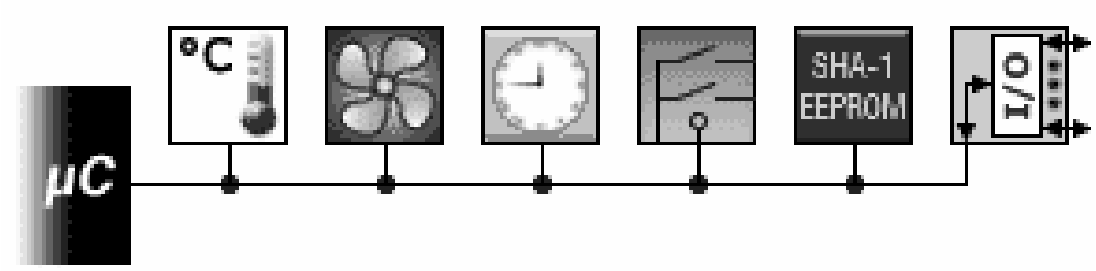
OBSŁUGA INTERFEJSU 1-WIRE NA PRZYKŁADZIE DS18B20

wydanie pierwsze

Opracowanie zawiera treści różnych publikacji takich jak:
książki, datasheety, strony internetowe



Cezary Klimasz
Kraków 2008

Spis treści

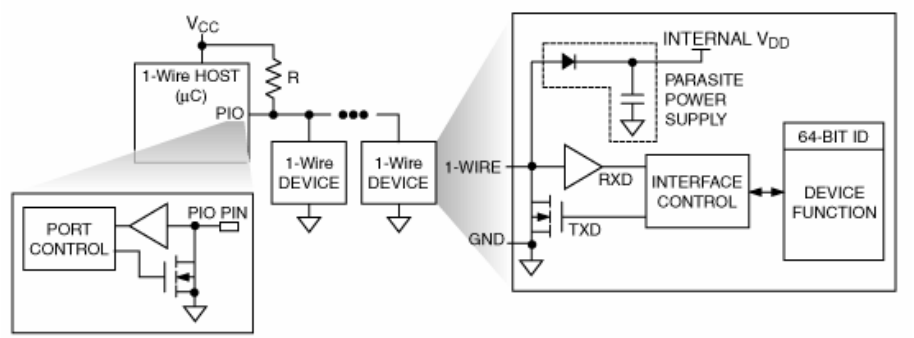
1. Przedstawienie standardu

WPROWADZENIE

1-Wire jest rodzajem interfejsu elektronicznego jak również i protokołu komunikacyjnego pomiędzy dwoma (lub więcej) urządzeniami. Jego nazwa wywodzi się stąd, że do całkowitej komunikacji używana jest tylko jedna linia danych. Dodatkowo, odbiornik może być zasilany bezpośrednio z linii danych, wykorzystując zasilanie pasożytnicze, co jest ogromną zaletą tego interfejsu. Odbiornik wyposażony jest bowiem w kondensator o pojemności 800 pF, który jest ładowany bezpośrednio z linii danych - następnie energia w nim zgromadzona używana jest do zasilania odbiornika.

Połączenie 1-Wire zostało opracowane przez *Dallas Semiconductor*. Umożliwia ono stosunkowo niewielką przepustowość transmisji danych - standardowo 16 kbps (w trybie *overdrive* maksymalnie do 142 kbps).

1-Wire jest podobne do interfejsu I²C, ale z uwagi na pojedynczą linię komunikacyjną jest zarówno wolniejsze, jak i tańsze. Interfejs 1-Wire jest zazwyczaj używany do komunikacji pomiędzy niewielkimi urządzeniami, takimi jak: termometry cyfrowe, instrumenty metrologiczne, sterowniki ładowania akumulatorów, zamki elektroniczne typu *iButton*, itd.

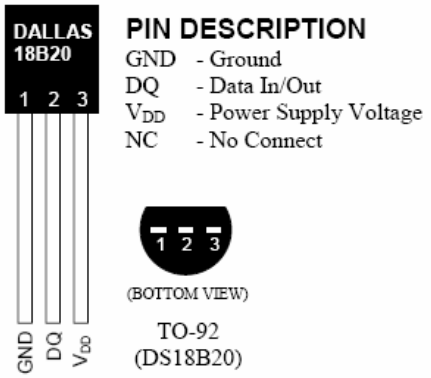


Protokół 1-wire zakłada wspólną linię danych dla układów master i slave

2. DOKUMENTACJA UKŁADU DS18B20

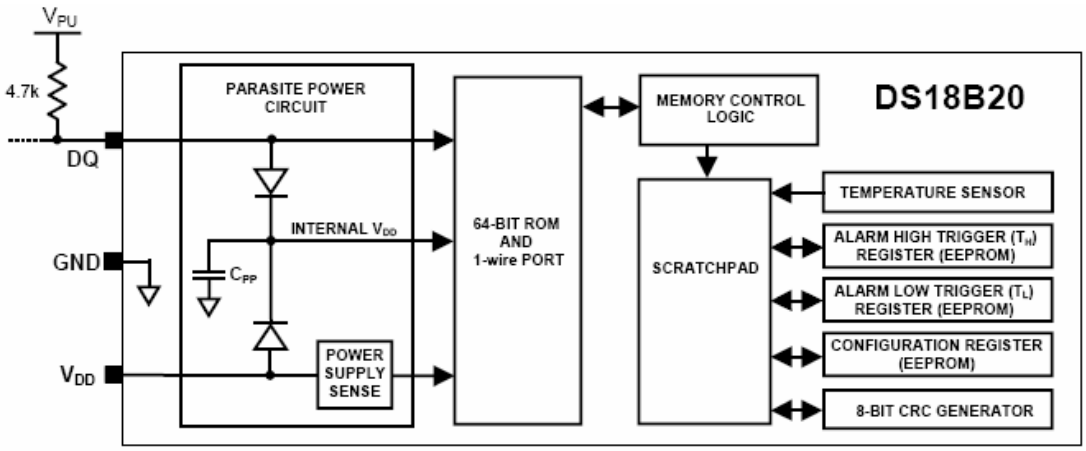
Układ firmy Dallsa Semiconductors DS18B20 jest cyfrowym termometrem o programowalnej rozdzielczości. Jego podstawowe cechy to:

- komunikacja za pomocą interfejsu 1-wire,
- każdy odbiornik posiada unikalny 64 bitowy kod umieszczony w wewnętrznej pamięci ROM układu,
- maksymalnie uproszczony sposób odczytu temperatury,
- nie potrzebuje żadnych zewnętrznych komponentów,
- może być zasilany z linii danych,
- zasilanie od 3V do 5,5V,



- dokładność 0,5°C dla zakresu -10°C ÷ 85°C,
- możliwość ustawienia rozdzielczości od 9 do 12 bitów,
- konwersja 12 bitowego słowa – max. 750ms.

Rysunek poniżej przedstawia budowę logiczną układu DS18B20. Pamięć ROM 64-bitowa zawiera unikalny adres układu. *Scratchpad* (notatnik) zawiera 2 bajtowy rejestr z wartością temperatury dostarczoną cyfrowo z czujnika. W dodatku, *scratchpad* zapewnia dostęp do jedno-bajtowego rejestru porównań (T_H i T_L) oraz do jedno-bajtowego rejestru konfiguracyjnego. Rejestr konfiguracyjny pozwala na ustawienie rozdzielczości konwersji temperatury (9, 10, 11 lub 12 bitów). T_H, T_L oraz rejestry konfiguracyjne są typu EEPROM, dlatego ich zawartość nie zmienia się po wyłączeniu zasilania.



Układ DS18B20 korzysta z magistrali oraz protokołu 1-Wire opisującego komunikację przy użyciu tylko jednej linii sygnałowej. Linia ta potrzebuje rezystora podciągającego (*pullup*). Dla takiej magistrali, mikroprocesor rozpoznaje i adresuje urządzenia używając unikalnych 64-bitowych kodów (tzw. kod ROM). Każde urządzenia ma swój własny unikalny kod, dlatego ilość urządzeń możliwych do zaadresowania w wirtualnej magistrali jest praktycznie nieograniczona. Jedną z cech układu DS18B20 jest możliwość obsługi bez zewnętrznego źródła zasilania. Mówi się tutaj o tzw. zasilaniu pasożytniczym.

POMIAR TEMPERATURY

Podstawową zaletą układu DS18B20 jest cyfrowe przedstawienie temperatury. Rozdzielczość czujnika jest konfigurowalna przez użytkownika: 9, 10, 11 lub 12 bitów, odpowiadające odpowiednio dokładnościom 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, 0,0625°C. Ustawienia domyślne to 12 bitów. Aby zainicjować tryb pomiaru temperatury i przeprowadzić konwersję A-C, układ master musi wysłać polecenie *Convert T* (*0x44*). Po konwersji, wynik jest przechowywany w dwu-bajtowym rejestrze w pamięci *scratchpada,* zaś układ slave odpowiada na to przechodząc w stan bezczynności. Jeśli DS18B20 jest zasilany z zewnętrznego źródła, wtedy po konwersji master może zapytać o *read time slots*, zaś czujnik powinien odpowiedzieć, przez wysłanie zera (kiedy jest w trakcie konwersji) lub jedynki (kiedy konwersja się zakończyła). W trybie pracy pasożytniczym nie jest możliwa taka opcja.
Wyjściowa temperatura jest wyskalowana w stopniach Celcjusza. Dane o temperaturze przechowywane są jako 16-bitowe rozszerzone o znak, dwie uzupełniające się liczby w rejestrze *temperature register*.

TEMPERATURE REGISTER

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
LS Byte	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}
	bit 15	**bit 14**	**bit 13**	**bit 12**	**bit 11**	**bit 10**	**bit 9**	**bit 8**
MS Byte	S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4

Bit znaku (S) sygnalizuje, czy temperatura jest dodatnia (S=0), czy ujemna (S=1). Jeśli DS18B20 jest ustawiony na 12-bitową rozdzielczość, wszystkie bity w rejestrze zawierają dane. Dla 11-bitowego trybu, bit 0 jest niezdefiniowany. Dla 10-bitowej rozdzielczości bity 0, 1 są niezdefiniowane, zaś dla 9-bitowej, bity: 2, 1, 0. Poniżej znajduje się przykładowa tabela z różnymi temperaturami (rozdzielczość 12-bitów).

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

PORÓWNANIE TEMPERATURY

Po wykonaniu przez układ konwersji temperatury, wartość temperatury jest porównywana z wartością zdefiniowaną przez użytkownika poprzez ustawienie wartości w rejestrze 1-bajtowym T_H i T_L. Bit znaku (S) sygnalizuje znak otrzymanej wartości. Jeśli jest dodatnia (S=0), zaś ujemna (S=1). Rejestr ten jest pamięcią typu EEPROM, dlatego ustawienia nie są kasowane po odłączeniu zasilania.

T_H AND T_L REGISTER

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
S	2^6	2^5	2^5	2^5	2^2	2^1	2^0

Tylko zakres od jedenastego do czwartego bitu z rejestru *temperature register* jest używanych przy porównaniu. Jeśli mierzona temperatura jest niższa niż zadeklarowane T_L lub wyższa niż T_H ustawiana jest flaga alarmu. Flaga ta jest aktualizowana po każdym pomiarze. Master może sprawdzić status flagi alarmu przez wysłanie polecenia *Alarm Search* (*0xEC*).

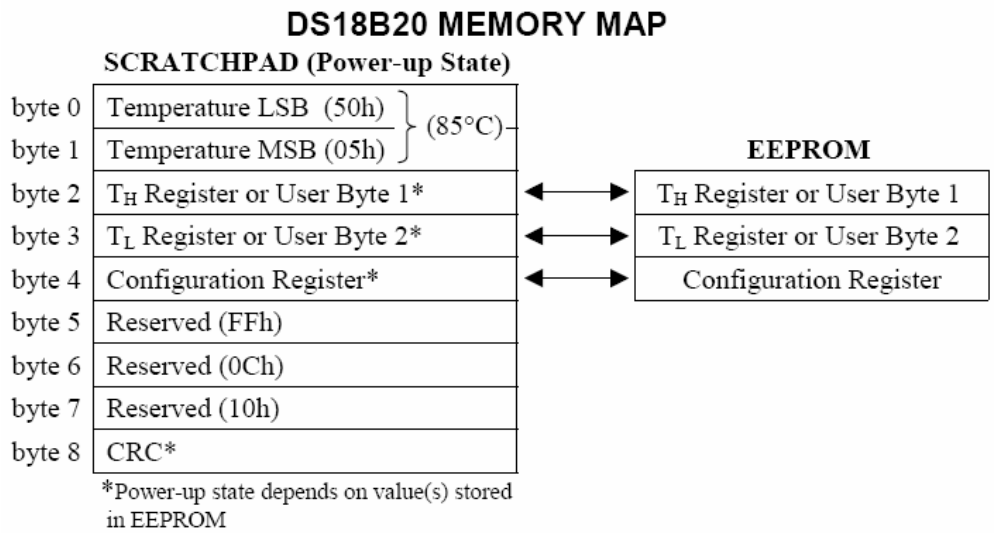
64-BITOWY KOD

Każdy układ DS18B20 posiada unikalny 64-bitowy numer umieszczony w pamięci ROM. Osiem najmłodszych bitów dla tego typu układów to kod *0x28*. Następne 48 bitów zawiera unikalny numer. Osiem najstarszych bitów zawiera CRC obliczone z pierwszych 56 bitów kodu.

64-BIT LASERED ROM CODE

8-BIT CRC		48-BIT SERIAL NUMBER		8-BIT FAMILY CODE (28h)	
MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

PAMIĘĆ UKŁADU



Powyżej znajduje się schemat przedstawiający pamięć układu DS18B20. Widoczny jest podział na pamięć ulotną i trwałą. W pamięci trwałej (EEPROM) znajdują się rejestry konfiguracyjne oraz T_H i T_L. Jeśli nie są używane funkcje alarmu, rejestry T_H i T_L mogą służyć jako ogólna pamięć.
Bajty 0 i 1 w *scratchpadzie* zawierają rejestry pomiaru temperatury. Te bajty służą wyłącznie do odczytu. Bajty 2, 3 zapewniają dostęp do rejestrów T_H i T_L. Bajt 4 zawiera informacje o konfiguracjach. Bajty 5, 6, 7 są zarezerwowane do wewnętrznego użycia przez urządzenie i nie mogą być kasowane. Odczyt ich powoduje zwrócenie wartości jeden. Bajt 8 w *scratchpadzie* służy wyłącznie do odczytu i zawiera wyliczone CRC z bajtów od 0 do 7 ze *scratchpadu*.
Dane zapisywane są do bajtów 2, 3, 4 wymagają użycia komendy *Write ScratchPad* (*0x4E*). Dane muszą być wysłane do DS18B20 rozpoczynając od najmłodszego bitu od bajtu 2. Aby zweryfikować poprawność danych możliwe jest odczytanie *scratchpadu* (*Read Scratchpad 0xBE*) po zapisaniu danych. Kiedy odczytywany jest scratchpad, dane przesyłane są magistralą począwszy od najmłodszego bitu od bajtu nr 0. Aby przesłać dane konfiguracyjne oraz T_H, T_L, ze scratchpadu do pamięci EEPROM master musi użyć polecenia *Copy Scratchpad* (*0x48*). Dane z EEPROM mogą być również skopiowane do *scratchpadu* korzystając z polecenia *Recall* E^2 (*0xB8*). Po wysłaniu tego żądania, master może zarządzić *read time slots*, DS18B20 zasygnalizuje wtedy swój status. Jeśli procedura *Recall* jest wykonywana zwróci zero, jeśli zakończyła się wtedy jedynkę.

CONFIGURATION REGISTER

Czwarty bajt ze *scratchpadu* zawiera rejestr konfiguracji, którego organizację przedstawiono poniżej.

CONFIGURATION REGISTER

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
0	R1	R0	1	1	1	1	1

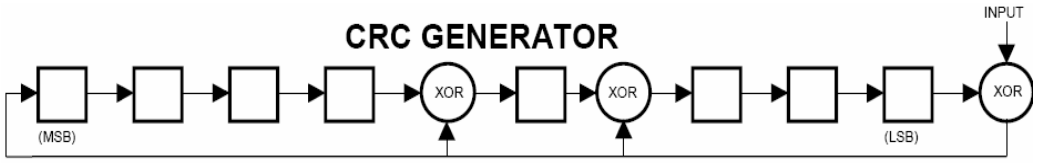
Możliwe jest ustawienie rozdzielczości pomiaru używając bitów R0 i R1 w tym rejestrze. Ustawienia domyślne zakładają *R0=1*, *R1=1* (12 bitowa rozdzielczość). Trzeba zaznaczyć, że istnieje zależność pomiędzy rozdzielczością a czasem konwersji. Bit 7 oraz bity 0..4 są zarezerwowane do wewnętrznego użytku przez urządzenie i nie powinny być kasowane. Poniżej przedstawiono możliwe ustawienia bitów R0, R1, wraz z szybkością konwersji.

R1	R0	Resolution	Max Conversion Time	
0	0	9-bit	93.75 ms	($t_{CONV}/8$)
0	1	10-bit	187.5 ms	($t_{CONV}/4$)
1	0	11-bit	375 ms	($t_{CONV}/2$)
1	1	12-bit	750 ms	(t_{CONV})

GENERATOR CRC

Bajty CRC (*Cyclic Redudancy Check*) dostarczane są wraz z 64-bitowym kodem oraz w dziewiątym bajcie z pamięci *scratchpada*. CRC z pamięci ROM wyznaczany jest z pierwszych 56-bitów kodu i jest zawarte w najstarszym bajcie ROM. Z kolei CRC *scratchpada* liczone jest z danych umieszczonych w nim, oczywiście wraz ze zmianą zawartości *scratchpada* zmienia się również CRC. Bajt CRC dostarczany jest do układu mastera, celem sprawdzenia poprawności transmisji. Układ nadrzędny po otrzymaniu wiadomości z bajtem CRC, oblicza CRC tej wiadomości i porównuje z dostarczonym CRC. Poniżej znajduje się sposób liczenia wielomianu CRC:

$$CRC = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$



Master oblicza CRC korzystając z zamieszczonego schematu. Obwód ten zawiera rejestry przesuwne oraz bramki XOR. Zaczynając od najmłodszego bitu z kodu ROM lub najmłodszego bitu od bajtu nr 0 ze *scratchpadu*, po jednym bicie następuje przesuwanie do rejestrów. Po przesunięciu 56-stego bitu z ROM lub najstarszego bitu z bajtu 7 ze *scratchpada*, generator wielomianu zatrzymuje przeliczanie CRC. Następne 8 bitów kodu ROM lub CRC *scratchpadu* powinno być wysłane do obwodu. Jeśli przeliczenie CRC nastąpiło prawidłowo, rejestr przesuwny powinien zawierać zera.

MAGISTRALA 1-WIRE

Magistrala 1-Wire używana jest w wypadku jednego układu nadrzędnego i wielu urządzeń podrzędnych. Układ DS18B20 jest zawsze układem podrzędnym (*Slave*). Wszystkie dane i komendy przesyłane są od najmłodszego do najstarszego bitu.

KONFIGURACJA SPRZĘTOWA

Magistrala 1-Wire definiowana jest jako jednoprzewodowa. Wszystkie urządzenia komunikują się z linią danych przez otwarty dren lub trójstanowy port. Takie założenia pozwalają na stwierdzenie kiedy nie transmitowane są dane magistralą, tym samym kiedy magistrala może być dostępna do użytku przez inne urządzenie. Port danych układu DS18B20 (DQ) jest typu otwarty dren. Magistrala 1-Wire potrzebuje zewnętrznego podciągnięcia rezystorem do zasilania (ok. 5kΩ).

TRANSMISJA DANYCH

Wymiana danych pomiędzy układem nadrzędnym a układem DS18B20 odbywa się w następującej kolejności: inicjalizacja, komendy ROM, funkcje. Należy przestrzegać tej kolejności, bo w przeciwnym wypadku układ może nie odpowiadać na wysłane informacje. Wyjątkami od tych reguł są komendy *Search ROM* oraz *Alarm SEARCH*. Po użyciu tych komend, master musi wrócić do kroku pierwszego podanej sekwencji.

INICJALIZACJA

Każda transmisja na magistrali musi zacząć się sekwencją inicjalizującą. Sekwencja ta zawiera impuls RESET PULSE wysłany przez układ nadrzędny a następnie impuls wysłany przez układ podrzędny PRESENCE PULSE.

ROM COMMANDS

Po wykryciu przez układ nadrzędny PRESENCE PULSE, możliwa jest obsługa komend ROM. Poniżej przedstawione są możliwe komendy.

SEARCH ROM *(0xF0*)

W momencie kiedy załączane jest zasilanie, układ Master musi zidentyfikować kody ROM wszystkich urządzeń podrzędnych na magistrali. Umożliwia to określenie ilości i rodzajów układów Slave. Jeśli na magistrali znajduje się tylko jeden układ podrzędny, możliwe jest pominięcie wykonywanie Search ROM, można skorzystać z komendy Read ROM.

READ ROM (*0x33*)

Komenda ta może być użyta tylko w wypadku istnienia jednego układu Slave na magistrali 1-Wire. Wywołanie jej powoduje odczyt kodu ROM z układu podrzędnego.

MATCH ROM (*0x55*)

Komenda ta wywoływana jest celem zaadresowania układu podrzędnego. Na to wywołanie powinien odpowiedzieć jedynie układ podrzędny o kodzie wysyłanym ROM. Ewentualne, inne układy podrzędne powinny czekać na RESET PULSE.

SKIP ROM (*0xCC*)

Układ nadrzędny może używać tej komendy po to aby zaadresować wszystkie urządzenia na magistrali równocześnie, z pominięciem wysłania jakiegokolwiek kodu ROM. Za przykład, można podać sytuację w której Master chce aby we wszystkich układach DS18B20 znajdujących się na magistrali włączona została konwersja temperatura – zatem należy użyć komendy *Skip ROM*, po którym następuje komenda *Convert T (0x44)*.

ALARM SEARCH (*0xEC*)

Działanie tej komendy jest identyczne z komendą Search ROM, tyle, że w tym wypadku na wywołanie odpowiadają tylko układy Slave z ustawioną flagą alarmu. Komenda ta pozwala układowi Master ustalić, który z układów DS18B20 na magistrali w czasie konwersji temperatury napotkał na stan alarmu. Po każdym cyklu Alarm Search, układ Master musi powrócić do pierwszego kroku sekwencji obsługi.

FUNCTION COMMANDS

Po wysłaniu na magistralę komendy ROM celem zaadresowania układu DS18B20, Master może wydać jedną z komend funkcji. Komedy te pozwalają układowi nadrzędnemu zapisywać i odczytywać pamięć *scratchpada*, inicjować konwersje temperatury oraz ustawiać odpowiedni tryb zasilania układu. Poniższa tabela ilustruje wszystkie te funkcje.

DS18B20 FUNCTION COMMAND SET

Command	Description	Protocol	1-Wire Bus Activity After Command is Issued	Notes
TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS				
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	DS18B20 transmits conversion status to master (not applicable for parasite-powered DS18B20s).	1
MEMORY COMMANDS				
Read Scratchpad	Reads the entire scratchpad including the CRC byte.	BEh	DS18B20 transmits up to 9 data bytes to master.	2
Write Scratchpad	Writes data into scratchpad bytes 2, 3, and 4 (T_H, T_L, and configuration registers).	4Eh	Master transmits 3 data bytes to DS18B20.	3
Copy Scratchpad	Copies T_H, T_L, and configuration register data from the scratchpad to EEPROM.	48h	None	1
Recall E^2	Recalls T_H, T_L, and configuration register data from EEPROM to the scratchpad.	B8h	DS18B20 transmits recall status to master.	
Read Power Supply	Signals DS18B20 power supply mode to the master.	B4h	DS18B20 transmits supply status to master.	

CONVERT T (*0x44*)

Komenda ta inicjalizuje pojedynczą konwersję temperatury. Po zakończeniu konwersji, jej rezultat jest przechowywany w dwu-bajtowym rejestrze w pamięci *scratchpada*, zaś układ DS18B20 przechodzi w stan bezczynności. Jeśli urządzenie jest obsługiwane w trybie zasilania pasożytniczego, pomiędzy przedziałem czasu *10µs*, po wydaniu tej komendy, Master musi aktywować podciągnięcie magistrali. Jeśli z kolei DS18B20 zasilany jest z zewnętrznego źródła, Master może wysłać *read time slots*. Jeśli odbierze od układu Slave wartość zero oznacza to, że układ jest w trakcie konwersji, zaś jeśli odbierze jeden to układ zakończył konwersję.

WRITE SCRATCHPAD (*0x4E*)

Komenda ta pozwala zapisać 3 bajty danych do układu DS18B20. Pierwszy bajt zapisywany jest do rejestru T_H (bajt nr 2 w *scratchpadzie*), drugi do rejestry T_L (bajt nr 3 w *scratchpadzie*), zaś trzeci do rejestru konfiguracyjnego. Dane muszą być przesłane od najmłodszego do najstarszego bitu. Wszystkie 3 bajty muszą być zapisane przed wydaniem przez układ master polecenia reset. W innym wypadku dane mogą zostać uszkodzone.

READ SCRATCHPAD (*0xBE*)

Komenda ta pozwala układowi Master odczytać dane umieszczone w pamięci *scratchpada*. Transmisja danych rozpoczyna się od najmłodszego bitu, od bajtu nr 0 i kontynuowana jest aż do dziewiątego bajtu. Układ Master może wysłać żądanie reset aby zakończyć odczyt w dowolnym momencie.

COPY SCRATCHPAD (*0x48*)

Komenda ta pozwala na skopiowanie danych z rejestrów T_H, T_L oraz konfiguracyjnego (bajty 2, 3 i 4) do pamięci EEPROM. Jeśli urządzenie używa zasilania pasożytniczego należy zadbać o to, aby w przeciągu *10µs*, układ Master podciągnął magistralę.

RECALL E^2 (*0xB8*)

Komenda ta wywołuje alarmy wartości T_H, T_L oraz konfiguracyjne z pamięci EEPROM i umiejscawia je na pozycjach 2, 3, 4 w pamięci *scratchpada*. Master może wysłać polecenie *read time slots*, celem sprawdzenia postępu komendy *RECALL*. Jeśli zostanie zwrócona wartość zero, oznacza to, że wykonywanie funkcji trwa, zaś jeden, że funkcja została

wykonana. Operacja *RECALL* jest wykonywana automatycznie po podłączeniu zasilania do układu.

READ POWER SUPPLY (*0xB4*)

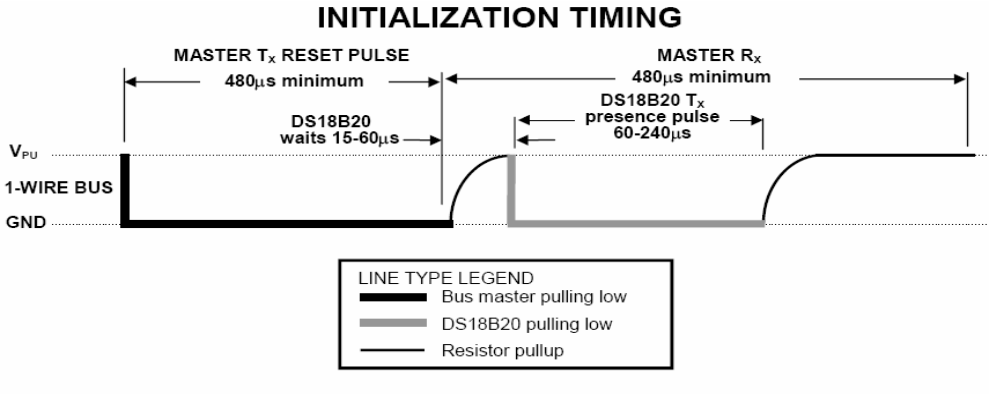
Układ Master może zażądać (poprzez wysłanie *read time slots*) odpowiedzi, który układ DS18B20 umieszczony na magistrali korzysta z zasilania pasożytniczego. Podczas *read time slot*, układy zasilane pasożytniczo powinny ustawić magistralę w poziom niski, zaś zasilane zewnętrznie powinny podciągnąć ją do stanu wysokiego.

PROTOKÓŁ 1-WIRE

DS18B20 używa protokołu komunikacyjnego 1-Wire. Protokół definiuje rodzaje sygnałów takich jak: RESET PULSE, PRESENCE PULSE, zapis 0, zapis 1, odczyt 0, odczyt 1. Master magistrali wysyła wszystkie te sygnały oprócz PRESENCE PULSE.

INICJALIZACJA: RESET PULSE, PRESENCE PULSE

Każda transmisja rozpoczyna się sekwencją inicjalizacyjną zawierającą impuls resetu RESET PULSE wysyłany z Mastera, po którym następuje impuls „przedstawienia się" PRESENCE PULSE wysyłany przez układ DS18B20. W momencie kiedy DS18B20 wysyła PRESENCE PULSE w odpowiedzi na reset, sygnalizuje to układowi Master, że DS jest gotowy do obsługi.
Podczaj sekwencji inicjalizacji, Master wysyła reset przez ustawienie linii danych w stan niski przez minimum *480µs*. Po tym zabiegu Master zwalnia magistralę i przechodzi w tryb odbiornika. Kiedy magistrala jest zwolniona, rezystor 5kΩ podciąga linie 1-Wire do stanu wysokiego. Kiedy DS18B20 wykryje narastające zbocze, odczeka *15 - 60µs* a następnie wyśle impuls PRESENCE PULSE, poprzez ustawienie magistrali w stanie niskim przez *60 - 240µs*. Poniższy schemat przedstawia sposób inicjalizacji.

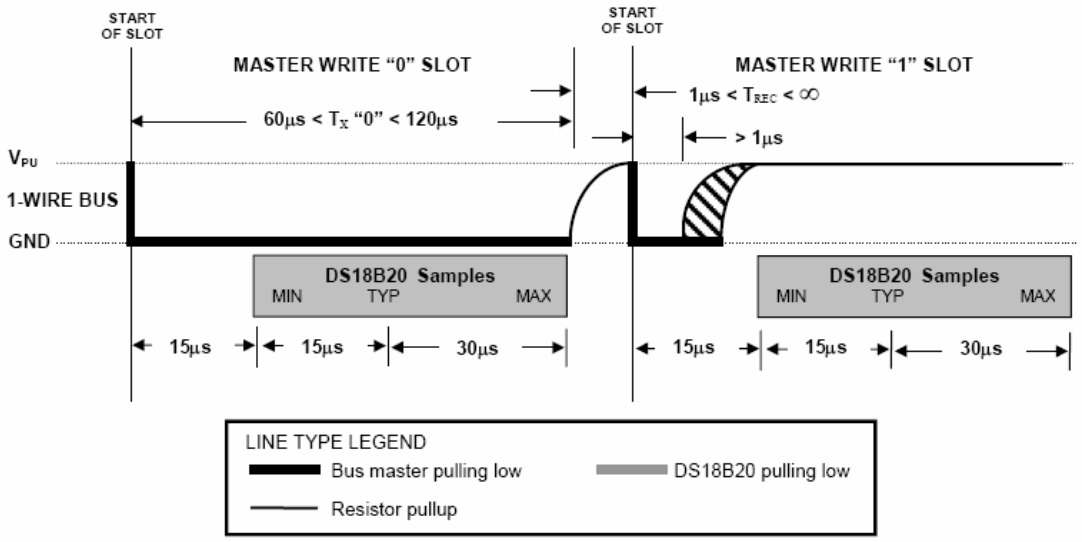


PRZEDZIAŁY CZASOWE ZAPIS/ODCZYT

Master zapisuje dane do układu DS18B20 podczas trwania tzw. *write time slots*, odczyt z kolei następuje w czasie trwania *read time slots*. Podczas każdego takiego przedziału czasowego jeden bit danych jest wysyłany lub odbierany przez magistralę.

WRITE TIME SLOTS

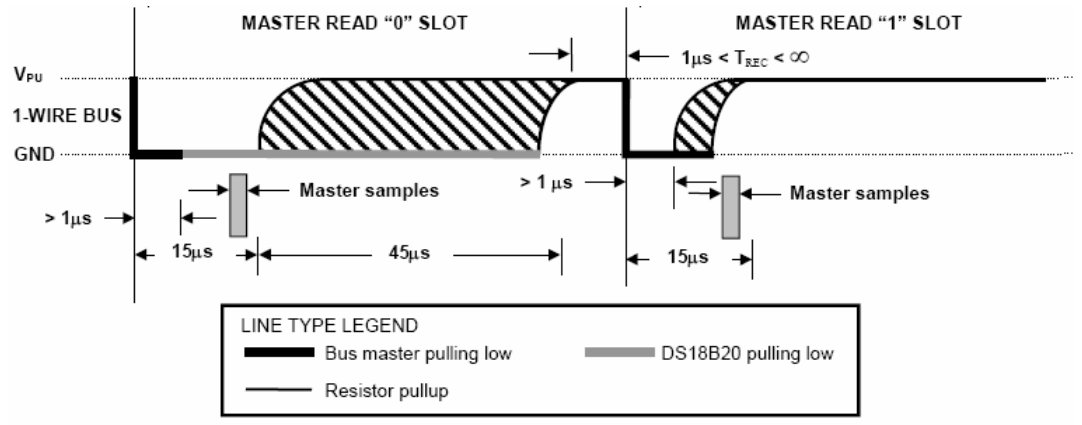
Wyróżnia się dwa rodzaje *write time slots*: *Write 1 time slots* oraz *Write 0 time slots*. Master używa *Write 1 time slot*, kiedy zapisuje logiczną jedynkę do układu DS18B20, zaś *Write 0 time slot* w momencie zapisywania zera logicznego. Wszystkie te przedziały czasowe powinny trwać minimum *60µs* z minimalnym okresem *1µs* pomiędzy indywidualnymi *write slots*.



Aby zapisać jeden do układu DS18B20, po ustawieniu magistrali w stan niski, Master powinien zwolnić magistralę w przeciągu *15µs*. Kiedy magistrala jest zwolniona, rezystor podciąga linie danych do stanu wysokiego. Z kolei aby wygenerować *Write 0 time slot*, po ustawieniu magistrali w stan niski, Master powinien kontynuować trzymanie magistrali w stanie niskim, przez okres najmniej *60µs*.
Po tym jak Master zainicjuje *write time slot*, DS18B20 sprawdza poziom magistrali, oknami czasowymi o szerokości *15µs - 60µs*. Jeśli poziom magistrali jest wysoki w momencie próbkowania, wtedy zapisywana jest jedynka do układu DS18B20. Z kolei jeśli poziom magistrali jest niski, zapisywane jest zero do układu.

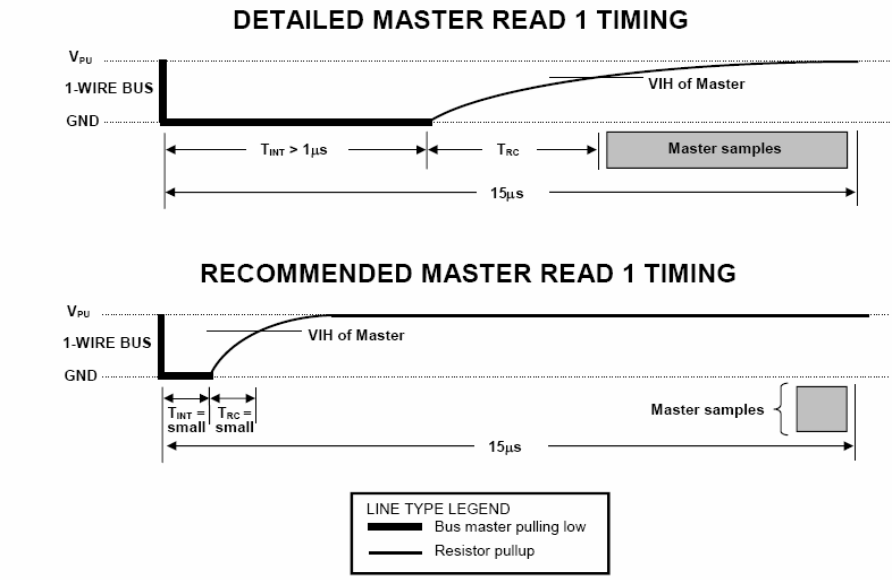
READ TIME SLOTS

Układ DS18B20 może wysyłać dane do układu Master tylko w momencie, kiedy układ Master wygeneruje *read time slot*. Należy zaznaczyć, że Master musi wygenerować *read time slot* natychmiast po wydaniu instrukcji Read Scratchpad (*0xBE*), Read Power Supply (*0xB4*), ConverT (*0x44*), Recall E^2 (*0xB8*).



Każdy *read time slots* musi trwać co najmniej *60µs* z przerwami minimum *1µs* pomiędzy poszczególnymi *read time slots*. Takie okno czasowe jest inicjowane przez układ Master, przez ustawienie magistrali 1-Wire w stan niski przez minimum *1µs* a następnie zwolnienie magistrali. Po inicjacji układ DS18B20 zaczyna generować dane na magistralę (zera lub jedynki). Zera transmitowane są przez ustawienie magistrali w stanie niskim, zaś jedynki poprzez podciągnięcie jej do stanu wysokiego. Kiedy transmitowane jest zero, DS18B20

zwalnia magistralę po zakończeniu *time slot'a*, a następnie magistrala jest podciągana w stan wysoki przez rezystor podciągający. Dane wyjściowe są dostępne przez *15µs* po zboczu opadającym, które inicjowało *read time slot*. Trzeba dodać, że Master musi zwolnić magistralę i próbkować jej stan na przestrzeni tych *15µs* od czasu wygenerowania *read time slot*. Poniżej przedstawione są szczegółowe oraz polecane sposoby inicjowania i odczytu danych przez układ Master.



Z dokumentacji układu DS18B20 zaczerpnięto poniższy przykład obsługi termometru. W przykładzie tym układ zasilany jest napięciem pasożytniczym. Master inicjalizuje konwersję temperatury, odczytuje pamięć *scratchpada* i oblicza CRC aby zweryfikować odebrane dane.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
TX	55h	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
TX	44h	Master issues Convert T command.
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion (t_{conv}).
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
TX	55h	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

Powyższa tabela jest jednym ze sposobów odczytu temperatury. Trzeba zaznaczyć, że jest to kompletny kod do odczytu pamięci *scratchpada*. Nie zawsze konieczny jest odczyt jak w tym wypadku wszystkich 9 bajtów oraz odczytywania kodu termometru. Kiedy mamy do czynienia tylko z jednym termometrem na magistrali, możemy ominąć odczytywanie kodu ROM poprzez wysłanie funkcji SKIP ROM. Odczyt temperatury możemy zakończyć w momencie odczytania dwóch pierwszych bajtów – które w pamięci *scratchpada* zawierają 16 bitową informację o temperaturze. Poniżej przedstawiono schemat blokowy obsługi układu termometru.

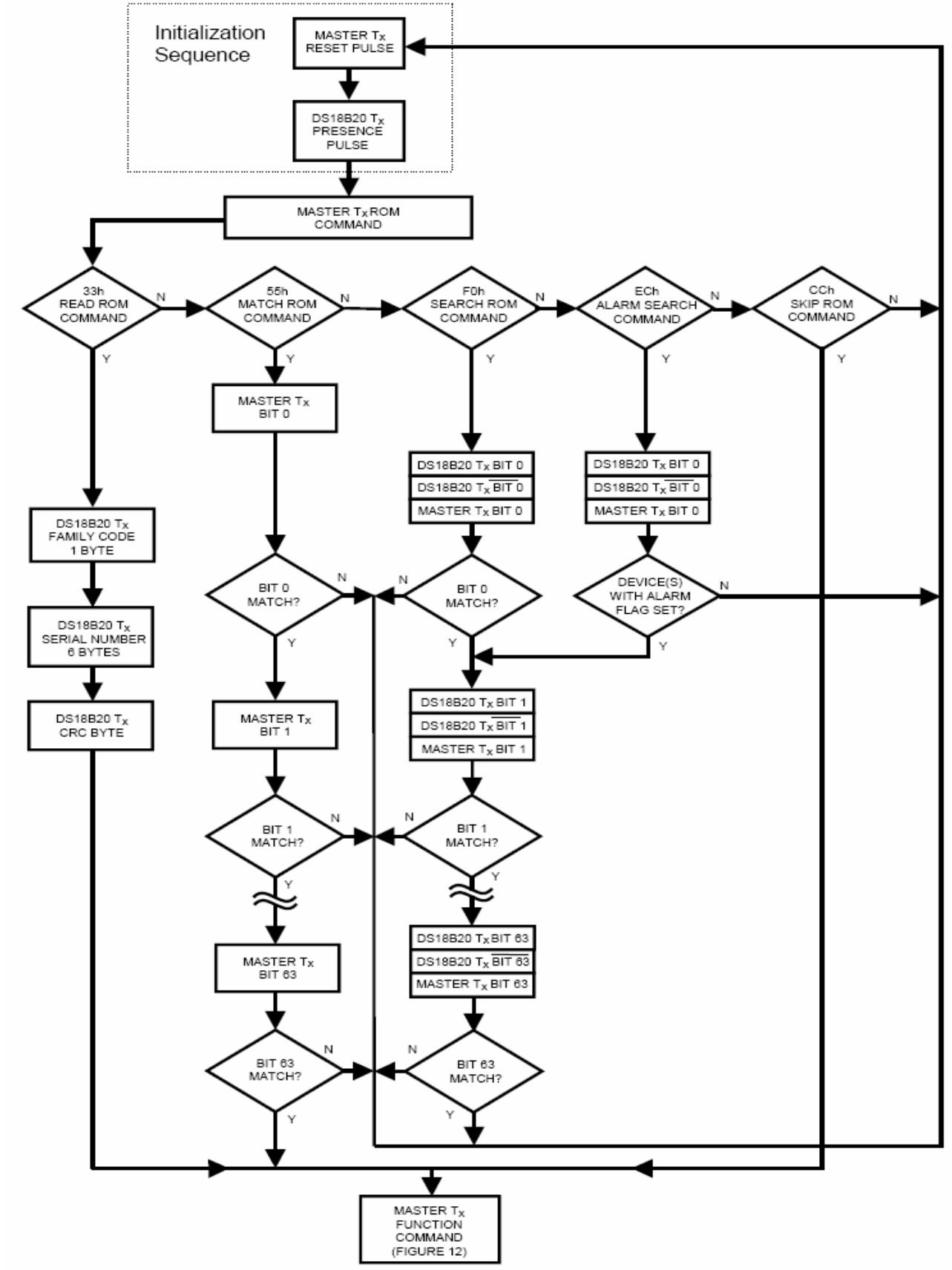
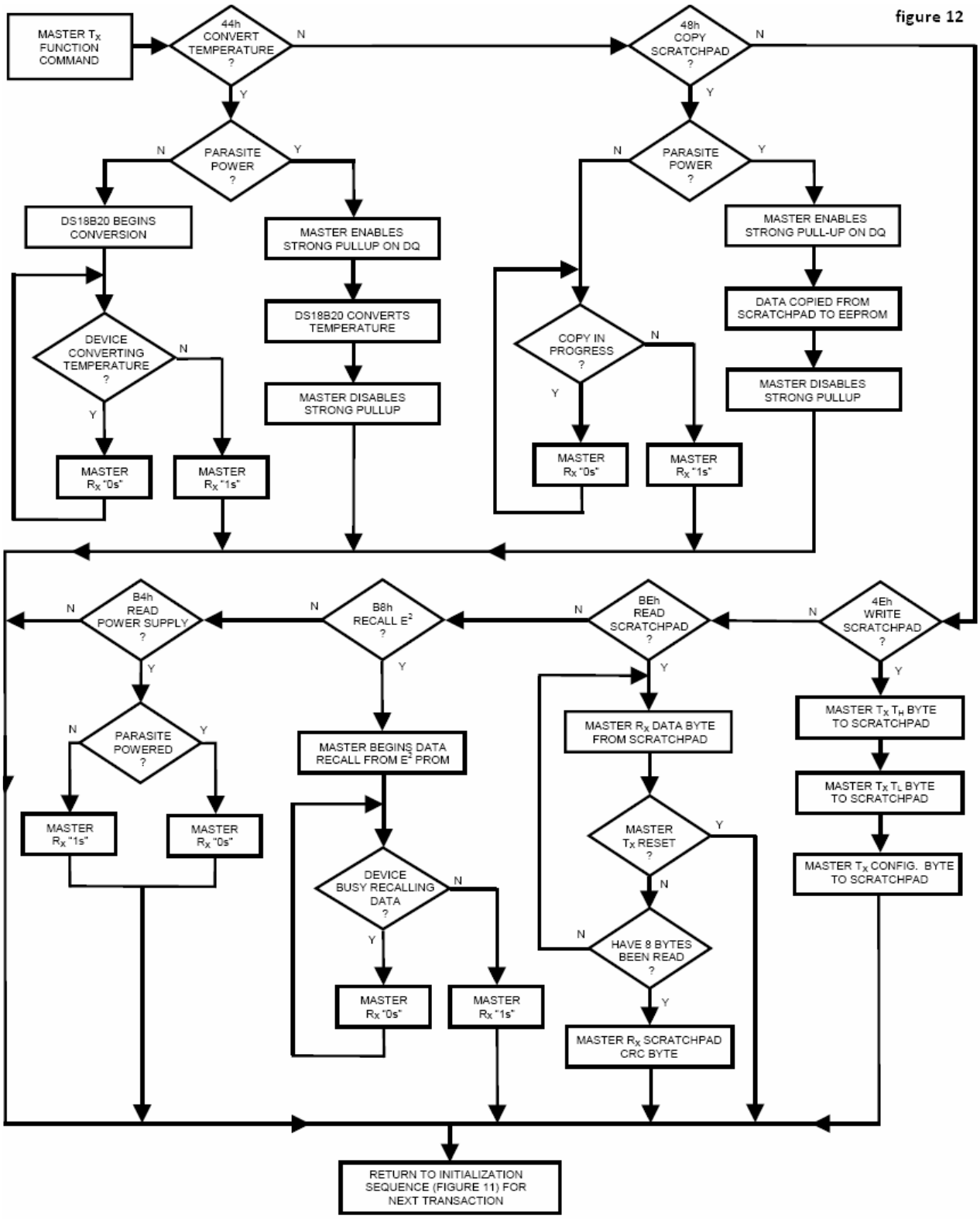

Initialization Sequence
MASTER Tx RESET PULSE
DS18B20 Tx PRESENCE PULSE
MASTER Tx ROM COMMAND
33h READ ROM COMMAND
55h MATCH ROM COMMAND
F0h SEARCH ROM COMMAND
ECh ALARM SEARCH COMMAND
CCh SKIP ROM COMMAND
N
Y
DS18B20 Tx FAMILY CODE 1 BYTE
DS18B20 Tx SERIAL NUMBER 6 BYTES
DS18B20 Tx CRC BYTE
MASTER Tx BIT 0
DS18B20 Tx BIT 0
DS18B20 Tx BIT 0
MASTER Tx BIT 0
BIT 0 MATCH?
DEVICE(S) WITH ALARM FLAG SET?
MASTER Tx BIT 1
DS18B20 Tx BIT 1
DS18B20 Tx BIT 1
MASTER Tx BIT 1
BIT 1 MATCH?
MASTER Tx BIT 63
DS18B20 Tx BIT 63
DS18B20 Tx BIT 63
MASTER Tx BIT 63
BIT 63 MATCH?
MASTER Tx FUNCTION COMMAND (FIGURE 12)

figure 12


MASTER Tx FUNCTION COMMAND
44h CONVERT TEMPERATURE ?
48h COPY SCRATCHPAD ?
PARASITE POWER ?
DS18B20 BEGINS CONVERSION
MASTER ENABLES STRONG PULLUP ON DQ
DEVICE CONVERTING TEMPERATURE ?
DS18B20 CONVERTS TEMPERATURE
MASTER DISABLES STRONG PULLUP
MASTER Rx "0s"
MASTER Rx "1s"
COPY IN PROGRESS ?
MASTER ENABLES STRONG PULL-UP ON DQ
DATA COPIED FROM SCRATCHPAD TO EEPROM
MASTER DISABLES STRONG PULLUP
B4h READ POWER SUPPLY ?
B8h RECALL E2 ?
BEh READ SCRATCHPAD ?
4Eh WRITE SCRATCHPAD ?
PARASITE POWERED ?
MASTER BEGINS DATA RECALL FROM E2 PROM
MASTER Rx DATA BYTE FROM SCRATCHPAD
MASTER Tx TH BYTE TO SCRATCHPAD
MASTER Tx TL BYTE TO SCRATCHPAD
MASTER Tx CONFIG. BYTE TO SCRATCHPAD
DEVICE BUSY RECALLING DATA ?
MASTER Tx RESET ?
HAVE 8 BYTES BEEN READ ?
MASTER Rx SCRATCHPAD CRC BYTE
RETURN TO INITIALIZATION SEQUENCE (FIGURE 11) FOR NEXT TRANSACTION

4. Obsługa termometru DS18B20 w języku C

Podstawowe zagadnienia obsługi termometru cyfrowego DS18B20 bazują na opisie katalogowym tego układu. Wysyłanie i odbieranie danych odbywa się za pomocą ustawiania stanu magistrali lub detekcji tego stanu przez układ Master. Układ DS18B20 pracuje tylko w trybie Slave. Implementacja programowa obsługi tego układu opiera się o stworzenie odpowiednich procedur ustawiających linie danych w stan wysoki i niski w odpowiednich przedziałach czasowych, jak i detekcje tych stanów (nasłuchiwanie przez Mastera).
Program pokazujący możliwości układu DS18B20 będzie miał za zadanie w sposób najprostszy i najszybszy wyświetlić temperaturę. Założono, że układ będzie zasilany zewnętrznie. Środowisko programowania to *WinAVR* wykorzystujące kompilator *GCC*. Poniżej przedstawiono ustawienia bibliotek, makr i zmiennych globalnych.

(1)

```
#include <avr/io.h>
#include <stdlib.h>
#include "lcd.h"

//makra
#define WE 0
#define PORT_1wire PIND
#define SET_1wire  DDRD&=~_BV(WE)
#define CLEAR_1wire  DDRD|=_BV(WE)

char buf[8]; //zmienna potrzebna przy konwersji temperatury
```

Biblioteka *lcd.h* jest to biblioteka z pakietu *rklibavr*. Jeśli chodzi o makra, to założono, że linia danych będzie znajdowała się na pinie 0 portu D. Makra *SET_1Wire* oraz *CLEAR_1Wire* będą użyteczne w wypadku ustawiania magistrali w odpowiedni poziom.
Poniższy kod przedstawia wysłanie impulsu RESET oraz oczekiwanie na impuls PRESENCE.

(2)

```
//resetujemy magistrale - czekamy na impuls PRESENCE
unsigned char RESET_PULSE(void)
{
unsigned char PRESENCE;
CLEAR_1wire;   //ustawiamy magistrale w poziom niski
delayus(500); //ew. mozna uzyc z biblioteki avrlibc(avr/util) funkcji _delay_us();
SET_1wire;    //ustawiamy magistrale w poziom wysoki
delayus(30); //oczekiwanie na ustawienie linii w stan niski przez DS
//sprawdzamy poziom linii (czy w stanie niskim)
if (bit_is_clear(PORT_1wire, WE)) {PRESENCE=1;} else {PRESENCE=0;}
//1-odebrano bit PRESENCE, 0 - stan nieaktywnosci
delayus(470);  //odczekanie przez mastera 470us i spr. czy DS podciagnal magistrale
//sprawdzamy poziom linii (czy ustawiona)
if (bit_is_set(PORT_1wire, WE)) {PRESENCE=1;
} else {PRESENCE=0; }
return PRESENCE;  //zwracamy wartosc do funkcji
} //koniec RESET_PULSE
```

Wszystkie czasy zawarte w powyższym kodzie wynikają z dokumentacji technicznej wysyłania i odbierania impulsu RESET i PRESENCE. Według dokumentacji układ Master powinien ustawić linie w stan niski na czas min. *480µs*, następnie ustawić w poziom wysoki i oczekiwać na reakcje ze strony układu termometru. Układ termometru w momencie wykrycia impulsu RESET powinien wysłać na magistralę swój impuls PRESENCE, polegający na ustawienie magistrali w stan niski przez *60-240µs* a następnie podciągnięcie w stan wysoki. Master ma zadanie wykryć tą sekwencję. W wypadku wykrycia zwraca do funkcji wartość jeden, w innym

przypadku zero. Poniższa funkcja ilustruje sposób wysłania pojedynczego bitu do układu DS18B20.

(3)

```
//wysyla do ukladu pojedynczy bit
void send(char bit)
{
   CLEAR_1Wire; //ustawienie w stan niski magistralii
   delayus(5);
        if(bit==1)
           SET_1Wire; //zwolnienie magistralii - wyslanie jedynki

        delayus(80); //przetrzymanie - wyslanie zera
        SET_1Wire;

} //koniec send
```

Wysłanie bitu polega na ustawieniu magistrali w stan niski, następnie jeśli po czasie min. 1µs zostanie ona ustawiona w stan wysoki, równoznaczne jest to z wysłaniem jedynki. Jeśli z kolei po wyczyszczeniu magistrali nie nastąpi w określonym czasie podciągnięcie jej do jedynki to uznaje się to za wysłanie zera logicznego. Czasy sprecyzowane są w opisie katalogowym. Poniżej zaprezentowano funkcję odbierającą pojedyncze bity z magistrali.

(4)

```
//zczytuje bit z magistralii
unsigned char read(void)
{
   unsigned char PRESENCE=0;

   CLEAR_1Wire;    //ustawienie w stan niski DQ
   delayus(2);  //odczekanie 2us
   SET_1Wire;   // zwolnienie magistrali
   delayus(15); // delay 15us
    //odbior jedynki lub zera
   if(bit_is_set(PORT_1Wire, WE)) PRESENCE=1; else PRESENCE=0;

  return(PRESENCE);
} //koniec read
```

Odczyt bitu z magistrali polega na wysłaniu *read time slot* a następnie sprawdzeniu zmian na magistrali. Funkcja zwraca jedynkę lub zero w zależności od stanu logicznego magistrali.
Kiedy mamy już podstawowe funkcje obsługi układu DS18B20 pozwalające na komunikację z nim, należy stworzyć funkcje ułatwiające operowanie na wysyłaniu i odbieraniu większej ilości danych. Kolejną zaprezentowaną funkcją, będzie funkcja wysyłająca jeden bajt danych. Sposób jej realizacji opiera się na ośmiokrotnym wysłaniu pojedynczego bitu na magistralę z odpowiednimi odstępami czasowymi. Poniżej zaprezentowano tą funkcję.

(5)

```
//wysyla caly bajt do ukladu
void send_byte(char wartosc)
{
   unsigned char i; //zmienna licznikowa
   unsigned char pom; //zmienna pomocnicza

   for (i=0; i<8; i++)
   {
      pom = wartosc>>i; // przesuniecie bitowe w prawo
      pom &= 0x01; // skopiowanie bitu do zmiennej pomocniczej
      send(pom); // wyslanie bitu na magistrale
   }
delayus(100); //odczekanie 100us
} //koniec send_byte
```

Pętla *for()* odpowiada za ośmiokrotne wysłanie pojedynczego bitu danych. Operacje bitowe pozwalają na przesuwania bitów i wyodrębnienie właściwego do wysłania. Kolejną funkcją jest funkcja odbierającą bajt danych. Została zrealizowana analogicznie do funkcji wysyłającej bajt.

(6)

```
//zczytuje caly bajt z ukladu
unsigned char read_byte(void)
{
   unsigned char i; //zmienna licznikowa
   unsigned char wartosc = 0; //zczytywana wartosc

   for (i=0;i<8;i++) //petla wykonywana 8 razy
   {
      if(read()) wartosc|=0x01<<i; //zczytywanie po jednym bicie
       delayus(15);  //odczekanie 15us
   }

   return(wartosc); //zwrot wartosci do funkcji
}  //koniec read_byte
```

Funkcja powyższa nie wymaga komentarza. W dodatku na końcu opracowania znajdują się wytłumaczone podstawowe operacje bitowe wraz z przykładami.
Po stworzeniu funkcji wysyłających i odbierających pojedyncze bajty wystarczy analizując dokumentację oraz schemat blokowy obsługi DS18B20 odebrać informację na temat temperatury.
Inicjację zawsze rozpoczyna RESET PULSE, w naszym wypadku odpowiada za to funkcja *RESET_PULSE()*. Zwraca ona wartość jeden w momencie odebrania PRESENCE PULSE z układu termometru. Kiedy mamy pewność, że na magistrali znajduje się układ termometru powinniśmy poprosić o kod ROM układu. Nie jest to konieczne w wypadku pojedynczego układu Slave na magistrali. Używamy zatem komendy Skip ROM (*0xCC*). W kolejnym punkcie powinniśmy włączyć konwersję temperatury ConverT (*0x44*). Konwersja trwa min. *750ms* dla rozdzielczości 12 bitowej (fabryczne ustawienia). Analizując schemat obsługi układu kolejnym krokiem jest wysłanie impulsu RESET, następnie komendy READ SCRATCHPAD (*0xBE*). Po tej komendzie można zacząć odbierać bajty z pamięci *scratchpadu*. Nas interesują tylko dwa pierwsze bajty, zawierające informację o temperaturze. Po ich odebraniu można zwolnić magistralę.
Poniżej przedstawiono główną procedurę programu, w której zaimplementowano powyższy sposób obsługi.

(7)

```
//funkcja glowna programu
int main (void)
{
//deklaracja zmiennych lokalnych
unsigned char sprawdz;
char temp1=0, temp2=0;
//inicjalizacja i wyczyszczenie LCD
LCD_init(); //inicjacja wyswietlacza
LCD_clear(); //wyczyszczenie wyswietlacza
LCD_putstr_P(PSTR("1-wire")); //napis
delayms(200);  //200ms zwloki
LCD_clear(); //wyczyszczenie wyswietlacza
//petla glowna programu
for(;;) {
    sprawdz=RESET_PULSE(); //impuls resetu
        if (sprawdz==1)
            {
            send_byte(0xCC); //SKIP ROM
            send_byte(0x44); //CONVERT T
            delayms(750); //odczekaj 750ms - czas konwersji

            sprawdz=RESET_PULSE(); //wyslanie impulsu reset
            send_byte(0xCC); //SKIP ROM
            send_byte(0xBE); //READ SCRATCHPAD

            temp1=read_byte(); //odczytanie LSB
            temp2=read_byte(); //odczytanie MSB

            sprawdz=RESET_PULSE(); //zwolnienie magistrali

            float temp=0; //zmienna do obliczen
            temp=(float)(temp1+(temp2*256))/16; //obl. temp

            dtostrf(temp,1,1,buf); //konwersja float do stringa
            LCD_xy(0,0); //ustawienie w pozycji 0,0
            LCD_putstr(buf); //wyswietlenie temp
            delayms(200); //pomiar co 200ms
            }
            else //jesli nie wykryto PRESENCE_PULSE (sprawdz=0)
            {
            LCD_xy(0,0); //pozcyja 0,0 na LCD
            LCD_putstr_P(PSTR("cisza")); //napis
            }
}//koniec petli glownej
} //koniec main()
```

Przetworzenie odebranych na bajtów na system dziesiątkowy opiera się o podstawowe operacje arytmetyczne. W wypadku wyświetlenia temperatury jako zmiennej float (zmiennoprzecinkowa) użyto funkcji wbudowanej w bibliotekę *avrlibc*, mianowicie *dtostrf()*. Składnia tej funkcji jest następująca:

*char **dtostrf** (double _val, char _width, char _prec, char *_s);

W oparciu o powyższy program można stworzyć rozbudowaną aplikację umożliwiającą obsługę kilku układów termometrów na jednej linii danych. Należy wyłącznie wysyłać odpowiednie komendy na magistralę oraz postępować zgodnie ze schematem obsługi układu.

6. Podsumowanie

Układ DS18B20 jest jednym z kamieni milowych współczesnej elektroniki. Zadziwia łatwością obsługi i możliwościami. Wynik pomiaru temperatury jest cyfrowy – łatwy do obróbki we współczesnych systemach mikroprocesorowych. Interfejs 1-Wire rozszerza możliwości układu o wiele aspektów, ot choćby o realizację magistrali z wieloma układami Slave. Programowalna rozdzielczość pozwala na dosyć precyzyjne pomiary nawet z dokładnością 0,0625°C.
Wszystkie te zalety sprawiają, że jest to jeden z najpopularniejszych cyfrowych układów pomiaru temperatury o niskiej cenie do zastosowań różnego rodzaju.

7. Bibliografia

[1] Gręboszc J.: *Symfonia C++.* Kraków 1999, Kallimach
[2] Opracowanie własne – *Programowanie mikrokontrolerów AVR w języku C.* Kraków 2007
[3] Dallas Semiconductor : DS18B20 *datasheet*.
[4] http://wikipedia.org

DODATEK – Podstawowe operacje bitowe

Operatory bitowe pozwalają nam na operacje na bitach typów całkowitych takich jak *char, int,*
long int. W języku c mamy do dyspozycji 6 takich operatorów.

~ - *bitowa negacja*
| - *bitowa alternatywa (OR)*
& - *bitowa koniunkcja (AND)*
^ - *bitowa różnica symetryczna (XOR)*
>> - *bitowe przesunięcie w prawo*
<< - *bitowe przesunięcie w lewo*

$a = 7|4 = (00000111)_{U2}|(00000100)_{U2} = (00000111)_{U2} = 7$
$a = 90\text{^}(-24) = (01011010)_{U2}\text{^}(11101000)_{U2} = (10110010)_{U2} = -78$
$a = 7\&4 = (00000111)_{U2}\&(00000100)_{U2} = (00000100)_{U2} = 4$
$a = 80>>2 = (01010000)_{U2}>>2 = (00010100)_{U2} = 20$
$a = 5<<4 = (00000101)_{U2}<<4 = (01010000)_{U2} = 80$