

Pamięci FRAM w zastosowaniach praktycznych, część 1



Współcześnie pamięci dzielone są na dwie podstawowe kategorie: nieulotne i ulotne. Obydwie są nieustannie rozwijane, co zaowocowało kilka lat temu wprowadzeniem do sprzedaży nieulotnych pamięci FRAM o dość niezwykłych możliwościach. Przedstawiamy je w artykule wraz z praktycznymi przykładami stosowania pamięci.

Pamięci nieulotne są od wielu lat używane są w aplikacjach w celu zapamiętania pewnych stałych lub rzadko zmienianych informacji. Może to być

program realizowany przez mikroprocesor czy też - dla przykładu - wzorce znaków wyświetlanych na ekranie wyświetlacza LCD. Podstawową cechą tego rodzaju

RAMTRON

pamięci jest stałość przechowywanych informacji również, gdy brak jest napięcia zasilania. Zazwyczaj zapis pamięci stałej (często zwany jej programowaniem), nawet mimo użycia technologii EEPROM czy też Flash EEPROM, jest dosyć trudny i zajmuje dużo czasu, jeśli odnieść to do czasu odczytu tejże pamięci.

Druga grupa to pamięci ulotne, czyli różne wersje

RAM. Są one łatwe do zapisu i pracują bardzo szybko, więc ten rodzaj pamięci przechowuje dane, które często ulegają zmianie. Przeciwnie do pamięci ROM, dane przechowywane w pamięci RAM giną po odłączeniu napięcia zasilającego i jeśli konieczne jest z jakis względów zachowanie niezmiennego stanu RAM, wymagane jest stosowania pomocniczych źródeł zasilania. Jest







GAMMA sp. z o.o. dystrybutor narzędzi firmy Ashling

Oferujemy emulatory, programatory, debuggery i kompilatory na procesory:

- z rdzeniami ARM (Philips LPC2xxx, OKI)
- Motorola Power PC
- Renesas SH, SH2, SH3
- Infineon
- Fujitsu



01-013 Warszawa
ul. Kacza 6 lok. A
tel. (022) 862-75-00
fax (022) 862-75-01
e-mail: info@gamma.pl

www.ashling.com

www.gamma.pl



to swego rodzaju wyzwanie dla konstruktora układu.

Wad wyżej opisanych układów nie posiada nowy rodzaj pamięci, której technologia wytwarzania przed kilkunastu laty opuściła laboratoria naukowe. Jest to pamięć FRAM. Skrót nazwy tłumaczy się jako *Ferroelectric Random Access Memory*. Oznacza on technologię wytwarzania (uwaga!) nieulotnej pamięci RAM, czyli pamięci łączącej w sobie szybkość pracy RAM i trwałość ROM.

Pamięci wytwarzane w technologii FRAM dostępne były już przed kilku laty (praktycznie od 1993 roku), ale zarówno cena jak i dostępny asortyment nie zachęcały do ich stosowania. Jednak w ostatnim czasie technologia ta przeżywa prawdziwą eksplozję rozwoju. Firmy oferują liczne układy peryferyjne wyposażone w pamięci FRAM a cena układów gwałtownie spada. Moim zdaniem w przyszłości technologia ta może zastąpić popularną technologię Flash EEPROM chyba, że zostanie opracowany jakiś zupełnie nowy rodzaj pamięci.

Czym są pamięci FRAM?

FRAM jest rodzajem pamięci RAM, w której wykorzystano efekt ferro-

elektryczny do zapamiętywania bitów słowa danych. Efekt ten, być może znany niektórym studentom politechnik z ćwiczeń w laboratorium fizyki, występuje w niektórych materiałach krystalicznych i jest zdolnością materiału do przechowywania polaryzacji elektrycznej również w przypadku nieobecności pola elektrycznego, które tę polaryzację wywołało. Komórka pamięci tworzona jest poprzez nałożenie materiału ferroelektrycznego w postaci krystalicznej pomiędzy dwa doprowadzenia płaskich elektrod w taki sposób, aby został utworzony kondensator z materiałem ferroelektrycznym jako dielektrykiem. Konstrukcja tego kondensatora zbliżona jest do typowej konstrukcji komórki pamięci DRAM z tym, że zamiast przechowywać informację w postaci naładowanego kondensatora (tak, jak w typowo robi to komórka pamięci DRAM), bit przechowywany jest w postaci polaryzacji ładunków w obrębie struktury krystalicznej. W ten sposób – poprzez zmianę polaryzacji ładunków przy pomocy pola elektrycznego wewnątrz kondensatora, moż-

na tworzyć i zapamiętać dwa stabilne stany. Stany te umownie mogą odpowiadać wartościom logicznym bitów, to jest „zeru” i „jedynce”.

Prosta zasada działania, niemalże identyczna z tą stosowaną w pamięciach RAM, umożliwia konstrukcję prostych obwodów zapisu i odczytu komórek pamięci. Jak wspomniano wcześniej, materiał ferroelektryczny zachowuje polaryzację ładunków pomimo zaniku pola elektrycznego i w związku tym, nie tak jak w pamięciach RAM, dane mogą być przechowywane w sposób nieulotny. Zbudowana z jego wykorzystaniem komórka pamięci nie wymaga również okresowego odświeżania.

Działanie pamięci FRAM

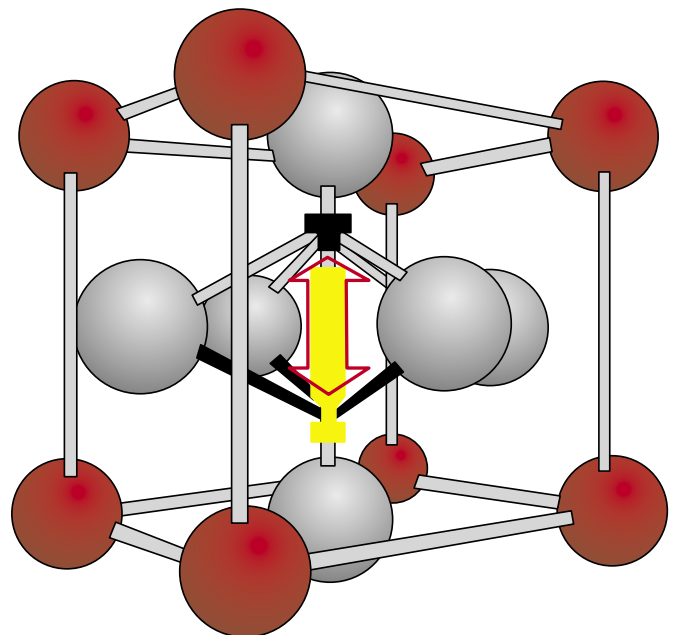
Na rys. 1 przedstawiony jest poglądowy model kryształu ferroelektrycznego o strukturze perowskitu. Kryształ posiada ruchomy atom w środku swojej struktury (oznaczony kolorem żółtym). Przyłożenie pola elektrycznego powoduje, że „mobilny” atom przesuwa się w kierunku działania sił pola. Odwrócenie polaryzacji pola powoduje przemieszczanie się atomu w kierunku

przeciwnym. Pozycje atomy na „górze” i „dole” struktury krystalicznej są stabilne. Atom pozostaje w jednej z nich w przypadku braku pola elektrycznego. Jako komórka pamięci cyfrowej, taka struktura jest wręcz idealna: posiada dwa stany stabilne, potrzebuje bardzo małej mocy do zmiany stanu i zachowuje ten stan nawet mimo działania różnych czynników zewnętrznych.

Odczyt

Mimo, iż podstawowym elementem komórki pamięci jest kondensator, to jednak bity nie są zapamiętywane jako ładunek liniowy. Odczyt takiej komórki pamięci wymaga detekcji położenia atomu wewnątrz struktury krystalicznej. Niestety nie może ono być rozpoznane bezpośrednio i musi tu być używany pewien „zabieg”.

Do kondensatora przykładane jest napięcie. Na skutek tego pomiędzy jego okładzinami pojawia się pole elektryczne. Ruchomy atom przesuwa się zgodnie z kierunkiem działania pola, lub pozostaje w spoczynku, jeśli jego położenie jest z nim zgodne. W środku struktury kryształu występuje stan



Rys. 1.



równowagi, który utrzymuje pozostałe atomy w ściśle określonych położeniach sieci krystalicznej a wypadowe pole elektryczne jest równe 0. Jeśli ruchomy atom przemieszcza się, to powoduje zaburzenie, co skutkuje impulsem energetycznym. Impuls ten dodaje się do ładunku zgromadzonego przez kondensator (pamiętajmy, że opisywane są struktury o rozmiarach kilkunastu atomów!). Na skutek tego jedne kondensatory naładowane będą do wartości ładunku wymuszonej przez pole elektryczne a inne będą posiadać ładunek będący kombinacją oddziaływania pola elektrycznego i ruchu atomu. Mimo, iż odczyt pamięci wymaga przemieszczenia atomu, to jednak należy pamiętać o tym, że atom przebywa bardzo krótką drogę. Jego położenie zmienia się w czasie 1 nanosekundy (10^{-9} sekundy) a cała operacja odczytu zajmuje około 70 nanosekund.

Łatwo na podstawie powyższego opisu wywnioskować, jak będzie wyglądać obwód określający stan bitu: będzie to rodzaj komparatora porównującego ładunek odebrany z komórki pamięci z pewnym poziomem odniesienia. Dobrze, a co ze zmianą polaryzacji ładunku? Przecież pisałem,

że podczas odczytu atom przemieszcza się wewnątrz struktury. W związku z przyjętą metodą odczytu, każdemu cyklowi dostępu do pamięci towarzyszy rodzaj operacji odświeżania. A co w związku z tym z czasem dostępu do pamięci? Czy nie jest przez to odświeżanie wydłużany? Niestety tak. Wpływ odświeżania na czas odczytu pamięci FRAM jest znaczny, ponieważ zajmuje ono aż 50 nanosekund.

Zapis

Operacja zapisu jest bardzo podobna do opisanego wcześniej odczytu. Inaczej niż inne rodzaje pamięci stałych programowane elektrycznie, nie wymaga przyłożenia wysokiego napięcia czy też długiego czasu zapisu. Wewnętrzny obwód przykłada napięcie do okładzin kondensatora ferroelektrycznego. Powoduje to odpowiednie przemieszczenie ruchomego atomu i polaryzację kryształów. Jeśli jest to potrzebne, nowe dane po prostu zmieniają stan polaryzacji kryształu ferroelektrycznego. Tak, jak w przypadku odczytu, zmiana stanu kryształu zajmuje ok. 1 nanosekundy podczas, gdy cała operacja zapisu około 70 nanosekund (7×10^{-8} s!). Nieporównywalnie krótki czas, jeśli odnieść go np. do pamięci Flash.

ZAJRZYJ NA TE STRONY

MS Elektronik
 Dystrybutor Elementów Elektronicznych
 Tel. (58) 629 24 69
 Faks: (58) 629 32 00
 E-mail: info@mselektronik.com.pl
Oferta czynnych i biernych elementów elektronicznych renomowanych producentów
www.mselektronik.com.pl

www.lcel.com.pl
 nadajemy kształt elektronice
 klawiatury • obudowy • materiały • wsparcie technologiczne
 płyty czołowe • akcesoria • pomocnicze

PRODUKCJA I SPRZEDAŻ AKCESORIÓW DO BEZKONTAKTOWEJ IDENTYFIKACJI - RFID
 STEROWNIKI MIKROPROCESOROWE NA ZAMÓWIENIE
www.mikrokontrola.pl
 ul. Wólczyńska 55, 01-908 Warszawa
 tel: (0 prefix 22) 885 55 45, fax: (0 prefix 22) 885 55 44

Diody laserowe • Bezpieczniki/oprawki bezpiecznikowe
SEMICON Sp. z o.o.
www.semicon.com.pl
 Wyłączniki termobimetaliczne • Gniazda/moduły zasilające

poltronic dostarczamy podzespoły bogaty asortyment, najlepsza cena
 PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE
www.poltronic.com.pl
 importer podzespołów elektronicznych

OBUDOWY DLA TWOJEJ ELEKTRONIKI
MASZCZYK
 ZAKŁAD TWORZYW SZTUCZNYCH
www.maszczyk.pl

www.piekarz.pl
 HURTOWNIA CZĘŚCI ELEKTRONICZNYCH

ELEKTRYCZNA I ELEKTRONICZNA APARATURA POMIAROWA
 MIERNIKI PARAMETRÓW INSTALACJI ELEKTRYCZNYCH, TESTERY MASZYN I URZĄDZEŃ, ANALIZATORY JAKOŚCI ENERGII
 ELEMENTY I SYSTEMY AUTOMATYKI
 REGULATORY I CZUJNIKI TEMPERATURY, LICZNIKI IMPULSÓW, PRZEKAŹNIKI SSR
 NARZĘDZIA
 STACJE LUTOWNICZE
www.merserwis.com.pl MER SERWIS

AMART LOGIC
 – RFID (identyfikatory, czytniki)
 – Kontrola Dostępu
 – Rejestracja Czasu Pracy
 – Sieci Zegarów
 – DCF77
 – GPS
 Tel./Fax: (22) 612 69 14
www.amart.com.pl

mierniki, technika lutownicza - narzędzia **www.biall.com.pl**
BIALL

TATAREK sklep.tatarek.com.pl
 +ZASILACZE +ANTENY +ŁADOWARKI +REGULATORY DO PIECÓW I KOMINKÓW
 +PRZETWORNICZKI +REGULATORY NADMUCHU CIEPŁEGO POWIETRZA +INNE

Tab. 1. Układy peryferyjne do systemów mikroprocesorowych

Nazwa produktu	V _{DD}	Rodzaj interfejsu	Wielkość pamięci	RTC	RTC z funkcją Alarmu	Monitor zasilania	Watch Dog	Sygnalizacja zaniku napięcia	Numer seryjny	Przełącznik zasilania	Sygnalizacja zdarzenia	Rodzaj obudowy
Układy z rodziny 31: pamięć, RTC, układ kontroli, peryferia												
FM31256	2,7...5,5V	Szer. 2-Wire	256kb	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Licznik	SOIC14
FM3164	2,7...5,5V	Szer. 2-Wire	64kb	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Licznik	SOIC14
FM3116	2,7...5,5V	Szer. 2-Wire	16kb	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Licznik	SOIC14
FM3104	2,7...5,5V	Szer. 2-Wire	4kb	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Licznik	SOIC14
FM4005	2,7...5,5V	Szer. 2-Wire	NA	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Licznik	SOIC14
Układy z serii 32: kompatybilne z serią 31 ale bez RTC												
FM32256	2,7...5,5V	Szer. 2-Wire	256kb	Nie	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Licznik	SOIC14
FM3264	2,7...5,5V	Szer. 2-Wire	64kb	Nie	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Licznik	SOIC14
FM3216	2,7...5,5V	Szer. 2-Wire	16kb	Nie	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Licznik	SOIC14
FM3204	2,7...5,5V	Szer. 2-Wire	4kb	Nie	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Licznik	SOIC14
Pamięć, układ kontroli, peryferia.												
FM30C256	5V	Szer. 2-Wire	256kb	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak	-	SOIC20
FM3808DK	5V	Równoległy	32kb x 8	Nie	Nie	No	Nie	Nie	Nie	Nie	-	-
FM3808	5V	Równoległy	32kb x 8	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Tak	Nie	TSOP32

Tab. 2. Zestawienie najważniejszych parametrów pamięci FRAM

Nazwa produktu	Pojemność	Rodzaj obudowy	Maksymalna częstotliwość taktowania	V _{DD}	I _{DD}
Z interfejsem szeregowym 2-Wire					
FM24C256	256kb	8SE	1MHz	5V	1,2mA
FM24C64	64kb	8S	1MHz	5V	1,2mA
FM24CL64	64kb	8S	1MHz	2,7...3,6V	400µA
FM24C16A	16kb	8S	1MHz	5V	1,0mA
FM24CL16	16kb	8S & DFN	1MHz	2,7...3,6V	400µA
FM24C04A	4kb	8S	1MHz	5V	1,0mA
FM24CL04	4kb	8S	1MHz	2,7...3,6V	300µA
Z interfejsem szeregowym SPI					
FM25L256	256kb	8S & DFN	25MHz	2,7...3,6V	6mA
FM25W256	256kb	8S	25MHz	2,7...5,5V	7mA
FM25640	64kb	8S	5MHz	5V	3,0mA
FM25CL64	64kb	8S & DFN	20MHz	2,7...3,6V	10mA
FM25L16	16kb	8S & DFN	20MHz	2,7...3,6V	10mA
FM25C160	16kb	8S	5MHz	5V	3mA
FM25CL04	4kb	8S	20MHz	2,7...3,6V	3,0mA
FM25040	4kb	8S	1,8MHz	5V	2,5mA
Z interfejsem równoległym					
FM18L08	32kb x 8	28S, 28P	70ns	3,0...3,6V	15mA
FM1808	32kb x 8	28S, 28P	70ns	5V	25mA
FM1608	8kb x 8	28S, 28P	120ns	5V	15mA

Aplikacje

Oczywiście, w praktyce, wszystkie opisywane wyżej zjawiska nie będą obchodzić potencjalnego użytkownika układu. Producenci wyposażając układ peryferyjny w interfejs SPI zwalniają konstruktora od pamiętania o fizycznych cechach pamięci. Nieco inaczej jest w przypadku pamięci równoległych – poruszę ten temat w dalszej części artykułu.

Kiedy po raz pierwszy przeczytałem o upowszechnieniu się technologii pamięci FRAM, przed oczyma od razu miałem szerokie spektrum aplikacji. Po pierwsze, ze względu na bardzo dużą szybkość oraz ogromną liczbę cykli zapisu, bardzo zasadne jest użycie tego rodzaju pamięci jako pamięci masowej w komputerach PC,

telefonach komórkowych, aparatach fotograficznych i innych urządzeniach elektronicznych.

Produkty firmy Ramtron

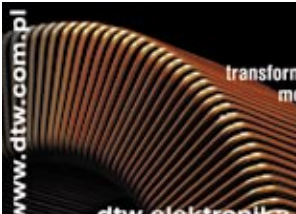
Firmą wiodącą na rynku produktów FRAM i praktycznie założoną tylko w celu ich rozwoju oraz rozpowszechniania jest Ramtron International Corporation z siedzibą w Colorado Springs (USA). Firma założona została w 1984 roku i po blisko 10 latach prac badawczych, w 1993 roku wprowadziła na rynek pierwszy produkt komercyjny. Była to pamięć o pojemności 4 kb (kilobit). Współcześnie firma jest liderem w dziedzinie technologii wytwarzania pamięci FRAM, właścicielem wielu patentów z tej dziedziny i oferuje szereg różnych układów



Poszukujemy absolwentów uczelni technicznych następujących kierunków:

elektrotechnika, elektronika, automatyka i mechanika.

Wymagana znajomość języka angielskiego lub niemieckiego. Kontakt: praca@dtw.com.pl



toroidalne

transformatory mocy 50-400Hz (1-30 000VA), transformatory mocy do przetwornic SPMS, precyzyjne transformatory pomiarowe (przekładniki) prądu i napięcia, elementy indukcyjne do filtrów, do przetwornic impulsowych, elementy czujników, transformatory Ferranliego, i inne wyżej nie wymienione.

dtw

elektronika

www.dtw.com.pl

dtw elektronika ul. krakowska 390, 32-080 zablierzów, poland, tel.: 0048/12/283 09 50, fax:0048/12/285 35 67



peryferyjnych. Między innymi układy zawierające np. zegar czasu rzeczywistego oraz 256 kb pamięci FRAM. Krótkie zestawienie jej produktów zawierają tab. 1 i 2.

Pamięć szeregową FM24C64 (64 kb)

Wykonana w technologii FRAM pamięć FM24C64 wyposażona jest w szybki interfejs 2-Wire. Jest ona funkcjonalnym odpowiednikiem popularnej pamięci EEPROM produkowanej przez wiele firm pod oznaczeniem 24C64 (np. przez firmę Atmel Corp. AT24C64). Jako, że ten rodzaj pamięci jest dobrze znany elektronikom, tu w skrócie zostaną wymienione cechy pamięci po to, aby zająć się praktyczną realizacją interfejsu programowego umożliwiającego zapis i odczyt danych:

- Bardzo niski pobór prądu: 150 μ A przy zasilaniu 5 V, 10 μ A w trybie *standby*.
- Organizacja: 8192 x 8 bit.

- Możliwość wykonania aż 10¹² cykli zapisu/odczytu!
- Gwarancja na podtrzymanie zawartości przez 10 lat.
- Brak czasu oczekiwania na zapis/odczyt bajtu (czas dostępu znacznie krótszy od okresu zegara transmisji interfejsu).
- Częstotliwość sygnału zegarowego interfejsu do 1 MHz.
- Kompatybilna z pamięciami EEPROM typu 24C64.
- Interfejs zbliżony funkcjonalnie do I²C (oba tryby: standardowy 100 kHz i szybki 400 kHz).

Jak wspomniano przy okazji krótkiej charakterystyki cech pamięci, jest ona kompatybilna z popularną pamięcią EEPROM 24C64. Podobnie jest z programem obsługi: nie wymaga on żadnych specjalnych zabiegów. Najważniejsza jest różnica funkcjonalna: pamięć FRAM w porównaniu z EEPROM wyróżnia się ogromną wręcz szybkością zapisu. W związ-

ZAJRZYJ NA TE STRONY

KINESKOPY
 REGENERACJA tel. 0...22 678 48 36
www.kineskopy.com.pl

UNITRA UNIZET
 nowa strona www.unizet.com.pl

<http://www.wobit.com.pl> / www.silniki.com / www.prowadnice.com
 przewoźniki, silniki DC, silniki krokowe, czujniki zbliżeniowe, potencjometry
www.czuJNIki.pl / www.enkodery.pl / www.potencjometry.com/

PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE SEMICS
www.semics.net.pl

WIĘCEJ NIŻ PROFESJONALNA DYSTRYBUCJA
MARTHEL www.marthel.pl
 UKŁADY SCALONE WINBOND, WARYSTORY
 TERMISTORY, KOMPUTERY PRZEMYSŁOWE

LARO www.laro.com.pl
 CZĘŚCI ELEKTRONICZNE

GAMMA www.gamma.pl
 info@gamma.pl PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE

Pierwsza Polska Katalogowo-Wysyłkowa Firma Elektroniczna
TME www.tme.pl
 Electronic Components

CONRAD
 ELEKTRONIKA TECHNIKA INNOWACJE
www.conrad.pl

CYFRONIKA www.cyfronika.com.pl
 elektronika dla wszystkich sklep internetowy wszystko dla elektroniki
www.cyfronika.com.pl

ZAJRZYJ NA TE STRONY

NORD Plus ELEKTRONIK ZESTAWY DO SAMODZIELNEGO MONTAŻU
www.nordelektronikplus.pl

UJARZMIĆ ENERGIE
FRYSTER www.fryster.com.pl
 producent elementów indukcyjnych

dexon.pl
 TECHNIKA NAGŁOŚNIENIOWA

List. 1.

```

; zapis na stronie pamięci zawartości bufora BUFFER; wywołanie:
; adres 1-go bajtu w ADDR_HI:
ADDR_LO, dane do zapisu w BUFFER,
; liczba bajtów w COUNT, zmienna
część adresu układu w A
; zwraca CY=1, jeśli magistrala
jest zajęta lub pamięć nie od-
powiada
; modyfikuje: A, COUNT, INDEX
write_block:
call start ; wysłanie
polecenie I2C START
jc wb_x8 ; przerwa,
jeśli magistrala jest zajęta
rl A ; zmienna część
adresu przesuwana jest na poz.
bitów 3:1
orl A, #FIXEDADDR ; dodanie
stałej części adresu
clr ACC.0 ; zerowanie
bitu numer 0: zapis danych
call shout ; wysłanie
adresu pamięci
jc wb_x7 ; jeśli układ
nie odpowiada, to błąd i wyjście
mov A, addr_hi ; wysłanie
starszego bajtu adresu słowa w
pamięci
call shout
jc wb_x7 ; jeśli układ
nie odpowiada, to błąd i wyjście
mov A, addr_lo ; wysłanie
młodszy bajtu adresu słowa w
pamięci
call shout
jc wb_x7 ; jeśli układ
nie odpowiada, to błąd i wyjście
mov index, #buffer ; załadowanie
do zmiennej INDEX adresu
bufora w RAM
wb_x6:
mov A, #index ; pobierz bajt
call shout ; wysłaj do
pamięci 24C64
jc wb_x7 ; jeśli układ
nie odpowiada, to błąd i wyjście
inc index ; następna
pozycja w buforze
djnz count, wb_x6 ; na-
stępny adres w 24C64
clr C ; zerowanie flagi C
- sygnalizacji błędu
wb_x7:
call stop ; wysłanie
polecenie I2C STOP
wb_x8:
ret
; odczyt jednego bajtu do jednej
strony bajtów z pamięci 24C64
; wysła polecenie Random Read a
następnie Sequential Read
; wywołanie: adres 1-go bajtu w
ADDR_HI: ADDR_LO, dane zwracane
w BUFFER,
; liczba bajtów w COUNT, zmienna
część adresu układu w A
; zwraca CY=1, jeśli magistrala
jest zajęta lub pamięć nie od-
powiada
; modyfikuje: A, COUNT, INDEX
read_block:
; tryb zapisu w
celu ustawienia licznika adresów
24C64
call start ; wysłanie
polecenia I2C START
jc rb_x5 ; przerwa,
jeśli magistrala jest zajęta
rl A ; zmienna część
adresu przesuwana jest na poz.
bitów 3:1
orl A, #FIXEDADDR ; dodanie
stałej części adresu
mov index, A ; zapamię-
tanie kopii adresu urządzenia
clr ACC.0 ; wybór opera-
cji zapisu
call shout ; wysłanie
adresu pamięci
jc rb_x4 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
mov A, addr_hi ; wysłanie
starszej części adresu słowa
call shout
jc rb_x4 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
mov A, addr_lo ; wysłanie
młodszej części adresu słowa
call shout
jc rb_x4 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
; zmiana trybu na
"odczyt" i odczyt bajtów
call start ; powtórne
wysłanie polecenia I2C START
jc rb_x4 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
mov A, index ; odtworze-
nie adresu pamięci

```

List. 1. cd

```

setb ACC.0 ; kasowanie
bitu 0 adresu - odczyt
call shout ; wysłanie
adresu na magistralę I2C
jc rb_x4 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
mov index, #buffer ; do zmien-
nej INDEX wskazanie do bufora
rb_x1:
call shin ; odbiór
bajtu od pamięci
mov #index, A ; zapamiętanie
ich w RAM mikrokontrolera
cjne count, #1, rb_x2
; skok, jeśli to nie ostatni bajt
call NAK ; nie wysyłaj
potwierdzenia, ostatni bajt
jmp rb_x3 ; wyjście
rb_x2:
call ACK ; wyslij po-
twierdzenie
inc index ; następna
pozycja w buforze
djnz count, rb_x1 ; na-
stępny bajt w pamięci 24C64
rb_x3:
clr C ; clear error flag
rb_x4:
call stop ; wysłanie
rozkazu I2C STOP
rb_x5:
ret
; zapis bajtu do pamięci 24C64;
wywołanie: adres 1-go bajtu w
; ADDR_HI: ADDR_LO, dane do zapisu
w ZDATA, zmienna część adresu
; układu pamięci w A, zwraca CY=1,
jeśli magistrala jest zajęta lub
; pamięć nie odpowiada, modyfi-
kuje A
write_byte:
call start ; wysłanie
rozkazu I2C START
jc wb_y9 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
rl A ; zmienna część
adresu przesuwana jest na poz.
bitów 3:1
orl A, #FIXEDADDR ; dodanie
stałej części adresu
clr ACC.0 ; operacja
zapisu (b0=0)
call shout ; wysłanie
adresu pamięci
jc wb_y8 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
mov A, addr_hi ; wysłanie
starszego bajtu adresu słowa
call shout
jc wb_y8 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
mov A, addr_lo ; wysłanie
młodszy bajtu adresu słowa
call shout
jc wb_y8 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
; pobranie
danych z ZDATA do ACC
call shout ; wysłanie
danych do pamięci 24C64
jc wb_y8 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
clr C ; kasowanie znacznika
błędu
wb_y8:
call stop ; wysłanie
rozkazu I2C STOP
wb_y9:
ret
; odczyt bajtu spod bieżącego ad-
resu w pamięci 24C64
; wywołana ze zmienną częścią
adresu w A, zwraca bajt w A
; zwraca CY=1, jeśli magistrala
jest zajęta lub pamięć nie
; odpowiada, modyfikuje A
read_current:
call start ; wysłanie
rozkazu I2C START
jc rc_x5 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
rl A ; zmienna część
adresu przesuwana jest na poz.
bitów 3:1
orl A, #FIXEDADDR ; dodanie
stałej części adresu
setb ACC.0 ; operacja
odczytu (b0=1)
call shout ; wysłanie
adresu pamięci
jc rc_x4 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
call shin ; odbiór
bajtu danych
call NAK ; nie wysyłaj
potwierdzenia, koniec operacji
clr C ; kasowanie flagi
sygnalizacji błędu
rc_x4:

```

List. 1. cd

```

call stop ; wysłanie
rozkazu I2C STOP
rc_x5:
ret
; wywołanie funkcji Read Random
(odczyt swobodny)
; wywołana ze zmienną częścią
adresu w A, adresem bajtu w
; ADDR_HI: ADDR_LO; bajt zwracany
w akumulatorze
; zwraca CY=1, jeśli magistrala
jest zajęta lub pamięć nie
; odpowiada
read_random:
push B ; zapamiętanie
stanu rejestru B na stosie
mov B, A ; zapamiętanie
kopii zmiennej części adresu
; tryb zapisu w
celu ustawienia licznika adresów
24C64
call start ; wysłanie
rozkazu I2C START
jc rr_x7 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
rl A ; zmienna część
adresu przesuwana jest na poz.
bitów 3:1
orl A, #FIXEDADDR ; dodanie
stałej części adresu
clr ACC.0 ; operacja
zapisu (b0=0)
call shout ; wysłanie
adresu pamięci
jc rr_x6 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
mov A, addr_hi ; wysłanie
starszego bajtu adresu słowa
call shout
jc rr_x6 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
mov A, addr_lo ; wysłanie
młodszy bajtu adresu słowa
call shout
jc rr_x6 ; wyjście,
jeśli brak potwierdzenia
; wywołanie funk-
cji Call Current Address Read
mov A, B ; odtwórz zmienna
część adresu
call read_current
jmp rr_x7 ; wyjście
rr_x6:
call stop ; wysłanie
rozkazu I2C STOP
rr_x7:
pop B ; odtworzenie
stanu rejestru B
ret

```

gnalizację stanów (potwierdzenie odbioru danych czy komendy - ACK) oraz polecenia START, STOP.

Po otrzymaniu polecenia START interfejs pamięci oczekuje na 7-bitowy adres oraz bit kierunku transmisji (zapis/odczyt). W 8-bitowym słowie adresu, bity 7 do 4 identyfikują rodzaj układu i są predefiniowane przez producenta. Bity 3 do 1 mogą być ustawiane przez użytkownika poprzez zwierzenie odpowiednich wyprowadzeń do potencjałów „1” lub „0”. Najmłodszy bit 0 określa kierunek transmisji (0 – zapis, 1 – odczyt).

Na list. 1 umieszczono najważniejsze funkcje programu do zapisu i odczytu danych, który ze względu na dużą objętość nie zmieścił się w ramach artykułu. Cały program można znaleźć na płycie CD dołączonej do tego wydania EP. Program w assemblerze 8051 napisany został na podstawie noty aplikacyjnej firmy Atmel przeznaczonej dla pamięci AT24C64 (dla EEPROM). Jak wspominałem wcześniej, oprócz bardzo dużej szybkości działania, pamięć FRAM nie różni się niczym w obsłudze od swojego odpowiednika EEPROM. Przykładowy program zapisuje dane do pamięci FRAM, odczytuje i weryfikuje odczytaną wartość. W przypadku niezgodności linia ERROROUT (w przykładzie jest to P1.4) przyjmuje stan wysoki. Program źródłowy zawiera dużo komentarzy i nie jest zbyt trudny do analizy. Wymagana jest jedynie elementarna znajomość assemblera mikrokontrolera 8051.

Jacek Bogusz, EP
jacek.bogusz@ep.com.pl

Dodatkowe informacje

CIT International PL Sp. z o.o.
 53-015 Wrocław,
 al. Karkonoska 8
 tel. (71) 793 05 00
 e-mail: info@citworld.com,
 http://www.citworld.com

ku z tym, że interfejs I²C jest znany z szeregu aplikacji, opis pamięci ograniczę do krótkiej charakterystyki funkcjonalnej.

Podobnie jak I²C, kompatybilny z nim interfejs 2-Wire wymaga rezystorów zasilających (pull-up) o wartości minimalnej około 1,8 kΩ. Wartość rezystorów zależy od pojemności połączeń. Przy bardzo krótkich połączeniach wystarczające mogą być rezystory wbudowane w strukturę np. mikrokontrolera, ale nie polecam rozwiązania tego typu. Linie interfejsu są dwukierunkowe, transmisja zawsze nadzorowana jest przez układ zarządzający (master), podczas gdy pamięć jest zawsze układem nadzorowanym (slave). Podobnie jak w I²C linie noszą nazwę SDA (danych) i SCL (zegarowa). Od I²C przejęto również sy-