

Obsługa kart pamięciowych SD, część 2



Podczas rozpoczynania przez sterownik wymiany informacji z kartą szczególną rolę odgrywają jej rejestry. Można je podzielić umownie na 2 grupy:

- pierwsza z nich to rejestry OCR, CID, CSD i SCR zawierające informacje o karcie. Zapisanych w nich jest szereg istotnych informacji. Najważniejsze z nich, to napięcie zasilania karty, maksymalna częstotliwość pracy magistrali, pojemność karty i pojemność sektora danych.
- druga grupa to rejestry statusowe *Card Status* i *SD Status*. Rejestry statusowe zawierają informacje o bieżącym stanie przesyłania danych.

32-bitowy rejestr OCR (*Operating Conditions Register*) zawiera zakodowaną informację o zakresie napięcia zasilającego, przy którym mogą być zapisywane i odczytywane dane z obszaru pamięci Flash. Tym napięciem powinna być karta zasilana po wysłaniu komendy CMD1 (*Voltage Recognition Procedure*). Zawartość rejestru OCR jest przesyłana jako odpowiedź R3 na komendę ACMD41 w trakcie inicjalizacji karty pracującej z magistralą SDBus. W trybie magistrali SPI za-

Flashowe karty pamięciowe są od dawna chętnie używane nawet w aplikacjach amatorskich do trwałego zapisywania danych. Do tej pory największą popularnością cieszyła się do tego karta typu MMC, jednak jej nowocześniejsza następczyni – karta SD szybko zdobywa sobie należne jej zainteresowanie. W tej części skupiamy się na opisie specyficznych rejestrów kart SD.

wartość rejestru OCR jest przesyłana jako odpowiedź R3 po wysłaniu komendy CMD58.

Strukturę rejestru OCR pokazano na **rys. 9**. Wyzerowany najstarszy bit *Busy* informuje, że procedury wykonywane po włączeniu zasilania jeszcze się nie skończyły. Wyzerowanie bitu z pola 4...23 oznacza, że wskazywany przez ten bit zakres napięć nie jest dopuszczalny w czasie zapisywania i odczytywania danych.

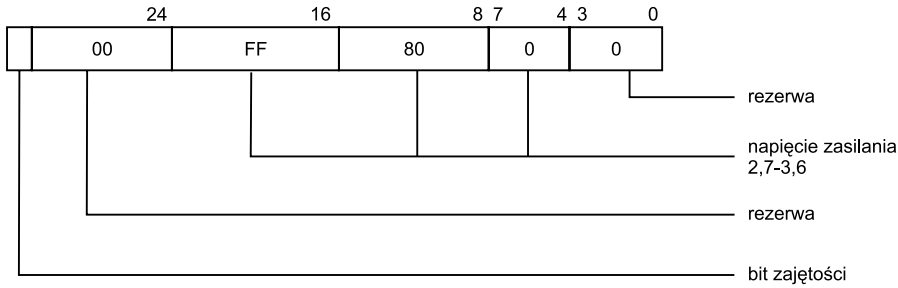
Rejestr CID (*Card Identification* – **tab. 3**) o długości 16 bajtów zawiera unikatowy numer identyfikacyjny karty zapisany w procesie produkcyjnym i nie można zmienić jego zawartości.

Rejestr CSD (*Card Specific Data*) o długości 16 bajtów (128 bitów) zawiera informacje o konfiguracji karty niezbędne do określenia głównie czasu dostępu, pojemności karty, długości bloku i sektora danych oraz programowej protekcji zapisu. Większość bitów rejestru można tylko odczytywać, ale są takie, które można zapisywać. Rejestr CSD jest odczytywany komendą SEND_CSD, a zapisywany komendą PROGRAM_CSD. Zawartość tego rejestru jest zależna od typu karty, poniżej opisujemy wybrane pola tego rejestru:

- Pole CSD_STRUCTURE określa wersję CSD. Wartość 0 oznacza wersję V1.0 struktury CSD. Pozostałe wartości są zarezerwowane.
- Pole TAAC definiuje asynchroniczny (niezależny od częstotliwości zegara SCLK) czas dostępu do danych zdefiniowany jako opóźnienie pomiędzy momentem wysłania ostatniego bitu komendy odczytu danych a momentem pojawienia się na magistrali pierwszego bitu odczytywanych danych.

Tab. 3. Struktura rejestru CID

Nazwa pola	Typ	Długość w bitach	Położenie w CID	Komentarz	Wartość
Manufacturer ID MID	Binarny	8	[127:120]	ID producenta jest przyznawane przez SD Card Assoc.	Na przykład SanDisc 0x03
OEM/Application ID OID	ASCII	16	[119:104]	Identyfikacja aplikacji	Kod ascii SD 0x53,0x44
Product name PNM	ASCII	40	[103:64]	5znaków ASCII	Na przykład SD128
Product Revision (PRW)	BCD	8	[63:56]	Dwie liczby w kodzie BCD	Wartość 0x62 oznacza wersję 6.2
Serial Number (PSN)	Binarny	32	[55:24]	32 bitowa liczba	Numer seryjny
Zarezerwowany		4	[23:20]		
Manufacture Date Code (MDT)	BCD	12	[19:8]	Data produkcji rr:mm liczona od 2000 r.	0x14=04.2001
CRC7 checksum (CRC)	binarny	7	[7:1]	Suma kontrola	
Nie używane – zawsze 1		1	[0:0]		



OCR Bit	Napięcie zasilania Vdd	10	2,2-2,3	18	3,0-3,1
0-3	zarezerwowany	11	2,3-2,4	19	3,1-3,2
4	1,6-1,7	12	2,4-2,5	20	3,2-3,3
5	1,7-1,8	13	2,5-2,6	21	3,3-3,4
6	1,8-1,9	14	2,6-2,7	22	3,4-3,5
7	1,9-2,0	15	2,7-2,8	23	3,5-3,6
8	2,0-2,1	16	2,8-2,9	24-30	zarezerwowany
9	2,1-2,2	17	2,9-3,0	31	bit zajętości

Rys. 9. Budowa rejestru OCR

Tab. 4. Klasy opisane w polu CCC

Bit CCC	Obsługiwana klasa komend
0	Klasa 0
1	Klasa 1
.....
11	Klasa 11

Tab. 5. Sposób wyliczania wartości MULT

C_SIZE_MULT	MULT=2^(SIZE_MULT+2)
0	2^2=4
1	2^3=8
2	2^4=16
3	2^5=32
4	2^6=64
5	2^7=128
6	2^8=256
7	2^9=512

- Pole NSAC definiuje dodatkowy czas dostępu do danych, który jest związany z częstotliwością sygnału zegarowego SCLK. Binarną wartość zapisaną na 8 bitach pola trzeba pomnożyć przez 100. Jeżeli w polu NSAC jest zapisana binarnie wartość 5, to

Tab. 6. Informacje o formacie danych przechowywanych na karcie

FILE FORMAT_GRP	FILE_FORMAT	Format plików
0	0	HDD z tablicą partycji
0	1	DOS FAT z boot sector
0	2	Universal File Format
0	3	Inny/nieznan
1	0...3	Zarezerwowany

do czasu określonego przez pole TAAC trzeba dodać czas trwania 500 cykli zegara SCLK.

- Pole TRAN_SPEED definiuje maksymalną prędkość transferu danych. Podobnie jak w polu TAAC na bitach 0...2 zakodowany jest wykładnik prędkości, a na bitach 3...6 podstawa. TRAN_SPEED=0x2A oznacza maksymalną prędkość 2*10 Mb/s.
- Pole CCC o długości 12 bitów określa klasy komend obsługiwanych przez kartę. Klasa jest obsługiwana, jeżeli odpowiadający mu bit ma stan wysoki (tab. 4).
- W polu READ_BL_LEN o długości 4 bitów jest zapisana maksymalna długość bloku w bajtach przy odczytywaniu danych wyliczana z zależności $2^{READ_BL_LEN}$.

Tab. 7. Uzupełniające informacje o konfiguracji karty

SCR Structure	SCR_STRUCTURE	4	R	[63:60]	V1.0	0
SD Card-Spec Version	SD_SPEC	4	R	[59:56]	V1.01	0
data_status_after_erases	DATA_STAT_AFTER_ERASE	1	R	[55:55]	0	0
SD Security Support	SD+SECURITY	3	R	[54:52]	Prot 2, Spec V1.01	2
DAT Bus widths supported	SD_BUS_WIDTHS	4	R	[51:48]	1 & 4	5
Reserved	-	16	R	[47:32]	0	0
Reserved for manufacturer usage	-	32	R	[31:0]	0	0

LEN. Maksymalna długość bloku może mieć wartość z zakresu 512...2048 bajtów, a to oznacza, że READ_BL_LEN może mieć minimalną wartość równą 9 ($2^9=512$) i maksymalną wartość 11 ($2^{11}=2048$). Pozo-

stałe wartości są zarezerwowane. Wartość pola READ_BL_LEN jest zawsze równa wartości pola WRITE_BL_LEN określającej maksymalną długość bloku przy zapisywaniu danych.

- Pole WRITE_BL_LEN o długości 4 bitów określa maksymalną długość bloku w bajtach przy zapisywaniu danych i jest wyliczana z zależności $2^{WRITE_BL_LEN}$. Maksymalna długość bloku może mieć wartość z zakresu 512...2048 bajtów, a to oznacza, że WRITE_BL_LEN może mieć minimalną wartość równą 9 (bo $2^9=512$) i maksymalną wartość 11 (bo $2^{11}=2048$). Pozostałe wartości są zarezerwowane. Wartość pola WRITE_BL_LEN jest zawsze równa wartości pola READ_BL_LEN określającej maksymalną długość bloku przy odczytywaniu danych.
- Pole READ_BL_PARTIAL dla kart SD ma zawsze wartość 1, a to oznacza, że przy odczytywaniu danych można odczytywać bloki o długości od 1 bajta do długości określonej przez READ_BL_LEN. Gdyby READ_BL_PARTIAL był wyzerowany, to minimalna długość bloku przy odczytywaniu musiałaby być równa READ_BL_LEN.
- Jeżeli pole WRITE_BL_PARTIAL dla kart SD ma wartość 1, to oznacza, że przy odczytywaniu danych można zapisywać bloki od długości 1 bajta do długości określonej przez WRITE_BL_LEN. Dla kart SD WRITE_LEN_PARTIAL jest wyzerowany i minimalna długość bloku przy odczytywaniu musi być równa READ_BL_LEN.

Tab. 8. Pole SD_BUS_WIDTHS

SD_BUS_WIDTHS	Szerokość magistrali
Bit 0	1-bitowa (DAT0)
Bit 1	Zarezerwowany
Bit 2	4-bitowa (DAT0...3)
Bit 3	Zarezerwowany

• Pole WRITE_BLK_MISALIGN określa czy możliwy jest zapis przez jedną komendę bloku dłuższego niż fizyczny blok kar-

ty. Długość bloku fizycznego jest określona w polu WRITE_BLK_LEN. Dla kart SD WRITE_BLK_MISALIGN jest wyzerowany, a to

oznacza, że taki zapis nie jest możliwy.

• Pole READ_BLK_MISALIGN określa czy możliwe jest odczyta-

Tab. 9. Rejestr statusowy Card Status

Bit	Identyfikator	Typ	Wartość	Opis
31	OUT_OF_RANGE	ERX	0=no error 1=error	Argument komendy był większy niż dopuszczalna wartość dla tej karty
30	ADDRESS_ERROR	ER	0=no error 1=error	Adres nie jest zgodny z wielkością bloku danych użytych w tej komendzie
29	BLOCK_LEN_ERROR	ER	0=no error 1=error	Długość bloku danych jest nieprawidłowo ustawiona dla tej karty
28	ERASE_SEQ_ERROR	ER	0=no error 1=error	Wystąpił błąd w sekwencji kasowania
27	ERASE_PARAM	ERX	0=no error 1=error	Nieprawidłowo ustawiona sekcja zapisu bloku danych w operacji kasowania
26	WP_VIOLATION	ERX	0=not protect 1=protect	Próba zapisania danych, kiedy ustawiona jest opcja WRITE PROTECT
25	CARD_IS_LOCKED	SX	0=card unlocked 1=card locked	Karta jest zablokowana przez host
24	LOCK_UNLOCK_FAILED	ERX	0=no error 1=error	Wykryty błąd sekwencji lub hasła blokowania/odblokowania karty
23	COM_CRC_ERROR	ER	0=no error 1=error	Błąd CRC
22	ILLEGAL_COMMAND	ER	0=no error 1=error	Nieprawidłowa komenda w bieżącym stanie karty
21	CARD_ECC_FAILED	ERX	0=success 1=failure	Wewnętrzny ECC karty został wprowadzony, ale nie był w stanie skorygować danych
20	CC_ERROR	ERX	0=no error 1=terror	Błąd wewnętrznego mikrokontrolera karty
19	ERROR	ERX	0=no error 1=terror	Nieznany błąd główny wystąpił w czasie wykonywania operacji
18	Zarezerwowany			
17	Zarezerwowany			
16	CID/CSD OVERWRITE	ERX	0=no error 1=terror	Jedno z możliwych zdarzeń: Rejestr CID został już zapisany, ale nie może być nadpisany lub Sekcja „tylko do odczytu” rejestru CSD nie pasuje do karty
15	WP_ERASE_SKIP	SX	0=not protected 1=protected	Wykasowana została tylko przestrzeń partycji adresów, bo jest ustawiona protekcja zapisu
14	CARD_ECC_DISABLE	SX	0=enabled 1=disabled	Komenda została wykonana bez wewnętrznego ECC
12	ERASE_RESET	SR	0=cleared 1=set	Sekwencja kasowania została przerwana przed wykonaniem
12:9	CURRENT_STATE	SX	0=idle 1=ready 2=ident 3=stby 4=tran 5=data 6=rcv 7=prg 8=dis 9..15 rezerwa	Stan karty po odebraniu komendy. Jeżeli wykonanie komendy zmienia stan karty, to zmian stanu będzie widziana przez host jako odpowiedź po następnej komendzie
8	READY_FOR_DATA	SX	0=not ready 1=ready	Sygnalizuje, że bufor danych jest pusty
7:6	Zarezerwowane			
5	APP_CMD	SR	0=disabled 1=enabled	Karta spodziewa się komendy aplikacji ACMD lub komenda została zinterpretowana jako ACMD
4	Zarezerwowany			
3	AKE_SEQ_ERROR	ER	0=no error 1=terror	Błąd sekwencji autoryzacji
2 zarezerwowany dla komend aplikacji				
1,0 zarezerwowany dla testów produkcyjnych				
E – bit błędu (error bit); S – bit statusu (status bit); R – wykryte i ustawiane do potwierdzenia bieżącej komendy; X – wykryte i ustawiane w czasie bieżącej komendy				

Tab. 10. Rejestr SD Card Status

Bit	Identyfikator	Typ	Wartość	Opis
511: 510	DAT_BUS_WIDTH	SR	00=1bit domyślnie 01=rezerwa 10=4 bity 11=rezerwa	Długość magistrali danych w trybie SDBus zdefiniowana komendą SET_BUS_WIDTH
509	SECURED_MODE	SR	0=bez trybu ochrony 1= tryb ochrony	Tryb ochrony karty SD
508: 496	zarezerwowane			
495: 480	SD_CARD_TYPE	SR	00xx pamięć karty SD definiowana fizycznym interfejsem V1.01 0000=SD RD/RW 0001=SD ROM	Typ karty
479: 448	SIZE-OF_PROTECTED_AREA	SR	Rozmiar chronionej pamięci w jednostkach określonych przez MULT*BLOCK_LEN (patrz rejestr CSD)	Rozmiar chronionej pamięci wyliczany według zależności: SIZE_OF_PROTECTED_AREA*MULT*BLOCK_LEN
347: 312	zarezerwowany			
311: 0	Zarezerwowany przez producenta			

S – bit statusu (status bit); R – wykryte i ustawiane do potwierdzenia bieżącej komendy

nie przez jedną komendę bloku dłuższego niż fizyczny blok karty. Długość bloku fizycznego jest określona w polu READ_BL_LEN. Dla kart SD WRITE_BLK_MISALIGN jest wyzerowany, a to oznacza, że taki odczyt nie jest możliwy.

- Pole C_SIZE jest jednym ze składników używanych do wyliczenia pojemności pamięci karty. Oprócz C_SIZE pojemność jest wyliczana z wartości pól READ_BL_LEN i C_SIZE_MULT według zależności:

pojemność pamięci = BLOCKNR*BLOCK_LEN
gdzie:

```
BLOCKNR=(Z_SIZE+1)*MULT
MULT=2C_SIZE_MULT-2*(C_SIZE_MULT<8)
BLOCK_LEN=2READ_BL_LEN*(READ_BL_LEN<12)
```

Zależność pomiędzy C_SIZE_MULT i MULT pokazano w tab. 5.

- Pola VDD_R_CURR_MIN i VDD_W_CURR_MIN zawierają zakodowany na 3 bitach minimalny prąd przy zapisywaniu i odczytywaniu danych.
- Pola VDD_R_CURR_MAX i VDD_W_CURR_MAX zawierają zakodowany na 3 bitach maksymalny prąd przy zapisywaniu i odczytywaniu danych.
- Pole ERASE_BLK_EN definiuje możliwość kasowania bloku danych o długości określonej polem WRITE_BL_LEN. Jeżeli ERASE_BLK_LEN jest wyzerowany, to możliwe jest kasowanie porcji danych o długości sektora określonej w polu SECTOR_SIZE. Jeżeli ma wartość 1, to możli-

we jest kasowanie bloku danych o długości określonej w WRITE_BL_LEN.

- Pole SECTOR_SIZE o długości 7 bitów określa zakodowaną długość kasowanego sektora w jednostkach określonych w polu WRITE_BL_LEN. Dla SECTOR_SIZE=0 kasowany jest blok o długości WRITE_BL_LEN, a dla SECTOR_SIZE=0x7F jest kasowany blok o długości 128WRITE_BL_LEN.
- Pole WP_GRP_SIZE o długości 7 bitów określa grupę sektorów z protekcją zapisu o długości określonej w SECTOR_SIZE. Dla WP_GRP_SIZE=0 chroniona jest grupa o długości SECTOR_SIZE, a dla WP_GRP_SIZE =0x7F jest chroniona grupa o długości 128SECTOR_SIZE. Odblokowanie funkcji protekcji zapisu grupy sektorów jest możliwe po ustawieniu bitu WP_GRP_ENABLE.
- Pole R2W definiuje ile razy czas zapisywania danych jest dłuższy od czasu dostępu przy odczytywaniu.
- Bit COPY określa czy zapisana zawartość w pamięci Flash jest oryginalna (bit wyzerowany),

czy jest kopią (bit ustawiony). Raz ustawionego bitu COPY nie można już wyzerować.

- Ustawiony bit PERM_WRITE_PROTECT sygnalizuje, że jest możliwe tylko odczytywanie danych z pamięci. Zabronione jest kasowanie i zapisywanie danych. Bit PERM_WRITE_PROTECT jest bitem OTP, raz ustawionego nie da się już skasować.
- Bit TMP_WRITE_PROTECT umożliwia czasowe zablokowanie możliwości zapisywania i kasowania danych. Spełnia taką samą funkcję jak PERM_WRITE_PROTECT, ale po ustawieniu można go wyzerować.
- Pola FILE_FORMAT_GRP i FILE_FORMAT zawierają informacje o formacie plików zapisywanych na karcie (tab. 6).

W kolejnym rejestrze – SCR – są zapisane uzupełniające informacje dotyczące konfiguracji karty (tab. 7).

- Pole SCR_STRUCTURE jest powieleniem pola CSD_STRUCTURE rejestru CSD.
- Pole SD_SPEC określa wersję warstwy fizycznej karty SD. Dla kart SD dopuszczalna jest wartość zerowa oznaczająca wersję V1.0 lub V1.01.
- Pole DATA_STAT_AFTER_ERASE określa wartość wpisywaną do komórek pamięci po skasowaniu. Dla karty SD jest to zero.
- W polu SD_SECURITY zapisana jest informacja o wersji zaimplementowanego algorytmu ochrony.

Wartość zerowa oznacza brak algorytmu ochrony, wartość 1 to wersja V1.0, wartość 2 to wersja V2.0.

- Ostatnie pole – SD_BUS_WIDTHS – opisuje dostępną szerokość magistrali SDBus (tab. 8).

Rejestr statusowy Card Status (tab. 9) ma długość 32 bitów i jego struktura jest identyczna z rejestrem statusu karty MMC. Rejestr SD_Status (tab. 10) ma długość 512 bitów i zawiera specyficzne rozszerzone informacje dotyczące tylko kart SD.

Tomasz Jabłoński, EP
tomasz.jablonski@ep.com.pl

