

Принцип работы приводов компакт-дисков:

1. Лазерный диод излучает маломощный пучок света длиной 730–780 нм, который, проходя через направляющую призму и разделитель луча, попадает на отражающее зеркало.

Примечание.

Во время записи мощность лазерного луча значительно возрастает, а при стирании данных уменьшается.

2. Подчиняясь командам микропроцессора, каретка с отражающим зеркалом перемещается к нужной дорожке.

3. Лазерный луч отражается от диска, попадает на зеркало, затем на разделитель луча и далее на направляющую призму.

4. Из призмы луч попадает в фотодатчик, фотодатчик посылает сигналы во встроенный в привод компакт-дисков микропроцессор, где данные обрабатываются и передаются по шлейфу на материнскую плату.

Перезаписываемый компакт-диск (CD-RW) имеет рабочий слой из материала, который, находясь в твердом состоянии, может принимать как кристаллическую, так и аморфную внутреннюю структуру, но в кристаллической структуре слой более прозрачен, чем во втором случае. За этим чувствительным слоем находится материал, который отражает луч лазера. В этом случае при считывании луч лазера чуть больше отражается от участков с кристаллической структурой, чем от аморфных участков, - таким образом и создается череда светлых и затемненных участков, при помощи которых кодируется информация.

Для того чтобы создать «темный» участок чувствительного слоя, необходимо его быстро нагреть мощным пучком лазерного луча (в этих условиях происходит разрушение кристаллической решетки). Позже лазер отключают - это необходимо для того, чтобы слой застыл в аморфном состоянии. Для «осветления» участка, его также нагревают лазером, но не так сильно и более медленно, ступенчато поднимая мощность лазера. Затем необходимо также постепенно снижать мощность, из-за чего происходит

восстановление кристаллической решетки, и чувствительный слой постепенно становится более прозрачным.

Физический формат данных на компакт-диске.

Данные, записанные на компакт-диск, представляют собой последовательность малых кадров, small frame.

1 synchronization pattern (24 + 3 bits)	1 byte of Sub-channel data (14 + 3 bits)	12 bytes of main channel data (12 x (14 + 3) bits)	4 bytes of CIRC code (4 x (14 + 3) bits)	12 bytes of main channel data (12 x (14 + 3) bits)	4 bytes of CIRC code (4 x (14 + 3) bits)
588 bits					

Рисунок 1. Формат малого кадра

Малый кадр содержит:

- 3 байта кода синхронизации;
- 1 байт данных субканала;
- 24 байта данных основного канала (две группы по 12 байт);
- 8 байт помехоустойчивого корректирующего кода CIRC, Cross

Interleaved Read-Solomon Code (две группы по 4 байта).

Общая длина данных малого кадра составляет 36 байт.

При записи на компакт-диск данные субканала, основного канала и CIRC кодируются 14-разрядными EFM-кодом (Eight to Fourteen Modulation). Дополнительно к каждому полю добавляются три связывающих бита. Итоговый размер малого кадра, записанного на компакт-диск, равен 588 бит (рис.1). 98 последовательно расположенных малых кадров образуют кадр (Frame), или сектор, минимально адресуемую единицу данных на компакт-диске. Один кадр содержит  $24 \times 98 = 2352$  байт данных основного канала и 98 байт субканала. Эти 98 байт в свою очередь делятся на 2 байта синхронизации и 96 байт данных. Каждый байт данных субканала размечен на битовые позиции, и, таким образом, субканал делится еще на 8 субканалов.

7	6	5	4	3	2	1	0
P	Q	R	S	T	U	V	W

Рисунок 2. Формат байта данных субканала

В одном кадре для каждого из этих субканалов содержится по 96 бит (12 байт) информации.

Из всех имеющихся в наличии субканалов основную информационную нагрузку несет Q-субканал. В нем содержится адресная информация кадра, информация о логической структуре компакт-диска, идентификационная информация диска или музыкального трека. Рассмотрим формат данных Q-субканала. Q-субканал содержит:

- 2 бита синхронизации (S0, S1);
- 4 бита поля управления (Control Field);
- 4 бита идентификатора режима данных Q-субканала (ADR);
- 72 бита (9 байт) данных (DATA-Q);
- 16 контрольной суммы полей управления, режима данных и поля данных (CRC).

Поле Control Field определяет тип информации, которая находится в основном канале кадра. Это поле может принимать следующие значения:

- **00x0b** – 2 аудиоканала без предискажения;
- **00x1b** – 2 аудиоканала, предискажения 50/15 мкс;
- **10x0b** – 4 аудиоканала без предискажений;
- **10x1b** – 4 аудиоканала, предискажения 50/15 мкс;
- **01x0b** – трек данных, непрерывный режим записи (Disk-at-once, DAO);
- **01x1b** – трек данных, инкрементный режим записи (Track-at-once (TAO), Session-at-once (SAO));
- **11xxb** – зарезервировано.

Поле режима данных Q-субканала ADR определяет формат данных Q-субканала. Подробное описание форматов данных Q-субканала находится в спецификации SCSI MMC-4 ([1]), п. 4.2.4.4 «Q Sub-channel».

Блок данных основного канала предназначен для хранения информации – аудио или данных. У компакт-дисков, используемых для хранения аудио-информации, все 2352 байт блока основного канала заняты аудиоданными. Для хранения данных используется 6 основных форматов блока основного канала. Наиболее широкое применение получили три формата:

- режим данных 1, Yellow Book Mode 1;
- форма 1 режима данных 2, CD-ROM XA Mode 2 Form 1;
- форма 2 режима данных 2, CD-ROM XA Mode 2 Form 2.

Блок основного канала, содержащий данные, начинается с поля синхронизации Data Block Sync Pattern длиной 12 байт (рис. 3). За полем синхронизации находится заголовок блока Header данных длиной 4 байт. Заголовок блока содержит координаты блока данных в формате MSF (Minute/Second/Frame) и байт формата записи данных Data Mode. Значение формата блока содержат биты 0-1 байта Data Mode.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0x00	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	0x00

Рисунок 3. Структура поля синхронизации Data Block Sync Pattern

Формат данных Mode 1 представлен в таблице 1, форматы данных Mode 2 Form 1 и Mode 2 Form 2 – в таблицах 2 и 3.

Таблица 1. Mode 1 data format

Byte Offset	Field Length	Content
0	12	Data Block Sync pattern, поле синхронизации
12	3	Block MSF address (BCD), адрес блока в формате MSF
15	1	Data mode = 01, режим данных
16	2048	User data, данные пользователя
2064	4	CRC ( $P = (X_{16}+X_{15}+X_2+X_1)*(X_{16}+X_2+X+1)$ ) Bytes 0 - 2063
2068	8	Zero fill
2046	172	P parity symbols
2248	104	Q parity symbols

Таблица 2. Mode 2 Form 1 data format

Byte Offset	Field Length	Content
0	12	Data Block Sync pattern, поле синхронизации
12	3	Block MSF address (BCD), адрес блока в формате MSF
15	1	Data mode = 2, режим данных
16	4	Sub-header, first copy, подзаголовок (первая копия)
20	4	Sub-header, second copy, подзаголовок (вторая копия)
24	2048	User data, данные пользователя
2072	4	CRC ( $P = (X_{16}+X_{15}+X_2+X_1)*(X_{16}+X_2+X+1)$ ) Bytes 16 - 2071
2076	172	P parity symbols
2248	104	Q parity symbols

Таблица 3. Mode 2 Form 2 data format

Byte Offset	Field Length	Content
0	12	Data Block Sync pattern, поле синхронизации
12	3	Block MSF address (BCD), адрес блока в формате MSF
15	1	Data mode = 2, режим данных
16	4	Sub-header, first copy, подзаголовок (первая копия)
20	4	Sub-header, second copy, подзаголовок (вторая копия)
24	2324	User data, данные пользователя
2348	4	Optional CRC Bytes 16 - 2347

### Страница параметров режима записи

Рассмотрим подробнее, что из себя представляет страница режима, на примере страницы параметров режима записи, Write Parameters Mode Page.

Write Parameters Page

Bit Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
0	PS	Reserved	Page Code (05h)					
1	Page Length (32h or 36h)							
2	Reserved	BUFE	LS_V	Test Write	Write Type			
3	Multi-session		FP	Copy	Track Mode			
4	Reserved				Data Block Type			
5	Link Size							
6	Reserved							
7	Reserved		Initiator Application Code					
8	Session Format							
9	Reserved							
10	(MSB) Packet Size  (LSB)							
11								
12								
13								
14	(MSB)			Audio Pause Length (LSB)				
15								
16	(MSB) ... Media Catalog Number ... (LSB)							
17								
.....								
30								
31								
32	(MSB) ... International Standard Recording Code ... (LSB)							
33								
.....								
46								
47								
48	Sub-header Byte 0							
49	Sub-header Byte 1							
50	Sub-header Byte 2							
51	Sub-header Byte 3							
52-55	Vendor Specific							

Рисунок 4. Формат страницы параметров режима записи

Алгоритм выполнения операции записи данных на компакт-диск следующий:

- Определяются текущие параметры режима записи устройства путем считывания страницы параметров режима записи, код 0x05.
- Устанавливаются требуемые значения полей страницы параметров режима записи – режим записи, тип блока данных, режим трека (аудио/данные) и др.
- Из файла образа считываются блоки данных, и команда WRITE\_10 выполняет запись этих блоков в соответствующие сектора компакт-диска. Стартовый номер сектора, с которого начинается запись, равен 0. Размер блока определяет значение поля «Data Block Type» страницы параметров режима записи (см. рис. 15 первой части статьи).
- По окончании записи данных (достигнут конец файла-образа) последовательно выполняются команды SYNC-HRONIZE CACHE, CLOSE TRACK, CLOSE SESSION. По команде SYNCHRONIZE CACHE все данные, подлежащие записи, переносятся на носитель, кэш устройства освобождается. Команда CLOSE TRACK завершает трек, а CLOSE SESSION завершает сессию – формирует Lead-In и Lead-Out-области сессии (диска).

Запись данных на диск выполняет команда WRITE\_10. Формат этой команды представлен на рис. 5.



## WRITE (10) CDB

Bit Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
0	Operation code (2Ah)							
1	Reserved			DPO	FUA	Reserved		RelAdr
2	(MSB) Logical Block Address  (LSB)							
3								
4								
5								
6	Reserved							
7	(MSB)			Transfer Length (LSB)				
8								
9	Control							

Рисунок 5. Формат команды WRITE\_10

Назначение полей:

- **Logical Block Address** – адрес блока, в который будет записана информация.
- **Transfer Length** – число блоков для записи на диск.

В команде SYNCHRONIZE CACHE используется только нулевой байт – он содержит код операции 0x35.

Формат команды CLOSE TRACK/SESSION представлен на рисунке:

## CLOSE TRACK/SESSION CDB

Bit Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
0	Operation code (5Bh)							
1	Reserved							IMMED
2	Reserved					Close Function		
3	Reserved							
4	(MSB)			Track Number (LSB)				
5								
6	Reserved							
7	Reserved							
8	Reserved							
9	Control Byte							

Рисунок 6. Формат команды CLOSE TRACK/SESSION

Поле Close Function может принимать следующие значения:

- **001b** – закрыть трек, номер которого указан в поле Track Number.
- **010b** – закрыть последнюю незавершенную сессию, значение поля Track Number игнорируется.

Следующая структура описывает формат страницы параметров режима записи:

```
typedef struct {
    __u8 page_code    :6;
    __u8 rez          :1;
    __u8 ps           :1;
    __u8 page_length;
    __u8 write_type    :4;
    __u8 test_write    :1;
    __u8 ls_v         :1;
    __u8 BUFE         :1;
    __u8 rez1         :1;
    __u8 track_mode    :4;
    __u8 copy         :1;
    __u8 FP           :1;
    __u8 multises      :2;
    __u8 dbt          :4;
    __u8 rez2         :4;
    __u8 link_size;
    __u8 rez3;
    __u8 hac          :6;
    __u8 rez4         :2;
    __u8 s_format;
    __u8 rez5;
    __u32 packet_size;
    __u16 apl;
    __u8 mcu[16];
    __u8 isrc[16];
    __u32 sh;
} __attribute__((packed)) wpm_t;
```

## Запись аудиоданных

Алгоритм записи аудиоданных практически не отличается от приведенного ранее алгоритма записи данных. Но так как в одной сессии теперь будет находиться несколько треков, то при записи аудиотрека на компакт-диск необходимо будет знать стартовый адрес трека. Этот адрес можно вычислить самостоятельно, можно определить его как адрес невидимого, незавершенного трека (invisible, incomplete track) либо предварительно зарезервировать на компакт-диске пространство для каждого трека.

Резервирование пространства для трека выполняет команда RESERVE TRACK. Формат этой команды представлен на рисунке:

### RESERVE TRACK CDB

Bit Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
0	Operation code (53h)							
1	Reserved							
2	Reserved							
3	Reserved							
4	Reserved							
5	(MSB) Reservation Size (LSB)							
6								
7								
8								
9	Control Byte							

Рисунок 7. Формат команды RESERVE TRACK

В поле Reservation size указывается размер трека в блоках. Каждый вызов команды RESERVE TRACK модифицирует PMA-область, добавляя в нее запись о координатах нового трека. Считать информацию о координатах

трека можно при помощи команды READ TRACK INFORMATION. Формат команды:

**READ TRACK INFORMATION CDB**

Bit Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
0	Operation code (52h)							
1	Reserved						Address/Number Type	
2	(MSB) Logical Block Address/ Track/Session Number (LSB)							
3								
4								
5								
6	Reserved							
7	(MSB)				Allocation Length			
8					(LSB)			
9	Control Byte							

Рисунок 8. Формат команды READ TRACK INFORMATION

Значение поля Address/Number Type определяет содержание поля Logical Block Address/Track/Session Number. Если Address/Number Type = 01b, то устройство вернет блок информации о треке, номер которого находится в поле Logical Block Address/Track/Session Number. Формат блока информации о треке представлен на рисунке.

## Track Information Block

Bit Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
0	(MSB)			Data Length (LSB)				
1								
2	Track Number (Least Significant Byte)							
3	Session Number (Least Significant Byte)							
4	Reserved							
5	Reserved		Damage	Copy	Track Mode			
6	RT	Blank	Packet/Inc	FP	Data Mode			
7	Reserved						LRA_V	NWA_V
8	(MSB) Track Start Address (LSB)							
9								
10								
11								
12	(MSB) Next Writable Address (LSB)							
13								
14								
15								
16	(MSB) Free Blocks (LSB)							
17								
18								
19								
20	(MSB) Fixed Packet Size/ Blocking Factor (LSB)							
21								
22								
23								
24	(MSB) Track Size (LSB)							
25								
26								
27								
28	(MSB) Last Recorded Address (LSB)							
29								
30								
31								
32	Track Number (Most Significant Byte)							
33	Session Number (Most Significant Byte)							
34	Reserved							
35	Reserved							
36	(MSB) Read Compatibility LBA (LSB)							
.....								
38								
39								

Рисунок 9. Формат блока информации о треке

Из всего многообразия данных, находящихся в блоке, нас интересует только поле Track Start Address. Это поле содержит стартовый адрес трека, с этого адреса выполняется запись трека.

Очистка диска.

Поле Blanking type устанавливает режим очистки диска. Может принимать следующие значения:

- **000b** – стирается вся информация, находящаяся на диске. Значение поля Start Address игнорируется.
- **001b** – минимальная очистка диска. Стирается PMA, Lead-In-область диска и pre-gap-область первого трека. Параметр Start Address игнорируется.

### ***BLANK CDB***

Bit Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
0	Operation code (A1h)							
1	Reserved			IMMED	Reserved	Blanking Type		
2	(MSB) Start Address/Track Number  (LSB)							
3								
4								
5								
6	Reserved							
7	Reserved							
8	Reserved							
9	Reserved							
10	Reserved							
11	Control Byte							

Рисунок 10. Формат команды BLANK

Функция blank() выполняет очистку CD-RW-диска. Параметр функции blank\_type устанавливает режим очистки диска. Допустимые значения этого параметра – 0 или 1.

Утилита успешно протестирована на нескольких оптических приводах:

- TEAC CD-W524E 1.0E
- MITSUMI CR-48XATE
- NEC CD-RW NR-9400A R800
- ASUS DRW-1604P 1.09