпосылками для создания в 1971 г. процессора «MCS4004» с карточным перфоратором (CPU) 4 бита, с 46-ю инструкциями (командами) и временем цикла команд 10 мкс. За этим процессором последовали «8008», «8080», семейство «68» из «Motorola» и несколько позднее «Z80» из «Zilog».

Имеются две основные группы микропроцессоров. Процессоры для многосхемных решений называются **микропроцессорами**, а одночиповые или одноблочные компьютеры называются **микроконтроллерами** или **микрокомпьютерами (микроЭВМ)**.

### 23.11.1. Микрокомпьютеры

Микрокомпьютеры являются самодостаточными и не требуют для своего функционирования дополнительных компонентов. Они содержат в памяти ин-

формацию и программу, сгруппированные в чипе, и функции «ввода/вывода», например, как аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, а также цифровые «вводы/выводы». Имеется большой выбор микрокомпьютеров от большого числа изготовителей. Все они, тем или иным образом, приспособлены минимизировать количество используемых компонентов во всех сферах применения микрокомпьютеров – от микроволновых печей, оборудования для анализа крови, весов и дистанционного управления до банковских и музыкальных поздравительных карточек.

Микрокомпьютеры, даже самые базовые из них, являются программируемыми на языках высокого уровня, хотя все еще и существует ассемблерное программирование (assembler programming). Наиболее широко применяется «С»-программирование или некоторые виды «ООР»-программирования типа «С + +» (объектно-ориентированное программирование) [Object – Oriented Programming]. Запоминающие устройства для микрокомпьютеров отличаются большим разнообразием видов. Традиционно во многих областях используется ROM-память (англ. Read Only Memory = память (ПЗУ), допускающая только считывание), когда схемы запрограммированы уже на стадии изготовления. Это значительно снижает стоимость и требует для обеспечения прибыльности больших объемов производства. В настоящее время более распространена память с полевым программированием типа «ФЛЭШ» (FLASH), ЭППЗУ (EPROM) или ЭСППЗУ (EEPROM), каждая из которых предлагает свои преимущества.

#### **23.11.1.1. Микрокомпьютеры ФЛЭШ**

Микрокомпьютеры на базе ФЛЭШ-памяти предлагают преимущества простого программирования и совершенствования (корректировки) программ без удаления схемы. Можно провести сравнение с программными корректировками, например, в BIOS – для печатных материнских плат. С помощью технологии ФЛЭШ возможно получение предельно больших программных запоминающих устройств, интегрированных в микрокомпьютер.

#### **23.11.1.2. Микрокомпьютеры с EPROM**

Микрокомпьютеры на базе EPROM (программируемое ПЗУ) зачастую относят к типу ОТП – однократно программируемому типу (One Time Programmable). Это дает преимущество для программ, которые не могут быть заменены или откорректированы. Здесь также используется преимущество по цене, в сравнении с микрокомпьютерами на базе ФЛЭШ, которые были более дорогостоящими. В схемах памяти имеется окно, через которое возможно

произвести стирание программ с помощью ультрафиолетовых лучей. Эти схемы относительно дорогие и часто используются только для усовершенствования программ.

### **23.11.1.3. Микрокомпьютеры с EEPROM**

Микрокомпьютеры на базе EEPROM (программируемое ПЗУ со стиранием электрическими сигналами) предлагают простое программирование с по существу неограниченными репрограммированиями по их количеству. В этом отношении FLASH и EPROM имеют ограничения. Относительно трудно сделать большие ЗУ типа EEPROM, поэтому объем памяти редко бывает больше нескольких килобайт для менее дорогих типов.

**Микропроцессоры** разработаны в двух направлениях: CISC и RISC. CISC (компьютер со сложным набором команд) (англ. Complex Instruction Set Computer) ранее был преобладающим типом процессора. RISC (компьютер с уменьшенным набором команд) (англ. Reduced Instruction Set Computer) широко использовался для скоростных рабочих станций (блоков), а также для управления изображением и анализа сигналов. Современные типы CISC выполняют многие функции, которые ранее были в ведении только процессоров RISC. При параллельном исполнении команды и информация разделены между отдельными шинами (архитектура Гарварда).

**Окружение (среда) развития** для усовершенствования программ, а также ее отладки зачастую является решающим фактором для успешного проекта микропроцессора или микрокомпьютера. Платы и системы эмуляции (соперничества) для ICE (In Circuit Emulation) – внутрисхемной эмуляции – являются важными и сберегающими время инструментами в сочетании с хорошо функционирующим языком высокого уровня и отладочным программным обеспечением.

**Высокоуровневый язык** дает экономию времени. Определено, что требуется одинаковое количество времени как для программирования и отладки одной линии (строки) на высокоуровневом языке, так и для одной линии (строки) в Ассемблерном коде. Это делает запись даже небольших программ на высокоуровневом языке в 10-100 раз более эффективной. Можно сэкономить больше средств (особенно это касается небольших проектов), если вложить их в более дорогой компонент, содержащий большую программную память, нежели тратить время на усовершенствование программы.

**Память (запоминающее устройство, ЗУ)** в микропроцессорах состоит из двух видов: информационной памяти и программной. Информационная

память на чипе обычно находится в пределах от 1 килобайта до 32 килобайт (256 кбит), а программная память – от 16 кбайт до 1 Мбайт (8 Мбит). Программные ЗУ в несколько сот кбайт предлагают больше возможностей для эффективного программирования на высокоуровневом языке простых, а также высокопродвинутых систем.

Обычными функциями, часто интегрированными в микрокомпьютерах, являются, например, таймеры, контрольные схемы, последовательный интерфейс, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи и дисплейные драйверы.

**Таймеры** существуют в большом количестве вариантов. Имеются, например, простые счетчики с 8-ми, 16-ти и 32-битовым разрешением. Генератор, или синхронизатор микрокомпьютера часто используется для отсчета или измерения времени или импульсов непосредственно или через делитель частоты. Но существуют также таймеры, которые функционируют как усовершенствованные дополнительные системы, имеющие регистры и которые могут быть запрограммированы для создания опережающей серии импульсов или последовательностей управления, например, для управления шаговым двигателем, или сигналов с широтно-импульсной модуляцией.

Контролирующая схема (Watchdog) требуется для большинства систем, чтобы управлять блокировками, если необходимо остановить процессор/микрокомпьютер. Блокировки могут возникать в результате помех в напряжении питания или из-за сбоев в программах. Блокировка может быть обнаружена контролирующей схемой, и микрокомпьютер запускается повторно заранее заданным методом.

**Последовательный интерфейс (соединение)** представлен многими различными конструкциями. Ранее традиционные асинхронные протоколы, подобные RS232, нуждались в UART (Универсальная асинхронная приемопередача) или в ее синхронной дополняющей части (USART). Система, разработанная компанией «Филипс» и опирающаяся на многие схемы, является шиной I<sup>2</sup>C (Inter-IC). Даже Универсальная последовательная шина USB и Ethernet сегодня опираются на периферийные системы.

**Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи** из года в год выпускаются с увеличением разрешающей способности. Имеются аналоговые мультиплексеры, интегрированные для ряда каналов, позволяя контролировать одновременно несколько аналоговых сигналов.

**Дисплейные драйверы.** Во многих случаях единственным выходным сигналом из микрокомпьютерной системы является дисплей. С объединением

дисплейных драйверов с системой не требуются никакие внешние компоненты для непосредственного обращения с меньшими дисплеями.

**Микропроцессоры и микрокомпьютеры** можно легко подразделять по длинам слов (кодов) (ширине шин), с которыми они работают. Вообще можно сказать, что более длинные слова приходят с более высокими расчетными характеристиками. Больше бит в слове означает, что одновременно обрабатываются больше цифр. 8 или 16 бит являются наиболее распространенными длинами слов для микрокомпьютеров, но в простых, зачастую старых микрокомпьютерах, применяется 4-битовая длина. Для микропроцессоров являются стандартными 32 и 64 бита, а для процессоров специальной графики является общепринятой длина слов 128 и 256 бит.

**Цифровой процессор сигналов (DSP)** относится к специальному типу процессоров, предназначенных для сверхбыстрой обработки числовых алгоритмов. Многие из функций, традиционно приписываемых DSP, сегодня также используются в простых микрокомпьютерах. Одним из примеров является команда MAC (умножение, сложение и накопление (англ. Mulliply Add and Accumulate), которая может сделать более эффективными стандартные программы (алгоритмы) обработки сигналов. В сочетании с аналого-цифровыми преобразователями команды DSP могут дать возможность микрокомпьютерам оперировать, например, с голосовым распознаванием или стандартными программами для распознавания почерка в LCD (ЖКД) с пленкой, чувствительной к давлению.

## 24. СХЕМЫ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ЗУ)

---

Все разновидности компьютеров, являются ли они потребительскими изделиями, как, например, видеокамеры, или профессиональными устройствами, подобными системам управления космическими зондами, имеют полупроводниковые запоминающие устройства (ЗУ). Емкость памяти развивается от 1024 бит на схему в 1971 г. до 1 073 741 824 бит на схему тридцать лет спустя. Это увеличение означает, что емкость памяти удваивалась каждые 18 месяцев (закон Мура) [Moore]. Эту эволюцию можно проиллюстрировать примером: в 1870 г. полупроводниковое ЗУ было в состоянии хранить две строки текста, а тридцать лет спустя – около 200 стандартных книг с помощью FLASH-памяти емкостью 1 Гбит. Наиболее распространенные ЗУ, предлагаемые изготовителями, могут быть подразделены на ЗУ, не сохраняющие информацию при выключении электропитания, и ЗУ, сохраняющие информацию при выключении электропитания.

### 24.1. Оперативные запоминающие устройства (ОЗУ) (Volatile Memories)

ОЗУ предназначены для временного хранения оперативной информации, которая поступает от процессора и им же удаляется (стирается) после обработки нужных данных. В таких устройствах важны максимальный объем хранения обработанных данных и скорость их обработки.

#### 24.1.1. Запоминающие устройства DRAM (Dynamic Random Access Memory)

**DRAM** – динамические ЗУ с произвольной выборкой, т. е. оперативные ЗУ (ОЗУ). Это означает, что информация может быть считана без учета последовательности или точного расположения хранимой информации. Адресация позиции /ячейки памяти является индивидуальной/произвольной.



Информация хранится подобно заряду в ячейках, по существу, небольших конденсаторах, заряд в которых поддерживается посредством возобновляющей логики в схеме ЗУ.

#### **24.1.2. Запоминающее устройство FPM (Fast Page Mode)**

Это память DRAM с быстрым страничным режимом, которая была разработана по технологии, не находящей применения в современных устройствах. Этот тип ЗУ широко применялся в более ранних печатных схемах с середины 90-х годов XX века.

#### **24.1.3. Запоминающее устройство EDO (Extended Data Output)**

Устройство EDO с расширенным выводом информации является последователем FPM и обычно рассматривается как имеющее лучшее время выборки (более короткое), чем FPM, требующее примерно на 25 % меньше циклов памяти для считывания и записи одинакового количества данных. Это возможно, когда адресация следующей ячейки может начаться в то же время, когда содержание данной ячейки представлено в шине.

#### **24.1.4. Запоминающее устройство SDRAM (Synchronous DRAM)**

Устройство «Синхронная память DRAM» (рис. 80) использует отдельную схему синхронизации, чтобы синхронизировать входные сигналы в ЗУ. Наиболее широко применяются типы PC66, PC100 или PC133 для тактовой скорости 66, 100 или 133 МГц. ЗУ содержит функции логики, позволяющие считывать информацию в блоках без обеспечения памяти новыми адресами. Считывание изменяется синхронно с импульсами синхронизации ЗУ. Для запоминающего устройства PC100 это означает, что может быть достигнута полоса частот ЗУ в несколько сот мегабайт в секунду.

#### **24.1.5. Запоминающее устройство DDR-SDRAM (Double Data Rate Synchronous DRAM)**

Устройство «Синхронное DRAM с двойной скоростью» позволяет передавать удвоенное количество информации, в сравнении со стандартным SDRAM, посредством использования каждого фронта сигнала синхронизации, т.е. фронта нарастания, а также и фронта падения.

#### **24.1.6. Устройство D-RDRAM (Direct Rambus DRAM)**

«Rambus» – название компании, которая разработала специальную адресную методологию, которая позволила поддерживать информационную

ширину полосы частот на уровне 1,6 Гигабайт в секунду. В своем устройстве DRAM компания «Rambus» отказалась также от мультиплексной адресной шины, используемой всеми другими устройствами DRAM.

RDRAM заключено в шаровой сеточной матрице BGA (Ball Grid Array) или в «чип-скэйл» блоках (Chip Scale Package) с примерно 100 связями на один блок. Эти блочные типы могут легко обращаться с многими связями с сохранением низкой емкости и индуктивности, обеспечивая отличные высокочастотные свойства.

### 24.1.7. Запоминающее устройство SRAM (Static Random Access Memory)

SRAM – статическое ОЗУ с произвольной выборкой – спроектировано так, чтобы не было необходимости в перезаписи информации для ее поддержания в ЗУ (рис. 80). Кроме того, информация хранится не как заряд в конденсаторе, а в триггере, который состоит из ряда перекрестных транзисторов. Устройство SRAM имеет низкое потребление мощности и рассматривается как более быстрое, чем DRAM. Наибольшее применение это устройство получило в качестве ЗУ в системах с батарейным питанием и как КЭШ-память (Cache memory) типа L2 Cache для печатных схем (PC).

- 1 - провод питания
- 2 - включение питания
- 3 - предзагрузка
- 4 - запись «A»
- 5 - считывание «A»
- 6 - запись
- 7 - считывание
- 8 - активная матрица
- 9 - питание активной матрицы
- 10 - питание простаивающей (бездействующей) матрицы
- 11 - группа режимного регистра
- 12 - бездействующая (простаивающая) матрица
- 13 - авторегенерация
- 14 - саморегенерация (периодическое считывание и перезапись данных)
- 15 - вход
- 16 - выход
- 17 - сигнал регенерации

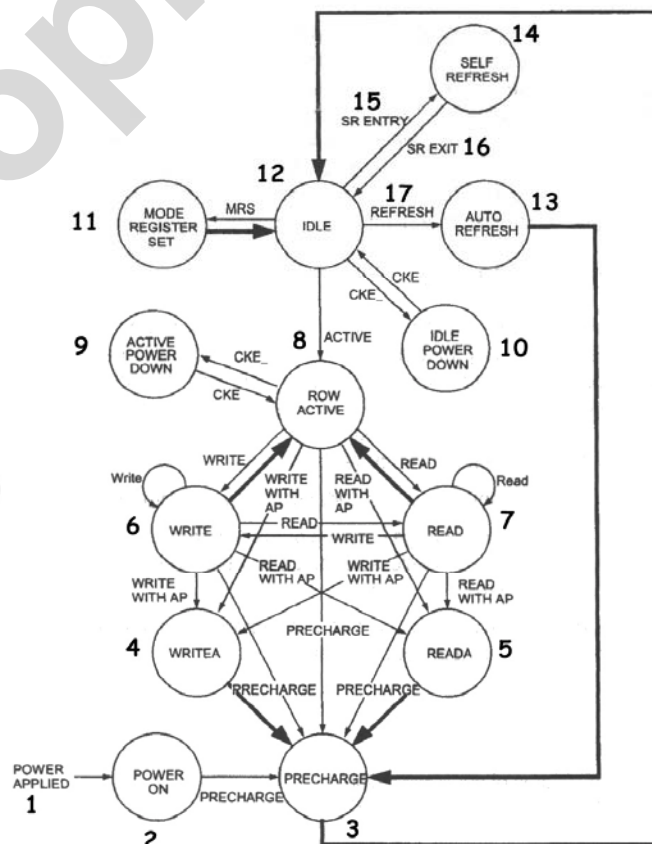


Рис. 80. Диаграмма состояний для типового модемного запоминающего устройства SDRAM

## **24.2. ЗУ, сохраняющие информацию при отключении электропитания (ПЗУ) (Non-volatile memories)**

Эти ЗУ при отключении питания не теряют информацию, т. е. являются энергонезависимыми.

### **24.2.1. Запоминающее устройство FLASH EPROM**

FLASH EPROM – электрически стираемая и программируемая при чтении память получила свое название по режиму стирания. Память организована в сегментах, и каждый сегмент может стираться с помощью простой операции, получившей название «FLASH» («ФЛЭШ»).

Стирание происходит в соответствии с туннельным эффектом Фоулера – Нордгейма [Fowler – Nordheim], при котором электроны проходят через сверхтонкий диэлектрический слой и снимают заряд с плавающего затвора (ячейки), который содержится в каждой ячейке ЗУ. Запоминающие устройства ФЛЭШ являются наиболее распространенным видом полупроводниковых ЗУ, сохраняющих информацию при отключении питания. В обычных ФЛЭШ в каждой ячейке хранится 1 бит информации. Уровень заряда этой ячейки определяется тем, что нужно хранить «1» или «0». Модемные типы больших ФЛЭШ хранят информацию на нескольких уровнях. При четырех зарядных уровнях каждая ячейка ЗУ способна хранить 2 бита информации. Такая многоуровневая технология используется в ФЛЭШ на 512 Мб или более. Такие ЗУ используются, например, в схемах BIOS для печатных плат, в сотовых телефонах и цифровых камерах. Кроме того, ФЛЭШ используется как среда хранения в различных типах карт памяти, а также для хранения программ в скоростном ряде систем на базе микрокомпьютеров.

### **24.2.2. Запоминающее устройство EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)**

EEPROM – электрически стираемая и программируемая считываемая память. Функция EEPROM соответствует памяти ФЛЭШ с дополнительной возможностью индивидуального программирования отдельных ячеек памяти. EEPROM не может конкурировать с FLASH, если говорить о размерах, но EEPROM позволяет производить в 10-100 раз больше операций записи, чем FLASH. Тот факт, что информация может перезаписываться многократно, делает EEPROM подходящей для многих применений, в которых информация долж-

на постоянно корректироваться. Некоторые обычные применения EEPROM включают, например, последовательные ЗУ для хранения телефонных номеров в сотовых телефонах, программные ЗУ для небольших перепрограммируемых микрокомпьютеров или для GSM сим-карт (GSM SIM CARD).

### **24.2.3. Запоминающее устройство EPROM (Electrically Programmable Read Only Memory)**

EPROM – оптически стираемое и электрически программируемое считываемое ЗУ. Оптическое стирание производится ультрафиолетовыми лучами. Это был первый появившийся тип ЗУ, сохраняющий информацию при отключении питания и имеющий только электрически программируемую память. Данный тип памяти уже существовал в начале 1970-х г. и доминировал среди постоянных ЗУ (ПЗУ) (англ. Read Only Memory) в течение 25 лет, но был в значительной мере заменен памятью FLASH. Никаких новых разработок в области EPROM сегодня нет.

### **24.2.4. Запоминающее устройство PROM (Programmable Read Only Memory)**

PROM – нестираемое и электрически программируемое считываемое ЗУ – предшественник EPROM. Этот тип ЗУ существует еще только в очень небольшом количестве. Программирование производится путем сгорания встроенных предохранителей в схемах, которые выполнены из никелехромистых сплавов. Следовательно, схему нельзя стереть или перепрограммировать.

### **24.2.5. Запоминающее устройство ROM (масочное ПЗУ) (Read Only Memory)**

ROM – «память только для чтения» – постоянное ЗУ, нестираемое и программируемое при изготовлении по интегральной технологии с использованием масок. В течение длительного времени ПЗУ с масочным программированием являются весьма эффективными альтернативами по цене для хранения больших массивов информации в чипе ЗУ. Информация ЗУ добавляется уже на стадии изготовления путем модификации одной из масок, которая затем образует основу конструкции памяти. Пользователь ЗУ обычно вносит значительную плату за эту маску изготовителя полупроводников. ROM обычно используется только в системах или устройствах, которые выпускаются очень большими сериями.

## 25. ТРАНСФОРМАТОРЫ

---

Трансформатор в своем простейшем виде состоит из железного сердечника с несколькими обмотками. Если ток в первичной обмотке является синусоидальным, поток в сердечнике будет тоже изменяться по синусоидальному закону. Это изменение потока индуцирует во вторичной обмотке синусоидально изменяющееся напряжение. С другой стороны, если бы поток был постоянным, то во вторичной обмотке не индуцировалось бы никакого напряжения. Это означает, что трансформатор не проводит постоянный ток.

Из этого простого описания можно заключить, что трансформатор решает две задачи:

- перенос переменного напряжения с первичной стороны на вторичную и, если необходимо, получение одновременно гальванической изоляции между первичной и вторичной сторонами;
- трансформация (передача и преобразование) одного переменного напряжения в другое. Это можно описать простой формулой:

$$U_P/U_S = n_P/n_S, \quad (76)$$

где  $U_P$  – первичное напряжение;

$U_S$  – вторичное напряжение;

$n_P$  – число витков первичной обмотки;

$n_S$  – число витков вторичной обмотки.

### 25.1. Трансформатор электропитания (Mains Transformer)

Примером работы трансформатора электропитания является трансформация одного переменного напряжения в другое, например, 230 В в 11 В. Входная мощность равна выходной мощности за вычетом потерь. Это означает, что если ток на вторичной стороне, например, 1 А, то, по крайней мере, 0,05 А будет на первичной стороне.

Трансформатор по своим размерам проектируется на определенную максимальную мощность, которая не должна превышать. Это значит, что сопротивления обмоток должны быть достаточно низкими, чтобы не вызывать больших падений напряжения. Это также означает, что сердечник трансформатора должен быть достаточно большим с точки зрения насыщения. Его размер определяется не только передаваемой мощностью, но также и частотой. Общим принципом является следующий: чем ниже частота, тем больший требуется сердечник.

Сердечник не является сплошным, поскольку это вызвало бы появление вихревых потоков, приводящих к значительным потерям. Для этого пластины трансформатора собираются в пакет изолированных листов. Они обычно нарезаются по форме букв «E» и «I» и вместе образуют «EI» – сердечник, где в центре укладывается катушка, чтобы вокруг нее создавалось как можно большее магнитное поле.

Для некоторых применений критическое значение имеет поток утечки. Это касается, например, усилителей Hi-Fi и измерительного оборудования, где поле вызывает шум. В этих случаях трансформаторы с тороидальным сердечником являются лучшим выбором, поскольку они имеют небольшой поток утечки. Важным свойством тороидального сердечника является то, что начальный ток у него более мощный, чем для трансформатора с EI-сердечником. Он также обладает способностью передавать помехи к схеме в большей мере. Тороидальные сердечники редко используются для выходов, превышающих 500 VA.

Трансформатор с отдельными первичной и вторичной обмотками называется **полным трансформатором (Full Transformer)**. Этот тип трансформатора обеспечивает гальваническое разделение «входа» и «выхода».

## 25.2. Автотрансформатор

Автотрансформатор имеет общую первичную и вторичную обмотку. Следовательно, этот тип трансформатора не обеспечивает никакой гальванической изоляции между «входами» и «выходами», но может быть использован для трансформации напряжений, как в сторону повышения, так и в сторону понижения. Из-за своего «плотного» соединения между обмотками и компактного расположения обмоток (занимают меньше пространства), этот тип трансформатора значительно меньше, чем такой же трансформатор с двумя обмотками.

### **25.3. Трансформатор с переменным коэффициентом трансформации (Variable Transformer)**

Трансформатор с переменным коэффициентом трансформации является разновидностью автотрансформатора, в котором соединение вторичной обмотки сдвигается так, что может изменяться вторичное напряжение. Он подходит для использования в лабораториях, где исследуется поведение определенных устройств при изменении напряжения питания. Трансформатор с переменным коэффициентом трансформации изготавливается так же, как и полный трансформатор.

### **25.4. Изолирующий трансформатор (Isolating Transformer)**

Изолирующий трансформатор является полным трансформатором, используемым для обеспечения электропитания, которое отделено от сетевого питания. Он используется в измерительных лабораториях, там, где, например, не могут быть использованы выводы заземленной электросети, поскольку получающиеся контуры, связанные с землей, весьма вероятно окажут влияние на результаты исследований. Как известно, по крайней мере, один из полюсов системы электропитания передает напряжение к земле. Вторичную обмотку изолирующего трансформатора можно оставить без заземления, т. е. она не будет создавать никакого напряжения на землю (вторичное напряжение является «плавающим») («Floating»). Это плавающее напряжение значительно уменьшает риск при лабораторных работах.

Трансформатор также может снабжаться экраном между первичной и вторичной сторонами для исключения помех через емкость.

### **25.5. Безопасный изолирующий трансформатор (Safety Isolating Transformer)**

Безопасный изолирующий трансформатор следует использовать для ограничения риска электрического удара (шока) для определенных установок и устройств. Специальные случаи описаны в Нормах стран ЕС (например, Швеции).

Трансформаторы должны иметь адекватную изоляцию между первичной и вторичной сторонами, а также ограниченное выходное напряжение, например, 12, 24, 42 или 115 В, в зависимости от сферы применения. Безопасный изолирующий трансформатор обеспечивает безопасно низкое напряжение – максимум 50 В, тогда как изолирующий трансформатор используется для целей безопасности и обеспечивает напряжение в пределах от 50 до 125 В.

### **25.6. Трансформатор для игрушек (Toy Transformer)**

Данный тип трансформатора следует использовать в детских игрушках, так как он создает безопасно низкое напряжение – максимум 24 В и является предельно безопасным даже при небрежном использовании.

### **25.7. Звонковый трансформатор (Bell Transformer)**

Это безопасный трансформатор, предназначенный для дверных звонков и других подобных изделий. Он может иметь максимальный ток короткого замыкания 10 А, чтобы избежать возможного повреждения звонкового провода, и предназначен только для кратковременных нагрузок.

Существуют и другие типы безопасных трансформаторов: например, **бритвенные трансформаторы** и **трансформаторы ручных фонарей**, требования к которым оговорены международными стандартами.

### **25.8. Низкочастотный трансформатор (Low frequency Transformer)**

Низкочастотный трансформатор имеет специальное целевое назначение, сильно отличающее его от трансформаторов электропитания. Такой трансформатор используется в основном не для трансформации одного переменного напряжения в другое, а для трансформации одного импеданса в другой. Он используется, например, для регулировки между усилительными каскадами или для регулировки между предварительным усилителем и громкоговорителем (динамиком).



Импедансное преобразование основано на квадрате отношения витков обмоток (коэффициент трансформации), т. е. трансформатор с коэффициентом трансформации 10:1 имеет импедансное отношение 100:1.

Низкочастотные трансформаторы для Hi-Fi должны быть способными нести весь тональный диапазон частот от 20 Гц до 20 кГц без вариаций в затухании и без большого фазного искажения. Практически это означает, что они должны иметь даже больший частотный диапазон. Следовательно, значительно труднее спроектировать низкочастотный трансформатор, чем трансформатор электропитания, от которого требуется только хорошее функционирование на одной частоте.

## **25.9. Выходной трансформатор (Output Transformer)**

Выходной трансформатор является довольно капризным компонентом. Это имеет отношение к Hi-Fi-усилителям, а также и к гитарным усилителям с электронными лампами. Лампы при проектировании должны быть нагружены оптимальным импедансом, который происходит от ламповых характеристик. Это требует значительного числа кОм, которые затем с помощью трансформатора адаптируются с низким импедансом громкоговорителя. Высокий импеданс влечет за собой много витков обмотки, что дает емкость между витками. Чтобы избежать резонанса около тонального частотного диапазона, пытаются подавить эту емкость посредством обмотки в секциях, где смешиваются первичная и вторичная обмотки. Это также повышает коэффициент связи между обмотками. Иногда применяются специальные сплавы для снижения потерь в сердечнике.

## **25.10. Малогабаритные низкочастотные трансформаторы (Small Low Frequency Transformer)**

Малогабаритные низкочастотные трансформаторы используются, например, между микрофоном или датчиком с вращающейся катушкой и усилительным входом. Здесь также остается в силе требование широкой полосы частот. Это особенно важно для трансформатора сигналов низкого уровня, который должен быть хорошо экранированным от полей шумов.

### **25.11. Модемный трансформатор (Modem Transformer)**

Модемный трансформатор предусматривает гальваническую изоляцию между модемом и сетью телекоммуникаций. Его проектируют с учетом требований, выдвигаемых властями «Телеком». Заметим, что эти требования значительно отличаются в разных странах. Например, в Великобритании и Германии требуется тестовое напряжение 4 кВ.

### **25.12. Трансформатор промежуточной частоты (Intermediate Frequency Transformer)**

Трансформатор состоит из двух соединенных резонансных схем. Он проектируется для конкретной рабочей частоты, например, 455 кГц (AM) или 10,7 МГц (FM), которая может подстраиваться с помощью подстроечных сердечников катушек. Для AM, SSB и CW обычно желательна, по возможности, наименьшая ширина полосы частот, т. е. дающая наивысшую добротность (Q), тогда как трансформаторы для FM-радиовещания должны иметь 250 кГц, чтобы не создавать искажений. Тюнеры Hi-Fi обычно требуют большей ширины полосы частот, поскольку в основном идет поиск низких искажений (высокое искажение может быть допущено в автомобильном приемнике), чтобы усилить более высокую чувствительность.

### **25.13. Трансформатор тока (Current Transformer)**

Трансформатор тока используется для магнитных измерений тока, протекающего через проводник. Это означает, что для выполнения измерений путь тока не должен прерываться. Такой тип трансформатора используется, например, в соединении с устройством остаточного тока.

### **25.14. Трансформатор переключения**

Трансформатор переключения часто используется в источниках питания и преобразователях DC/DC (постоянного напряжения) вместо обычных трансформаторов. Частота переключения электропитания значительно выше сетевой частоты и зачастую составляет 200 кГц или несколько МГц.

## 25.15. Импульсные высокочастотные трансформаторы с ферритовыми сердечниками

Импульсные трансформаторы являются важнейшими составными частями современных источников питания, блокинг-генераторов, усилителей и ряда других импульсных устройств. Особо важное значение импульсные трансформаторы имеют для наносекундной импульсной техники. К таким трансформаторам предъявляются два основных требования: обеспечение достаточной широкополосности и малых потерь – как в сердечнике, так и в обмотках трансформатора. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют **трансформаторы с ферритовыми сердечниками**. Обычно используются кольцевые (тороидальные) ферритовые сердечники.

**Ферриты** – смесь двойных окислов, образуемых окисью железа с окислами других металлов. В радиотехнике наиболее распространены никель-цинковые и марганец-цинковые ферриты. С целью уменьшения числа витков в обмотках трансформатора и тем самым снижения *паразитной емкости* и *индуктивности рассеяния*, а также уменьшения потерь в сопротивлениях обмоток желательно выбирать сердечники с **высокой магнитной проницаемостью ( $\mu$ )**. Обычно никель-цинковые ферриты используют на частотах от 1 до 10 МГц, а марганец-цинковые – до 1 МГц. В диапазоне частот 10-100 МГц используются литий-цинковые ферриты.

Важным свойством ферритов является то, что при нормальной температуре они имеют весьма малые потери на вихревые токи. Обладая хорошими магнитными свойствами (высоким значением  $\mu$ ) и большим электрическим сопротивлением, ферриты позволяют упростить конструкцию катушек трансформаторов и уменьшить их габариты. К недостаткам ферритов можно отнести их хрупкость, так как по механическим свойствам они близки к керамике.

Кольцевые ферритовые сердечники характеризуются отношением наружного диаметра к внутреннему ( $D/d$ ) и выпускаются различными группами для различных применений (импульсные трансформаторы, высокочастотные катушки индуктивности, трансформаторы запоминающих и переключающих устройств).

Импульсные высокочастотные трансформаторы с ферритовыми сердечниками находят применение в телевидении, персональных компьютерах, измерительных приборах, ферритовых антеннах, установках индукционного нагрева, сварочных инверторах и др.

## 26. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

---

Источники электропитания используются для обеспечения работы различных цепей путем подачи в них соответствующих напряжений, которые вызывают протекание в них необходимых токов. Источники электропитания делятся на **первичные** (батареи, аккумуляторы, солнечные батареи, сеть переменного тока и др.) и **вторичные** (ИВП), питающиеся от первичных источников постоянного тока, сетей переменного тока, электромеханических генераторов, на **источники тока и напряжения**.

Стандартное сетевое напряжение 220 В прекрасно подходит для распределения электрической энергии к различным потребителям внутри здания, но его затем следует преобразовать в напряжения, пригодные в местах потребления. Существует ряд методов осуществления такого преобразования, каждый из которых в той или иной степени пригоден, в зависимости от сферы применения.

Напряжение на выходе выпрямителя может изменяться при колебаниях напряжения питающей сети или тока нагрузки, температуры окружающей среды. Для устранения этого недостатка выпрямителей применяют специальные устройства – **стабилизаторы напряжения**.

По принципу работы стабилизаторы делят на *параметрические, компенсационные и комбинированные*.

**Параметрические** стабилизаторы бывают *однокаскадными, многокаскадными и мостовыми*.

Простейший источник питания включает в себя трансформатор, выпрямительный мост и сглаживающий фильтр. Потери в них, зарядка и разрядка конденсаторов из-за пульсаций постоянного тока дают, однако, относительно высокий выходной импеданс, который означает, что выходное напряжение резко изменяется с нагрузкой. Этот тип питания встречается почти исключительно в регулируемых адаптерах в тех применениях, где не требуется постоянное напряжение.

Чтобы избежать колебаний напряжения с изменением нагрузки, необходимо как-то регулировать напряжение, например, путем дополнительного

простого источника, описанного выше, со схемой линейного регулятора. Самый простой вид **линейного регулятора** состоит из диода Зенера (стабилитрона) с резистором. Он может быть дополнен транзистором для обеспечения более высокого тока. Однако выходное сопротивление стабилизатора увеличивается, КПД стабилизатора – низкий. Этот принцип прекрасно подходит для лабораторных блоков.

**Импульсные стабилизаторы напряжения** бывают двух типов: *преобразователи DC/DC* и *преобразователи AC/DC*. В схемах импульсных стабилизаторов напряжения типа AC/DC используется двухступенчатое преобразование напряжения. Напряжение сети 220 В, 50 Гц – преобразуется в пульсирующее напряжение с частотой 100 Гц, которое затем преобразуется в импульсное напряжение с частотой 20 кГц – 1 МГц и выпрямляется диодами с фильтрами на «выходе».

Преобразователи DC/DC, как видно из названия, преобразуют одно постоянное напряжение в другое. Входное постоянное напряжение преобразуется в импульсное и трансформируется в другое напряжение, затем стабилизируется через обратную связь или с параметрическим стабилизатором. Такие DC/DC-преобразователи бывают очень небольших размеров для монтажа на печатных платах. Некоторые DC/DC-преобразователи гальванически разделяют «входы» и «выходы».

## 26.1. Помехи

Существует ряд различных типов электрических помех, которые могут представлять проблемы для чувствительной электроники. Общеизвестно, что помехи происходят от внешних причин, т. е. от освещения, переключения в силовых станциях, соединения и отсоединения фазной компенсации и переключения в трансформаторных подстанциях. Но большое количество помех происходит также изнутри. Эти помехи обычно идут от лифтов, флуоресцентных ламп, копировальных устройств (ксероксов), охлаждающих установок, компрессоров и т. д. Перколятор кофе также создает помехи на сеть питания.

Помехи возникают главным образом тогда, когда происходит включение и выключение аппаратов и механизмов. Возникающими помехами могут быть также переходные процессы, пики напряжения, изменения напряжения, изменения частоты и искажения (дисторсия).

Предусмотрен целый ряд защитных мер для предохранения чувствительной электроники от различных видов помех.

## 26.2. Фильтр

Фильтры являются простейшими защитными устройствами от переходных процессов и всплесков напряжения. Они имеют эффект гашения только при частотах выше 50 кГц и не предохраняют от изменений напряжения. Фильтры обычно содержат варисторы, или «Сотдар». Они в некоторой мере снимают переходные процессы, которые могут нарушить работу электроники. Но существует риск, что «срезанные» помехи останутся еще достаточными, чтобы повредить электронику. Эти фильтры имеют также напряжение изоляции обычно в пределах 600-1400 В, которое, если присоединить к напряжению питания, которое имеет 4 кВ, приведет к падению напряжения изоляции точно так, как при соединении с «выходом», и посредством этого работа происходит с риском, что помехи будут точно «перенесены» на этот «выход».

## 26.3. Трансформатор подавления помех

Трансформатор подавления помех подавляет помехи примерно 100 Гц и выше, т. е. влияние промежуточных частот, так называемый «ринджинг» (ringing – «звон»). Трансформатор подавления помех пригоден главным образом для защиты компьютерного оборудования и чувствительной электроники от переходных процессов, всплесков напряжения и помех от земли. Он создан на базе трансформатора с интегральными экранами для приема и отвода помех и обычно имеет непрерывное защитное заземление между «входом» и «выходом». На «выходе» имеется новая «компьютерная земля». Безопасность персонала в случае любого нарушения изоляции в присоединенном оборудовании поддерживается с помощью встроенного автоматического предохранителя. Подобно самому источнику электропитания, эффективный трансформатор подавления помех имеет напряжение изоляции 4 кВ.

## 26.4. Магнитный стабилизатор

Магнитный стабилизатор представляет собой трансформатор специального типа, работающий на ферро-резонансном принципе. Главная задача магнитного стабилизатора – стабилизировать напряжение. Компьютеры

обычно имеют встроенные переключаемые источники питания, которые справляются с колебаниями напряжения примерно  $\pm 10-15\%$ . Магнитные стабилизаторы обеспечивают регулирование напряжения в очень широком диапазоне. Стабилизатор на 230 В регулирует напряжение до этого уровня, начиная примерно с 135 В. В случае перенапряжения он всегда защитит присоединенную нагрузку. Он также обладает фильтрующим эффектом и обычно имеет отдельную «информационную землю» и напряжение изоляции 4 кВ.

## **27. БЕСПЕРЕБОЙНОЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ (Uninterruptible Power Supply = UPS)**

---

UPS используются для защиты компьютеров и другого чувствительного электронного оборудования от резких изменений напряжения, переходных процессов и неисправностей питания, которые могут вызвать разрушительные последствия. Эти системы содержат преобразователи большой мощности, батарейные и контрольные схемы.

### **27.1. Система «он-лайн» (бесперебойное электропитание)**

Напряжение питания преобразуется с 220 В переменного тока в постоянное напряжение (рис. 81). Это производится через комбинацию зарядного устройства и выпрямителя. Преобразованное напряжение постоянно подзаряжает обычно встроенную необслуживаемую свинцово-кислотную батарею, зарядное устройство UPS питает также встроенный преобразователь постоянного напряжения в переменное, который, в свою очередь, преобразует напряжение в 220 В переменного тока. В случае нарушений в питании встроенная батарея питает ток присоединенное оборудование обычно в течение 10-20 мин. Время соединения является полностью непрерывным. Эти устройства также защищают присоединенное оборудование от переходных процессов, всплесков напряжения, изменений напряжения и частоты. Для дальнейшего повышения операционной безопасности системы «он-лайн» могут снабжаться внутренним шунтированием, которое срабатывает при большой перегрузке и в случае возможной неисправности преобразователя DC/AC. В режиме шунтирования присоединенное оборудование питается от источника электропитания.



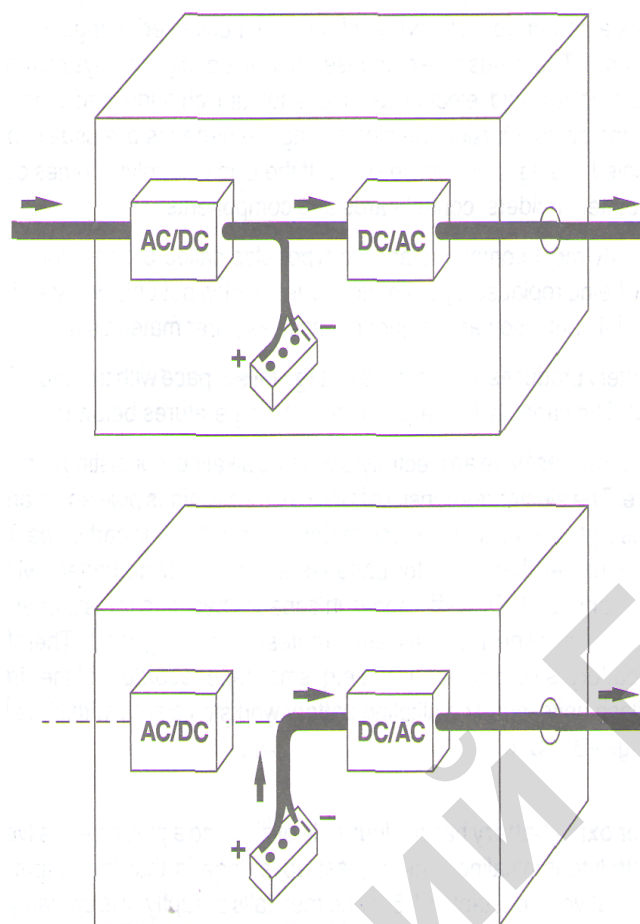


Рис. 81. Система «он-лайн»

Батарея служит постоянным источником питания и дозированно подзаряжается от сети. При сбое энергоснабжения батарея подключена, и работа системы продолжается непрерывно.

## 27.2. Система «офф-лайн» (Резервное питание = SPS)

При нормальных операциях напряжение питания подается на «выход» неотрегулированным, и в то же время заряжаются встроенные свинцово-кислотные необслуживаемые батареи (рис. 82). Когда входное напряжение питания падает ниже определенного уровня (обычно 197 В), сенсорная схема подключает преобразователь DC/AC и батарейное питание. Это подключение вызывает сбой в напряжении в течение 2-10 мс. Система «офф-лайн» имеет определенную функцию подавления переходных процессов через интегральный фильтр питания. Резервное время для системы «офф-лайн» равно обычно 10-20 мин. Форма кривой напряжения системы «офф-лайн» при батарейном питании может быть угловой или синусоидальной.

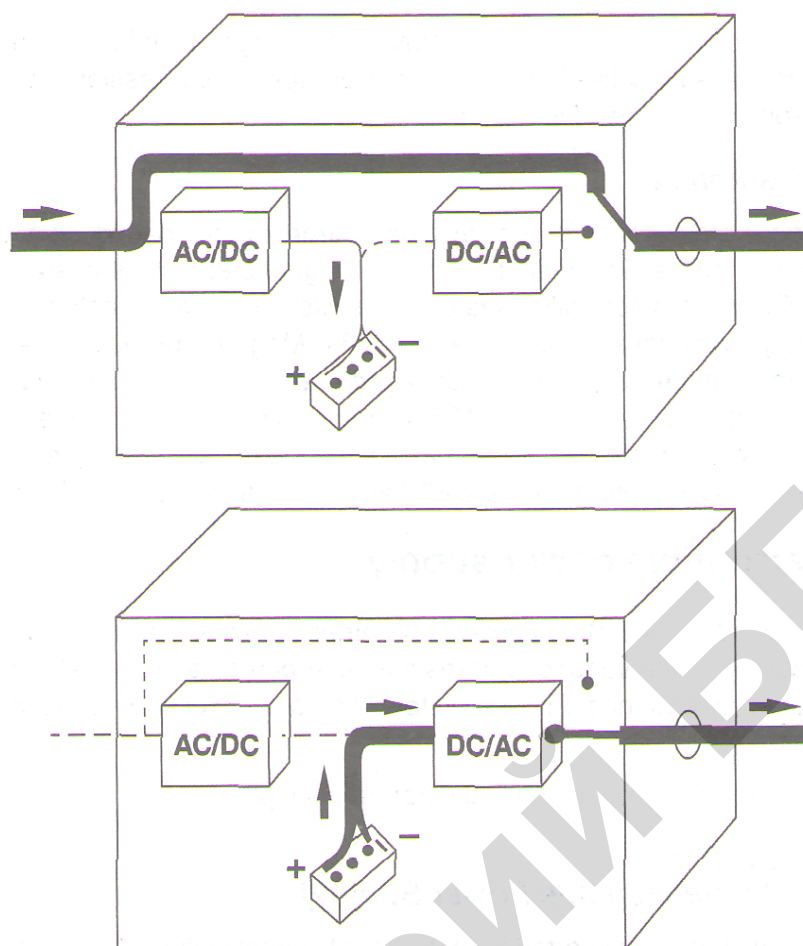


Рис. 82. Система «офф-лайн»

Электропитание идет в систему и в то же время дозированно заряжается батарея. При прерывании питания имеет место быстрое подключение батареи и обратного выпрямителя. Время срабатывания составляет 2-10 мс.

## 28. БАТАРЕИ

---

Батарея – это устройство, которое преобразует химическую энергию в электричество. Батареи обычно разделяют на две группы: **первичные и вторичные батареи**. Обозначение и конструкции являются старыми. В прошлом мы часто заряжали вторичные батареи от первичных.

Первичные батареи используются однократно и затем выбраковываются. Химическая реакция, создающая электрическую энергию, является необратимой.

Вторичные батареи, напротив, можно повторно заряжать и использовать вновь. Химическая реакция в них может быть преобразована путем пропускания через них тока вместо нагружения. Эти батареи используются для хранения энергии и называются перезаряжаемыми (rechargeable).

### 28.1. Первичные батареи

Эта группа батарей включает цинкоугольные, щелочные, марганцевые, ртутные, серебряно-оксидные и литиевые (рис. 83).

**Цинк-угольная батарея** была самой распространенной батареей. Ее плюсовой вывод содержит угольный стержень, вокруг которого распылена двуокись марганца (коричневый камень). Минусовой «вывод» состоит из цинка. Практически это выполняется в виде цинковой крышки. Между полюсами («выводами») находится кислотный электролит из хлорида аммония и хлорида цинка. Для герметизации снаружи цинкового корпуса батареи обычно снабжаются уплотненным кожухом.

Утечки кислотного электролита могут вызвать коррозию батарейных держателей, контрольных плат и компонентов. Ранее самым распространенным типом была так называемая *транзисторная батарея*, которая постепенно заменялась моторной. Она противостоит не только более высоким нагрузкам, но имеет более высокую емкость из-за применения более чистых материалов. Новая батарея дает 1,5 В, но напряжение падает в соответствии

с отбираемой емкостью. Емкость батареи при температурах ниже 0 °С резко ограничивается.

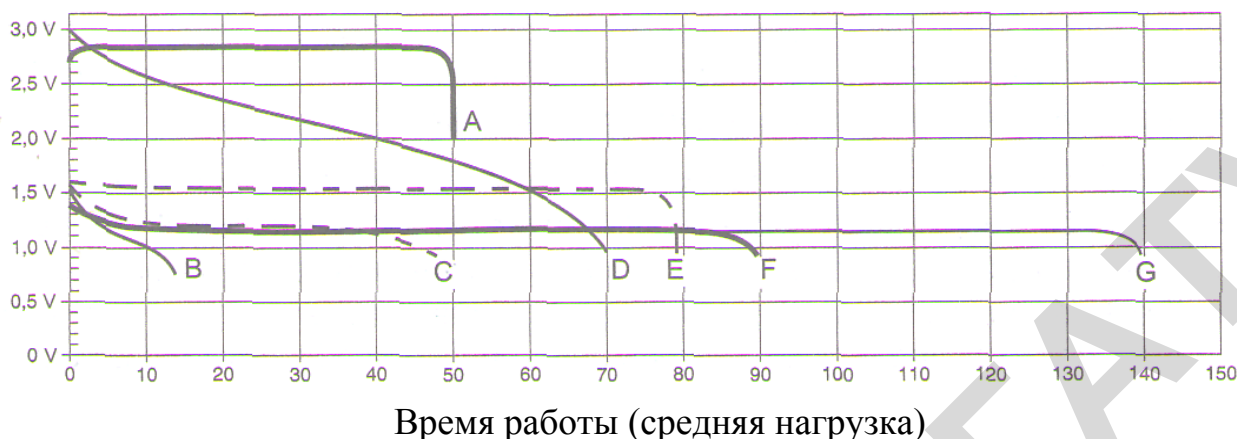


Рис. 83. Сравнение первичных батарей различных типов (по данным компании «Duracell»):

*A* – Li/SO<sub>2</sub>; *B* – цинк-уголь; *C* – щелочь; *D* – Li/MnO<sub>2</sub>;  
*E* – окись серебра; *F* – ртуть; *G* – цинк/воздух.

**Щелочные батареи** имеют щелочной электролит, состоящий из гидроксида калия. Электроды состоят из окиси цинка (минусовой вывод) и двуокиси марганца (плюсовой вывод), т. е. тех же материалов, что и цинко-угольная батарея. Емкость выше, чем в моторных батареях, и щелочные батареи противостоят более высоким нагрузкам. Различие в емкости между транзисторными, моторными и щелочными батареями самое большое при большой нагрузке. Следовательно, щелочная батарея пригодна для использования в небольших магнитофонах типа «фристайл», в устройствах «флэш» (вспышка) и т. д. Щелочная батарея эффективно работает в диапазоне температур от –30 °С до +70 °С.

**Серебряно-оксидная батарея** имеет минусовой вывод из цинка и плюсовой – из окиси серебра. Электролитом является щелочь. Самым большим преимуществом является относительно постоянное выходное напряжение 1,5 В, которое затем резко падает. Батарея используется в основном в фотокамерах, калькуляторах и часах. Щелочные кнопочные элементы применяются как более дешевые альтернативные изделия, но их напряжение падает с уменьшением емкости и их, следовательно, нельзя использовать в оборудовании, чувствительном к изменению напряжения.

**Ртутная батарея** имеет цинковый минусовой вывод, ртутный плюсовой вывод и электролит из гидроксида калия. Он дает 1,35 В (встречается также 1,4 В) в период потребления энергии, после которого напряжение резко падает. Сфера применения батареи такая же, как и для серебряно-оксидной.

**Литиевые батареи** в настоящее время можно встретить в различных конструктивных исполнениях и с разными материалами катода и электролита. Наибольшее распространение они получили в запоминающих устройствах (ЗУ), часах, камерах, калькуляторах и защитных устройствах, которые накладывают жесткие требования по емкости и надежности, а также в оборудовании, подвергаемом воздействию окружающей среды. Литиевые батареи способны работать в экстремальных температурных условиях. Номинальное напряжение элемента равно 3 В. Литий/тионилхлоридная батарея, дает 3,6 В. В настоящее время на рынке имеются также перезаряжаемые литиевые батареи.

**Цинко-воздушная батарея** относится к третьему типу первичных батарей, не загрязняющих окружающую среду. Ее номинальное напряжение равно 1,4 В. Цинк в батарее окисляется каталитически посредством кислоты в окружающем воздухе. Элемент герметизируется на заводе и в таком состоянии может храниться до 4-х лет. При поврежденном уплотнении срок использования составляет 3-4 месяца, после которого содержимое становится карбидированным. Выходное напряжение остается на уровне 1,3-1,2 В в течение всей фазы разряда. Плотность энергии очень высока и более чем в 2 раза превышает показатели литиевой батареи.

Элемент «цинк/воздух» работает в диапазоне температур от -20 °С до +60 °С, но извлекаемый ток падает с уменьшением температуры. Емкость также чувствительна к относительной влажности и к содержанию CO<sub>2</sub> в воздухе. Другим недостатком является относительно ограниченный ток, отбираемый из цинко-воздушного элемента. Это может приводить к функциональным нарушениям в некоторых слуховых аппаратах, подключаемых методом «push-pull», но в большинстве случаев цинко-воздушный элемент может заменить ртутный элемент в слуховых аппаратах. Он также пригоден для применения в пейджерах (pager) и в телеметрическом оборудовании.

## **28.2. Вторичные батареи**

Вторичные батареи по своим свойствам признаны подходящими для мобильного оборудования. Все мы имеем дело с оборудованием, содержащим некоторые виды перезаряжаемых батарей. Каждый из нас все больше желает свободы перемещения без проводов. Но существует постоянно пополняющийся ряд перезаряжаемых батарей, и все они имеют разные свойства.

Основные достоинства этих источников:

- небольшая масса;

- большой срок службы;
- высокая емкость;
- легкая зарядка;
- большой отбираемый ток;
- не загрязняют окружающую среду;
- небольшая температурная зависимость.

Ниже представлены наиболее распространенные типы перезаряжаемых батарей, их разные свойства, и как они должны быть обработаны, чтобы работать как можно лучше и дольше. Внимание будет сконцентрировано на трех типах, которые получили наибольшее признание потребителей: свинцово-кислотные, никеле-кадмиевые и новые никель-металл-гибридные перезаряжаемые батареи.

### **28.2.1. Свинцово-кислотные батареи**

Вторичные батареи существуют с 1860 г., когда Раймонд Гастон Планте (Raymond Gaston Plante') изобрел свинцово-кислотную батарею. Свинцово-кислотные батареи составляют 60 % от общего количества продаваемых перезаряжаемых батарей. Они обычно наиболее экономичны, так как стоимость на А·ч, особенно для более крупных размеров, самая низкая для этого типа перезаряжаемых батарей. Отличительной особенностью батарей этого типа является то, что они удовлетворяют самым жестким требованиям при рассмотрении их как с точки зрения чисто физических условий, так и относительно зарядки и разрядки. Свинцово-кислотная конструкция успешно применяется в качестве стартерной батареи и как поддерживающая силовая батарея. К сожалению, материалом электродов является свинец, который сам по себе обладает преимуществами зарядки и разрядки, но также является тяжелым и небезопасным металлом.

Сначала на рынке преобладали открытые свинцово-кислотные батареи, но в настоящее время наиболее распространены герметизированные батареи, главным образом в промышленном секторе рынка. Ниже мы рассмотрим именно этот тип свинцово-кислотных батарей.

Имеются разные типы герметизированных батарей, например, специальные типы свинцово-кислотных батарей, в которых электроды намотаны спирально, с тонкими сепараторами между ними, в цилиндрической герметизации. Они имеют очень низкое внутреннее сопротивление, которое позволяет отбирать очень большой ток в течение короткого периода времени.

### **28.2.1.1. Зарядка**

Свинцово-кислотная батарея заряжается постоянным напряжением. Электроды в свинце и серно-кислотном электролите генерируют напряжение элемента 2 В. Элементы обычно собраны в пакет, содержащий 3 или 6 элементов. Если перезаряжаемая батарея используется в циклическом режиме, т. е. заряжена, и затем используется, чтобы снова зарядиться, зарядное напряжение будет 2,40-2,50 В/элемент, т. е. 14,4-15,0 В для перезаряжаемой батареи 12 В. Многие потребители используют свинцово-кислотные батареи для операций технического обслуживания или постоянной зарядки, когда батарея не используется, но постоянно заряжается, чтобы быть полностью заряженной, когда она потребуется, например, в системах UPS (бесперебойное питание) или для устройств сигнализации. Для батареи 12 В в таком случае зарядное напряжение составляет 2,25-2,30 В/элемент или 13,5-13,8 В на батарею. Зарядное устройство также должно быть отрегулировано так, чтобы зарядный ток был равен примерно 10 % от емкости батареи (0,1 С) или около 5 % от емкости при постоянной зарядке. Максимальный зарядный ток никогда не должен превышать 1/3 емкости батареи.

При зарядке батареи напряжение на выводах будет заметно возрастать, и этот рост напряжения может быть использован для измерения состояния батареи. Следовательно, источник электропитания с постоянным (стабилизированным) выходным напряжением может быть использован в качестве автоматического зарядного устройства. Требуемое пиковое напряжение для батареи регулируется в источнике питания без батареи. Когда достигается такое напряжение батареи, зарядный ток будет падать до величины, компенсирующей только саморазряд батареи. Если зарядка продолжается, даже когда батарея полностью заряжена, ток будет использоваться только для образования кислородно-водородного газа из воды электролита. Напряжение элемента при этом равно 2,4 В. Регулируемое напряжение питания имеет слабые пульсации выходного напряжения, что дает преимущества, если батарея будет заряжаться, когда она соединена с чувствительной аппаратурой. В зарядной цепи должен быть предохранитель, чтобы исключить бесконтрольные большие токи от батареи в случае коротких замыканий.

### **28.2.1.2. Разрядка**

Что касается разрядки, то такие батареи, несомненно, имеют наибольшие преимущества при разрядке большими токами за короткий промежуток

времени. Герметизированная свинцово-кислотная батарея обычно может быть загружена краткосрочно (менее 5 с) силой тока, соответствующей до 15-кратной емкости перезаряжаемой батареи. Максимальный постоянно отбираемый ток не должен превышать 3-кратной емкости (3 C).

### **28.2.1.3. Срок службы**

Срок службы наиболее распространенной свинцово-кислотной батареи обычно составляет 3-5 лет, но имеются батареи некоторых типов, расчетный срок службы которых может быть более 10 лет. Такие батареи используются в основном в системах питания UPS для телекоммуникаций и тревожной сигнализации. Лучшим измерением срока службы зачастую является указание количества циклов, которое батарея может выдержать прежде, чем ее емкость упадет до 60 % первоначальной величины. На этот показатель оказывает заметное влияние емкость, используется при каждом разряде (глубина разрядки). Стандартным показателем является примерно 500 циклов при использовании 50 % емкости при каждом разряде.

### **28.2.1.4. Преимущества и недостатки свинцово-кислотных батарей**

**Масса** батарей является очевидным минусом свинцовой конструкции.

**Срок службы** значительно изменяется для различных типов, но выгодно отличается, при сравнении с другими типами перезаряжаемых батарей.

**Емкость** часто устанавливают относительно массы, что не дает свинцовой конструкции каких-либо преимуществ. Однако легче и дешевле изготовить свинцово-кислотные батареи с большими емкостями, чем другие типы батарей.

**Зарядка** является явным плюсом, так как она осуществляется очень легко и не требует специальных схем контроля. К сожалению, несмотря на широкое применение таких батарей во всем мире, свинцово-кислотные батареи нельзя отнести к категории дружелюбных по отношению к окружающей среде, так как содержат значительное количество опасного металла – свинца. Этот тип батарей не особенно температурно-зависимый при разрядке (на емкость батареи отрицательно влияют низкие температуры), но зарядку следует производить при комнатной температуре, в противном случае – зарядное напряжение следует корректировать, чтобы достичь полной зарядки.



### 28.3. Никель-кадмиевые перезаряжаемые аккумуляторы (NiCd)

Первый щелочной железо-никелевый перезаряжаемый аккумулятор (NiFe) был изобретен в 1899 г. Свидом (Swede) и носил название «Джангнер» (Jungner). И только в 1932 г. в этом аккумуляторе появились электроды из никеля и кадмия. В начале 1960-х г. аккумуляторы достигли поистине широкого коммерческого использования. В настоящее время никель-кадмиевые перезаряжаемые аккумуляторы наиболее широко применяются в небольших устройствах бытового назначения (рис. 84).

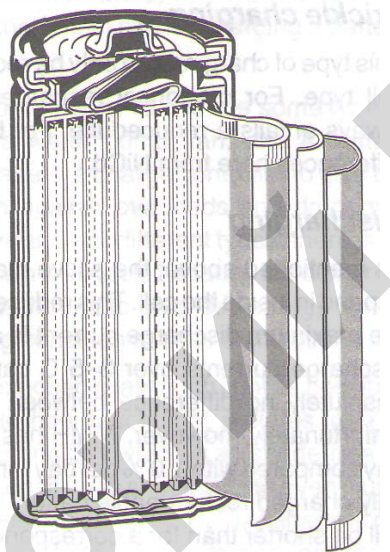


Рис. 84. Никель-кадмиевый элемент в разрезе

Главный фактор успеха обрушившейся на нас волны беспроводного оборудования в настоящее время связан с усовершенствованиями характеристик, проведенными за прошедшие годы и ценой никель-кадмиевых аккумуляторов.

Никель-кадмиевые аккумуляторы дают высокую плотность энергии (высокое содержание энергии относительно массы), большие возможности для нагрузок большого тока и большой срок службы по числу циклов. NiCd-аккумуляторы обычно используются емкостью от нескольких мАч до примерно 10 Ач. Эти аккумуляторы первоначально применялись только в одном конструктивном исполнении для всех сфер использования, но в настоящее время применяются ряд специальных конструкций для получения наилучших возможных характеристик для определенных типов использования. Например, некоторые аккумуляторы имеют максимально возможную емкость, другие – могут очень быстро заряжаться или работать в условиях высоких окружающих температур.

Элементы проектируются с одним минусовым кадмиевым электродом и одним плюсовым никелевым. Электролит, состоящий из гидроокиси калия в воде, действует как проводник ионов. Для исключения короткого замыкания два электрода сохраняются электрически изолированными один от другого с использованием пористого сепаратора, обычно состоящего из пластиковых материалов. В цилиндрических элементах электроды спирально намотаны для создания возможно большей поверхности (высокая емкость) с возможно более тонким сепаратором (низкое внутреннее сопротивление = высокий ток разряда). Электрохимия в перезаряжаемом аккумуляторе спроектирована так, что все газы, образующиеся при зарядке (кислород образуется при электролизе воды), рекомбинируются (воссоединяются) и выходят из газообразной фазы. Естественно, все элементы снабжены предохранительным клапаном, исключающим избыточное давление в элементе при очень большой перезарядке.

### 28.3.1. Зарядка

NiCd-аккумулятор заряжается постоянным током. Электроды в никеле и кадмии и гидроокись калия дают напряжение элемента 1,2 В. При зарядке нужно подать больше энергии, чем ее отбирают в процессе разрядки. Обычно можно подсчитать, что нужно подать 140 % отбираемой емкости, т. е. получается коэффициент зарядки равный 1,4. NiCd-аккумуляторы обычно заряжаются током 0,1 С в течение 14-16 ч. Зарядный ток можно определить по формуле:

$$I = C \cdot 1,4/t, \quad (77)$$

где  $I$  – зарядный ток, А;

$C$  – емкость, А · ч;

1,4 – коэффициент зарядки;

$t$  – время зарядки, ч.

Напряжение элемента будет постоянно увеличиваться в процессе зарядки, чтобы достичь к концу цикла зарядки напряжения примерно 1,45-1,50 В (рис. 85). Для зарядных токов ниже 0,2 С в контроле зарядки нет необходимости. Зарядку следует производить при комнатной температуре. Необходимо проверить полярность соединений, иначе NiCd-аккумулятор будет разрушен при неправильной полярности с зарядным устройством.

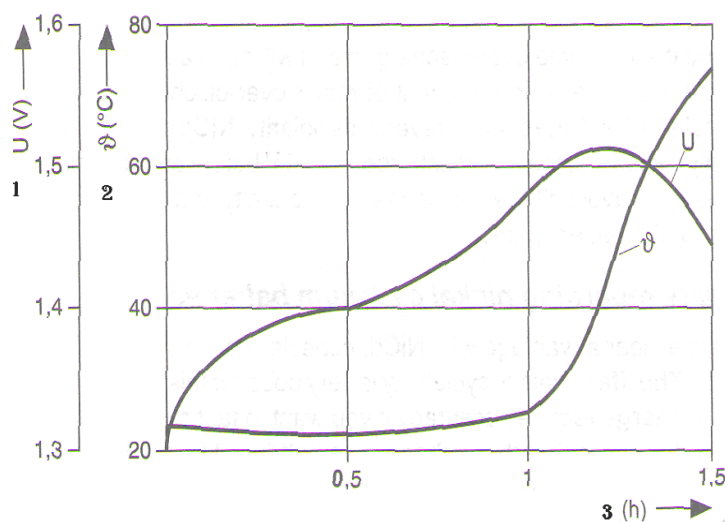


Рис. 85. Быстрая зарядка NiCd-элемента:

1 – напряжение элемента,  $U(\text{В})$ ; 2 – температура  $\theta(^{\circ}\text{C})$ ; 3 – время зарядки (ч)

Кривые показывают напряжение элемента и его температуру при зарядке быстрозаряжаемого аккумулятора током 1,0 С в течение около 70 мин. Аккумулятор полностью заряжен по прошествии 70 мин, внешняя температура аккумулятора достигает  $45^{\circ}\text{C}$ .

### 28.3.2. Быстрая зарядка (0,5-1,5 С)

NiCd-аккумулятор имеет очень хорошие свойства по способности принимать высокий заряд в ограниченном промежутке времени. Чем короче время зарядки, тем более тщательно нужно контролировать зарядку. Напряжение элемента в NiCd постепенно увеличивается в процессе зарядки и затем несколько снижается, когда элемент полностью заряжен. В это же время резко возрастает температура элемента. Современные быстрые зарядные устройства используют метод  $-\Delta V$ , т. е. они воспринимают это снижение напряжения и затем отменяют зарядку (см. рис. 85). Следует пытаться в первом примере избегать слишком большого роста температуры элемента, поскольку это значительно сокращает срок его службы. Следовательно, рекомендуется для дополнительной безопасности использовать тепловой предохранитель (автоматический сброс в исходное положение). Поверхностная температура для полностью заряженного элемента при его быстром заряде составляет около  $+45^{\circ}\text{C}$ . Тепловой предохранитель устанавливается последовательно в цепи зарядки снаружи аккумуляторного блока. Он размыкает цепь зарядки, когда температура превысит  $+45^{\circ}\text{C}$ . Быструю зарядку током менее 1 С можно также производить только с контрольным реле времени, согласно приведенной

выше формуле (77), но это следует сочетать с тепловым предохранителем, чтобы исключить перегрев элементов. Быстрая зарядка неприемлема для высокотемпературных или таблеточных элементов.

### 28.3.3. Непрерывный («дозовый») подзаряд

Этот метод зарядки обычен для высокотемпературных или таблеточных (кнопочных) элементов. Он означает, что перезаряжаемый аккумулятор постоянно подзаряжается, чтобы затем применить его в случае потери напряжения, например, для резервного питания в компьютере. Для цилиндрических NiCd-элементов производится подзарядка токами 0,03-0,05 С, тогда как для таблеточных элементов – ток 0,01 С. Цилиндрический элемент емкостью 800 мА · ч непрерывно подзаряжается токами 24-40 мА.

### 28.3.4. Разрядка

NiCd-элемент обладает уникальными нагрузочными свойствами. Элемент можно заряжать вплоть до 100 С, но только за очень короткий период времени. Максимальный отбор тока должен быть на уровне 8-10 С примерно за 4-5 мин. NiCd-элемент имеет также преимущество, состоящее в том, что напряжение элемента постоянное (1,2 В) во всей последовательности разряда (рис. 86). Конечное напряжение (полюсное напряжение, когда элемент уже не имеет емкости для питания) обычно составляет около 1,0 В. К сожалению, NiCd-аккумуляторы имеют такой недостаток, как довольно высокий саморазряд, около 1 % в день, что приводит к плохой эффективности преобразования при дозовом подзаряде, и что должно быть затем компенсировано в связи с этим фактом.

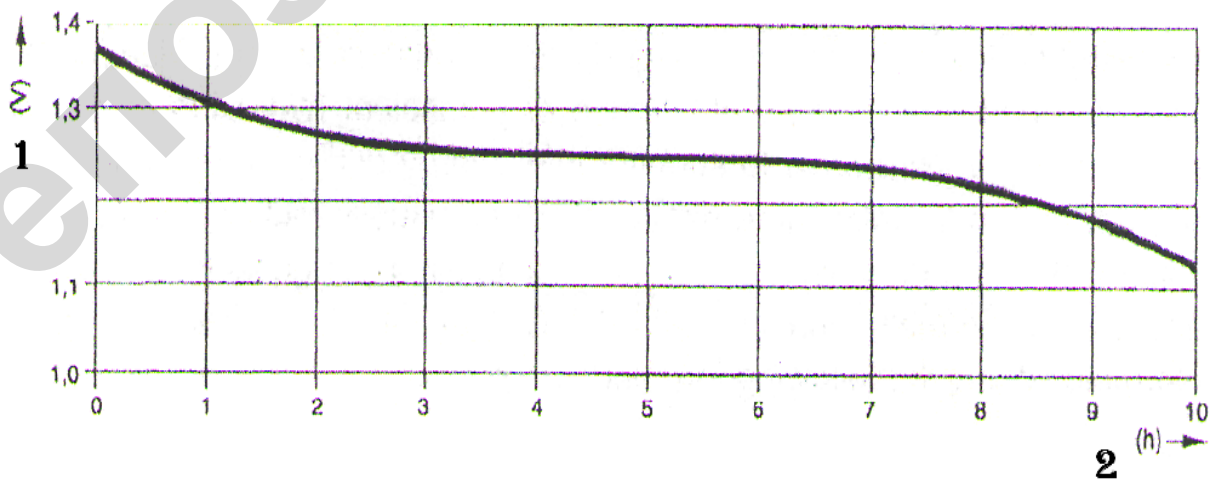


Рис. 86. Изменение напряжения разряда по времени при нагрузке 0,1 С:

1 – напряжение (В); 2 – время разряда (ч)

### 28.3.5. Срок службы

Цифрой, которая озвучивается многими потребителями, является 1000 зарядов и разрядов, которые выдерживают NiCd аккумуляторы. Но следует также заметить, что число циклов, которые выдерживает перезаряжаемый аккумулятор такого типа, в значительной мере зависит от обращения с аккумулятором. Как упомянуто выше, в случае перезарядки внутренняя температура ионов элемента возрастает, что приводит к дегенерации материалов в элементе. Аналогичная вещь случается при сильном разряде. Когда аккумуляторный блок, состоящий из нескольких элементов, разряжается, существуют различия в остаточной емкости, когда некоторые элементы достигают конечного напряжения раньше других. Эти элементы затем становятся переразряженными и могут оказать отрицательное воздействие на срок службы всего блока. В случае большого переразряда, когда напряжение элемента падает до 0,2 В, элемент может реверсировать свою полярность. NiCd-элементы всегда хорошо работают, когда полностью циклированы, т. е. они разряжаются до 1,0 В прежде, чем начнется зарядка. Таким способом можно избежать различий в остаточной емкости и достичь наилучших функциональных показателей всего блока элементов.

### 28.3.6. Преимущества и недостатки никеле-кадмиевых аккумуляторов

**Масса** является явным преимуществом NiCd, она невелика по отношению к емкости.

**Срок службы**, или главным образом цикличность, очень хороши для этого типа аккумуляторов.

**Зарядка** требует аккуратности, если нужно быстро зарядить очень большим током без сокращения срока службы, но в других случаях обращение с аккумулятором не представляет труда.

NiCd-элемент является **температурно-зависимым**, поскольку внутреннее сопротивление растет по мере снижения температуры. В настоящее время существуют такие типы аккумуляторов, которые специально созданы для работы при высоких окружающих температурах. Их используют, например, в устройствах световой сигнализации.

NiCd-аккумулятор содержит **очень опасный для окружающей среды материал – кадмий**, который должен быть ограничен в окружающей среде. Сегодня нет удовлетворительной альтернативы этому типу аккумуляторов.

## 28.4. Никель-металлические гибридные аккумуляторы (NiMH)

NiMH-аккумуляторы появились с середины 1970-х г. Только сейчас, когда общественное мнение стало требовать более дружественных по отношению к окружающей среде альтернатив никель-кадмиевому аккумулятору, главные изготовители решили разработать систему для потребительского этапа. Дебаты по экологии, которые недавно вспыхнули, зачастую касались экологической опасности NiCd-аккумуляторов и их возможных преемников – никель-металлических гибридных аккумуляторов. Фактически эти аккумуляторы имеют некоторые преимущества в сравнении с NiCd, но естественно, имеют и недостатки. В значительной части современного обычного потребительского оборудования возможна замена экологически опасных NiCd-аккумуляторов, тогда как многие другие главные сферы применения со специальными требованиями к перезаряжаемым аккумуляторам должны подождать более длительное время.

NiMH является вторичной аккумуляторной системой, имеющей самую высокую плотность энергии из существующих систем. Она является также системой, которая имеет самую высокую емкость по отношению к объему аккумулятора. Это абсолютное наивысшее преимущество NiMH в сравнении с NiCd. NiMH используется во всех обычных сферах применения, например, в мобильных телефонах, фристайлах, видеокамерах и т. д., где можно использовать преимущества более высокой емкости для достижения большего срока службы. Однако, цена также значительно выше. В будущем, по мере снижения стоимости материалов для этой конструкции цена будет снижаться.

Аккумуляторная система основана на хранении водорода в металлическом сплаве (система раньше называлась никель-водородным аккумулятором). Спекаемая никелевая пластина образует плюсовой электрод, а минусовой электрод включает в себя специальный сплав, состоящий из редкоземельных металлов: никеля, марганца, магния, алюминия и кобальта. Никто из современных изготовителей не оговаривает процентный состав ингредиентов, так как этот сплав определяет свойства аккумулятора.

Сепаратор состоит из полиамида или полиолефина, а электролитом является щелочь. При зарядке и разрядке происходит движение водорода между разными электродами. Способность связывать водород в металлическом сплаве определяет емкость перезаряжаемого аккумулятора. Самой большой проблемой, которую сегодня пытаются решить, является то, что чем выше емкость, которая достигнута, тем меньше способность системы к реагированию, что приводит к ограничению разрядного тока и времени зарядки. Как и NiCd-аккумулятор,

NiMH-аккумулятор снабжен предохранительным клапаном, защищающим от слишком большого избыточного давления в элементе.

#### **28.4.1. Зарядка**

NiMH имеет более высокое отношение «емкость/объем», чем NiCd. Это означает, что в таком же корпусе заключено больше активного материала. Это, в свою очередь, приводит к тому, что материалы имеют меньше пространства в корпусе для расширения, и это делает систему менее готовой к реагированию. Следовательно, NiMH должен заряжаться медленнее, чем NiCd, и должен более тщательно контролироваться, чтобы избежать перезаряда. Обе системы аккумуляторов имеют напряжение элемента 1,2 В. Обычная зарядка производится одинаково, т. е. зарядным током 0,1 С в течение 14-16 ч. Аналогично, напряжение элемента также будет увеличиваться в конце зарядной фазы до 1,45-1,50 В. Никакого контроля зарядки, кроме таймера, не нужно, если зарядный ток меньше 0,2 С.

#### **28.4.2. Быстрая зарядка**

Если NiCd может быть быстро заряженным примерно за 15 мин, соответствующее минимальное время зарядки для NiMH равно около 1 ч. Рост температуры, происходящий в элементе, когда он достигает состояния полной зарядки, для NiMH происходит намного быстрее. Одновременно происходящее снижение напряжения также значительно меньше, поэтому точность для схем, которые это чувствуют, должна быть выше. Рекомендуется, чтобы при быстрой зарядке аккумуляторов NiMH всегда использовались две из имеющихся защитных систем ( $-\Delta V$ , поверхностная температура  $> 45$  °С, таймер). Здесь уместно отметить, что срок службы NiMH более чувствителен к перегреву элемента, чем NiCd. Однако невозможно установить для элементов NiMH какой-либо «эффект памяти» («memory effect»). Это такое явление, которое иногда встречается в элементах NiCd, когда используется только малая часть емкости элемента. Когда это происходит повторно, элемент «leams» и емкость после зарядки снижается.

Явление обычно можно выправить путем двукратного полного циклирования аккумулятора, т. е. путем полной разрядки перед зарядкой и повторения этой операции 3-4 раза.

#### **28.4.3. Непрерывный «дозовый» подзаряд (Trickle Charging)**

Этот тип зарядки может быть рекомендован только для аккумуляторов NiMH с элементами кнопочного (таблеточного) типа. Для цилиндрических

аккумуляторов постоянный зарядный ток всегда вызывает сокращение срока службы. Для вариантов элементов кнопочного типа, однако, нет никаких отличий от NiCd.

#### 28.4.4. Разрядка

Как упомянуто выше, активные материалы в элементе NiMH имеют меньше пространства для расширения внутри элемента. Это снижает тенденцию к реагированию. Естественно, что максимальный ток разрядки также ниже, чем для элемента NiCd. Обычно не рекомендуются токи разрядки выше 3-5 С. Однако нет никаких различий между системами по конечному напряжению, которое составляет около 1,0 В. К сожалению, NiMH имеет более высокий саморазряд – примерно 1,5 % в день, в сравнении с 1 % в день для NiCd. Это означает, что время хранения для полностью заряженного аккумулятора, который нужно иметь в наличии для быстрого использования, будет короче, чем для соответствующего аккумулятора типа NiCd.

#### 28.4.5. Срок службы

Поскольку NiMH является относительно новой перезаряжаемой аккумуляторной системой, еще нет практических долгосрочных исследований по установлению срока ее службы. Согласно информации изготовителей, работающих на рынке Швеции, срок службы должен быть не меньше, чем NiCd, т. е. 1000 циклов. Следует заметить, что эта цифра применима к идеальным условиям, например, зарядка током 0,1 С более 14 ч. при комнатной температуре для каждого цикла зарядки. Кроме того, здесь не учитывается перезаряд, который может негативно отразиться на сроке службы. Реальной длительностью циклирования при нормальных условиях должно быть около 500-800 циклов.

#### 28.4.6. Преимущества и недостатки никеле-металлических гибридных батарей (NiMH)

NiMH является единственным перезаряжаемым аккумулятором, который не содержит экологически опасных тяжелых металлов и, следовательно, является **более дружелюбным по отношению к окружающей среде**, чем другие аккумуляторы.

**Масса** по отношению к емкости является вторым преимуществом этого типа аккумуляторов. Эта система имеет наивысшую **плотность энергии**.

**Срок службы** является хорошим относительно циклического использования, но менее хорош относительно эксплуатационного использования. Од-



нако, это не относится к кнопочным элементам, которые имеют такие же свойства, что и аналогичные элементы NiCd.

**Зарядка** является более чувствительной и требует более тщательного контроля, чем других, рассмотренных выше типов аккумуляторов. Как и NiCd, элемент NiMH является **температурно-зависимым**, поэтому при его зарядке должна соблюдаться рекомендуемая рабочая температура.

В приведенной выше информации сделан упор на общие параметры для различных перезаряжаемых аккумуляторных систем. Поскольку между различными типами аккумуляторов существуют такие большие различия, рекомендуется всегда, прежде чем использовать информацию, уточнить ее у соответствующего изготовителя или в его представительстве.

## 28.5. Литиево-фосфатные (LiFePO<sub>4</sub>) аккумуляторы

Литиево-фосфатные аккумуляторы являются разновидностью литиево-ионных аккумуляторов. К преимуществу таких аккумуляторов можно отнести:

- высокую токоотдачу и быстроту зарядки (требуется всего 15 мин для полной зарядки с током зарядки до 4 C, где C – емкость в А · ч);
- многократно большее число циклов «зарядки – разрядки», в сравнении с обычными АКБ (от 1000 до 2000 циклов);
- работу при отрицательных окружающих температурах (до -30 °С);
- сверхнизкий саморазряд ( $\approx 4\%$  в год);
- малый вес (в 2 раза легче свинцово-кислотных АКБ);
- пожаро- и взрывобезопасность (по этому показателю LiFePO<sub>4</sub> аккумуляторы превосходят Li-ion-аккумуляторы).

Новые LiFePO<sub>4</sub>-аккумуляторы являются наилучшим решением для электропитания и привода гибридных автомобилей.

## 28.6. Литиево-полимерные (Li-pol) аккумуляторы

Литиево-полимерные (Li-pol) аккумуляторы представляют собой более совершенную конструкцию Li-ion-аккумулятора. В качестве электролита используется полимерный материал с включением гелеобразного литий-проводящего наполнителя. Сухой твердый полимерный электролит заменяет

традиционный пористый сепаратор, пропитанный электролитом. К преимуществам Li-poi относятся:

- простое производство;
- большая безопасность;
- малые габариты (толщина элемента  $\approx 1$  мм);
- низкий саморазряд;
- экологическая безопасность;
- число рабочих циклов 500–600 при токах разряда в 2 С до потери емкости 20 %;
- высокое напряжение единичного элемента (3,6 В против 1,2 В у NiCd- и NiMH-аккумуляторов, что упрощает конструкцию).

Li-poi-аккумуляторы находят применение в мобильных телефонах, бытовой технике и в некоторых современных гибридных автомобилях.

## 29. СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

---

Солнечные элементы используют свет для получения электрической энергии. Солнечный элемент может быть изготовлен из многих материалов, но наиболее широко применяется кремний (Si).

Здесь мы рассмотрим монокристаллические, поликристаллические и тонкопленочные (аморфные) элементы. Различие между монокристаллическими и поликристаллическими элементами невелико, фактически они различаются способами изготовления базового материала для элемента. Благодаря более гомогенным материалам монокристаллический элемент имеет более высокий коэффициент преобразования, т. е. он преобразует больше энергии на единицу поверхности, чем поликристаллический элемент. Однако различие совершенно малое: 12-15 % – для монокристалла и 10-14 % – для поликристалла.

Обычный солнечный элемент из кристаллического кремния имеет размеры примерно 10x10 см и номинальное напряжение около 0,5 В. Соединяя солнечные элементы последовательно, получают панели солнечных элементов (рис. 87). Имеются панели с разным количеством элементов, в зависимости от области применения и качества отдельных элементов. Панель солнечных элементов, которая будет использоваться для зарядки свинцово-кислотной батареи в наших широтах, должна иметь, по крайней мере, 30 элементов, если они монокристаллического типа, и 32 элемента поликристаллического типа. С ростом температуры напряжение от элементов падает, что означает потребность в использовании еще большего числа элементов, если они установлены в зонах высокой температуры. Нормальная панель из 30-32 элементов обычно имеет пиковую отдаваемую мощность 40-45 Вт. Можно получить другие размеры путем добавления дополнительных элементов или путем деления элементов на меньшие части. Но это довольно дорого стоит, поскольку требует дополнительных этапов изготовления.

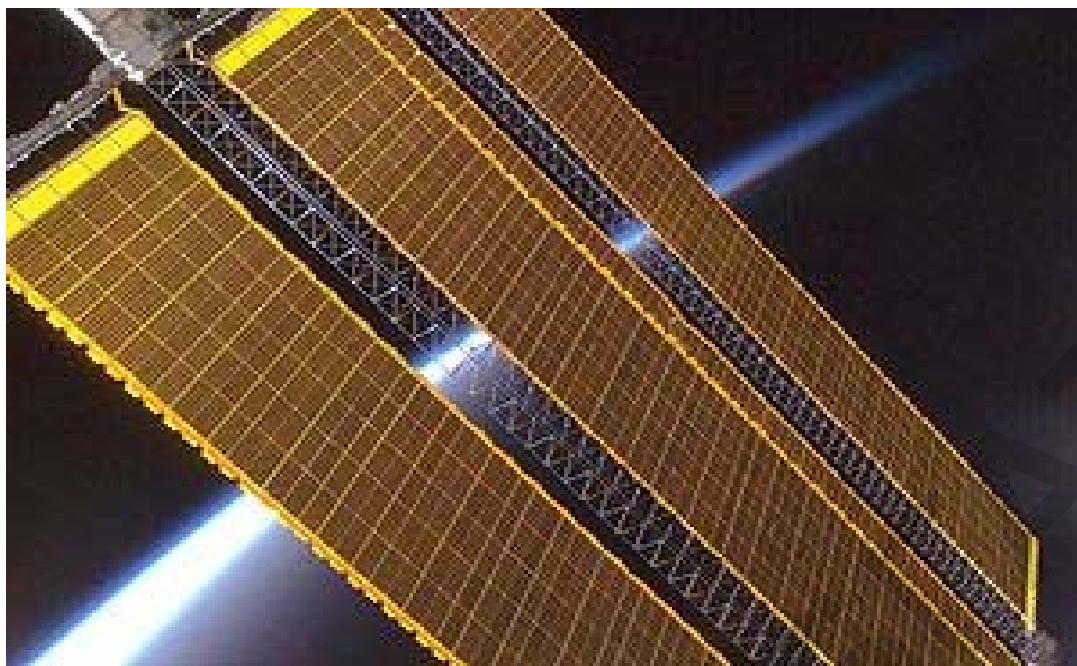


Рис. 87. Солнечные батареи на международной космической станции

Однако тонкопленочная технология предлагает несколько преимуществ с точки зрения изготовления, поскольку можно точно определить характеристики путем специального позиционирования кабельной схемы. Тонкопленочная панель изготавливается путем нанесения тонкого слоя активного материала непосредственно на обработанный лист стекла. Используя лазер, можно нарезать любое количество элементов любого размера. К сожалению, коэффициент преобразования для этого типа элемента значительно ниже, чем для кристаллического элемента. Для небольших устройств, таких как компактные калькуляторы, тонкопленочные элементы, применяются довольно широко. Стандартная тонкопленочная панель для зарядки батареи обычно имеет выходную мощность около 10 Вт.

Солнечные панели обычно используются для зарядки батарей или для непосредственного привода некоторых потребительских изделий, таких как водяной насос, вентилятор и др. Система зарядки батареи собирается из одной или более панелей, зарядного контроллера для получения максимальной зарядки батареи и предохранения от перегрузок и повреждений при глубоких разрядах и батареи. Батареи могут быть разного типа, не существует специальных «солнечных батарей». Обычная автомобильная батарея неприемлема, потому что создана для отдачи большой энергии за ограниченное время, а не для отдачи малой энергии за более длительное время, что является нормальным рабочим условием в солнечных установках.

Солнечная панель монтируется так, чтобы подвергаться как можно большему освещению. Выходная мощность прямо пропорциональна количеству

излучаемого света. Можно выбрать место, расположенное между юго-востоком и юго-западом, чтобы было как можно меньше тени. Кристаллические панели особенно чувствительны к тени и, если даже один элемент в панели находится в тени, теряется много энергии. Размытая (рассеянная) тень не так опасна, как более четкая тень. Угол солнечного света также важен. В зимний период предпочтительно устанавливать панели перпендикулярно лучам, а в летнее время наиболее приемлем угол 30-45°. Солнечная панель дает энергию даже, если солнце не светит, но естественно, что получаемая энергия зависит от излучаемого света. В солнечный летний день радиация, например, в Швеции, может быть до 1000 Вт/м<sup>2</sup> и, следовательно, правильно установленная панель заряжает батарею током максимум 3 А, если батарея была до этого не полностью заряженной. В облачный летний день радиация может быть около 200 Вт/м<sup>2</sup> и, следовательно, отдаваемый ток будет не больше 0,5 А.

## 30. ПЕРСОНАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ (РС)

---

### 30.1. История создания

Временем рождения персонального компьютера, «РС», как мы его называем сегодня, является 1981 г., когда корпорацией «IBM» был введен в эксплуатацию первый РС. Пресс-релиз, датированный 13 августа 1981 г., информировал всех о том, что «IBM» ввел в эксплуатацию в Нью-Йорке персональный компьютер IBM 5150PC». Далее сообщалось: «РС имеет центральный блок обработки данных 4,77 МГц Intel 8088 CPU с запоминающим устройством 64 кВРАМ (оперативное ЗУ емкостью 64 кбит), которое может быть расширено до 256 кбит, 40 кбит ROM (BIOS) (оперативное ЗУ емкостью 40 кбит), с дисководом 5,25", емкостью 160 кбит и догнал PC-DOS 1,0 от «Microsoft». Компьютер в комплекте с устройством цветной графики стоит 6 000 американских долларов».

Уже появились различные версии «микрокомпьютеров». В январе 1982 г. Грегг Вильямс (Gregg Williams) писал в журнале «BYTE»: «Какой компьютер имеет цветную графику, подобную «Apple II», и экран 80 знаков, подобный TRS-80 Model II, переопределяемую карту знаков, подобную Atari 800, 16-битовый микропроцессор, подобный TI 99/4 Texas Instruments, и полную клавиатуру с заглавными и строчными буквами? Ответ один: это РС IBM».

Многие пытались сравнить развитие РС за последние 20 лет с развитием автомобилей, судов и даже с размерами парковочных мест автомобилей. Если, например, парковочные места принять как вид темпов развития и сравнить с компьютерами, то все парковочные места таких городов как Стокгольм, Гетеборг и Мальме, должны вписаться в размеры обычной жилой комнаты. Например, микропроцессор «Intel IA-64 Itanium» имеет 42 миллиона транзисторов, в то время как «8088» имел 25 000 транзисторов. «8088» был в состоянии адресовать 1 Мбайт хранения информации. «Pentium II» адресует 64 Гбайт, или в 64 000 раз больше.

## 30.2. Центральный блок обработки информации (CPU) микропроцессора

Центральный блок обработки информации микропроцессора – устройство, в котором происходит обработка информации через простые двоичные логические операции. Процессор содержит ряд областей памяти, называемых регистрами. Осциллятор или «часы», как его обычно называют в обиходе, действует как «задатчик темпа» («расет») для большинства операций в РС. Осциллятор выдает системные тактовые сигналы, например, 300 МГц; 1,8 ГГц и более, которые контролируют работу процессора и различных шин компьютера (см. рис. 88).

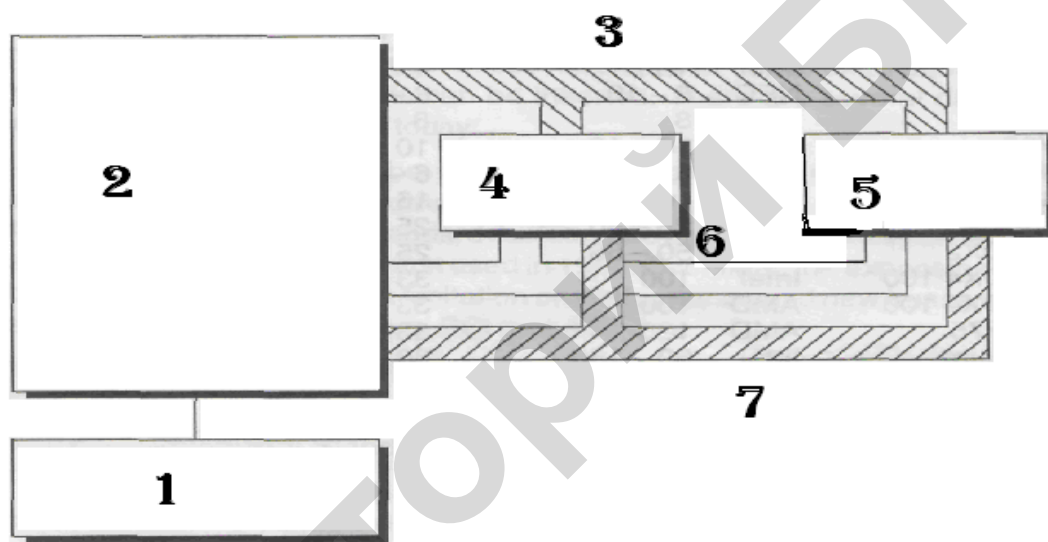


Рис. 88. Важные составные части микрокомпьютера:

- 1 – осциллятор (генератор тактовых сигналов); 2 – микропроцессор (CPU);  
3 – адресная шина; 4 – основная память; 5 – устройство ввода-вывода;  
6 – шина информации; 7 – шина управления

## 30.3. RISC-архитектура и CISC-архитектура

Англ. RISC – Reduced Instruction Set Computer – PC с упрощенным набором машинных команд.

Англ. CISC – Complex Instruction Set Computer – PC со сложным набором машинных команд.

Определение терминов RISC и CISC может быть дано в логической последовательности.

Чтобы в некоторой мере сбалансировать вид маркетинга, где несколько компаний пытались превзойти друг друга, когда достигли эффективности RISC, ниже представлен исторический обзор (отчет), какой архитектуры RISC они пытались достичь.

Ранние компьютеры имели «накопительную архитектуру» («accumulator architecture»), которая была основана на исполнении **операций по информации в накопителе**, которые **хранились в регистрах**, и которые, в свою очередь, **загружались** данными из **памяти** компьютера.

Затем появилась **архитектура «память к памяти»** («memory to memory architecture»), обеспечившая компьютер возможностью работать с регистрами, которые могли содержать и адреса, и информацию, т. е. общими регистрами. Это дает возможность позволять данным непосредственно влиять на исполнение программ.

**Стековая (магазинная) архитектура** предлагает легкий метод обращения с полным набором регистров, чтобы хранить события, подходящие состоянию машины, и переключать задачи. Но архитектура «память к памяти» была все еще относительно медленной. Загрузка регистров из памяти была операцией, требующей затрат времени. Развитие в направлении увеличения числа внутренних регистров было естественным, поскольку внутренние операции в CPU были быстрыми. Количество операций непосредственно в памяти было теперь уменьшено, и работа с регистрами и между регистрами была оптимизирована. Беркли [Berkeley] дал этой архитектуре название RISC. Архитектура CISC родилась одновременно, чтобы дать название для старых, «традиционных» типов компьютеров.

**RISC.** Тот факт, что все команды содержатся в одних машинных словах, часто используется для описания этой архитектуры. Команды имеют одинаковую длину и для их исполнения используется только один цикл CPU. Компьютер использует командный конвейер, исполняя команды с регистрами и между ними. Единственными операциями памяти являются загрузка и хранение, и компьютер RISC не использует микропрограмм. Он также имеет большое количество регистров, обычно 64 или более.

**CISC.** Опираясь на философию проектирования, можно сказать, что эта архитектура представляет конечную цель, что каждая команда на языке высокого уровня (C++, Perl, Basic) должна иметь способность быть представленной простой машинной командой. Недостатком является повышенная сложность, большее число микросхем, что затрудняет увеличение тактовой скорости (частоты) и производительности (см. инф. в табл. 38, 39).



Таблица 38

Architecture	4 bits	8 bits	16 bits	32 bits	64 bits
CISC			Z8000	Pentium-Pro	
CISC	4040	Z-80	8086	Pentium-Pro	PowerPC
CISC		8080	68000	Z80000	
CISC	4004	8051	TMS9900	Pentium	
CISC		2650		80486	
CISC	Am2901	6800	80C166	68020	IA-64
CISC		650x		68040	Itanium
CISC		F8		29000	
CISC		1808		SH	Alpha
RISC				ARM	

Таблица 39

Краткий обзор наиболее распространенных микропроцессоров на материнских платах за период от первого PC в 1981г. до настоящего времени

Обозначение процессора	Изготовитель	Скорость процессора, МГц	Шина, МГц	Примечание
8088	Intel	4.77	4.77	IBM's first PC
V20	NEC	8-10	8-10	
8086	Intel	8	8	
V30	NEC	10-16	10-16	
80286	Intel	6-12	6-12	
386DX	Intel	16-33	16-33	
486DX	Intel	25-50	25-50	
486DX2	Intel	50-66	25-33	
486DX4 100	Intel	100	33	
486DX4 100	AMD	100	33	
586P75	AMD	133	33	
Pentium	Intel	60-150	60	
Pentium	Intel	66-200	66	
K5 pxx	AMD	75/920/100/120	60	
686 Pxxx	Cyrix	120/133/150	66	
Pentium MMX	Intel	200/233/266	66	
Pentium Pro	Intel	150-200	66	
K6	AMD	166-300	66	
MII Pxxx	Cyrix	166/188	75	
MII	Cyrix	300-433	75	
Pentium II	Intel	233-450	66-100	Slot 1
Celeron	Intel	266-733	66	Slot 1/Socket 370/FCPGA
K6-2	AMD	266-550	100	
K6-3	AMD	400/450	100	
Pentium III	Intel	450-1 ГГц	100-133	Slot 1/Socket 370/FCPGA
K7 Athlon	AMD	500-1.2 ГГц	200	Slot A/Socket A
K7 Duron	AMD	600-800	200	Slot A/Socket A
K7 Thunderbird	AMD	800-1.1 ГГц	200	Socket A
IA64 Itanium	Intel	1.5 ГГц	400	

## 30.4. Шинная структура, магистрали компьютера

**Шина (Bus)** – это система проводов, имеющая в компьютере специальную функцию. Их подразделяют на шины данных, адресные шины и шины управления.

**Шина данных** занимается передачей данных между разными блоками компьютера. Шина данных может иметь разную ширину (число параллельных проводников): 8, 16, 32, 64 бит и т. д. Чем больше шина данных, тем больше информации может быть передано шиной одновременно. Более широкая шина обеспечивает более высокую полосу частот шины, что повышает быстродействие компьютера. Обычно центральный блок обработки данных (CPU) определяет, когда и как происходит передача данных по шине. Другие блоки также могут действовать как контроллеры, так называемые «**Мастер-шины**» (**Bus Masters**). Это свойство может использоваться, например, в прямом доступе в память DMA (англ. Direct Memory Access) (рус. аналог «Прямой доступ к памяти»), т. е. передача, в которой системная память и периферийный блок (подобный жесткому диску, который действует как «бас мастер») обмениваются информацией баз данных, управляемых и контролируемых CPU.

**Адресная шина** несет информацию об источнике и адресате (получателе) переноса данных. Чем больше проводников (линий связи) в адресной шине, тем больше имеется адресов. Например, процессор с 32-мя линиями может адресовать 4 Гигабайта ( $2^{32} = 4$  Гбит) информации.

$$1\text{Ki} = 2^{10} = 1024;$$

$$1\text{Mi} = 2^{10}\text{Ki} = 1048576;$$

$$1\text{Gi} = 2^{10}\text{Mi} = 1073741824.$$

**Шина управления** содержит ряд линий, которые несут сигналы управления. Этим определяется, например, точное время для записи в память. Обычно это называют «синхронизацией» («timing»). Связь между блоками компьютера, сигналы ошибки также управляются сигналами по шине управления.

## 30.5. Основная память

Компьютер имеет различные типы памяти. Это основная память (ОЗУ), из которой выполняются программы, и вторичная память (ПЗУ), которая может хранить информацию даже тогда, когда компьютер выключен.

**Основная память** является в компьютере рабочей памятью, требуемой процессором. Оперативная система компьютера, а также все программы, выполняемые компьютером, хранятся в этой рабочей памяти (зачастую некоторые типы DRAM, т. е. динамические ОЗУ). В компьютере операционная система хранится на диске во вторичной памяти (сравните с DOS = Disk Operating System = рус. дисковая операционная система), но считывается в рабочей системе, когда компьютер запущен или начально загружается. Скорость рабочей памяти является одним из самых узких мест в современном PC и заслуживает пристального внимания при оценке эффективности компьютера.

**Сверхоперативная («кеш») память (Cache memory)** означает, что небольшая секция высокоскоростной памяти, зачастую (SRAM), статические ОЗУ, используется как дополнительное устройство хранения рядом с процессором. Когда выполнено считывание, запрошенные данные часто уже хранились в этой памяти, это означает, что приобретение (получение) может быть исполнено предельно быстро. Память «кеш» обычно подразделяется на L1 (уровень 1), или внутренний «кеш», и L2 (уровень 2) или внешний «кеш». Например, процессор AMD K7 имеет 128 кб L1 и до 8 Мб L2 памяти «кеш» (рис. 89).

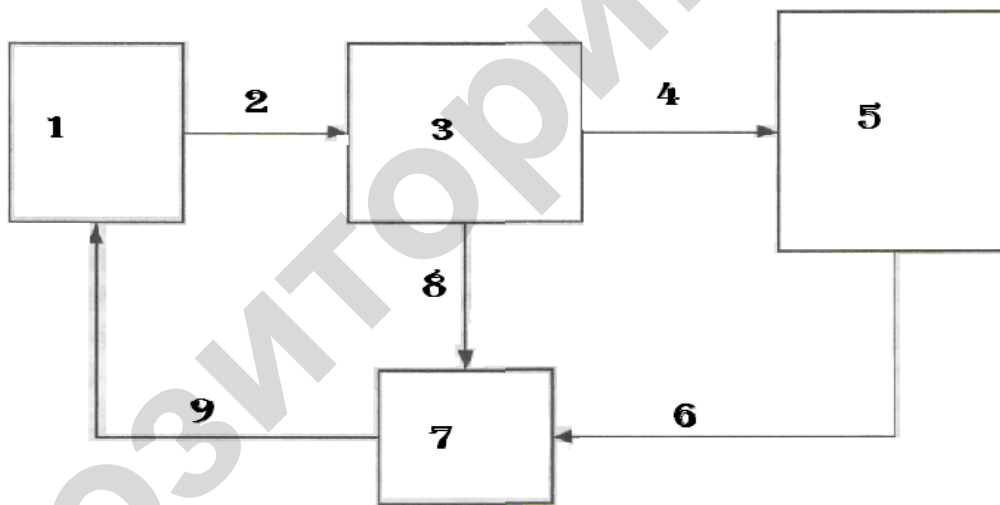


Рис. 89. Память «кеш». Копия наиболее часто используемой информации хранится в памяти «кеш». Процессор обычно записывает/считывает с быстрой памяти «кеш» и нет нужды ожидать более медленную системную память: 1 – CPU, обращение с запрошенными данными; 2 – запрос; 3 – контроллер «кеш»; 4 – пропуск; 5 – основная память DRAM (медленная); 6 – блок данных; 7 – память «кеш» SRAM, быстрая; 8 – совпадение; 9 – запрошенные данные

### 30.6. Вторичная память

**Вторичная память** отличается от основной памяти и хранит программы и данные, которые используются неактивно по времени. К вторичным ЗУ

мы относим память на жестких дисках, дискетах и гибких дисках. Они хранят большой объем данных, сохраняемых даже после выключения компьютера. Быстрое развитие емкости жестких дисководов означает, что мы сегодня имеем в качестве стандартных жесткие дисководы емкостью до 5 Терабайт.

### 30.7. Методы массового хранения информации

Информация хранится магнитным методом на лентах, дискетах или жестких дисковых приводах и оптическим методом на дисках CD-ROM или DVD. Имеется также гибридная техника, хотя она и не является преобладающей. Электрическое массовое хранение осуществляется на различных видах «флэш-памяти», например, CF (компактная «флэш-память»), MMC (мультимедийная карта), Smart Media (интеллектуальная среда) или Sony Memory Stick. Методы «флэш и энд» позволяют достичь емкости хранения в несколько десятков Гбайт.

**Жесткие диски** (дисковые ЗУ или несъемные диски) относятся к наиболее распространенному типу вторичной памяти. В настоящее время жесткий диск способен хранить до 5 Терабайт информации.

Жесткий диск обычно состоит из одного или нескольких алюминиевых платтеров (рис. 90). Они очень тонко отполированы и затем покрыты очень тонким слоем магнитного материала. Жесткий диск способен более плотно упаковывать информацию, чем дискета. Диск вращается при 10 000 об/мин или более. Одна или несколько считывающих головок плавают на воздушной подушке над магнитным покрытием. Имея сложную аэродинамическую конструкцию, считывающая головка может «летать» очень низко (несколько сотен нм, что меньше одной тысячной доли человеческого волоса), и ширина магнитной дорожки может быть предельно узкой.

Общепринятыми стандартами для контроллеров жестких дисков являются: ST-506 (очень старый стандарт), ESDI (старый стандарт), IDE и SCSI. IDE (Integrated Drive Electronics) – электроника интегрального привода – является стандартом, введенным в 1986-1987 гг. компанией «Compaq and Western Digital». IDE характерен тем, что почти весь контроллер жесткого диска расположен на шасси диска, а не на отдельной панели управления. Это дает изготовителям хорошую возможность проектировать панели управления и дисковые системы относительно свободно в пределах этого стандарта. Сегодня эта технология продвинута дальше и называется улучшенным стандартом (E-IDE)

или прогрессивным технологическим дополнением (ATA). Стандарт E-IDE является прекрасной альтернативой SCSI для компьютеров в низком ценовом диапазоне.

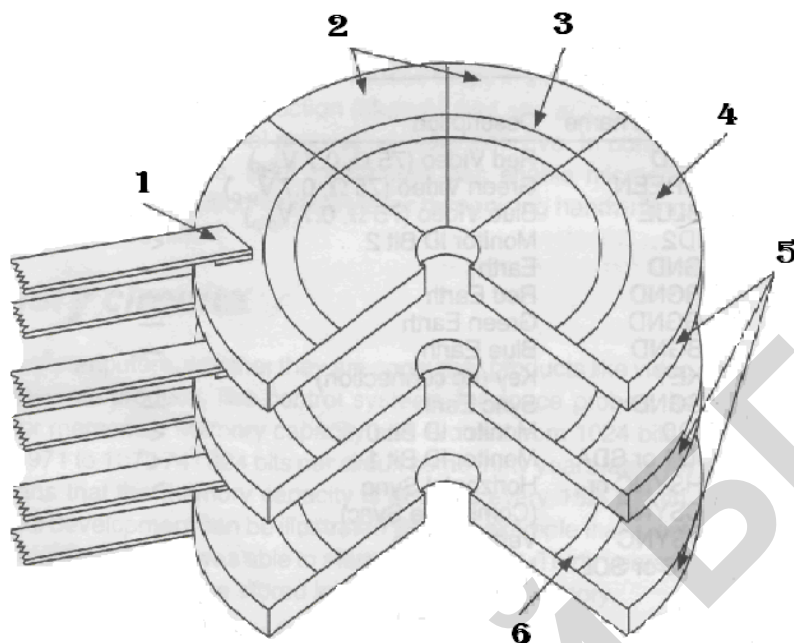


Рис. 90. Конструкция жесткого диска:

1 – головка; 2 – сектор; 3 – дорожка; 4 – поверхность; 5 – диски (алюминий); 6 – цилиндр

## Стандарты SCSI (Small Computer System Interface).

**Стандарт SCSI – Системный интерфейс небольших компьютеров** – имеет давнюю традицию в компьютерной промышленности. Он длительное время использовался для дисковых систем компьютеров «Macintosh» (Макинтош) и сегодня также общепринят в мире PC, действуя как стандарт для серверных систем. SCSI является общим стандартом для всех периферийных устройств. Он часто применяется для соединения резервных устройств (ленточных станций) и различных CD-ROM и DVD-устройств (краткие данные по SCSI-стандартам см. в табл. 41).

Стандарт SCSI развивался в различных версиях. Они отличались, например, шириной шин, сигнальными данными, типом передачи и скоростью шины, а также возможным интеллектом различных устройств. В настоящее время предусмотрено развитие этого стандарта с семью версиями SCSI, и скорость 640 Мб/с определена как стандартная для систем, которые требуют дополнительной ширины полосы частот. SCSI начинал свою жизнь как узкая шина с 50-ю соединениями, которые могли бы передавать 1 байт информации за единицу времени. Более современные стандарты SCSI-2 и SCSI-3 позволяют передавать 2 или 3 байта одновременно (табл. 40).

Краткие данные по стандартам SCSI

Обозначение стандарта версии	SCSI-1	SCSI-2	SCSI-3	Fast-20 Ultra SCSI SE	Ultra 2 SCSI	Ultra 3 or Ultra 160 SCSI	Ultra 320 SCSI
Ширина шины	8-битная шина данных		Широкие 16- и 8-битные шины данных			Широкая 16-битная шина данных	
Скорость шины, Мбайт/сек.	5	10	20	40	80	160	320
Сигнальный стандарт	высоковольтный дифференциал (HVD)				низковольтный дифференциал (LVD)		

**Ленточные устройства (band/tape)** для массового хранения данных используются в настоящее время для поддержки компьютеров. Имеется множество конкурирующих стандартов. Наиболее распространены QIC, DAT и DLT. QIC – четверть-дюймовый картридж (англ. Quarter-Inch Cartridge) – для разных емкостей хранения в диапазоне от менее 100 Мб до более 10 Гб. QIC обычно используется для поддержки индивидуальных компьютеров таким же образом, как более дорогостоящие и мощные устройства 4 и 8 мм на основе DAT. Для сетевых систем и хранения данных, требующих скорости передачи более 2 Мб/с, используется DLT (цифровая линейная лента), которая может хранить 100 Гб и достичь скорости передачи свыше 6 Мб/с. DLT обладает преимуществом непосредственного считывания после записи. Эта техника позволяет осуществлять непосредственный контроль данных при записи на ленту. Таким образом, можно обрабатывать информацию на ленте с точки зрения выявления дефектов для повышения безопасности.

#### **CD-ROM/CD-R/CD-RW/DVD.**

На CD можно хранить 650 или 700 Мб информации. На CD-ROM рисунок (образец) небольших пропусков (подавлений) протравливается на нижней стороне и затем считывается лазером.

CD-ROM отличается сравнительной дешевизной изготовления и используется в качестве среды распределения как программ, так и информации. CD-ROM представлены разнообразными видами. Скорость передачи информации изменяется от первоначальной 150 кб/с 1X (одна скорость) до 40X или более.

CD-R и CD-RW предлагают дополнительную возможность также и записи данных. CD-R (Recordable) могут быть записаны один раз, тогда как CD-RW (Rewritable), т. е. перезаписываемые, могут быть записаны многократно. Скорость передачи для записи может превышать 2 Мб/с. Диск DVD многими представляется как цифровой видео-диск (Digital Video Disc) или цифровой универсальный диск (Digital Versatile Disc), хотя на этот счет нет никаких официальных разъяснений. Это диск 6 дюймов с емкостью информации 4,7/8,5/9,4 или 17 Гб. DVD обычно использует видеосжатие MPEG-2 и Dolby Digital или DTS (Digital Surround) – цифровое окружение – для хранения звука, но используется также и для хранения больших массивов чистой информации, например в словарях.

### **30.8. ПЗУ – Базовая система ввода/вывода ФЛЭШ – память – БС Ввода/Вывода (ROM-BIOS/FLASH-BIOS)**

В базовой системе «ввода/вывода» данных (BIOS) заключены несколько важных функций персонального компьютера. Она содержит программу, позволяющую запускать компьютер. Это так называемая «бут»-программа (программа начальной загрузки) содержит, например, небольшую тестовую программу, которая быстро проверяет различные части компьютера при пуске и затем считывает операционную систему с диска и перемещает в основную память. БСВВВыв часто хранится в «флэш-памяти» и может затем модернизироваться, например, для возможности использования новых типов периферийных устройств.

#### **30.8.1. ФЛЭШ-ПЗУ**

Флэш-ПЗУ относится к типу электрически стираемой памяти. Как и другие типы ПЗУ, она содержит информацию и после отключения электропитания. Содержимое «флэш-памяти» можно легко изменять с помощью специального программного обеспечения. Это устройство получило широкое применение в качестве программной памяти для различных типов периферийных устройств, подобных CD-устройствам, лазерным принтерам, носителям данных для цифровых камер и т. д., а также памяти BIOS в персональных компьютерах.

### 30.8.2. Устройства «ввода» и «вывода» (BIOS)

Компьютером нельзя воспользоваться, если не налажена связь с этими устройствами. Устройства «ввода» используются для подачи информации и, как результат, для контроля компьютера. Устройства «вывода» позволяют видеть или хранить результаты обработанной компьютером информации. Устройства «ввода» и «вывода» присоединяются через интерфейс (адаптерная панель) с шиной расширения (для подключения дополнительных устройств). Устройства вторичной памяти также можно рассматривать как устройства «ввода/вывода».

### 30.8.3. Шины расширения

Персональные компьютеры имеют одну или несколько шин расширения, панельных слотов, куда могут быть вставлены дополнительные устройства по аналогии с графическими и сетевыми панелями (платами). В настоящее время действуют несколько различных стандартов на шины расширения:

**Шина расширения ISA**, которая широко использовалась, но в настоящее время заменена на PCI, хотя шина ISA была дальнейшим развитием компанией IBM шины первого PC с 1981 г. Шина ISA означает «Промышленная Стандартная Архитектура» (Industry Standard Architecture) и первоначально называлась «Шина AT». Со временем шина расширения становилась все более и более ограниченной по эффективности и, следовательно, были разработаны новые шины, такие, как например, PCI и AGP.

**Шина MCA** (Микроканальная Архитектура) является одной из шин расширения IBM, введенной в 1987 г.

**EISA** (Расширенная Промышленная Стандартная Архитектура) была дополненной версией шины ISA, введенной в 1989 г.

**Nubus** является названием старой шины 32 бит компании «APPLE».

**VL bus** является предшественницей шины PCI. Использовалась под названием «local bus» (Локальная шина).

**PCI (Peripheral Component Interconnect)** является локальной шиной компании «INTEL», которая управляет до 264 Мб/с и может использоваться в системе 3,3 V. Сегодня она является стандартной для всех персональных компьютеров.

**AGP (Accelerated Graphics Port)** – порт ускоренной графики – является экраным интерфейсом для прямого доступа к памяти, чтобы можно было легко управляться с разрешением изображения, например, 1024x768 пикселей [PIXELS] со скоростью 30 изображений в секунду. Введен в 1996 г. компанией «INTEL» и используется с отдельным разъемом для графических плат. 1\*AGP передает 264 Мбайт/с; 2\*AGP (AGP 2x) передает информацию по



обеим фронтам тактового сигнала в объеме 528 Мбайт/с. 4\*AGP (AGP 4x) способен передавать 1017 Мбайт/с.

PCMCIA является корректировкой и дальнейшим развитием шины ISA. Следовательно, она имеет такую же ширину, т. е. 8 или 16 бит. Разработана для применения в портативных компьютерах и, следовательно, имеет очень малый шинный разъем.

### 30.8.4. Устройства «ввода» и «вывода».

#### Раздельные шины процессора и шина расширения

В современных микропроцессорах шина процессора полностью отделена от шины расширения (см. рис. 91). Шинная система PC с раздельными шинами процессора и расширения включает: 1 – разъемы для плат расширения; 2 – хранение информации; 3 – шина расширения; 4 – интерфейс I/O; 5 – строчный BIOS; 6 – осциллятор; 7 – шина процессора; 8 – центральный блок обработки данных (ЦПУ); 9 – адресная шина; 10 – сопроцессор; 11 – шина информации; 12 – шина управления; 13 – шифратор ЗУ; 14 – ОЗУ; 15 – контроллер шины; 16 – контроллер прямого доступа в память; 17 – контроллер прерывания; 18 – клавиатура; 19 – контроллер клавиатуры; 20 – мышь; 21 – серийные I/O; 22 – параллельные I/O; 23 – интегральная схема последовательной связи; 24 – интегральная схема параллельной связи; 25 – контроллер привода гибких дисков; 26, 28 – привод дисков (дискетоды); 27 – привод лент; 29 – контроллер привода жестких дисков; 30 – привод жестких дисков; 31 – графический контроллер; 32 – монитор; 33 – адресная шина; 34 – шина информации; 35 – шина управления.

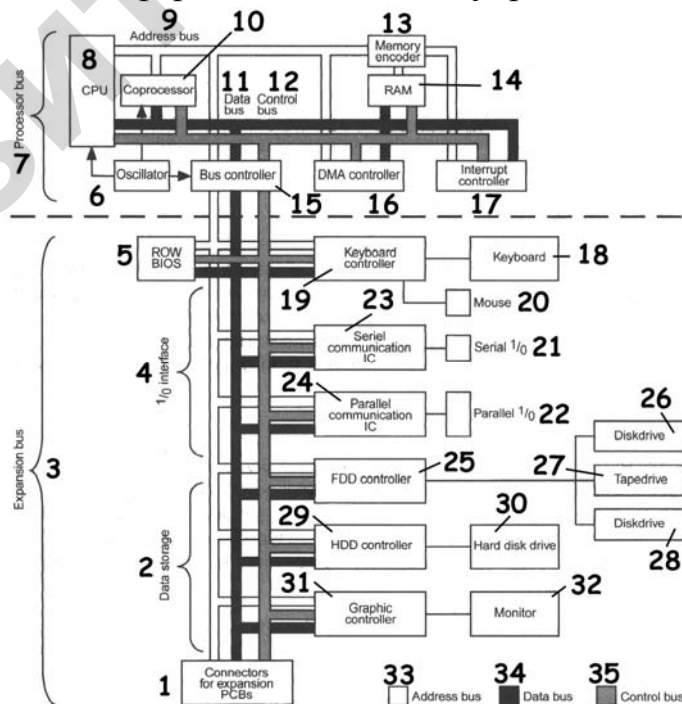


Рис. 91. Шинная система PC с раздельными шинами процессора и расширения

Шина процессора является более мощной, чем шина расширения, что обусловлено более высокой частотой синхронизации и более широкой шиной. Производительность шины расширения ограничена стандартами (см. раздел 30.8.3), тогда как производительность шины процессора определяется выбором процессора, наряду с другими факторами. Следовательно, посредством разделения шин возможно максимально эффективно использовать шину процессора, одновременно сохраняя «совместимую» скорость в шине расширения. При разделении шин возможна также одновременная передача по обеим шинам. Трансляция (перевод) ширины шины и частоты синхронизации выполняется в так называемом **шинном контроллере 15** (рис. 91).

Более того, чтобы получить улучшение характеристик передачи между двумя шинами, сигналы шин данных и адресации буферизуются.

#### **30.8.4.1. Устройства «ввода»**

Наиболее распространенным входным устройством является **клавиатура**. Мышь (**указательное устройство**) используется для исполнения команд и для работы с маркировкой текста и изображений на экране. С помощью **сканера или цифровой камеры** можно преобразовать изображения в цифровой формат для обработки РС. **Устройство считывания штрихового кода** такого же типа, как и используемые при покупке товаров в магазинах, можно приспособить в качестве считывающего устройства для персональных компьютеров. Оно читает информацию в штриховом коде, и она затем хранится в формате, который может считываться и обрабатываться компьютером. Штриховое кодирование вместе с кодом EAN (European Article Numbering) является сегодня стандартом почти для всех видов товаров. Имеются **джойстики и ролики** с/без механической обратной связи, чтобы усилить восприятие в процессе воспроизведения/игр. Джойстик обычно соединен с игровым портом компьютера.

#### **30.8.4.2. Устройства «вывода»**

**Экран дисплея, или монитор** является, возможно, наиболее важной частью компьютера. Монитор должен удовлетворять требованиям ТСО 95 для гарантии хорошей эргономики, «дружественного» отношения к пользователям и окружающей среде. Оборудование должно быть также подготовленным к повторениям циклов. Естественно, компьютер и монитор должны иметь резервную функцию «стэндбай» для выключения устройств после определенного промежут-

ка времени. Такие аспекты будут удовлетворяться путем выбора оборудования, которое признано удовлетворяющим требованиям Energy Star/NUTEK по энергетической эффективности. Имеются несколько дисплейных технологий, из которых можно сделать выбор. Если это касается стационарных моделей, еще широко применяются электронно-лучевые трубки (CRT), хотя довольно быстро внедряются различные типы дисплеев на тонкопленочных транзисторах (TFT) или плазменные дисплеи, у которых почти полностью отсутствуют помехи, связанные с магнитными и электрическими полями. Что касается переносных компьютеров, в них абсолютно преобладают TFT-дисплеи. Вообще, имеется также отдельный вид **принтера**, соединенный с PC напрямую или через сеть.

### **30.8.4.3. Исторический обзор графических стандартов**

**MDA** был стандартом монохроматической графики, без цветности.

**Hercules** («Геркулес») был монохроматическим графическим стандартом независимой компании, который широко применялся в начале 1980-х г. Главными характеристиками стандарта «Геркулес» были небольшая стоимость и хорошая разрешающая способность.

**CGA** был первым графическим стандартом для персональных компьютеров. Максимальное число изображаемых пикселей (минимальных элементов изображения) – так называемое «разрешение» – составляло 640×200.

**EGA**, введенный в 1984 г., позволяет разрешение 640×350 пикселей, тогда как стандарт **VGA** позволяет 640×480 пикселей. Даже сегодня **VGA** является еще широко используемым графическим стандартом для PC.

**XGA** компании «IBM», введенный в 1987 г., имеет разрешение 1024×768 пикселей.

### **30.8.4.4. Графика высокого разрешения**

Довольно скоро оба стандарта **EGA** и **VGA** были подвергнуты дальнейшей переработке и были разработаны различные «супер»-версии стандартов с более высоким разрешением и с большей цветностью (табл. 41). В настоящее время имеется большое разнообразие графических плат и дисплеев, которые обеспечивают разрешение 1024×768 пикселей и 256 цветов или более. Общей особенностью этих плат является встроенное расширенное ПЗУ (ROM), собственное ОЗУ (RAM) емкостью 1 Мбайт или более и возможно свой собственный процессор, который принимает вычисления от главного процессора компьютера.

Краткие данные по графическим стандартам

Графика	Разрешение	Количество цветов
MDA	720×350 (только текст)	Монохроматический
Hercules	720×384	Монохроматический
CGA	640×200	16
EGA	640×350	16
VGA	640×480	16
Высокое разрешение	800×600 или выше	16 или более

### 30.8.4.5. Кабельные сборки по стандарту VGA

Соединение кабеля с монитором VGA осуществляется через разъемы: HD D-Sub 15-контактный разъем (вилка) для PC и монитора. Данные по разьему представлены в табл. 42.

Таблица 42

Номер контакта PC, монитор	Название сигнала	Описание	Направление «PC – монитор».
1	RED	Красное видео (75 $\Omega$ , 0.7 V <sub>p-p</sub> )	>
2	GREEN	Зеленое видео (75 $\Omega$ , 0.7 V <sub>p-p</sub> )	>
3	BLUE	Синее видео (75 $\Omega$ , 0.7 V <sub>p-p</sub> )	>
4	ID 2	Монитор ID 2 Bit 2	<
5	GND	Заземление	---
6	RGND	Красный, заземление	---
7	GGND	Зеленый, заземление	---
8	BGND	Синий, заземление	---
9	KEY	Ключ (нет соединения)	---
10	SGND	Синхронизация заземления	---
11	ID 0	Монитор ID Bit 0	<
12	ID 1 or SDA	Монитор ID Bit 1	<
13	HSYNC or CSYNC	Горизонтальная (Составная) синхронизация	>
14	VSYNC	Вертикальная синхронизация	>
15	ID 3 or SCL	Монитор ID Bit 3	<

#### 30.8.4.6. Порты присоединения внешних устройств

Внешние устройства присоединяются через порты. **Параллельный порт** или **принтерный порт** позволяет передавать данные одновременно по восьми параллельным проводам. Имеются также провода для управления и сообщений ошибок из принтера. Кроме использования для принтера, параллельный порт можно использовать для присоединения сетей, внешних дискетных устройств, ленточных станций и т. д. Восемь сигнальных штырей параллельного порта первоначально могли использоваться только для «вывода». Другими словами, это был **однонаправленный** параллельный порт. Только некоторые из проводов для специальных принтерных функций могли быть использованы для «ввода» (ввода). Современные персональные компьютеры всегда имеют **двунаправленный** параллельный порт. Дальнейшие усовершенствования характеристик параллельного порта были достигнуты в EPP (Enhanced Parallel Port) – усиленном параллельном порте. Этот порт относится к стандартному аппаратному оборудованию, поддерживаемому базовой системой «ввода/вывода» (BIOS).

В **последовательном порте** по проводу передается только один бит за один раз. Следовательно, последовательный порт значительно медленнее параллельного порта и используется в тех случаях, где требования по скорости передачи не очень высоки. Последовательный порт обычно используется для присоединения **модема** (модулятора-демодулятора) для подключения к интернету через телекоммуникационную сеть. Наиболее распространенный стандарт последовательного присоединения в PC называется RS-232. Последовательный порт управляется Универсальным Асинхронным Приемопередатчиком (UART = Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Эта схема имеется в нескольких версиях. В свою очередь, этапы усовершенствований носят названия «8250», «16450» и «16550». В современных PC схема UART является не специальной, а обычной частью набора интегральных схем PC. Более усовершенствованная схема UART является буферизованной, чтобы позволить передавать данные с высокой скоростью.

#### 30.9. Словарь некоторых компьютерных составных частей

**10 Base-2.** Тонкий коаксиальный кабель RG58 для сети Ethernet с соединителем «baby-N» (BNC).

**10 Base-5.** Толстый коаксиальный кабель RG8 для сети Ethernet с соединителем AUI.

**10 Base-F.** Волоконно-оптический кабель для сетевого стандарта Ethernet.

**10 Base-T.** Кабель RJ45 с парной скруткой для сетевого стандарта Ethernet.

**3270.** Синхронный постраничный терминальный протокол для сетей с центральным компьютером.

**АС-3.** Американский «Долби» – цифровой аудио стандарт для DVD.

**ADPCM.** Адаптивная дельта-модуляция. Сжимающее кодирование в основном для цифрового звука. Стандарт ИТУ для кодирования речевых передач.

**ADSL.** Асимметричная цифровая подписная линия (Asymmetrical Digital Subscriber Line). Технология асимметричной передачи через обычный медный провод с парной скруткой.

**AGP.** Порт ускоренной графики. Стандартная страница РС, используемая для уменьшения «узких» мест между памятью РС и платой графики.

**AMD.** Усовершенствованные микроустройства. Изготовитель процессоров.

**ANSI.** Американский Национальный Институт Стандартизации (American National Standards Institute). Американские власти по стандартизации.

**APM.** Перспективное полномочное управление. Совместный проект компаний «Microsoft» и «Intel» для полномочного руководства, главным образом, в сфере персональных компьютеров.

**ARP.** Протокол адресного разрешения. Используется для трансляции адреса PI (межсетевого протокола) в адрес системы MAC (Machine-Aided Cognition) и наоборот.

**LAN.** Локальная сеть (Local Area Networks). Сеть передачи данных в одной локальной зоне. Обеспечивает низкую частоту ошибок и упрощает протоколы обмена.

## ЛИТЕРАТУРА

---

1. ELFA. SWEEDEN. p.p. 1777...1826, 2009.
2. Миловзоров, О. В. Электроника / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. – Москва : Высшая школа, 2008. – 287 с.
3. Мазор, Ю. Л. Радиотехника : энциклопедия / Ю. Л. Мазор, Е. А. Мачусский. – Москва : Издательский дом «Додэка–XXI», 2002. – 944 с.

Учебное издание

**Шило** Иван Николаевич, **Бобровник** Александр Иванович,  
**Левков** Владимир Герасимович, **Пачинин** Виталий Иванович

## КОМПОНЕНТЫ ЗАРУБЕЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

*Пособие*

Ответственный за выпуск А. И. Бобровник  
Редактор В. М. Воронович  
Компьютерная верстка А. И. Стебули

Подписано в печать 10.04.2012. Формат 60×84 1/8.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 30,69. Уч.-изд. л. 12,1. Тираж 100 экз. Заказ 368.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
ЛИ № 0230/0552984 от 14.04.2010  
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010 .  
Пр. Независимости, 99-2, 220023, Минск.