

Obsługa kart pamięciowych SD, część 1

Gromadzenie i przechowywanie danych jest zadaniem często wykonywanym przez urządzenia mikroprocesorowe. Jednym z ważniejszych cech pamięci magazynujących dane jest odporność na zanik zasilania. Do niedawna powszechnie stosowano pamięci RAM z podtrzymaniem bateryjnym. Rozwiązanie to jest nadal stosowane przy wykorzystaniu pamięci SRAM wykonanych w technologii CMOS. Pobierają one tak mało prądu, że do podtrzymania zawartości na wiele miesięcy wystarczy bateria litowa 3 V (np. typu CR2032). Pamięci SRAM są stosowane, kiedy bardzo istotny jest czas dostępu do danych (szczególnie zapisu), nie jest wymagana duża pojemność i nie ma potrzeby przenoszenia nośnika z urządzenia do urządzenia.

Innym chętnie stosowanym rozwiązaniem są pamięci typu EEPROM i Flash. Szczególnie te ostatnie przeżywiają okres burzliwego rozwoju. Są wykorzystywane nie tylko do gromadzenia danych, ale też jako wielokrotnie zapisywalne pamięci programu w mikrokontrolerach. Nie potrzebują napięcia podtrzymującego i wraz z rozwojem technologii skraca się czas zapisu danych. Pamięci tego typu mogą mieć interfejs szeregowy (np. PC lub SPI). Stosowane są wtedy jako pamięci konfiguracyjne, do przechowywania niewielu, ale za to istotnych informacji.

Parametry kart CD

- Pojemność do 4 GB pamięci Flash
- Magistrala standardu SDBus lub SPI
- Zakres napięć zasilających 2,0...3,6 V dla komend inicjalizacji i 2,7...3,6 V dla pozostałych komend (zapisu odczytu i kasowania)
- Częstotliwość taktowania danych 0...25 MHz
- Przesyłanie danych z prędkością do 12,5 MB/sec (magistralą SDBus)
- Korekcja zapisu i odczytu błędów pamięci Flash
- Mechanizm protekcji praw autorskich
- Zabezpieczenie hasłem (dla wybranych modeli)
- Mechanicznie włączana protekcja zapisu
- Programowo włączana protekcja zapisu (czasowo i na stałe)
- Detekcja włożenia karty do złącza
- Dodatkowe komendy aplikacji (ACMD)

Flash-owe 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.

Wspomniany już szybki rozwój technologii produkcji pamięci Flash umożliwił produkowanie pamięci o coraz większej pojemności i krótkim czasie dostępu. Ponieważ nie wymagają one napięcia podtrzymania, to powstał pomysł, żeby umieścić je w małej obudowie ze stykami interfejsu komunikacyjnego i zasilania. Tak powstały karty Compact Flash, MMC i SD.

Karty SD zostały opracowane przez 3 firmy: Matsushita Electric Company, Toshiba Corporation, i SanDisk Corporation. Są one naturalną kontynuacją zaprojektowanych wcześniej kart MultiMediaCard – MMC.

Produkowane obecnie karty SD charakteryzują się dużą prędkością zapisywania i odczytywania danych, a ich pojemność sięga 4 GB. Są używane głównie jako pamięci masowe w cyfrowych aparatach fotograficznych, kamerach, odtwarzaczach MP3, komputerach itp.

Karty SD mają wbudowany mechanizm korekcji błędów zapisu i odczytu danych. Ten mechanizm może być porównywany z analogicznym rozwiązaniem stosowanym w twardych dyskach komputerów, ale zawiera dodatkowe rozwiązania niespotykane w napędach HDD. Po zapisaniu danych wewnętrzny mikrokontroler karty SD przeprowadza procedurę weryfikacji, czyli odczytuje zapisane dane i porównuje je z danymi przeznaczonymi do zapisania. Weryfikacja jest przeprowadzana automatycznie bez udziału zewnętrznego mikrokontrolera – hosta. W przypadku, gdy zostanie wykryty

błędnie zapisany bit, jest on zapisywany jako bit nadmiarowy bez zmiany wewnętrznej adresowania bloku danych. Jeżeli jest to konieczne, to cały blok danych jest przepisywany w obszar pamięci nadmiarowej. Dotyczy to wykrywania błędów sporadycznych i jest całkowicie przezroczyste dla hosta oraz nie zajmuje gwarantowanej pojemności pamięci karty.

Jeśli występują błędy przy odczytywaniu, to wewnętrzne algorytmy inicjują ponowne odczytanie danych. Gdy zabiegi te nie dają oczekiwanych rezultatów, to stosowany jest system korekcji danych ECC. ECC koryguje błędy odczytu i skorygowany bit jest zapisywany w pamięci nadmiarowej, tak by przy następnym odczytaniu nie stanowił problemu.

Karty SD mogą być wyposażone w mechanizm ograniczania poboru energii w czasie bezczynności. Na przykład karty SanDisk przechodzą w stan uśpienia, jeżeli po zakończeniu komendy przez 5 ms nie zostanie przesłana kolejna komenda. Karta jest wybudzania, kiedy host zacznie wysyłać do niej komendę.

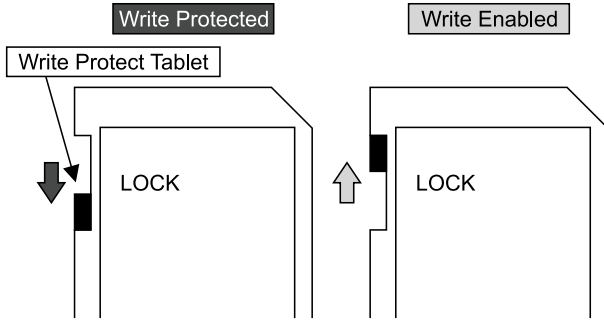
Standard SD opisuje dokładnie budowę karty i protokół wymiany informacji. Karta SD jest umieszczona w plastikowej obudowie o wymiarach 32x24x2,1 mm pokazanej na rys. 1.

Z boku obudowy umieszczono mechaniczny przełącznik protekcji zapisu (rys. 2).

Położenie przełącznika nie jest sprawdzane przez układy wewnętrzne karty i nie powoduje blokowania zapisania danych, ale tylko zwiiera lub rozwiiera dedykowany styk złącza karty.

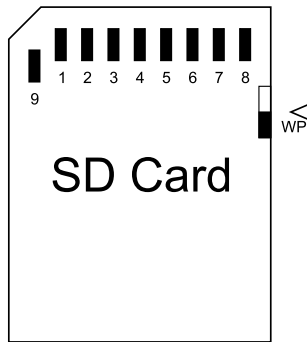


Rys. 1. Wygląd karty SD

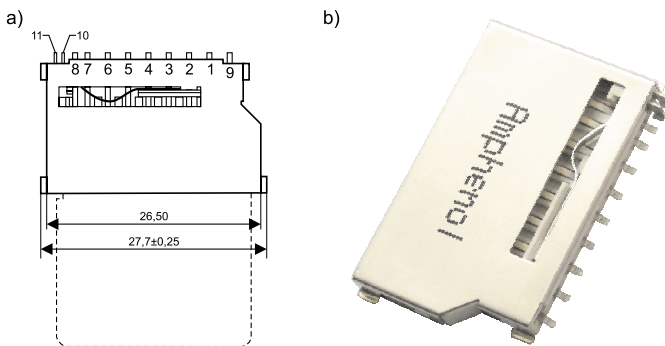


Rys. 2. Przełącznik protekcji zapisu

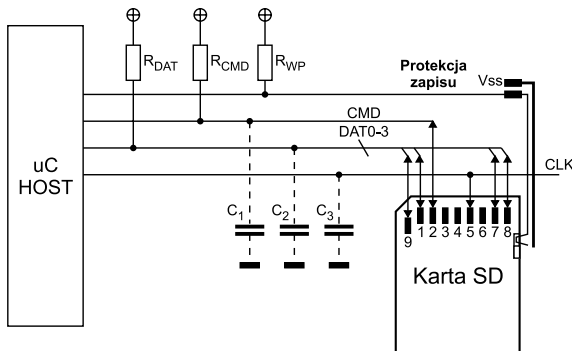
Stan styku tego może być odczytywany przez zewnętrzny mikrokontroler i to on decyduje, czy protekcja zapisu jest aktywna czy nie. Kartę łączy się z hostem przez fizyczny interfejs składający się ze styków karty i złącza SD. Na rys. 3 pokazano rozkład styków wyprowadzeń karty. Jest to 9



Rys. 3. Rozkład wyprowadzeń karty SD



Rys. 4. Złącze karty SD (widok z góry)



Rys. 5. Rezystory podciągające magistrali SDBus

złożonych pól kontaktowych ponumerowanych od 1 do 9.

Drugą część interfejsu fizycznego stanowi standardowe złącze SD. Każde z pól karty po włożeniu do złącza kontaktuje z odpowiadającym mu stykiem. Standardowe złącze karty SD oprócz wyprowadzeń dziewięciu styków

karty ma 2 dodatkowe wyprowadzenia. Wyprowadzenie 10 sygnalizuje włożenie karty do złącza (*card detect*), a wyprowadzenie 11 wspomnianą już protekcją zapisu (*write protect*). Złącza kart SD są montowane w technologii montażu powierzchniowego (rys. 4). Styki karty i złącze SD pozwalają na fizyczne podłączenie do karty – jest to interfejs fizyczny.

Interfejs elektryczny definiuje zakres napięć zasilających, pobierany prąd, poziomy logiczne, zależności czasowe itp. Standardowo karty są zasilane napięciem +3,3 V, jednak standard dopuszcza zasilanie innymi napięciami. Jeżeli karta będzie w czasie zapisu/odczytu danych zasilana napięciem innym niż zaleca producent, to może ulec uszkodzeniu lub dane nie będą prawidłowo zapisywane lub odczytywane. Każda karta SD może wykonać sekwencję inicjalizacji

(komendy CMD0, CMD15, CMD55 i ACMD41) w pełnym zakresie napięć zasilających 2,0...3,6 V. W trakcie inicjalizacji można odczytać z karty zakodowane napięcie zasilania i w czasie dalszej pracy: przy zapisywaniu, kasowaniu i odczytywaniu danych

musi być ustawione takie napięcie zasilania. Napięcie zasilające kartę jest też często wydrukowane na jej obudowie.

Do poprawnego restartu wewnętrznego mikrokontrolera konieczne jest, by napięcie zasilania narastało od 0 V do 2,0 V w czasie ok. 250 ms. Ten czas jest tak dobrany, że restart jest poprawny z większością

układów zasilania z popularnymi stabilizatorami scalonymi.

Ponieważ karta, a co za tym idzie wewnętrzne układy magistrali mogą być zasilane różnymi napięciami, to akceptowane poziomy logiczne mogą mieć różne wartości. Wyjściowy stan wysoki ma minimalną wartość $VOH=0,75 V_{dd}$. Wyjściowy stan niski VOL ma maksymalną wartość $0,125 V_{dd}$. Karta na swoich wejściach akceptuje poziom wysoki VIH z zakresu $0,625 V_{dd}...V_{dd}+0,3 V$ i poziom niski VIL z zakresu $V_{ss}-0,3 V...0,25 V_{dd}$ ($V_{ss}=0 V$).

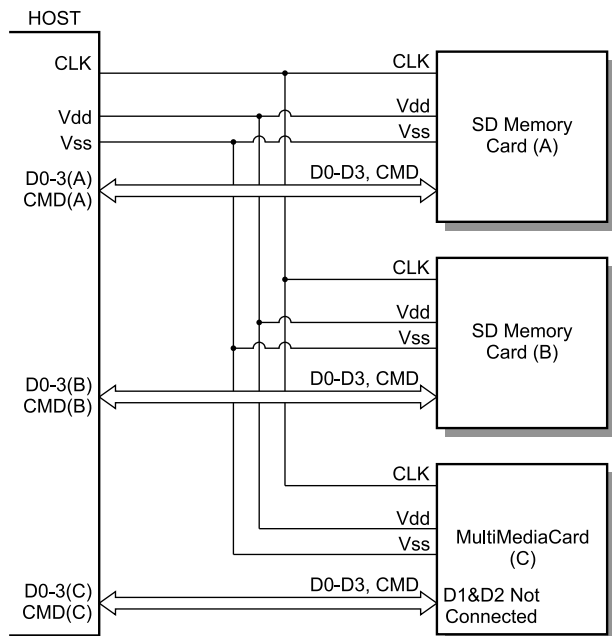
Złącza kart SD są tak skonstruowane, że można wsuwać i wysuwać z nich kartę bez wyłączenia napięcia zasilającego. Przy wkładaniu karty najpierw zaczynają kontaktować styki zasilające kartę, a potem pozostałe styki. Podobne rozwiązanie jest stosowane w komputerowych kartach PCMCIA.

Wszystkie linie sygnałowe magistrali SDBus i SD SPI powinny być połączone do plusa zasilania przez rezystory podciągające (rys. 5). Zapobiega to powstawaniu stanów nieustalonych na tych liniach po włożeniu karty do złącza lub w chwilach, gdy wewnętrzny interfejs magistrali przechodzi w stan wysokiej impedancji. Rezystor RWP wymusza stan wysoki na styku 11 złącza karty sygnalizującym protekcję zapisu. Podobnie styk 10 złącza karty sygnalizujący włożenie karty powinien być podciągnięty do plusa zasilania.

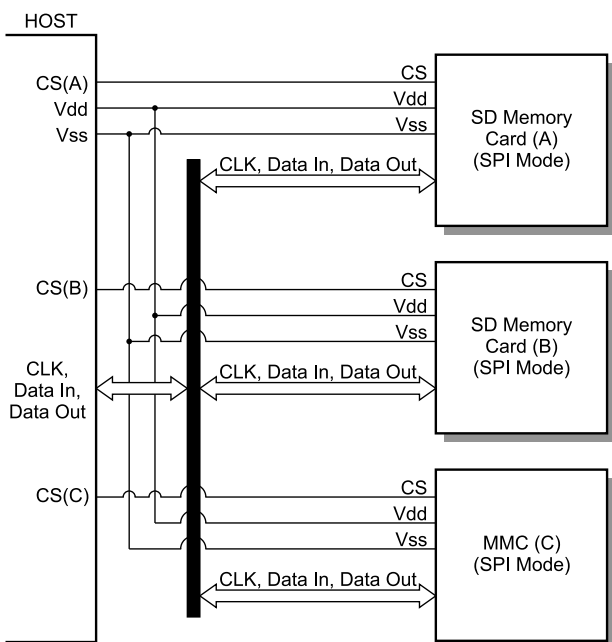
Z kartą SD można się komunikować w dwu trybach: *SD Bus Mode* i *SPI Mode*. Tryby różnią się między sobą funkcjami wyprowadzeń karty (nie dotyczy to zasilania) i szerokością magistrali. Na rys. 6 pokazano topologię łączenia kart do magistrali SD Bus. Sygnał zegarowy i zasilanie są wspólne, ale linie danych i CMD muszą być osobne dla każdej z kart.

W trakcie inicjalizacji, komendy są przesyłane do każdej z kart indywidualnie. Można w ten sposób wykręć, która karta jest włożona w złącze i przypisać jej logiczny adres. Zapisywane i odczytywane dane są zawsze przesyłane indywidualnie do każdej z kart.

W czasie pracy z magistralą SDBus można dynamicznie konfigurować liczbę linii danych magistrali każdej z kart. Po włączeniu zasilania karty do komunikacji używana jest tylko linia DAT0 i wszystkie komendy ini-



Rys. 6. Topologia magistrali SD Bus

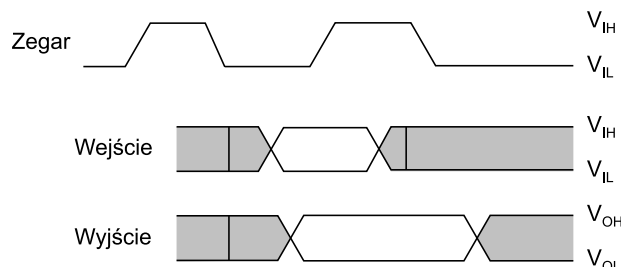


Rys. 7. Topologia magistrali SD SPI

cializacji są przesyłane tą linią. Jest to podyktowane koniecznością zapewnienia możliwości przełączenia

(zegar), DO (dane wyjściowe karty), DI (dane wejściowe karty), można dołączyć kilka kart (rys. 7). Funkcje

Tab.1. Wyprowadzenia karty SD w trybie SD Bus			
PIN	NAZWA	LINIA	OPIS
1	CD/DAT3	Wejście/wyjście	Detekcja karty/linia danych D3
2	CMD	Wejście/wyjście	Komendy/potwierdzenia
3	GND	Zasilanie	Masa
4	Vdd	Zasilanie	Zasilanie +3,3V
5	SCLK	Wejście	Linia zegarowa
6	GND	zasilanie	Masa
7	DAT0	Wejście/wyjście	linia danych D0
8	DAT0	Wejście/wyjście	linia danych D1
9	DAT0	Wejście/wyjście	linia danych D2



Rys. 8. Zależności pomiędzy sygnałem zegarowym, a danymi wejściowymi i wyjściowymi

w tryb SPI używający wyprowadzenia numer 7 (linia DAT0) jako linii DO (dane wyjściowe SPI). Kiedy inicjalizacja jest zakończona, to host może zmienić liczbę linii danych SDBus. Użycie 4 linii danych umożliwia uzyskanie najwyższej gwarantowanej przez producenta prędkości transferu danych. W tab. 1 zostały zestawione funkcje wyprowadzeń karty pracującej w trybie SDBus.

Tryb SDBus mimo, że pozwala na szybszy transfer jest skomplikowany w implementacji i dlatego przewidziano możliwość przesyłania danych szeregową magistralą SPI. Interfejs SPI jest prosty w implementacji, a poza tym wiele mikrokontrolerów ma wbudowany taki interfejs sprzętowy.

W trybie SPI do jednej magistrali złożonej z linii SCLK

wyprowadzeń karty SD pracującej w trybie SPI zestawiono w tab. 2. Magistrala pracuje w układzie MASTER – host i SLAVE – karty SD. Aktywna karta jest wybierana wymuszeniem stanu niskiego na jej linii CS w czasie przesyłania do niej komendy. CS musi pozostać w stanie niskim także w trakcie odbierania potwierżeń i odczytywania danych. Wyjątkiem jest czas, w którym dane są zapisywane. CS może przejść wtedy w stan wysoki lub pozostać w stanie niskim. W trybie SPI wszystkie linie są jednokierunkowe. Nie jest możliwe wysyłanie komend, kiedy są wysyłane lub odbierane dane. Dopuszczona jest tylko możliwość wysyłania komendy stopu w trakcie wysyłania/odbierania danych multisektorowych (multi read/write operation).

Na rys. 8 pokazano taktownie danych wejściowych i wyjściowych przez sygnał zegarowy. Dane są ustalane w czasie, gdy linia zegarowa jest w stanie niskim i przesyłane przy narastającym zboczku sygnału zegarowego.

Następna porcja informacji dotyczących interfejsu kart pamięciowych SD oraz sposobu ich obsługi będzie zamieszczona w kolejnych częściach artykułu.

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

Tab. 2. Wyprowadzenia karty SD w trybie SPI			
Pin	Nazwa	Linia	Opis
1	CS	Wejście	Chip select – aktywne zero
2	DI	Wejście	Data In – wejście danych
3	GND	Zasilanie	Masa
4	Vdd	Zasilanie	Zasilanie +3,3V
5	SCLK	Wejście	Linia zegarowa
6	GND	Zasilanie	Masa
7	DO	Wyjście	Wyjście danych Open Drain
8	—	—	Tryb SPI rezerwa
9	—	—	Tryb SPI rezerwa