

Wrocław, dnia 11 stycznia 2007

Grzegorz Pietrzak (133329)
Konrad Procał (133340)
Andrzej Rukasz (133349)
Jacek Symonowicz (133375)

Laboratorium nr 5

Interfejs 1-Wire

Kurs: Sterowniki mikroprocesorowe w aplikacjach sieciowych
Prowadzący: dr inż. Marian Bogdan

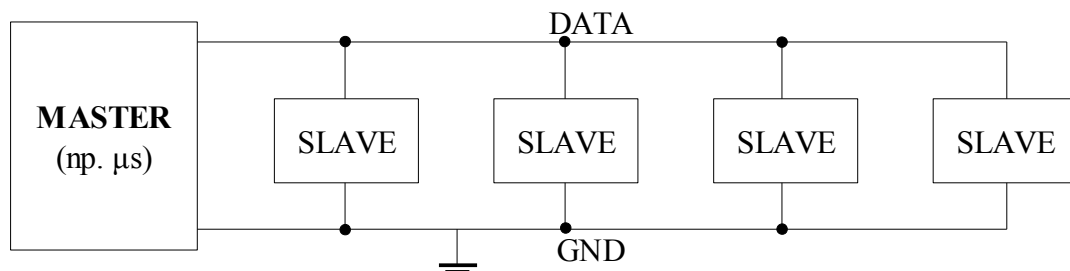
Autor sprawozdania: Grzegorz Pietrzak

Spis treści

1	Wstęp.....	3
2	Warstwa fizyczna.....	3
2.1	Poziomy logiczne linii.....	4
2.2	Rezystor podciągający.....	4
2.3	Okablowanie.....	4
2.4	Zasilanie pasożytnicze.....	5
2.5	Sloty zapisu.....	6
2.6	Sloty odczytu.....	7
2.7	Reset i detekcja obecności.....	7
3	Architektura protokołu.....	8
3.1	Warstwa fizyczna.....	8
3.2	Warstwa łącza danych.....	9
3.3	Warstwa sieciowa.....	9
3.3.1	Struktura ROM.....	9
3.3.2	Wyszukiwanie urządzeń na magistrali.....	10
3.3.3	Tryb Overdrive.....	12
3.4	Warstwa transportowa.....	12
4	Tworzenie sieci.....	13
4.1	Urządzenia slave.....	13
4.2	Urządzenia master.....	14
4.3	Topologie sieci.....	14
4.3.1	Topologia linearna.....	14
4.3.2	Topologia pnia.....	14
4.3.3	Topologia gwiazdy.....	15
4.3.4	Topologia drzewa.....	15
5	Termometr DS18B20.....	16
5.1	Specyfikacja termometru.....	16
5.2	Odczyt temperatury.....	16
5.3	Alarmowanie.....	17
5.4	Zarządzanie pamięcią.....	17
5.4.1	Lista funkcji DS18B20.....	18
5.4.2	Przykładowa sekwencja operacji.....	19
5.5	Parametry czasowe.....	19
6	Urządzenia wykorzystujące 1-Wire.....	20
6.1	iButton.....	20
6.2	Pamięci.....	21
6.3	Układy RTC.....	21
6.4	Cyfrowe potencjometry.....	21
6.5	Układy monitorujące stan baterii i akumulatorów.....	21
7	Ocena interfejsu 1-Wire.....	22

1. Wstęp

1-Wire jest rodzajem interfejsu komunikacyjnego pomiędzy dwoma (lub więcej) urządzeniami, realizowanym przy użyciu zaledwie jednej linii do transmisji danych (niezbędna jest również linia masy, aby zapewnić interfejsowi napięciowemu odpowiedni poziom odniesienia). Tak znaczne zredukowanie zasobów potrzebnych do transmisji wymagało opracowania skomplikowanego protokołu, który byłby w stanie realizować dwukierunkowy przepływ danych oraz tworzenie sieci urządzeń peryferyjnych. Dokonała tego firma Dallas Semiconductor (dziś Maxim), produkująca obecnie zdecydowaną większość układów wykorzystujących 1-Wire.



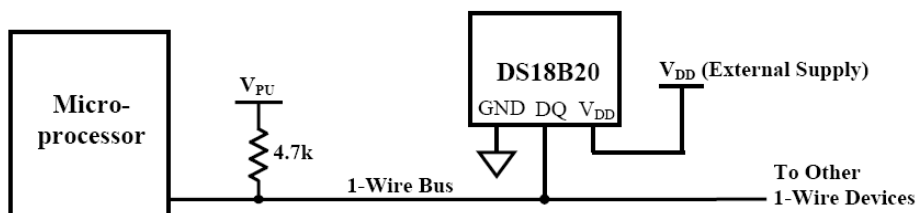
Oferowane przez 1-Wire przepustowości są stosunkowo niewielkie - standardowo 16 kbps (w trybie overdrive maksymalnie do 142 kbps). Mamy możliwość adresowania urządzeń (co więcej, każdy wyprodukowany układ ma unikatowy numer seryjny), dzięki czemu możliwe jest ich łączenie w sieć (przykład na rysunku powyżej).

Interfejs 1-Wire w porównaniu do I²C pozwala na wolniejszą transmisję danych. Niewątpliwymi jego zaletami są stosunkowo niska cena oraz szeroki wachlarz zastosowań. 1-Wire jest zazwyczaj używany do komunikacji pomiędzy niewielkimi urządzeniami, takimi jak: termometry cyfrowe, instrumenty metrologiczne, sterowniki ładowania akumulatorów, zamki elektroniczne typu iButton, itp. W dalszej części sprawozdania znajduje się szczegółowy opis interfejsu oraz jego zastosowania.

2. Warstwa fizyczna

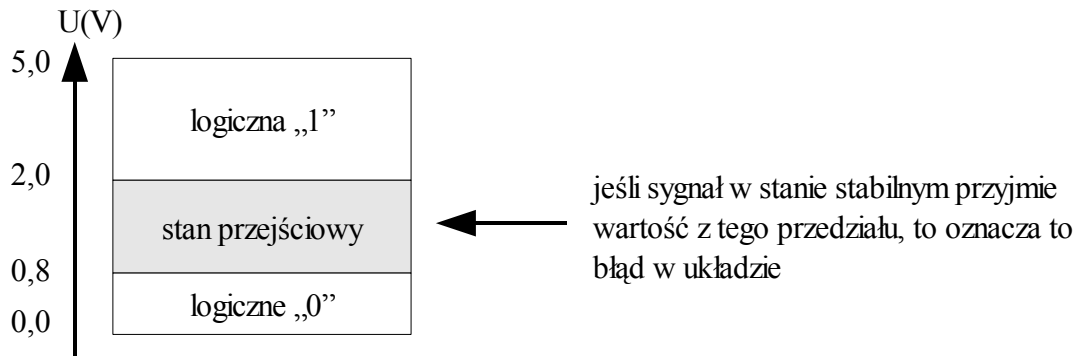
Fizyczna warstwa protokołu 1-Wire realizowana jest zazwyczaj przez specjalny układ mastera oraz rezystor pull-up podciągający stan linii do 5V, czyli logicznej jedynki. Do transmisji danych na krótkie odległości wystarczy rezystor 5 kΩ, tolerujący dużą rezystancję na stykach interfejsu oraz zapewniający bardzo dobre poziomy logiczne po obu stronach transmisji (napięcia do 0,8 V są uznawane za logiczne „0”).

Każde z urządzeń podłączonych do magistrali musi mieć wyjście typu otwarty dren. Poniżej pokazany został przykładowy schemat połączenia między mikroprocesorem, a termometrem Dallas DS18B20:



2.1 Poziomy logiczne linii

Poziomy logiczne sygnałów w interfejsie 1-Wire definiuje się według standardu TTL. Układy TTL zbudowane są z bipolarnych tranzystorów, zasila je napięcie stałe 5 V. Sygnał TTL jest niski (logiczne "0"), gdy potencjał ma wartość od 0 V do 0,8 V w odniesieniu do masy, wysoki (logiczna "1") przy wartości potencjału między 2 V a 5 V.



Czasami układy pamięci EEPROM zawarte w urządzeniach 1-Wire wymagają wyższego niż 5V napięcia programującego. W takich sytuacjach przeważnie stosowane jest napięcie 12V załączone na czas programowania bitu danych. Należy jednak uważać aby w czasie zapisu pamięci EEPROM nie uszkodzić innych, podłączonych do wspólnego przewodu układów.

2.2. Rezystor podciągający

Według specyfikacji z firmy Dallas do linii danych najlepiej przyłączyć rezystor 5 k Ω (transmisja na niewielkie odległości). Wartość ta została dobrana tak, aby dopuścić tolerancję dla styków o dużej rezystancji (głównie dla iButton) zapewniając przy tym prawidłowe poziomy logiczne.

Jeśli wartość rezystancji rezystora pull-up będzie zbyt mała, podrzędne urządzenia nie będą w stanie obniżyć napięcia do 0 V, jeśli będzie zbyt duża – do układów nie zostanie doprowadzony wymagany prąd (jego wartość w sieci bez urządzeń zasilanych pasożytniczo jest rzędu kilkunastu mA).

W praktyce bardzo często, zwłaszcza dla długich połączeń, stosuje się dużo mniejsze wartości rezystancji pull-up, nawet rzędu 1 k Ω .

2.3. Okablowanie

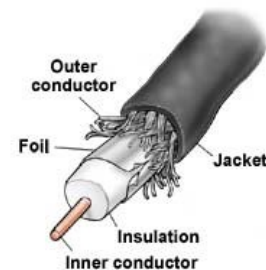
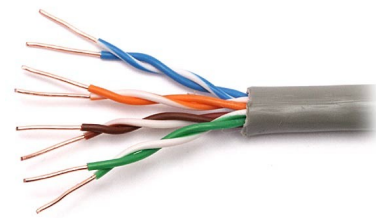
Do transmisji 1-Wire najlepiej używać kabli o niskiej pojemności, dla których nominalne parametry napięciowe magistrali zostają niezakłócone. Transmisja na większe odległości wymaga zwiększenia czasu t_{REC} (odstępu pomiędzy kolejnymi trwającymi 60 μ s niskimi stanami na linii danych), co implikuje mniejszą przepustowość interfejsu (przykładowo zmiana t_{REC} z 1 μ s na 15 μ s pociągnie za sobą zmniejszenie maksymalnej prędkości transferu z 16,3 kbps do 13,3 kbps).

Testy przeprowadzone przez firmę Dallas Semiconductor wykazały, że maksymalną odległością możliwą do uzyskania poprzez 1-Wire jest 300 metrów, przy wykorzystaniu kabla telefonicznego o skręconych żyłach (dającego lepsze wyniki od kabla z żyłami biegnącymi równolegle), rezystora pull-up 1 k Ω (mniejsza wartość spowoduje pełną degradację poziomów logicznych), 30 urządzeń iButton oraz sterownika DS5000 kompatybilnego z Intel 8051. Należy pamiętać, że przejściówka

COM \Leftrightarrow 1-Wire potrzebna do połączenia z komputerem PC może operować na dystansie ograniczonym do 200 m.

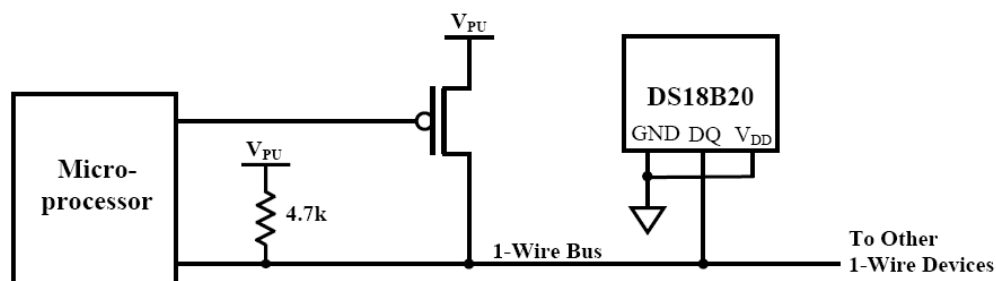
Łączenie urządzeń w standardzie 1-Wire odbywa się najczęściej przy pomocy:

- Skrętki nieekranowanej UTP (ang. *Unshielded Twisted Pair*) - kabel typu UTP jest zbudowany ze skręconych ze sobą par przewodów i tworzy linię zrównoważoną (symetryczną). Skręcenie przewodów ze splotem 1 zwój na 6-10 cm chroni transmisję przed interferencją otoczenia. Tego typu kabel jest powszechnie stosowany w sieciach informatycznych i telefonicznych, przy czym istnieją różne technologie splotu, a poszczególne skrętki mogą mieć inny skręt.
- Kabla telefonicznego 4-żyłowego – jak już zostało wspomniane pozwala on na transmisję danych na duże odległości.
- Kabla koncentrycznego (ang. *coaxial cable*) – przewodu miedzianego otoczonego izolacją, wspólnym ekranem oraz zewnętrzną koszulką ochronną, wykorzystywanego np. jako medium transmisyjne w sieciach Ethernet (np. 10BASE5) z szybkością do 10 Mb/s, w instalacjach antenowych do radia i telewizora, jak również w aparaturze pomiarowej. Jest tani, mało wrażliwy na zakłócenia i szумы, zapewnia większe prędkości niż nie ekranowany kabel skręcany. Niestety łatwo ulega uszkodzeniom.
- Zwykłego, prostego kabla – nie jest to dobre rozwiązanie, w poważnych projektach lepiej go unikać.



2.4. Zasilanie pasożytnicze

Urządzenia podłączone do magistrali 1-Wire mogą być zasilane poprzez linię danych – mówimy wtedy o zasilaniu pasożytniczym (ang. *parasite power*). Urządzenie slave gromadzi energię elektryczną w kondensatorze o pojemności około 800 pF połączonym z diodą zapobiegającą jego rozładowaniu. Czas ładowania kondensatora zależy w głównej mierze od jego typu, ale także od rezystancji wewnętrznych (ok. 1 k Ω), rezystancji kabli i styków, pojemności przewodów, typu rezystora podciągającego, oraz strat napięcia na diodzie. Aby nie dopuścić do przerw w zasilaniu należy przestrzegać minimalnego wymaganego czasu utrzymywania magistrali w stanie wysokim (ang. *minimum required pull-up voltage*), implikującego wielkość czasów t_{REC} oraz t_{RSTH} (pokazanych na wykresach w rozdziałach o slotach i resecie).



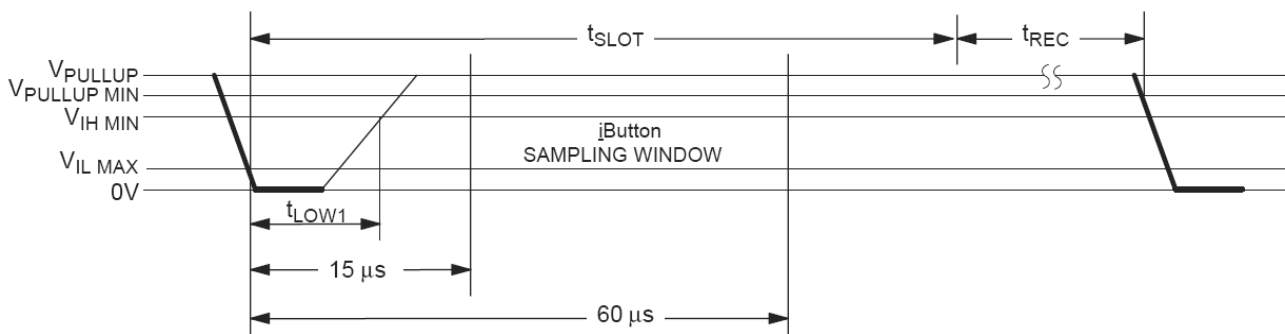
Termometr DS18B20 zasilany pasożytniczo z linii danych

2.5. Sloty zapisu

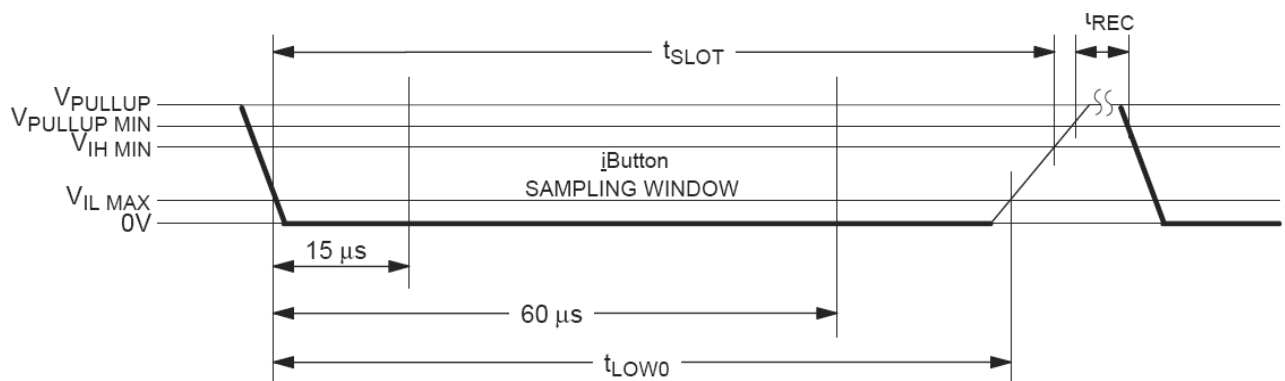
Transmitowane bity w interfejsie 1-Wire przesyła się w ściśle określonych slotach czasowych. W celu zapewnienia maksymalnego marginesu tolerancji urządzenia próbkują sygnał w środku slotu, gdzie powinien on być najstabilniejszy. Typowa długość slotu to $60 \mu\text{s}$, próbkowanie odbywa się typowo po $30 \mu\text{s}$ od wykrycia opadającego zbocza linii danych (w rzeczywistości wartość ta wynosi od 15 do $60 \mu\text{s}$). W trakcie próbkowania napięcie na linii danych musi być mniejsze od V_{ILMAX} lub większe od V_{IHMIN} .

Wyróżniamy dwa typy slotów zapisu – slot „0” i slot „1”. Aby przesłać bit „1” master wysyła na magistralę krótki impuls $0V$, uaktywniając opadającym zboczem sygnału monostabilny przerzutnik po stronie odbiornika. Ok. $30 \mu\text{s}$ po wykryciu zbocza następuje odczyt wartości przez odbiornik, przed tym czasem nadajnik musi zdążyć zwolnić magistralę, aby uniknąć błędnego zinterpretowania wysłanego sygnału (czas t_{LOW1} musi być mniejszy od $15 \mu\text{s}$). Przesłanie bitu „0” jest znacznie prostsze, wystarczy przez czas $t_{LOW0} = 60 \mu\text{s}$ utrzymać magistralę w stanie niskim.

Czas trwania slotu może być wydłużony ponad $60 \mu\text{s}$, należy jednak pamiętać o urządzeniach zasilanych pasożytniczo z linii danych – zbyt długi stan niski spowoduje ich reset (najlepiej zmieścić się w czasie $120 \mu\text{s}$). Po wysłaniu każdego bitu odbiornik potrzebuje czasu $t_{REC} > 1 \mu\text{s}$, aby przygotować się do kolejnej transmisji.



Rys. 1 – Slot zapisu „1”, pogrubione linie oznaczają wymuszanie sygnału przez mastera



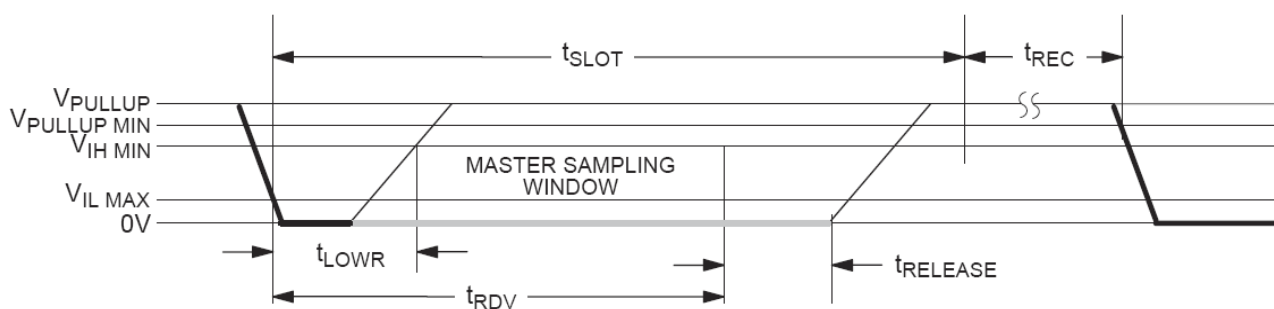
Rys. 2 – Slot zapisu „0”, pogrubione linie oznaczają wymuszanie sygnału przez mastera

2.6. Sloty odczytu

Sloty odczytu są bardzo podobne do ich odpowiedników używanych przy zapisie. Nowością jest tu zmiana stanu magistrali dokonywana nie tylko przez mastera, ale także przez urządzenie slave.

Odczyt zaczyna się wysłaniem przez mastera krótkiego, niskiego impulsu o czasie trwania t_{LOWR} większym niż $1 \mu s$ (im mniejsza wartość t_{LOWR} tym dłuższy możliwy czas próbkowania danych wystawionych przez slave). Slave po wykryciu opadającego zbocza albo utrzymuje magistralę w stanie niskim na $t_{RDV} \approx 15 \mu s$ (w przypadku wysyłania „0”) albo pozostawia bez zmian (w przypadku wysyłania „1”). Slave zwalnia linię danych po czasie $t_{RELEASE}$ mniejszym od t_{SLOT} .

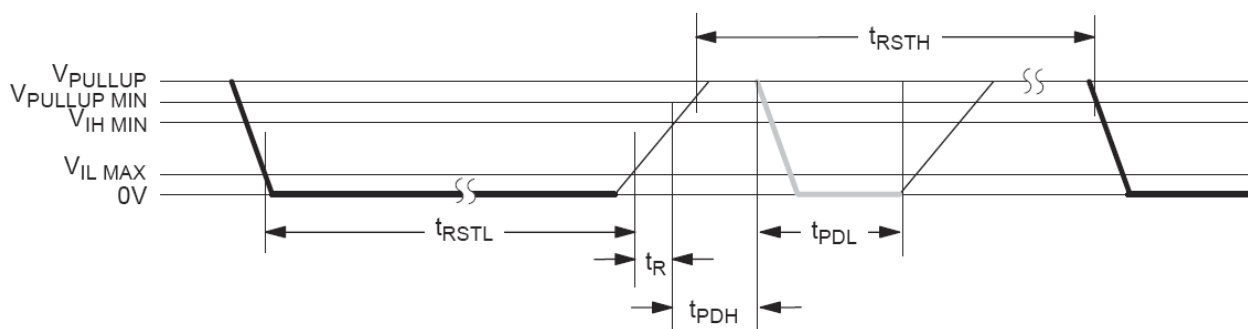
Pomiędzy kolejnymi odczytami wymagany jest czas „odnowy” T_{REC} nie mniejszy niż $1 \mu s$.



Rys. 3 – Slot odczytu „1” i „0”, pogrubione linie oznaczają wymuszanie sygnału przez mastera, linie szare dotyczą slave'a

2.7. Reset i detekcja obecności

Inicjalizacja transmisji następuje poprzez sygnał „reset”, czyli ustawienie linii danych na logiczne zero na okres $t_{RSTL} = 480 \mu s$ (ośmiu slotów zapisu/odczytu). W ten sposób następuje reset wszystkich urządzeń *slave* podłączonych do magistrali (jeśli nie mają własnego zasilania, to master odeńnie im jego dopływ). Po zwolnieniu magistrali i przywróceniu na niej stanu wysokiego master nasłuchuje przez kolejne $t_{RSTH} = 480 \mu s$ sygnałów obecności (określonych jako stan niski ustawiony $t_{PDH} = 30 \mu s$ po zwolnieniu magistrali przez mastera, trwający $t_{PDL} = 120 \mu s$) wysyłanych przez podłączone do linii danych urządzenia. Linia danych będąca przez cały okres t_{RSTH} w stanie wysokim oznacza brak podłączonych do niej urządzeń *slave*.



Rys. 4 – Reset urządzeń na magistrali i detekcja obecności, pogrubione linie oznaczają wymuszanie sygnału przez mastera, linie szare dotyczą slave'a

3. Architektura protokołu

Protokół transmisji 1-Wire można podzielić analogicznie do modelu OSI na kilka warstw – charakterystyki czasowe i napięciowe to warstwa fizyczna, reset, transmisja i odbiór bitów to warstwa łącza danych, obsługa pamięci ROM to warstwa sieciowa, odczyt i zapis danych innych niż ROM to warstwa transportowa. Opcjonalnie mogą zostać zdefiniowane warstwy sesji oraz prezentacji (występują czasem w urządzeniach iButton).

warstwa prezentacji (<i>presentation</i>)
warstwa sesji (<i>session</i>)
warstwa transportowa (<i>transport</i>)
warstwa sieciowa (<i>network</i>)
warstwa łącza danych (<i>link</i>)
warstwa fizyczna (<i>physical</i>)

Rys. 5 – warstwy protokołu 1-Wire

3.1. Warstwa fizyczna

Warstwa fizyczna została opisana w poprzednim rozdziale, należy jeszcze dodać kilka zdań na temat wymagań po stronie urządzenia *master*:

- Jeśli łączymy urządzenie 1-Wire z komputerem klasy IBM PC w większości przypadków musimy użyć albo specjalnej karty rozszerzeń, albo równoległego interfejsu PHANTOM, albo portu szeregowego. W przypadku interfejsu RS232 należy pamiętać o konwersji napięć do poziomu TTL (realizuje to specjalny układ, np. iButton Terminal Interface).
- Połączenie z mikrosterownikiem jest znacznie prostsze – wystarczy podłączyć bezpośrednio jeden z pinów portu μs do linii danych interfejsu. Wyróżniamy 3 typy portów:
 - porty dwukierunkowe (ang. *Bi-Directional Port*) – podczas zapisu zera wystawiają „silne” zero, podczas zapisu jedynek – przechodzą w stan wysokiej impedancji lub podciągają linię do stanu wysokiego wystawiając „słabą” jedynekę. Odczyt realizowany jest standardowo (1 gdy V_{CC} , 0 gdy GND); tego typu porty idealnie pasują do interfejsu 1-Wire.
 - porty o programowanym kierunku (ang. *Programmable Data Direction*), będące wejściami o wysokiej impedancji lub wyjściami o niskiej impedancji w zależności od bitu w rejestrze DDR portu.
 - porty o stałym kierunku przepływu danych (ang. *Fixed Direction*), ich użycie w interfejsie 1-Wire wymaga zastosowania sprzętowego układu emulującego na dwóch wyprowadzeniach dwukierunkową magistralę danych.

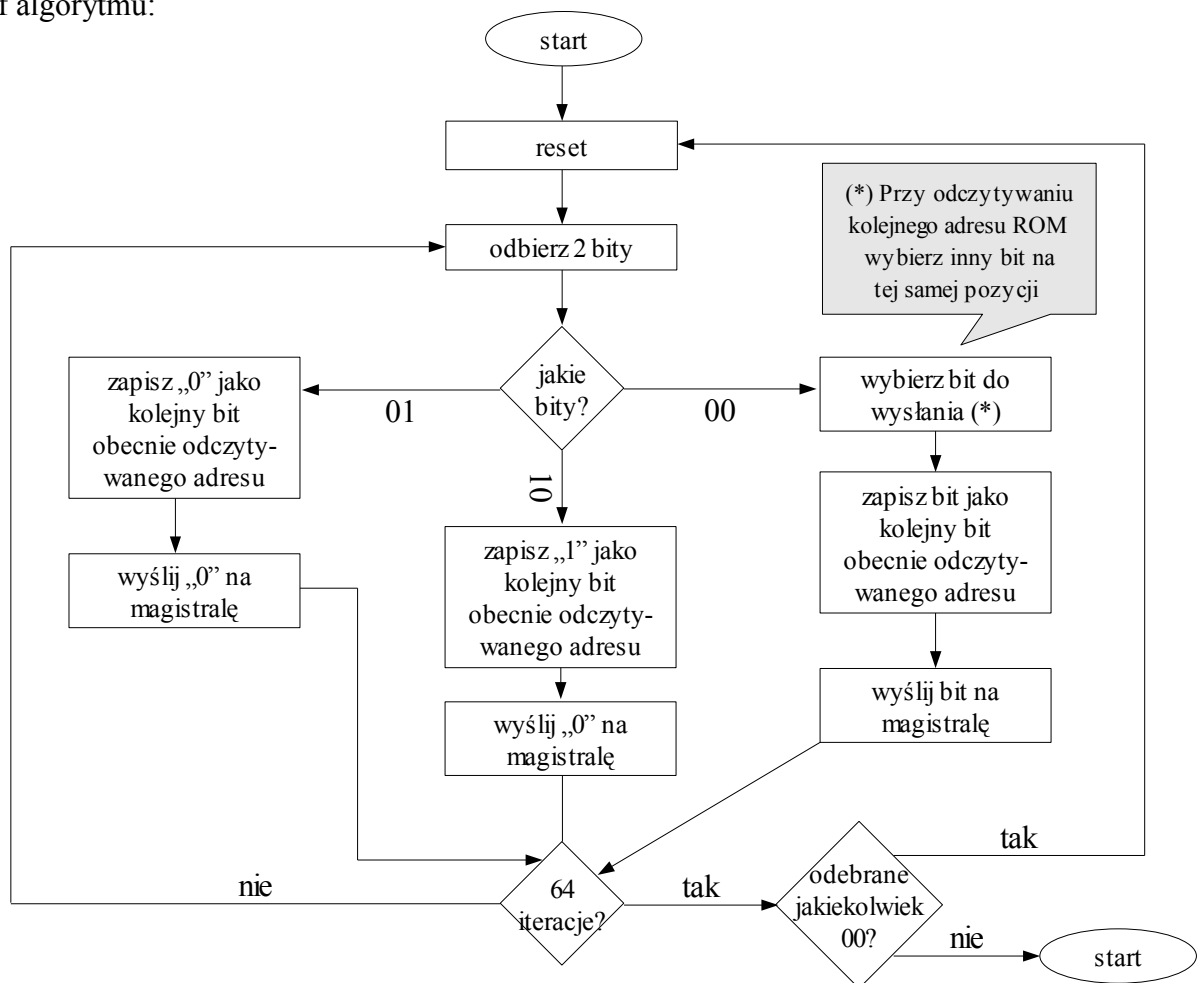
Ostatni, najbardziej znaczący bajt jest sumą CRC (ang. *Cyclic Redundancy Check*) pozwalającą na sprawdzenie poprawności transmisji, generowaną przez producenta na podstawie identyfikatora rodziny i numeru seryjnego, przy użyciu wielomianu $x^8 + x^5 + x^4 + 1$. Układ zarządzający komunikacją na linii 1-Wire może sam policzyć CRC i porównać z ostatnim bajtem ROM. Niezgodność oznacza, że albo przesył bitów nie działa prawidłowo, albo odczyt ROM następuje z kilku urządzeń.

3.3.2. Wyszukiwanie urządzeń na magistrali

W przypadku przyłączenia do linii 1-Wire więcej niż jednego urządzenia na magistrali musi zostać zapewniony odpowiedni arbitraż. Realizuje się go poprzez funkcje operujące na adresach ROM, jednakże przed rozpoczęciem przesyłania danych wymagana jest znajomość tych adresów. Ich odczyt można przeprowadzić za pomocą komendy SEARCH ROM, implementującej nieskomplikowany, ale wymagający algorytm szukania odbiorników.

Po wywołaniu SEARCH ROM każde z urządzeń na magistrali przesyła masterowi pierwszy bit swojego adresu, a następnie jego odwrotność. Jeśli pierwszym bitem adresu wszystkich urządzeń jest zero, wówczas master odczyta „01”, jeśli będzie to jedynka - „10”. Jeśli adresy ROM różnią się na odczytywanej pozycji to master odbierze dwa zera. Po odczycie każdego bitu ROM do odbiorników wysyłana jest wartość tego bitu (w przypadku dwóch zer wybiera ją programista) – dzięki temu z dalszych etapów szukania eliminuje się urządzenia o niepasujących adresach ROM.

Graf algorytmu:



Przykładowo jeśli podłączymy do linii danych 3 urządzenia 1-Wire o końcówkach adresów:

- ... 000
- ... 100
- ... 101

Sekwencja operacji (*adr* to 64-bitowy bufor, do którego odczytujemy adres):

- 1) → Master wysyła RESET
- 2) → Master wysyła komendę SEARCH ROM
- 3) ← Master odbiera dwa bity „00”
- 4) Master zapisuje do *adr* bit „0” (może być też „1”)
- 5) → Master wysyła bit „0” (wyklucza trzecie urządzenie z szukania)
- 6) ← Master odbiera dwa bity „01”
- 7) Master zapisuje do *adr* bit „0”
- 8) → Master wysyła bit „0” (żadne urządzenie nie jest wykluczone)
- 9) ← Master odbiera dwa bity „00”
- 10) Master zapisuje do *adr* bit „0” (może być też „1”)
- 11) → Master wysyła bit „0” (wyklucza drugie urządzenie z szukania)

te same operacje powtarzane są na pozostałych bitach ROM, żadne urządzenie nie zostanie tu wykluczone ponieważ w szukaniu od kroku 11 bierze udział tylko jedno z nich; po wykonaniu 64 iteracji możemy zapisać zawartość „adr” jako adres 1-go urządzenia

- 12) → Master wysyła RESET
- 13) → Master wysyła komendę SEARCH ROM
- 14) ← Master odbiera dwa bity „00”
- 15) Master zapisuje do *adr* bit „0” (nie była to ostatnia pozycja, na której w poprzedniej iteracji nastąpiło wykluczenie urządzenia)
- 16) → Master wysyła bit „0” (wyklucza trzecie urządzenie z szukania)
- 17) ← Master odbiera dwa bity „01”
- 18) Master zapisuje do *adr* bit „0”
- 19) → Master wysyła bit „0” (żadne urządzenie nie jest wykluczone)
- 20) ← Master odbiera dwa bity „00”
- 21) Master zapisuje do *adr* bit „1” (ostatnio było „0”, teraz sprawdzamy następną możliwość bo jest to ostatnia pozycja, na której w poprzedniej iteracji nastąpiło wykluczenie; tutaj wykorzystaliśmy już wszystkie możliwości – w następnej iteracji zmienimy bit na pozycji 0)
- 22) → Master wysyła bit „1” (wyklucza pierwsze urządzenie z szukania)

po wykonaniu 64 iteracji możemy zapisać zawartość „adr” jako adres 2-go urządzenia

- 23) → Master wysyła RESET
- 24) → Master wysyła komendę SEARCH ROM
- 25) ← Master odbiera dwa bity „00”
- 26) Master zapisuje do *adr* bit „1” (patrz: krok 21)
- 27) → Master wysyła bit „1” (wyklucza pierwsze i drugie urządzenie z szukania)

po wykonaniu 64 iteracji otrzymamy trzeci, ostatni adres urządzenia; poszukiwanie powinniśmy zakończyć gdy nie występują już pozycje „00”, których nie testowaliśmy

3.3.3. Tryb Overdrive

Z racji, iż po zaadresowaniu konkretnego urządzenia 1-Wire pozostałe ignorują komendy układu master, możliwe jest zróżnicowanie szybkości działania poszczególnych peryferiów. Jedyne ograniczeniem jest tu nieprzekraczanie czasu trwania stanu niskiego $t_{low} = 120 \mu s$ (aby nie spowodować resetu).

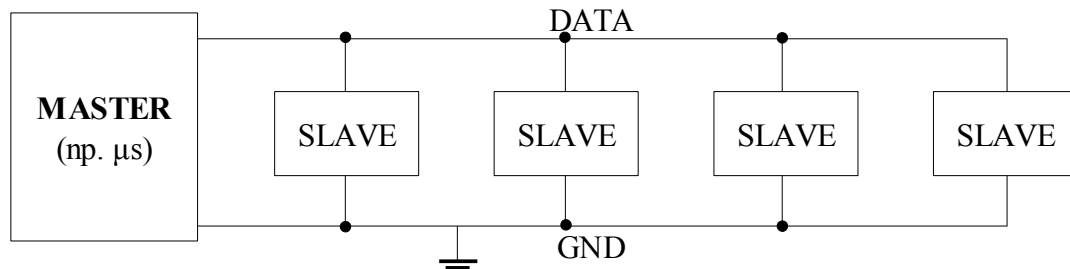
Tryb Overdrive umożliwia dziesięciokrotne przyspieszenie prawie wszystkich operacji dokonywanych na linii danych – wszystkie czasy przedstawione przy omawianiu slotów oraz resetu należy podzielić przez 10. Rozpoczęcie pracy w trybie Overdrive jest bardzo proste – wystarczy zamiast *SKIP ROM* i *MATCH ROM* używać *OVERDRIVE SKIP ROM* oraz *OVERDRIVE MATCH ROM*. Programista może sprawdzić możliwość obsługi szybszej transmisji poprzez identyfikator rodziny urządzeń w ROM. Niestety w chwili obecnej tryb Overdrive zaimplementowano w bardzo niewielkiej ilości sprzętu – głównie w iButtonach DS1995, DS1996 oraz DS1986.

3.4. Warstwa transportowa

Warstwa transportowa jest odpowiedzialna za transfer danych nie będących adresami zapisanymi w ROM. Lista procedur używanych w tej warstwie zależy od rodzaju urządzenia 1-Wire, zostanie dokładnie przedstawiona w dalszej części sprawozdania przy okazji opisywania termometru DS18B20.

4. Tworzenie sieci

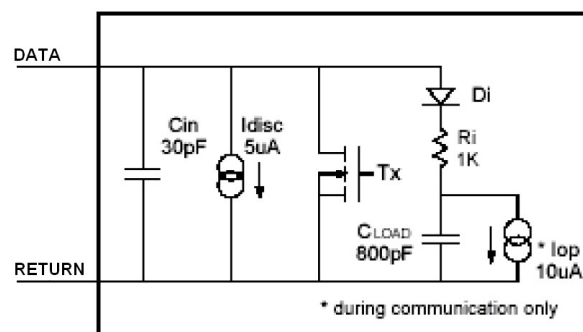
Jak już zostało wspomniane w poprzednich rozdziałach interfejs 1-Wire umożliwia podłączenie do linii danych dowolnej (ograniczonej parametrami magistrali) liczby urządzeń. Wyróżniamy dwa typy urządzeń 1-Wire – master i slave.



Sieć urządzeń 1-Wire zasilanych pasożytniczo

4.1. Urządzenia slave

Urządzenie podrzędne może czerpać zasilanie zarówno z zewnętrznego źródła, jak i z linii danych (gdy jest w stanie wysokim). W drugim z przypadków dioda D_i zapobiega utracie zasilania, jeżeli linia danych jest w stanie niskim. Slave posiada rezystor $1\text{ k}\Omega$ oznaczony jako R_i , ograniczający prąd na wejściu układu. Prąd ten ładuje kondensator C_{LOAD} , działający w roli wewnętrznego „źródła zasilania”. Na rysunku obok widoczna jest także pojemność C_{IN} między liniami DATA i GND.



Schemat urządzenia podrzędnego

Każde urządzenie podrzędne posiada wewnętrzny oscylator zsynchronizowany z opadającym zboczem linii DATA, dzięki temu możliwe jest kontrolowanie timingów podczas transmisji, w tym głównie czasu odpowiedzi na dane wysyłane przez układ *master*. Czasy uzyskiwane przez oscylatory mogą się nieznacznie różnić od nominalnych, ale odchylenia powinny pozostać w granicach tolerancji zakładanej przy programowaniu interfejsu po stronie urządzenia nadrzędnego.

Kiedy urządzenie slave chce nadawać, wówczas robi to przez tranzystor z otwartym drenem umożliwiającym przytrzymanie magistrali w stanie niskim (impedancja tranzystora jest nominalnie mniejsza od $100\ \Omega$, co zapewnia logiczne zero przy $0,4\text{ V}$ i 4 mA).

Stały prąd zasilania $5\ \mu\text{A}$ (I_{DISC}) dla każdego slave'a jest wymagany do utrzymania synchronizacji z protokołem komunikacyjnym, w trakcie przesyłania danych jego wartość wzrasta do $10\ \mu\text{A}$ (I_{OP})

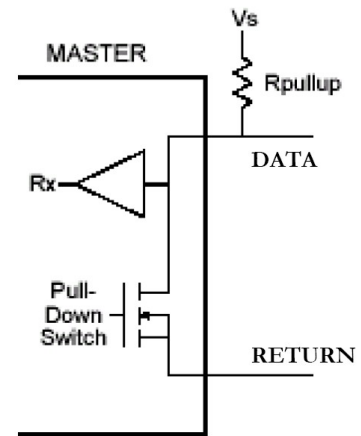
Jeżeli do magistrali danych przyłączonych jest n urządzeń slave, należy pomnożyć przez n C_{IN} , I_{DISC} , I_{OP} i C_{LOAD} oraz podzielić przez n R_i .

4.2. Urządzenia master

Podczas projektowania układu master w dużym stopniu obowiązuje dowolność, więc w poniższym opisie przedstawiony zostanie najprostszy model.

Rezystor R_i to wspomniany już rezystor pull-up o wartości ok. 1000-4700 k Ω , którego słaby prąd podciąga linię danych do stanu wysokiego. Natężenie na magistrali wynosi wówczas od 5 mA do 1,06 mA. Należy zapewnić na linii danych prąd na tyle duży, aby powodował szybkie przechodzenie do stanu wysokiego, ale także na tyle mały, aby nie spowodował zakłóceń w poziomach logicznym na najdalszych z połączonych urządzeń.

Wewnętrzny bufor jest używany do wykrywania poziomu magistrali (R_x). Tranzystor pull-down umożliwia zwarcie linii danych do masy



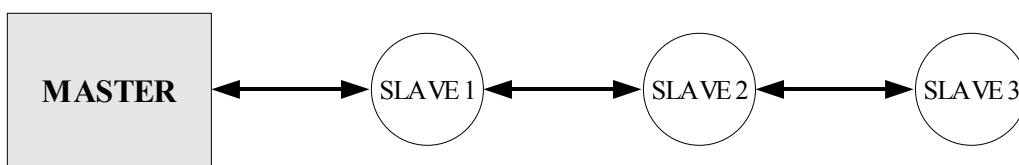
Schemat urządzenia nadrzędnego

4.3. Topologie sieci

Jakkolwiek połączenia pomiędzy układami 1-Wire mogą być poprowadzone w formie zupełnie dowolnej, to zazwyczaj mieszczą się one w jednej z trzech przedstawionych niżej typowych topologii, właściwych również innego rodzaju połączeniom. Należy pamiętać, że dystans między urządzeniami, połączenia fizyczne, prędkości transmisji i typy sygnałów wpływają na topologię, ale nie są przez nią w żaden sposób określone ani ograniczane.

4.3.1. Topologia linearna

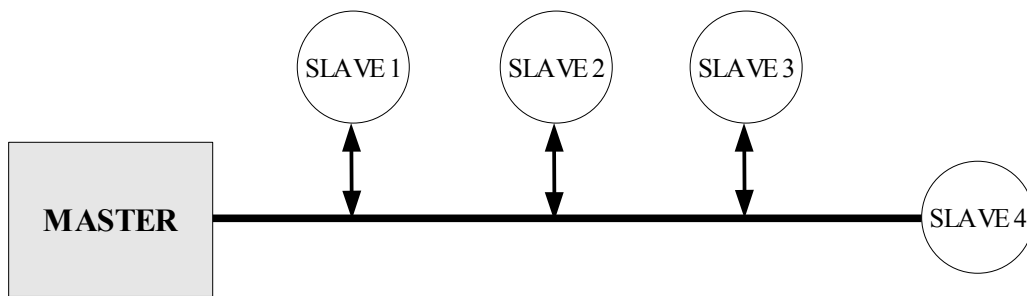
Topologia linearna (ang. *linear topology*) jest rekomendowanym sposobem łączenia urządzeń 1-Wire. Linia interfejsu 1-Wire to skręcona para przewodów, zaczynająca się od układu master i prowadzona od niego do układu slave, a następnie łańcuchowo poprzez kolejne układy slave, aż do ostatniego przyłączonego do sieci.



Przykład topologii linearnego

4.3.2. Topologia pnia

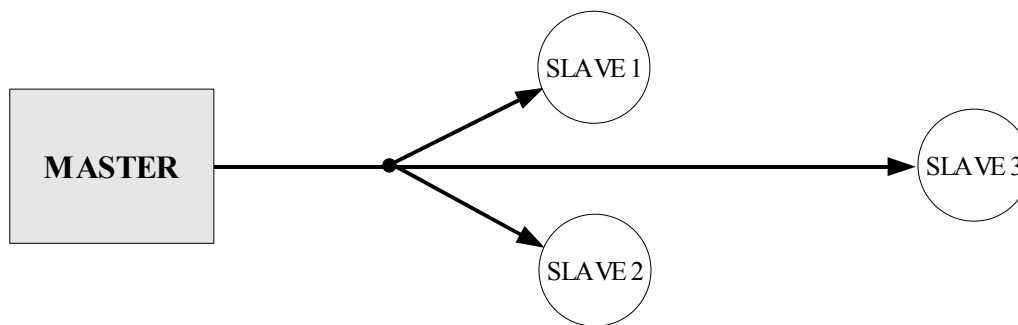
W topologii pnia (ang. *short stubbed topology*) linia interfejsu prowadzona przy pomocy pojedynczego przewodu głównego od układu master do najdalej położonego układu slave; poszczególne układy slave dołączane są w formie „gałęzi” o długości nie przekraczającej 3 m do „pnia” głównego. Długość odgałęzień wpływa bezpośrednio na jakość transmisji, stąd powinny być one możliwie najkrótsze. Gałęzie powyżej 3 m można już zaliczyć do topologii *short stubbed*, nie zalecanej przez specyfikację 1-Wire.



Przykład topologii pnia

4.3.3. Topologia gwiazdy

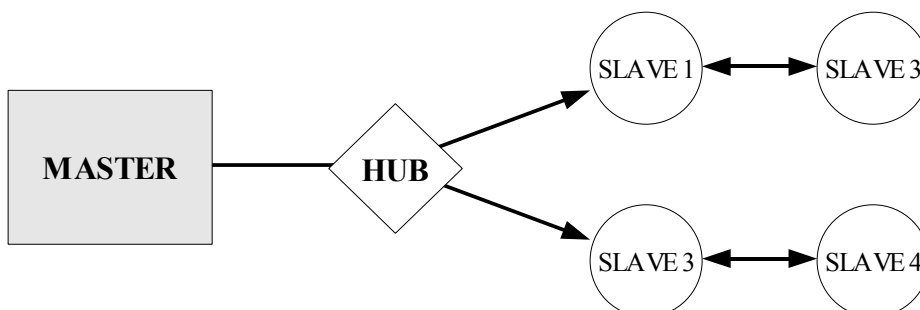
W topologii gwiazdy (ang. *star topology*) połączenia poszczególnych układów slave zbiegają się w jednym wspólnym punkcie w pobliżu układu master, albo też bezpośrednio na jego zaciskach połączeniowych. Topologia ta jest niezalecana przez specyfikację 1-Wire.



Przykład topologii gwiazdy

4.3.4. Topologia drzewa

Topologia drzewa (ang. *branch topology*) jest podobna do topologii gwiazdy, działające w niej układy osiągają jednak znacznie lepsze parametry. Twórcy interfejsu 1-Wire przewidzieli, że czasami może być konieczne rozgałęzienie już istniejącej linii sygnałowej. Do takich zastosowań skonstruowany został elektroniczny przełącznik, układ o nazwie DS2409 (MicroLAN Coupler16). Posiada on jedno wejście interfejsu 1-Wire i dwa wyjścia.



Przykład topologii drzewa

5. Termometr DS18B20

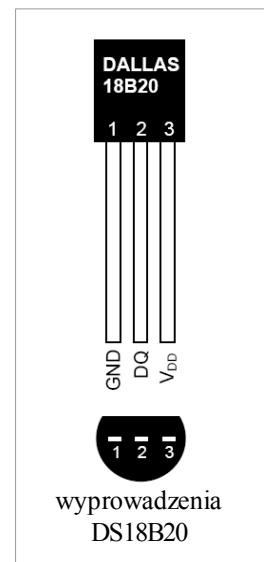
Jako przykładowe urządzenie komunikujące się poprzez szynę 1-Wire zostanie opisany termometr Dallas DS18B20, zamontowany na dostępnych w laboratorium płytach ewaluacyjnych. Termometr ten obsługuje większość zaawansowanych funkcji związanych z 1-Wire, w tym pamięć ROM umożliwiającą adresację na magistrali.



5.1. Specyfikacja termometru

- posiada unikalny 64-bitowy adres zapisany w ROM
- nie wymaga zewnętrznych czujników
- może być zasilany pasywnie przez linię danych
- mierzy temperatury od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F do $+257^{\circ}\text{F}$)
- dokładność $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ od -10°C do $+85^{\circ}\text{C}$
- rozdzielczość bitowa definiowana przez użytkownika (od 9 do 12 bit)
- konwersja temperatury do 12-bitowego słowa w max. 750 ms

Termometr DS18B20 w obudowie TO-92 posiada 3 wyprowadzenia – GND, V_{DD} i DQ (Data In/Out). Na wykorzystywanej przez nas płycie ewaluacyjnej termometry zasilane były poprzez osobną linię V_{DD} , istnieje możliwość czerpania napięcia pasywnie z linii danych (należy wówczas zewrzeć linie GND i V_{DD} , zasilanie pasywnie zostało opisane we wcześniejszych częściach sprawozdania).



5.2. Odczyt temperatury

Główną funkcjonalnością DS18B20 jest odczyt temperatury i jej konwersja do postaci bitowej. Użytkownik może wybrać liczbę bitów składającą się na wynik – do wyboru mamy 9, 10, 11 i 12 (domyślnie 12). DS18B20 uruchamia się w trybie bezczynności, w celu rozpoczęcia konwersji master musi wysłać komendę CONVERT T i odczekać od kilkudziesięciu do kilkuset milisekund (jeśli CONVERT T nie zostanie wysłane wówczas termometr będzie wskazywał wartość początkową równą 85°C). Wynik pomiaru pojawi się w dwubajtowym rejestrze w pamięci notatnikowej (ang. *scratchpad memory*). Możliwe jest sprawdzenie, czy wynik został już umieszczony w rejestrze – wystarczy bezpośrednio po CONVERT T odczytać pojedynczy bit. „1” oznacza w tym przypadku zakończoną konwersję, „0” - konwersję będącą w toku.

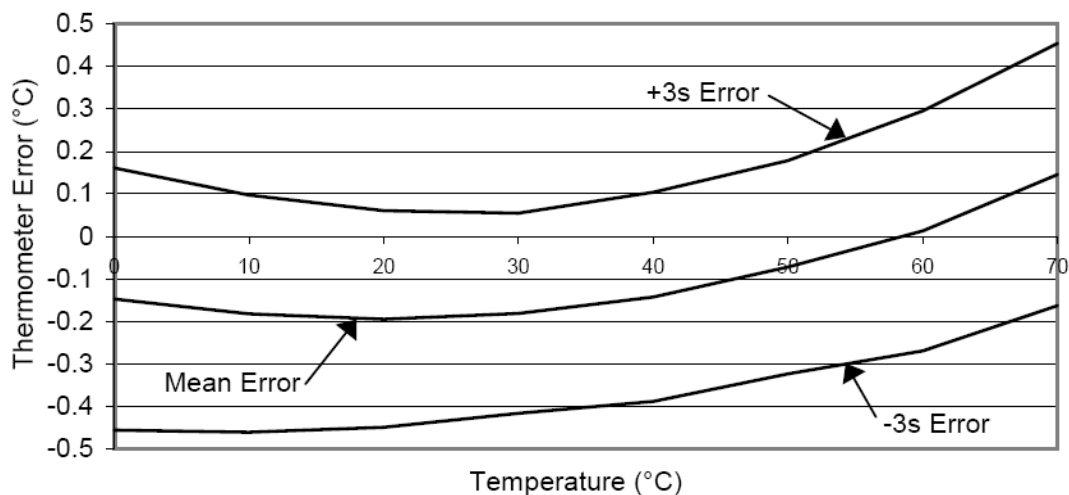
Budowa rejestru z wynikiem pomiaru:

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
bajt LS	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
bajt MS	S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4

Dane zapisywane są w systemie uzupełnieniowym do 2, w stopniach Celsjusza. Bity S oznaczają znak liczby („1” to minus).

Jeśli wybierzemy mniejszą rozdzielczość np. 10 bitów bity na pozycjach 0 i 1 będą niezdefiniowane. Rozdzielczość równa 12 pozwala na inkrementację temperatury co 0,0625 °C, jednak należy pamiętać że dokładność odczytu to 0,5 °C.

Wykres zależności dokładności odczytu od temperatury:



5.3. Alarmowanie

DS18B20 posiada także tryb pracy polegający na informowaniu o przekroczeniu (lub zejściu poniżej) danej temperatury. Ograniczenia temperaturowe definiujemy w rejestrach T_L i T_H (są to rejestry 8-bitowe – nie uwzględnia się części ułamkowej temperatury), znajdujących się w nieulotnej pamięci EEPROM:

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
T_L i T_H	S	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0

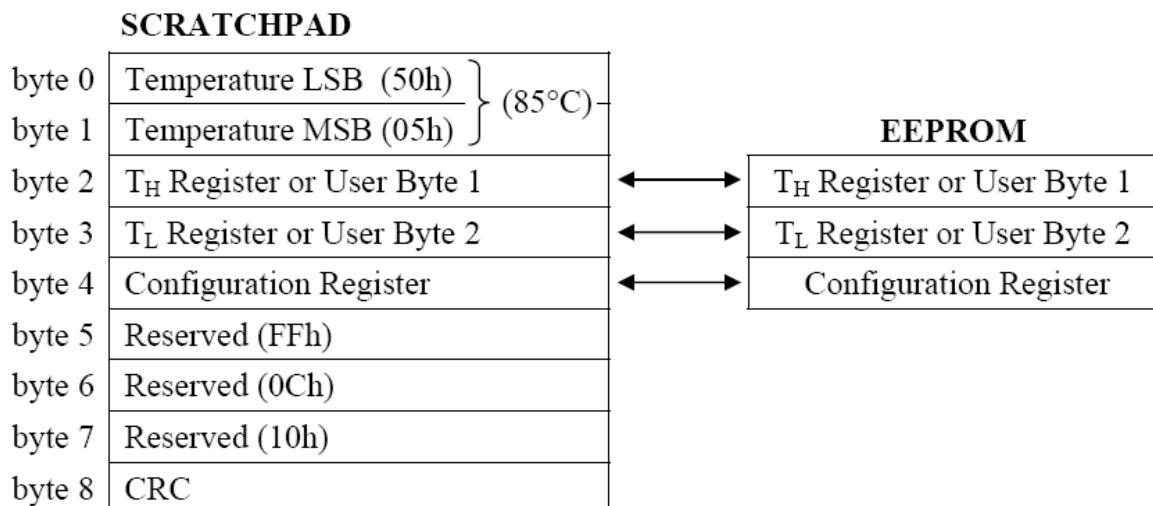
Jeśli DS18B20 wykryje przekroczenie zakresu, ustawi flagę alarmową, odczytywaną przez mastera komendą ALARM SEARCH.

5.4. Zarządzanie pamięcią

Zarządzanie wbudowaną pamięcią urządzenia jest zadaniem warstwy transportowej interfejsu 1-Wire. Każda z instrukcji kierowanych do urządzeń na magistrali musi być poprzedzona resetem oraz zaadresowaniem odbiornika. Typowa sekwencja operacji to:

- 1) RESET
- 2) komenda ROM (warstwa sieciowa)
- 3) ewentualna wymiana danych
- 4) funkcja urządzenia (warstwa transportowa)
- 5) ewentualna wymiana danych

Struktura pamięci:



5.4.1. Lista funkcji DS18B20

- **CONVERT T** [44h] – komenda inicjalizująca pojedynczą konwersję temperatury, odczytany bezpośrednio po komendzie bit oznacza status konwersji (jeśli termometr korzysta z zasilania pasywnego master musi w czasie 10 μs od wydania komendy wystawić na linię „strong pull-up”)
- **WRITE SCRATCHPAD** [4Eh] – zapis danych do pamięci notatnikowej, w kolejności: T_H (bajt 2), T_L (bajt 3), rejestr konfiguracji (bajt 4). Transmisja powinna zaczynać się od najmniej znaczącego bitu. Wszystkie bajty muszą zostać przesłane przed kolejnym resetem, inaczej może nastąpić ich uszkodzenie.
- **READ SCRATCHPAD** [BEh] – odczyt danych z pamięci notatnikowej, transfer danych zaczyna się od najmniej znaczącego bitu bajtu zerowego i jest kontynuowany aż do odczytu 9 bajtu (CRC). Master może w każdej chwili przerwać transmisję sygnałem reset jeśli uzna, że nie potrzebuje danych z dalszej części pamięci.
- **COPY SCRATCHPAD** [48h] – skopiowanie zawartości rejestrów T_H, T_L i konfiguracyjnego z pamięci notatnikowej do EEPROM. Jeśli termometr jest zasilany pasywnie, należy w ciągu max 10 μs wystawić na linię danych sygnał „strong pull-up” na kolejne 10 μs (bez tego zasilanie urządzenia w trakcie operacji na EEPROM będzie niewystarczające).
- **RECALL E2** [B8h] - skopiowanie zawartości rejestrów T_H, T_L i konfiguracyjnego z EEPROM do pamięci notatnikowej. Bit odczytany po wydaniu komendy określa status kopiowania („1” - zakończone, „0” - w toku). Operacja RECALL wykonywana jest automatycznie przy włączaniu układu, dzięki czemu przywoływane są wartości rejestrów zapisane w poprzedniej sesji.
- **READ POWER SUPPLY** [B4h] – określenie które z urządzeń podłączonych do magistrali 1-Wire używa zasilania pasywnego. Po wysłaniu tej komendy termometry zasilane z linii danych wystawią na magistralę stan niski, co w połączeniu z adresowaniem poprzez pamięć ROM daje pełną informację na temat źródeł zasilania.

5.4.2. Przykładowa sekwencja operacji

Poniżej została przedstawiona sekwencja odczytu temperatury z termometru DS18B20 zasilanego z linii danych:

Kierunek	Dane	Opis
→ (nad)	reset	zresetowanie przyłączonych urządzeń
← (odb)	presence	urządzenia na linii odpowiadają sygnałem obecności
→	55h	komenda MATCH ROM
→	64-bit ROM	adres odbiornika
→	44h	komenda CONVERT T
→	strong pull-up	przytrzymanie linii w stanie wysokim do końca konwersji
→	reset	zresetowanie przyłączonych urządzeń
←	presence	urządzenia na linii odpowiadają sygnałem obecności
→	55h	komenda MATCH ROM
→	64-bit ROM	adres odbiornika
→	BEh	komenda READ SCRATCHPAD
←	9 bitów danych	master odczytuje całą pamięć notatnikową i ewentualnie sprawdza zgodność pierwszych ośmiu bajtów z sumą CRC zapisaną w 9 bajcie

5.5. Parametry czasowe

Parametr	Symbol	Warunek	Min	Max	Jedn.
Temperature Conversion Time	t_{CONV}	rozd. 9-bit		93,75	ms
		rozd. 10-bit		187,5	ms
		rozd. 11-bit		375	ms
		rozd. 12-bit		750	ms
Time to Strong Pullup On	t_{SPON}	CONVERT T		10	μ s
Time Slot	t_{SLOT}		60	120	μ s
Recovery Time	t_{REC}		1		μ s
Write 0 Low Time	t_{LOW0}		60	120	μ s
Write 1 Low Time	t_{LOW1}		1	15	μ s
Read Data Valid	t_{RDV}			15	μ s
Reset Time High	t_{RSTH}		480		μ s
Reset Time Low	t_{RSTL}		480		μ s
Presence Detect High	t_{PDHIGH}		15	60	μ s
Presence Detect Low	t_{PDLow}		60	240	μ s
Capacitance	$C_{IN/OUT}$			25	pF

6. Urządzenia wykorzystujące 1-Wire

Interfejs 1-Wire jest używany głównie przez połączone firmy Maxim Integrated Products oraz Dallas Semiconductor. Poniżej przedstawiony został przegląd urządzeń wykorzystujących tę magistralę (z wyłączeniem termometrów, jako że jeden z nich został już obszernie omówiony).

6.1. iButton

iButton to niewielkie, okrągłe urządzenie 1-Wire zawierające chip z wbudowaną pamięcią. Wyprowadzeniami są dwie części stalowej obudowy (GND i DQ). Najczęstszym zastosowaniem iButtonów jest rola klucza w elektronicznych zamkach (szacuje się, że na świecie funkcjonuje już ok. 130 mln takich kluczy).



Po przyłożeniu klucza do zamka układ „master” znajdujący się w zamku wykrywa na magistrali (poprzez sygnał PRESENCE po resecie) zasilany pasożytniczo układ „slave” znajdujący się w kluczu. Master wysyła komendę READ ROM i odczytuje kolejne bity adresu sprawdzając w locie ich zgodność z bitami kodów zapisanych w bazie danych (baza ta zawiera kody otwierające drzwi). W przypadku braku zgodności transmisja jest przerywana, master zaś informuje użytkownika o błędzie. Jeśli suma CRC (ostatni bajt kodu) nie pasuje do odebranych bajtów istnieje prawdopodobieństwo, że do magistrali podłączono więcej niż jeden klucz. Rozwiązaniem takiej sytuacji jest użycie nieco wolniejszej metody SEARCH ROM, pozwalającej na poznanie adresów wszystkich urządzeń slave. Powyższa sekwencja operacji dotyczy najprostszego z iButtonów - DS1990A. Inne klucze z tej samej rodziny obsługują wbudowane pamięci NV RAM, EPROM, UniqueWare i EEPROM o pojemnościach do 32 kB, dzięki czemu można znacznie podnieść poziom bezpieczeństwa identyfikacji oraz ułatwić zarządzanie dużymi systemami poprzez np. wprowadzanie do kluczy danych pracowników.

Dostępne rodzaje iButton:

- DS1990A - 64 Bit ID (*cena w Polsce ok. 9 zł / szt*)
- DS1992L - 1kb NV RAM
- DS1993L - 4kb NV RAM
- DS1995L - 16kb NV RAM
- DS1996L - 64kb NV RAM
- DS1982 - 1kb Add-Only
- DS1985 - 16kb Add-Only
- DS1986 - 64kb Add-Only
- DS1982U - UniqueWare
- DS1985U - UniqueWare
- DS1971 - 256-Bit EEPROM
- DS1972 - 1024-Bit EEPROM
- DS1973 - 4kb EEPROM
- DS1977 - 32kB EEPROM (*cena w USA - \$15,34 / szt*)

Część urządzeń z rodziny iButton służy do celów zupełnie niezwiązanych z zamkami i identyfikacją – np. DS192004 jest termometrem a DS1904 – układem RTC. Niekwestionowana zaleta iButtonów to szybkość i łatwość przyłączania, duża wytrzymałość na warunki zewnętrzne, oraz w większości przypadków brak konieczności używania baterii.

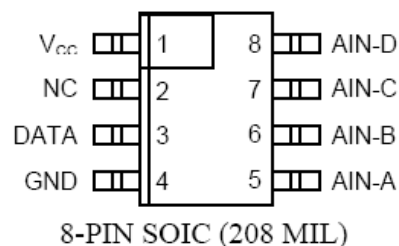
6.2. Pamięci

Dallas Semiconductor produkuje szeroki wachlarz pamięci z interfejsem 1-Wire o pojemnościach do 64 kb. Używa się ich głównie do identyfikacji podzespołów i akcesoriów PC, do zapamiętywania danych kalibracyjnych urządzeń medycznych lub monitorowania ilości tuszu i tonera w drukarkach.

Komunikacja z pamięciami 1-Wire odbywa się pośrednio poprzez pamięć notatnikową (podobnie, jak zapis T_H i T_L w termometrze). 1-kbit układ EEPROM DS2431 można kupić w USA już za \$0,61.

6.3. Konwertery analogowo-cyfrowe

Przykładem układu analog-cyfra konwertującego wejście analogowe na ciąg bitów jest przedstawiony po prawej stronie chip DS2450, posiadający cztery wejścia o wysokiej impedancji, służące do pomiaru napięć do 5,12 V (z programowaną rozdzielczością od 1 do 16 bitów). Wynik odczytywany jest za pomocą komend CONVERT i READ MEMORY. Podobnie, jak w termometrze DS18B20 można zdefiniować wartości progowe odczytywanych napięć wywołujące alarm.



Układ DS2540 kosztuje w USA \$5,98.

6.4. Układy RTC

Układy RTC DS2415 działające na interfejsie 1-Wire pozwalają na dokładne mierzenie czasu z błędem nie przekraczającym 2 sekund na miesiąc. Do działania chipu potrzebny jest zewnętrzny oscylator 32,768 kHz, podłączony do wyprowadzeń X1 i X2. Czas i data inkrementowane są co 1 sekundę, ich ustawianie i odczyt odbywa się za pomocą komend READ CLOCK i WRITE CLOCK.

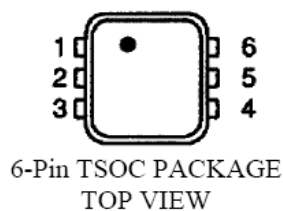
Przy pomocy DS2415 można łatwo wprowadzić do mikrosterownika funkcjonalność kalendarza lub loga zapisującego zdarzenia ze stemplem czasowym.

Cena DS2415 w USA wynosi \$1,56.

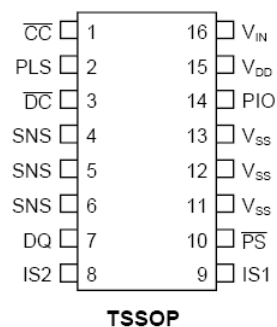
6.5. Układy monitorujące stan baterii i akumulatorów

Dallas produkuje kilkanaście rodzajów układów do kontroli przenośnych źródeł zasilania. Typowy chip, DS2762 (High-Precision Li+ Battery Monitor With Alerts), posiada zdolność mierzenia temperatury baterii oraz napięcia i natężenia prądu. Wszystkie te funkcje pełnią zarazem rolę informacyjną dla użytkownika, jak i ochronną przed wahaniami napięcia i przegrzaniem.

Urządzenie posiada 256-bajtową pamięć, z którą komunikujemy się za pośrednictwem pamięci RAM (analogicznej do pamięci notatnikowej).



Pin 1	- GND
Pin 2	- 1-Wire
Pin 3	- V_{DD}
Pin 4	- V_{BAT}
Pin 5	- X1
Pin 6	- X2



Komendy READ DATA i WRITE DATA różnią się nieco od ich odpowiedników z innych układów, przyjmują bowiem argument, którym jest adres w pamięci EEPROM. Nowością jest tu polecenie LOCK blokujące (bezpowrotnie) możliwość zapisu 16 bajtów zaczynając od podanego adresu.

Chip DS2762 jest często wykorzystywany w palmtopach, telefonach komórkowych oraz aparatach cyfrowych. W USA kosztuje około \$3,50

7. Ocena interfejsu 1-Wire

Podsumowując – interfejs 1-Wire jest interfejsem dobrym, gdy potrzebujemy małej liczby wyprowadzeń i przewodów, stosunkowo dużej odległości od odbiornika oraz gdy nie zależy nam na szybkości przesyłu danych większej od kilkuset kbps. Poniżej znajduje się krótkie zestawienie wad i zalet 1-Wire:

Wady

- precyzyjne wymagania czasowe niemożliwe lub trudne do spełnienia przez wolniejsze mikrosterowniki, I²C jest pod tym względem znacznie mniej restrykcyjne
- długi czas dostępu do urządzenia spowodowany w dużej mierze koniecznością wykonania komendy RESET i adresacji urządzenia
- brak możliwości bezpośredniego podłączenia do PC, potrzebny jest odpowiedni adapter
- brak wbudowanej obsługi 1-Wire w większości systemów operacyjnych PC

Zalety

- możliwość stosowania okablowania o długości do ok. 300 m
- zapisany na etapie produkcji, niezmienny, 64-bitowy kod znajdujący się w pamięci ROM – dzięki niemu możemy konstruować np. bezpieczne zamki z kluczami iButton; mamy także gwarancję, że dwa urządzenia nigdy nie będą miały tego samego kodu identyfikacyjnego
- liczba urządzeń na magistrali jest ograniczona praktycznie tylko parametrami napięciowymi i pojemnościowymi linii, w przypadku I²C pula adresów na jednej magistrali jest relatywnie niewielka i może nie wystarczyć np. w dużej sieci czujników.
- bardzo dobre zabezpieczenie transmisji przed błędami – poza synchronizacją przesyłu danych po każdym bicie możemy też sprawdzić zgodność sumy CRC (zarówno danych, jak i adresu ROM)
- możliwość zasilania pasożytniczego, dzięki któremu np. w kluczach iButton nie trzeba stosować baterii
- zastosowanie tylko dwóch linii (GND i DQ, opcjonalnie V_{DD}), w tym jednej do transmisji danych
- łatwość podłączania kolejnych urządzeń – nie jest wymagana praktycznie żadna konfiguracja
- urządzenia komunikujące się przez 1-Wire są tanie i powszechnie dostępne