

## 5. Interfejs sieci czujników temperatury firmy Dallas

### 5.1. Ogólna charakterystyka

W sterowniku pogodowym podstawowym źródłem informacji jest temperatura mierzona na zewnątrz budynku, w pomieszczeniach mieszkalnych i w układzie grzewczym. Z tego powodu szczególny nacisk położony został na wybranie charakteryzujących się dobrymi parametrami, a zarazem niedrogich czujników temperatury.

Obecnie w technice grzewczej przeważają czujniki oparte na termometrze oporowym serii Pt (np. z termometrem oporowym Pt100, Pt1000). Czujniki te charakteryzują się bardzo szerokim zakresem mierzonych temperatur ( $-60^{\circ}\text{C}$  do  $400^{\circ}\text{C}$  dla czujnika z termometrem Pt100). Niestety nie należą one do tanich, a dodatkowo wymagają zewnętrznych układów zasilających oraz sterownika wyposażonego w wejścia analogowe. Odległość pomiędzy czujnikiem oporowym, a sterownikiem jest ograniczona ze względu na możliwość zakłócenia sygnału analogowego występującego w przewodach.

Innym rozwiązaniem są czujniki temperatury półprzewodnikowe. W tym przypadku elementem pomiarowym jest układ scalony. Ze względu na właściwości półprzewodników zakres pomiarowy tego rodzaju czujników jest znacznie mniejszy w porównaniu z czujnikami oporowymi (od  $-55^{\circ}\text{C}$  do  $150^{\circ}\text{C}$ ). Elementy pomiarowe czujników półprzewodnikowych są stosunkowo tanie, a dokładność zwykle nie przekracza  $0.5^{\circ}\text{C}$  w całym zakresie mierzonych temperatur. W technice grzewczej minimalna mierzona temperatura określana jest przez najmniejszą temperaturę występującą na zewnątrz budynku (w naszej strefie klimatycznej temperatura nie spada poniżej  $-30^{\circ}\text{C}$ ), a maksymalna związana jest z temperaturą występującą w układzie grzewczym (zwykle nie przekracza  $100^{\circ}\text{C}$ ). Czujniki temperatury półprzewodnikowe spełniają te założenia, więc również mogą być stosowane w domowych układach grzewczych.

Ze względu na charakter danych, jakie otrzymujemy z czujnika, dzielimy je na analogowe i cyfrowe. Na wyjściu czujników analogowych pojawia się napięcie lub prąd, który jest proporcjonalny do zmierzonej temperatury. Czujniki półprzewodnikowe posiadają w swej strukturze, oprócz elementu pomiarowego, zespół układów zapewniających dużą dokładność pomiaru oraz liniowość charakterystyki. Niestety tego rodzaju czujniki, tak samo jak czujniki z termometrami oporowymi, wymagają połączenia z mikrokontrolerem przy użyciu wejść analogowych lub zastosowania zewnętrznych przetworników analogowo – cyfrowych. Przykładem taniego czujnika półprzewodnikowego wyposażonego w wyjście analogowe napięciowe jest LM35. Czujnik ten jest powszechnie dostępny, a jego cena nie przekracza kilku złotych.

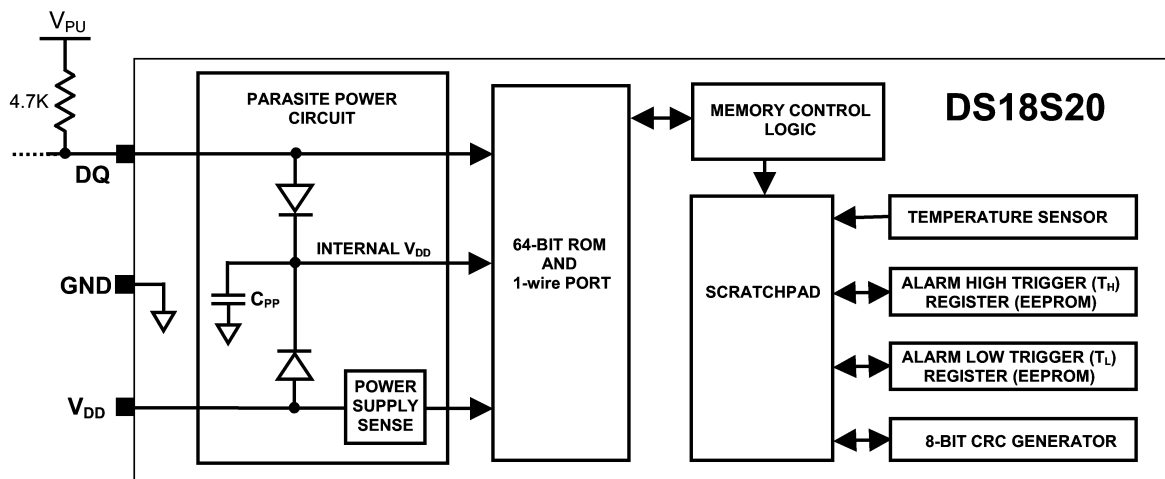
Inną grupę stanowią półprzewodnikowe czujniki temperatury z wyjściem cyfrowym. Czujniki te zawierają w sobie bloki czujników analogowych, przetwornik analogowo – cyfrowy oraz blok wspomagający komunikację z mikrokontrolerem. Zmierzona temperatura otrzymywana jest w postaci cyfrowej. Zintegrowanie wszystkich bloków układu pomiarowego w jednym urządzeniu sprawiło, że zdecydowano się umieścić tego rodzaju czujniki w sterowniku pogodowym. Obecnie na rynku istnieje wiele firm produkujących czujniki temperatury z wyjściem cyfrowym. Ze względu na dostępność, zadowalające parametry techniczne oraz przystępną cenę zdecydowano się na element typu DS18S20 produkowany przez firmę Dallas. Charakteryzuje się on następującymi parametrami:

- zakresem mierzonych temperatur od  $-55^{\circ}\text{C}$  do  $+125^{\circ}\text{C}$ ,

- dokładnością  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  przy temperaturach od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $+85^{\circ}\text{C}$ ,
- rozdzielczością przetwornika zapewniającą odczyt temperatury z dokładnością do  $0.5^{\circ}\text{C}$  oraz możliwością zwiększenia dokładności poprzez zastosowanie aproksymacji,
- możliwością pracy bez dodatkowych elementów zewnętrznych,
- zasilaniem poprzez oddzielną linię lub przy wykorzystaniu linii danych,
- interfejsem umożliwiającym komunikację z wieloma czujnikami przy użyciu tylko jednego przewodu i przewodu masy będącego punktem odniesienia (z ang. 1 – Wire Bus),
- możliwością dokonywania jednoczesnego pomiaru przez wszystkie czujniki podłączone do magistrali,
- dużą odpornością na zakłócenia.

## 5.2. Schemat blokowy czujnika temperatury

Schemat blokowy czujnika DS18S20 został przedstawiony na rysunku 5.2.1.



Rysunek 5.2.1. Schemat blokowy czujnika temperatury typu DS18S20

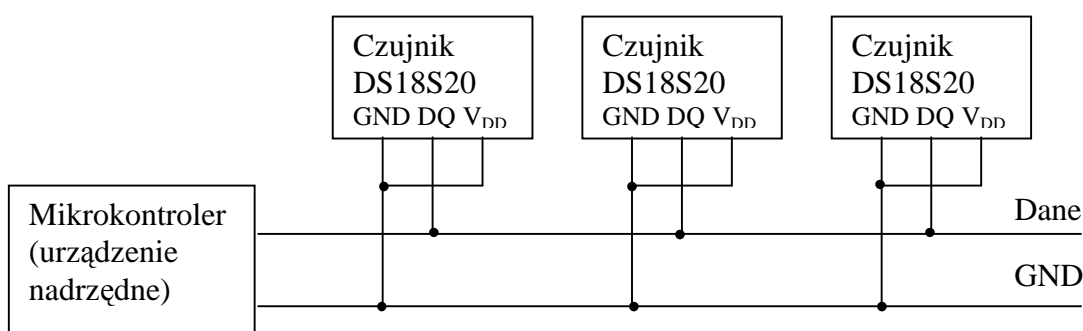
Układ scalony czujnika składa się z następujących elementów:

- elementu pomiarowego połączonego z przetwornikiem analogowo – cyfrowym,
- bloku pamięci przechowującego zmierzony wynik,
- generatora sumy kontrolnej CRC,
- bloków generujących alarm po przekroczeniu ustawionych granicznych wartości temperatur,
- bloku przechowującego adres czujnika,
- układu interfejsu szeregowej magistrali czujników,
- bloku zasilacza.

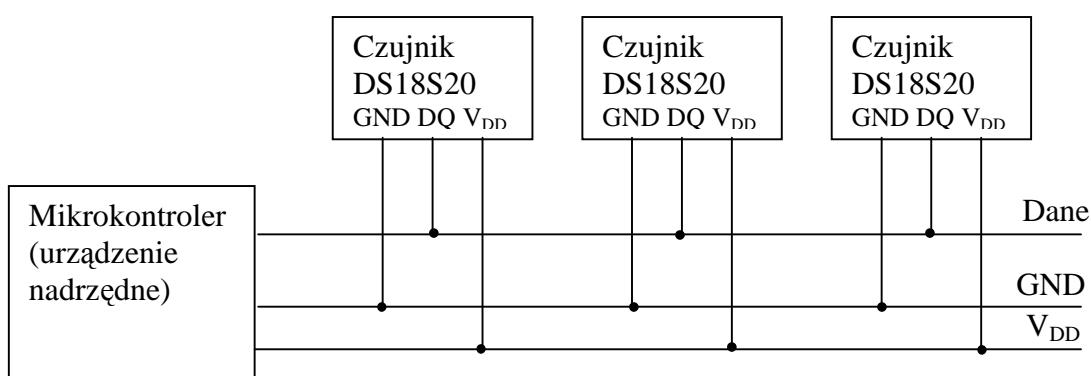
Element pomiarowy jest odpowiednikiem analogowego czujnika temperatury wyposażonego dodatkowo w przetwornik analogowo – cyfrowy. Wynik zmierzony przy pomocy przetwornika umieszczony zostaje w tymczasowej pamięci (z ang. scratchpad). Blok generatora oblicza automatycznie sumę kontrolną danych przechowywanych w bloku pamięci. Na żądanie mikrokontrolera dane mogą zostać odczytane z tymczasowej pamięci i wyprowadzone na szeregową magistralę.

Zastosowany w czujniku układ zasilania jest dość złożony. Przy korzystaniu z zewnętrznej linii zasilającej napięcie doprowadzone jest bezpośrednio do bloków czujnika. Problem pojawia się, gdy napięcie zasilania dostarczane jest tą samą linią, przy pomocy której odbywa się komunikacja z mikrokontrolerem. Normalnie, gdy magistrala jest nieaktywna, linia danych utrzymywana jest w stanie wysokim. W tym czasie napięcie będące na linii danych zasila układ czujnika. Podczas komunikacji linia danych przyjmuje przez pewien czas stan niski, który oznaczany jest na magistrali poprzez napięcie wynoszące 0V. Czujnik przestaje być zasilany. Dzięki temu, że został on wyposażony w wewnętrzny magazyn energii, praca czujnika w chwilach, gdy na magistrali jest stan niski, nie zostaje zakłócona. Podczas wysokiego stanu na magistrali ładowany jest do napięcia zasilania wewnętrzny kondensator. W okresie, gdy na magistrali istnieje stan niski, napięcie zasilania pobierane jest z wewnętrznego kondensatora. W celu zapewnienia poprawnej pracy czujnika muszą zostać zachowane zależności czasowe występujące na magistrali, a zwłaszcza maksymalny czas trwania stanu niskiego. Przekroczenie tego czasu może spowodować utratę zasilania przez czujniki podłączone do magistrali i jednocześnie zakłócić transmisję na magistrali. Blok zasilacza oprócz sterowania dopływem energii zajmuje się również jej zarządzaniem. Dzięki temu w czasie, gdy czujnik jest nieaktywny, pobiera maksymalnie 6μA prądu.

Rysunek 5.2.2 przedstawia sposób podłączenia czujników do magistrali przy użyciu dwóch linii, a rysunek 5.2.3 pokazuje, jak podłączyć czujniki do magistrali korzystając z trzech linii.



Rysunek 5.2.2. Podłączenie do magistrali czujników przy pomocy dwóch linii



Rysunek 5.2.3. Podłączenie do magistrali czujników przy pomocy trzech linii

W tym miejscu pragnę zwrócić uwagę, że do wspólnej magistrali mogą być jednocześnie podłączone czujniki zasilane przy pomocy dodatkowej linii oraz czujniki zasilane poprzez linię danych.

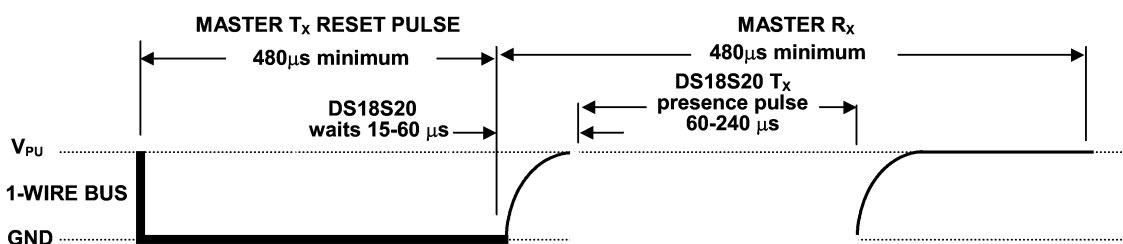
### 5.3. Sposób komunikacji pomiędzy czujnikami i sterownikiem

W poprzednim podrozdziale wspomniane zostało, że do wspólnej linii może być podpięta większa liczba czujników. Oznacza to, że czujniki te wyposażone zostały w mechanizmy sieciowe lub magistralowe. Każdy czujnik posiada sześćdziesięcioczerobitowy unikatowy adres nadany mu w procesie produkcji. Przy użyciu tego adresu nawiązywane jest połączenie z czujnikiem. Adres podzielony został na trzy pola:

- osiem bitów oznaczających rodzinę układów,
- 48-bitowe pole będące unikatowym numerem,
- ośmiobitowe pole będące sumą kontrolną obliczaną na podstawie poprzednich 56 bitów.

Ponieważ właściwy adres jest czterdziestoośmiobitowy, to teoretycznie do wspólnej magistrali może być podłączonych  $2^{48}$  czujników. Ze względu na fizyczne ograniczenia parametrów magistrali liczba ta jest znacznie mniejsza. Wybrany, poprzez podanie na magistralę właściwego adresu, czujnik oczekuje na rozkazy. Przy użyciu rozkazów mikrokontroler może zażądać zmierzenia temperatury, a także wystawienia na magistralę jej wyniku.

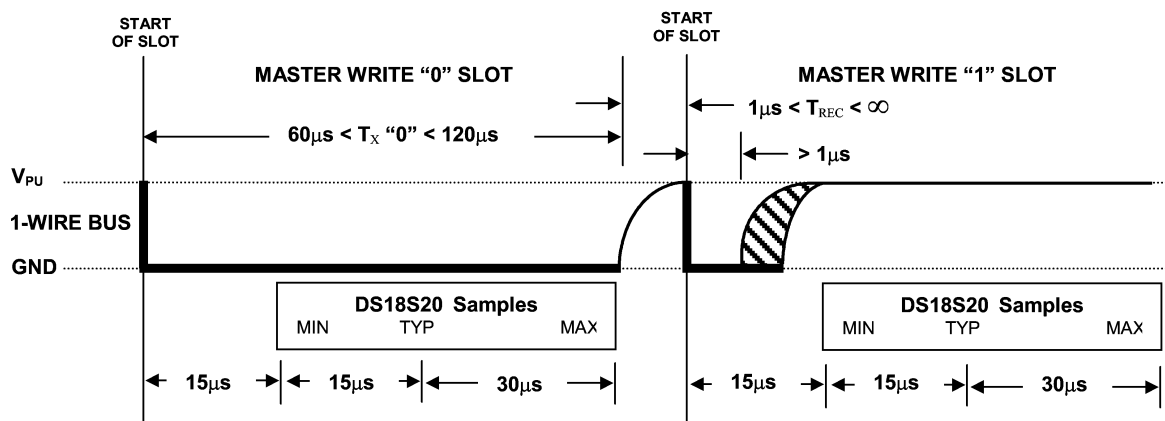
W porównaniu z opisaną w rozdziale dotyczącym wejść analogowych magistralą szeregową SPI, magistrala czujników Dallas jest znacznie bardziej skomplikowana. Wynika to z braku sygnału zegarowego wyznaczającego momenty kolejnych odczytów bitów pojawiających się na linii danych. Ze względu na brak sygnału zegarowego bity na magistrali Dallas zostały w odpowiedni sposób zakodowane. Magistrala Dallas jest magistralą typu Master-Slave. Oznacza to, że każde połączenie z czujnikiem musi zostać zainicjowane poprzez urządzenie nadrzędne (w naszym przypadku mikrokontroler). Transmisja zawsze rozpoczyna się podaniem na magistralę przez urządzenie nadrzędne przebiegu inicjującego. Przebieg ten ustawia w stan oczekiwania czujniki. Jest on konieczny ze względu na możliwość nie zakończenia poprzedniej transmisji i jednoczesnego znajdowania się magistrali w stanie przypadkowym. Przebieg inicjujący został przedstawiony na rysunku 5.3.1.



Rysunek 5.3.1. Przebieg czasowy podczas inicjacji połączenia na magistrali Dallas

Połączenie rozpoczyna urządzenie nadrzędne podając na linię magistrali stan niski na okres minimum 480µs. Po tej operacji znajdujące się na magistrali czujniki wprowadzają na pewien okres magistralę w stan niski. Poprzez ten zabieg czujniki informują urządzenie nadrzędne, że znajdują się na magistrali i przeprowadziły operację zerowania swych wewnętrznych układów. W tym momencie wszystkie czujniki znajdują się w stanie oczekiwania na zaadresowanie i wykonanie zadanego rozkazu.

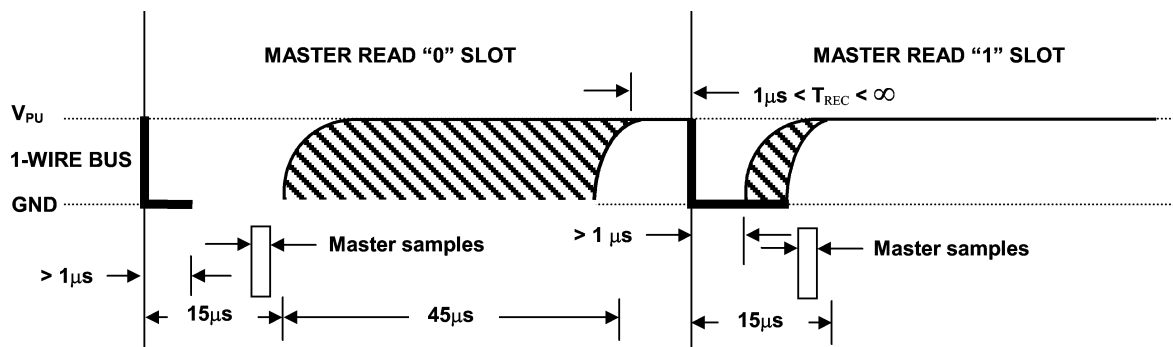
Bity adresu i rozkazów przesyłane są po magistrali w sposób zakodowany. Na rysunku 5.3.2. przedstawione zostały przebiegi występujące na magistrali podczas wysyłania bitu zero i jeden do czujnika temperatury.



Rysunek 5.3.2. Przebiegi czasowe przedstawiające zapis bitu do czujnika temperatury

Wysłanie bitu zero polega na ustawieniu magistrali w stan niski na okres  $60\mu\text{s}$ , a wysłanie bitu jeden odbywa się poprzez ustawienie magistrali w stan niski przez okres  $1\mu\text{s}$ . Po  $15\mu\text{s}$  od momentu ustawienia magistrali w stan niski, czujnik temperatury sprawdza stan magistrali. Jeśli na magistrali podczas sprawdzania zostanie odczytany stan wysoki, to czujnik przyjmie bit o wartości jeden. W przeciwnym przypadku zostanie przyjęty bit o wartości zero.

Odczyt danych z czujnika odbywa się na podobnej zasadzie. Przebiegi czasowe podczas odczytu z czujnika temperatury bitu zero i jeden zostały przedstawione na rysunku 5.3.3.



Rysunek 5.3.3. Przebiegi czasowe przedstawiające odczyt bitu z czujnika temperatury

Odczyt każdego pojedynczego bitu inicjowany jest przez urządzenie nadrzędne poprzez ustawienie magistrali w stan niski na okres  $1\mu\text{s}$ . Po tym czasie urządzenie nadrzędne zwalnia magistralę, a czujnik, z którym odbywa się transmisja, wyprowadza bit na magistralę. Bit o wartości zero lub jeden jest utrzymywany na magistrali przez okres  $15\mu\text{s}$ . Ze względu na pojemności magistrali powinien on zostać odczytany przez urządzenie nadrzędne pod koniec tego okresu.

Podczas odczytu na magistrali Dallas widać wyraźną analogię inicjacji dokonywanej poprzez urządzenie nadrzędne do wygenerowania jednego taktu zegarowego w czasie odczytu na magistrali szeregowej SPI.

Bity zapisywane i odczytywane są rozpoczynając od najmłodszego. Powyższa uwaga dotyczy również transmisji kilku bajtów jednocześnie.

## 5.4. Rozkazy przyjmowane przez czujniki temperatury

### 5.4.1. Rozkazy związane z pracą magistrali Dallas

Bezpośrednio za przebiegiem inicjującym połączenie musi zostać wysłane jedno z pięciu poleceń:

- odszukania nieznanych czujników na magistrali (z ang. Search ROM),
- odczytania adresu jednego czujnika (z ang. Read ROM),
- zaadresowania czujnika o podanym adresie (z ang. Match ROM),
- zaadresowania wszystkich czujników (z ang. Skip ROM),
- odszukania czujników wysyłających alarm o przekroczeniu ustalonych wcześniej zakresów temperatur (z ang. Alarm search).

Adres nowo podłączonego do magistrali czujnika musi być wcześniej odczytany, gdyż producent dostarczając go nie podaje takiej informacji. Do odszukania czujników i odczytania ich adresów służy polecenie *Search ROM*. Bezpośrednio po wysłaniu na magistralę polecenia rozpoczyna się proces odnajdywania czujników metodą eliminacji. Urządzenie odczytuje bit po bicie adres jednego z czujników występującego na magistrali, przy czym na początku wszystkie czujniki odpowiadają na sygnał odczytu. Każdy bit odczytywany jest dwukrotnie: jako prosty i jako zanegowany. Odczytana para jeden i zero oznacza, że bit adresu wynosi jeden. Jeżeli zostanie odczytana para zero i jeden, to odczytany bit jest zerem. W przypadku odczytania dwóch zer urządzenie zostaje poinformowane, że wystąpił konflikt na magistrali, czyli że zgłosiły się dwa lub więcej czujników mających różne wartości bitów na odczytywanej pozycji. Pojawienie się dwóch zer związane jest z tzw. „iloczynem na drucie”. Jeżeli wśród czujników wystawiających na tę samą linię wartość jeden pojawi się tylko jedno wystawiające wartość zero, to wymusi ono na magistrali stan zero. Po odczytaniu wartości prostej i zanegowanej bitu, urządzenie nadrzędne musi potwierdzić odbiór. Jeżeli odebrał parę dwóch bitów o różnych wartościach, to sprawa staje się prosta gdyż wysyła zero lub jeden w zależności od tego, co otrzymał przy odbiorze bitu w postaci niezanegowanej. W przypadku odebrania dwóch zer urządzenie nadrzędne może potwierdzić odbiór zerem lub jedyneką. Wybierając zero urządzenie nadrzędne eliminuje wszystkie czujniki mające jeden na aktualnie odczytywanej pozycji bitów. Przy wybraniu jedynki sytuacja jest odwrotna – odrzucane są czujniki mające na tej pozycji bit o wartości zero. Wylimitowane czujniki wyłączają się i nie biorą już udziału w dalszym odczycie bitów adresu. Przy odczycie następnych bitów urządzenie nadrzędne odrzuca kolejne grupy czujników, aby wreszcie po odczytaniu ostatniego sześćdziesiątego czwartego bitu wyodrębnić tylko jeden adres. Po sprawdzeniu poprawności sumy kontrolnej CRC adres czujnika zostaje zapamiętany. W celu odnalezienia kolejnego adresu cała procedura musi zostać przeprowadzona od początku, rozpoczynając się przebiegiem inicjującym transmisję. Następne poszukiwania dokonywane są przy znajomości poprzednio znalezionej wartości adresu i wiedzy na temat bitów, na których występował konflikt. Pełny algorytm odszukiwania wszystkich czujników podłączonych do magistrali znajduje się w dokumentacji.

W przypadku, gdy jesteśmy pewni, że do magistrali podłączony jest tylko jeden czujnik, w celu odczytania jego adresu możemy skorzystać z polecenia *Read ROM*. Po wysłaniu polecenia czujnik zwraca w sposób bezpośredni swój 64-bitowy adres.

Rozkaz *Match ROM* umożliwia zaadresowanie konkretnego czujnika. Bezpośrednio za rozkazem urządzenie nadrzędne wysyła adres czujnika, który ma zostać zaadresowany. Po tej operacji wybrany czujnik gotowy jest na dalsze polecenia związane z konfiguracją lub zmierzeniem i odczytem temperatury.

Często bardzo ważna jest chwila zmierzenia temperatury. W celu wydania polecenia zmierzenia temperatury do wszystkich czujników znajdujących się na magistrali wysyłane jest polecenie *Skip ROM*. W przypadku większej liczby czujników znajdujących się na magistrali wydanie innego polecenia, niż zmierzenia temperatury, spowoduje kolizję danych. Polecenie *Skip ROM* może być również wykorzystywane do zaadresowania pojedynczego czujnika w przypadku, gdy tylko on przyłączony jest do magistrali.

Ostatnie polecenie o nazwie *Alarm Search* umożliwia odnalezienie czujników wysyłających alarm o przekroczeniu zakresów temperatur wcześniej zdefiniowanych przez użytkownika. Każdy czujnik posiada dwa ośmiobitowe rejestry przechowujące informację o dopuszczalnych krańcowych temperaturach (w żaden sposób nie związanych z fizycznym zakresem temperatur, jakie czujnik może mierzyć). Jeżeli podczas pomiaru okaże się, że jedna z granic wyznaczonych przez wartości zapisane w rejestrach zostanie przekroczona, to czujnik zachowa tę informację do następnego pomiaru. Przy pomocy polecenia *Alarm Search* mogą zostać odnalezione wszystkie czujniki posiadające informację o przekroczeniu wyznaczonego zakresu. Formuła odszukiwania jest taka sama, jak w przypadku polecenia *Search ROM*. Urządzenie nadrzędne w kolejnych podejściach metodą eliminacji odnajduje adresy czujników temperatur, na których wystąpił alarm o przekroczeniu zdefiniowanych zakresów. Zdefiniowane zakresy pamiętane są przez czujnik, nawet po wyłączeniu zasilania. Czujniki temperatury wyposażone zostały w wielokrotnie programowaną pamięć EEPROM, w której przechowywana jest kopia zakresów temperatur zdefiniowanych przez użytkownika. W momencie podłączenia do czujnika zasilania, informacja jest przepisywana z pamięci EEPROM do wewnętrznych rejestrów.

#### 5.4.2. Rozkazy dotyczące pracy wybranego czujnika

Czujnik, który wcześniej został zaadresowany, oczekuje na wydanie mu jednego z sześciu poleceń:

- uruchomienia odczytu temperatury i przetworzenia wyniku na postać cyfrową (z ang. *Convert T*),
- odczytania wewnętrznych rejestrów przechowujących informację o zmierzonej temperaturze (z ang. *Read scratchpad*),
- zapisania do rejestrów wartości granicznych zdefiniowanych przez użytkownika, po przekroczeniu których generowany jest alarm (z ang. *Write scratchpad*),
- przepisania do pamięci EEPROM zawartości wewnętrznych rejestrów dotyczących dopuszczalnych zakresów temperatur (z ang. *Copy scratchpad*),
- wczytania do wewnętrznych rejestrów informacji zawartej w pamięci EEPROM (z ang. *Recall E<sup>2</sup>*),
- sprawdzenia rodzaju zasilania dla wybranego czujnika (z ang. *Read power supply*).

Polecenie *Convert T* powoduje zmierzenie aktualnej temperatury i przeprowadzenie konwersji wyniku na postać cyfrową. Wynik zapisywany jest w wewnętrznym rejestrze czujnika. Czas, po którym w rejestrze znajduje się informacja o zmierzonej temperaturze, jest bardzo długi i wynosi maksimum 750ms.

Bezpośrednio po konwersji informacja o zmierzonej temperaturze może zostać odczytana przez urządzenie nadrzędne. Odczytanie wewnętrznych rejestrów odbywa się poprzez wydanie polecenia *Read scratchpad*. Po wydaniu tego polecenia zaadresowany czujnik rozpocznie wyprowadzanie na magistralę bitów. W sumie urządzenie nadrzędne musi odczytać 64-bity danych. Poniższy rysunek przedstawia strukturę danych przekazywaną urządzeniu nadrzędnemu w odpowiedzi na rozkaz *Read scratchpad*.

| SCRATCHPAD (Power-up State) |   |
|-----------------------------|---|
| byte 0                      | Temperature LSB (AAh) } (85°C)          |
| byte 1                      | Temperature MSB (00h) }                 |
| byte 2                      | T <sub>H</sub> Register or User Byte 1* |
| byte 3                      | T <sub>L</sub> Register or User Byte 2* |
| byte 4                      | Reserved (FFh)                          |
| byte 5                      | Reserved (FFh)                          |
| byte 6                      | COUNT REMAIN (0Ch)                      |
| byte 7                      | COUNT PER °C (10h)                      |
| byte 8                      | CRC*                                    |

Rysunek 5.4.2. Struktura danych przekazywana przez czujnik temperatury DS18S20

Pierwsze dwa bajty przekazywane do urządzenia nadrzędnego zawierają wartość temperatury zapisaną w kodzie uzupełnień do dwóch, przy czym najmniej znaczący bit określa zmianę o 0.5°C. Wzór umożliwiający przeliczenie otrzymanej szesnastobitowej liczby całkowitej ze znakiem na wartość temperatury wygląda następująco:

$$T = 0.5D_{IN} ,$$

gdzie:

T [°C] – wartość zmierzonej temperatury,

D<sub>IN</sub> – szesnastobitowa liczba ze znakiem odczytana z czujnika, określająca zmierzona temperaturę.

Korzystając z powyższego wzoru otrzymuje się wynik z rozdzielczością wynoszącą 0.5°C. W celu uzyskania dokładniejszego wyniku można posłużyć się dodatkowo szóstym i siódmym bajtem zwracanym podczas odczytu wewnętrznych rejestrów. Dane te zawierają licznik reszty i licznik przypadający na stopień Celsjusza. Umożliwiają one uzyskanie dokładniejszego wyniku poprzez zastosowanie aproksymacji. Najbardziej precyzyjny wynik pomiaru temperatury można otrzymać posługując się następującym wzorem:

$$T = 0.5D_{IN} - 0.25 + \frac{COUNT\_PER\_C - COUNT\_REMAIN}{COUNT\_PER\_C} ,$$

gdzie:

T [°C] – zmierzona temperatura,

D<sub>IN</sub> – szesnastobitowa liczba ze znakiem odczytana z czujnika, określająca zmierzona temperaturę,

COUNT\_PER\_C – wartość licznika przypadająca na 1°C,

COUNT\_REMAIN – wartość licznika reszty.

Podczas stosowania powyższego wzoru nie należy wyciągać wniosków, że wynik rzeczywiście tyle wynosi. Dokładność opisywanych czujników wynosi ±0.5°C. Oznacza to, że uzyskany dokładniej wynik może jedynie posłużyć do określenia tendencji zmian mierzonej temperatury, a nie do precyzyjnego określenia jej wartości. Dwa bajty odczytane bezpośrednio za szesnastobitową liczbą określającą temperaturę odnoszą się do rejestrów



przechowujących wartości graniczne temperatur. W pierwszym bajcie zwracana jest górna granica zakresu, natomiast w drugim dolna. Ostatni dziewiąty bajt jest sumą kontrolną obliczoną w oparciu o wszystkie wcześniej odczytane bajty.

Polecenie *Write Scratchpad* umożliwia zapisanie do wewnętrznych rejestrów wartości granicznych mierzonych temperatur, po przekroczeniu których czujnik znajduje się w stanie alarmu. Po wydaniu polecenia, urządzenie nadrzędne wysyła dwa bajty dotyczące górnej i dolnej granicy. W celu trwałego zapamiętania ograniczeń powinno zostać wydane polecenie *Copy scratchpad*. Polecenie to powoduje przepisanie do pamięci EEPROM zawartości wewnętrznych rejestrów przechowujących informację o ograniczeniach.

Często istnieje potrzeba zdobycia informacji na temat sposobu zasilania czujników podłączonych do magistrali. Taka informacja może być ważna przed przystąpieniem do wydania rozkazu dotyczącego wykonania pomiaru temperatury przez wszystkie czujniki. Wydanie powyższego polecenia czujnikom czerpiącym zasilanie z linii danych może spowodować zbyt duże jej obciążenie, obniżenie napięcia na niej poniżej dolnej granicy i w rezultacie otrzymanie błędnych wyników pomiaru. Do sprawdzenia źródła zasilania czujnika służy rozkaz *Read power supply*. Po wysłaniu rozkazu czujnik zwraca do urządzenia nadrzędnego tylko jeden bit. Jeśli jego wartość wynosi zero, to czujnik zasilany jest poprzez linię danych, w przeciwnym wypadku czujnik czerpie energię przy użyciu oddzielnej linii.

## **5.5. Ograniczenia narzucone na parametry magistrali**

Zarówno w sterowniku pogodowym, jak i w module radiowym rolę magistrali pełni wyprowadzona na zewnątrz linia portu wejścia/wyjścia. Linia została podciągnięta do napięcia zasilania przy użyciu rezystora o wartości  $1k\Omega$ . Prąd płynący przez rezystor jest źródłem zasilania dla podłączonych do magistrali czujników. Jeśli istnieje większa liczba czujników, które zasilane są poprzez linię danych, to polecenie jednoczesnego wykonywania pomiaru przez wszystkie czujniki nie może być wykonane.

Maksymalna liczba czujników podłączonych do magistrali, a także maksymalna jej długość, głównie związane są z dopuszczalną pojemnością, jaka może wystąpić na magistrali. Wraz ze wzrostem pojemności zwiększają się opóźnienia. Po przekroczeniu dopuszczalnej granicy opóźnień komunikacja na magistrali przestaje działać. Oczywiście jest możliwe zwielokrotnienie liczby czujników podłączonych do wspólnej magistrali poprzez użycie buforów.