

## ZDALNY POMIAR TEMPERATURY

Piotr WOŹNIAK<sup>1</sup>, Krzysztof PACHOLSKI<sup>2</sup>, Bartosz DOMINIKOWSKI<sup>3</sup>

1. Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki  
tel.: 42 631 25 18 e-mail: piotr.wozniak.1@p.lodz.pl
2. Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki  
tel.: 42 631 25 24 e-mail: kpacholski@o2.pl
3. Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki  
tel.: 42 631 25 17 e-mail: bartosz.dominikowski@p.lodz.pl

**Streszczenie:** W artykule opisano mikroprocesorowy system pomiarowy przeznaczony do zdalnego pomiaru temperatury. System składa się nadajnika mierzącego temperaturę oraz odbiornika wizualizującego wartość temperatury na wyświetlaczu LCD. Przesyłanie danych odbywa się za pośrednictwem transmisji radiowej na częstotliwości 433 MHz. Pierwsza część artykułu zawiera krótki wstęp poruszający kwestię komunikacji bezprzewodowej. Kolejne punkty zawierają opis zastosowanych elementów, sposób wykonania układu pomiarowego, oraz zasadę jego działania. Na zakończenie przedstawiona została weryfikacja działania wykonanego układu, zbadano zasięg w zależności od typu anteny oraz napięcia zasilającego układ pomiarowy.

**Słowa kluczowe:** pomiar temperatury, transmisja bezprzewodowa, system pomiarowy, mikrokontroler.

### 1. WSTĘP

Komunikacja bezprzewodowa wykorzystująca fale elektromagnetyczne rozchodzące się w otaczającej nas wolnej przestrzeni obecnie jest bardzo rozpowszechniona. Do dyspozycji mamy sieci o różnym zasięgu. Począwszy od sieci o zasięgu globalnym które umożliwiają połączenia na bardzo dużych odległościach, a kończąc na sieciach wykorzystujących częstotliwości radiowe lub fale podczerwieni umożliwiające połączenia krótkiego zasięgu [1].

Wykorzystywanie technologii bezprzewodowych w obecnych czasach jest dominującym trendem w przemyśle. Znalazły one zastosowanie w systemach bezpieczeństwa, systemach sterowania i automatyki, systemach pomiarowych oraz transmisji i akwizycji danych. Komunikacja bezprzewodowa towarzyszy nam również w życiu codziennym. Bardzo popularne obecnie są systemy monitorowania i zarządzania inteligentnymi budynkami a także systemy alarmowe oraz przeciwpożarowe wykorzystujące radiową transmisję bezprzewodową [2].

Szybki rozwój procesów przemysłowych wymaga stosowania coraz to bardziej zaawansowanych systemów pomiarowych. Ciągła kontrola parametrów procesów technologicznych takich jak temperatura czy ciśnienie jest bardzo istotna. Bardzo często spotykane są sytuacje gdzie dochodzi do zatrzymania procesu produkcyjnego, a nawet do awarii lub pożaru. Ciągły nadzór parametrów pracy szaf sterowniczych, instalacji elektrycznych i wielu innych

podzespołów pozwala na szybką interwencję co pozwala zapobiec sytuacjom niebezpiecznym. Korzystanie z systemów bezprzewodowej transmisji danych jest niezwykle wygodne w tego typu zastosowaniach. Głównymi zaletami są: redukcja okablowania, mobilność, łatwość instalacji, łatwość rozbudowy oraz duży zasięg. Niniejszy artykuł dotyczy zagadnień związanych z bezprzewodową transmisją sygnałów pomiarowych [3].

Celem artykułu jest przedstawienie prostego i taniego bezprzewodowego systemu pomiarowego przeznaczonego do pomiaru temperatur z wykorzystaniem transmisji radiowej o częstotliwości 433 MHz. Głównym założeniem przy projektowaniu tego układu było wykorzystanie mikrokontrolera z rodziny AVR oraz bardzo popularnych modułów transmisji radiowej typu RF 433.

### 2. WYKORZYSTANE TECHNOLOGIE

#### 2.1. Mikrokontroler ATmega8

W systemie zastosowano mikrokontroler ATmega8 produkowany przez firmę Atmel. Układ ten został stworzony głównie z myślą o językach programowania wysokiego poziomu. Wyposażono go w elastyczny i bardzo wygodny w programowaniu rdzeń. Opiera się on na architekturze RISC (ang. Reduced Instruction Set Computer). Oznacza to mikrokontroler o zredukowanej liście rozkazów. Rdzenie tego typu nie dają możliwości przeprowadzania operacji arytmetyczno-logicznych bezpośrednio na zawartości pamięci danych. Umożliwiają za to szybszą pracę mikroprocesora z większą liczbą rejestrów roboczych. Układ scalony ATmega8 ma 28 pinów z czego 23 to linie We/Wy ogólnego przeznaczenia, zgrupowane w 3 porty 8-bitowe [4].

#### 2.2. Termometr cyfrowy DS18B20

W układzie pomiarowym wykorzystano cyfrowy termometr DS18B20 produkowany przez firmę Maxim Integrated Products, Inc. Jest to termometr o programowanej rozdzielczości w zakresie od 9 do 12 bitów i zakresie pomiarowym zawierającym się w przedziale od -55 C do +125 C. Dokładność deklarowana przez producenta wynosi  $\pm 0.5$  C dla temperatur od -10 C do +85 C. Układ komunikuje się z mikrokontrolerem nadzorującym pracę systemu przez

magistralej jedнопроводовой 1-Wire. Do pracy czujnika wymagane jest podłączenie wyłącznie linii sygnałowej oraz masy. Każdy termometr DS18B20 ma własny unikalny na całym świecie 64-bitowy numer seryjny. Pozwala to zidentyfikować czujnik w sytuacji gdy do magistrali podłączonych jest ich więcej niż jeden [5].

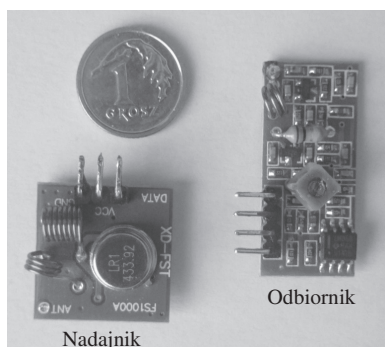
### 2.3. Magistrala 1-Wire

Magistrala ta opiera się na architekturze: jedno urządzenie Master oraz wiele urządzeń Slave. Jeśli w systemie występuje tylko jedno urządzenie typu Slave, mówimy wówczas o konfiguracji „single-drop”. W przypadku gdy w systemie jest wiele urządzeń typu Slave konfiguracja nazywa się „multi-drop”

Magistrala 1-Wire jak wskazuje nazwa posiada tylko jedną linię danych. Wszystkie urządzenia w systemie są połączone przez OD (open drain) czyli otwarty dren lub port trójstanowy. Umożliwia to każdemu z urządzeń zwolnienie magistrali w czasie kiedy nie transmituje lub odbiera dane, co z kolei pozwala na przejęcie przez pozostałe urządzenie kontroli nad magistralą [5].

### 2.4. Moduły komunikacji bezprzewodowej

Do komunikacji bezprzewodowej termometru z otoczeniem wykorzystano ogólnodostępne moduły RF 433. Są to układy bardzo proste, uniwersalne i tanie. Za ich pośrednictwem można transmitować niewielkie porcje danych. Maksymalna prędkość transmisji danych wynosi około 10KB/s. Dlatego moduły zastosowano w projektowanym systemie. Rysunek nr 1 przedstawia omawiane układy RF 433.



Rys. 1. Nadajnik oraz odbiornik RF 433

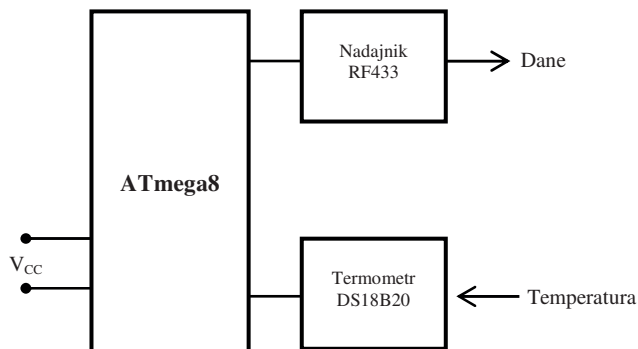
Częstotliwość nadawania zastosowanych modułów RF 433 wynosi 433 MHz i znajduje się w paśmie ISM (ang. Industrial, Scientific, Medical – „przemysłowe, naukowe, medyczne”). Wadą tych układów jest ich jednokierunkowość więc jeżeli chcielibyśmy skorzystać z transmisji dwukierunkowej konieczne byłoby zastosowanie dodatkowej pary nadajnik-odbiornik. Nadajnik może być zasilany napięciem z przedziału 3,5-12 V, pobór prądu wówczas zawiera się w przedziale od 9 mA do 40 mA. Zastosowanie wyższego napięcia oznacza uzyskanie większych zasięgów. Napięcie zasilania odbiornika wynosi 5 V, pobór prądu ma wówczas wartość 6 mA. Zasięg deklarowany przez producenta wynosi 200 m w terenie otwartym oraz do 40m w terenie zabudowanym.

## 3. BUDOWA UKŁADU

### 3.1. Nadajnik

Układ składa się z dwóch modułów. Pierwszy z nich odpowiada za pomiar temperatury i nadawanie sygnału.

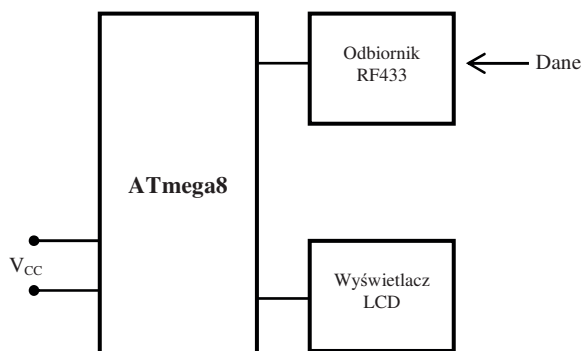
Zmierzona wartość temperatura przez termometr cyfrowy DS18B20 wysyłana jest do mikrokontrolera ATmega8 magistralą 1-Wire a następnie interfejsem USART do nadajnika RF 433. Rysunek 2 przedstawia schemat blokowy układu nadajnika.



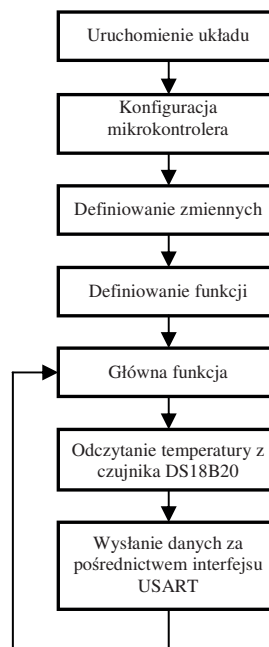
Rys. 2. Schemat blokowy nadajnika

### 3.2. Odbiornik

Drugi moduł odpowiada za odbiór sygnału oraz wizualizację zmierzonej wartości temperatury. W odbiorniku również układem zarządzającym jest mikrokontroler ATmega8. Odebrany sygnał przekazywany jest za pośrednictwem interfejsu USART do pamięci mikrokontrolera. Następnie odebrana wartość temperatury wizualizowana jest na wyświetlaczu LCD. Rysunek 3 przedstawia schemat blokowy odbiornika.



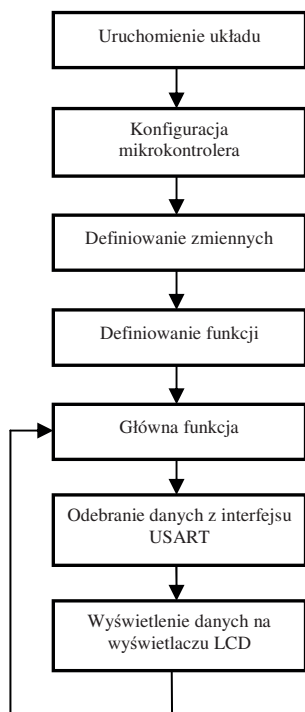
Rys. 3. Schemat ideowy odbiornika



Rys. 4. Algorytm programu nadajnika

### 3.3. Oprogramowanie mikrokontrolerów

Mikrokontroler sterujący pracą nadajnika oraz odbiornika zaprogramowany został za pośrednictwem interfejsu SPI i programatora USBasp. Jest to jeden z najpopularniejszych sposobów programowania mikrokontrolerów z rodziny AVR. Interfejs SPI wykorzystuje trzy linie sygnałowe: MISO (szeregowe wyjście), MOSI (szeregowe wejście), SCK (linia zegarowa). Kod programu nadajnika oraz odbiornika został napisany w języku C. Rysunki 4 oraz 5 przedstawiają algorytm programu nadajnika i odbiornika.



Rys. 5. Algorytm programu odbiornika

### 4. WERYFIKACJA PRACY UKŁADU

Za pomocą układu pomiarowego przeprowadzono serię testów które miały na celu sprawdzenie jego funkcjonalności oraz możliwości transmisyjnych. Układ przetestowano w terenie zabudowanym oraz na otwartej przestrzeni. Nadajnik oraz odbiornik wyposażono w anteny prętowe o długości 15 cm i średnicy 0,5 mm<sup>2</sup>. Pierwszy test polegał na zwiększaniu dystansu między nadajnikiem a odbiornikiem ze skokiem 2,5 m. Program obydwu urządzeń został tak napisany, aby podczas transmisji występowało jak najmniej błędów. Oprócz wartości temperatury z nadajnika wysyłany jest znak kontrolny który oznacza początek transmisji. Odbiornik jest zaprogramowany tak, aby odbierać dane jedynie, gdy dotrze do niego znak kontrolny. Informacje wysyłane z nadajnika do odbiornika mają postaci tablicy trzy elementowej. Pierwszy z nich to znak kontrolny, drugi to wartość całkowita a ostatni to wartość dziesiąta mierzonej temperatury. Przy takiej konfiguracji w terenie zabudowanym pogorszenie odbieranego sygnału wystąpiło przy dystansie ok 20 m. Objawiało się to zmniejszeniem częstości odbieranych wartości pomierzonej temperatury. Co świadczy że wysyłany sygnał nie docierał do odbiornika lub dane ulegały zniekształceniu w wyniku tłumienia i zakłóceń a znak kontrolny miał inną wartość. Przy dystansie 22,5 m oprócz mniejszej częstości odbieranych danych, zaczęły występować błędy pomiaru. Odbiornik pokazywał wartości temperatury rzędu 1000 °C gdy rzeczywista wartość wynosiła

22 °C. Po zwiększeniu odległości do 25 m pomiar był całkowicie niemożliwy. Odbiornik nie odbierał żadnych danych. Po pierwszej serii testów zastosowano antenki prętowe o długości 25 cm i przekroju 0,5 mm<sup>2</sup>. W tej sytuacji pogorszenie odbieranego sygnału wystąpiło przy odległości ok 27,5 m. Błędy pomiaru zaczęły pojawiać się przy dystansie ok 32,5 m. Zanik transmisji wystąpił przy odległości ok 37,5 m. Dalsze zwiększanie długości anten nie wpływało na poprawę transmisji. Wyniki testów zawiera tabela 1

Tablica 1. Wyniki testu w terenie zabudowanym

|             |    | Dystans między odbiornikiem a nadajnikiem [m] |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
|-------------|----|-----------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|             |    | 5                                             | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 | 105 | 110 |
| Antena [cm] | 15 | A                                             | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | B  | B  | C  | C  | C  | D  | D   | D   | D   |
|             | 25 | A                                             | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | B  | B  | C  | C   | C   | D   |
|             | 35 | A                                             | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | A  | B  | C  | C   | C   | D   |

- A – Brak zakłóceń transmisji
- B – Zmniejszenie częstości odbieranych danych
- C – Pojawienie się błędów pomiaru
- D – Zanik transmisji

Kolejną serię testów przeprowadzono w otwartej przestrzeni. Ponownie wykonano pomiary dla trzech różnych długości anten. Tym razem odległość była zmieniana ze skokiem 5 m. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 2.

Tablica 2. Wyniki testu w terenie otwartym

|             |    | Dystans między odbiornikiem a nadajnikiem [m] |   |     |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |      |    |
|-------------|----|-----------------------------------------------|---|-----|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|
|             |    | 2,5                                           | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 | 20 | 22,5 | 25 | 27,5 | 30 | 32,5 | 35 | 37,5 | 40 |
| Antena [cm] | 15 | A                                             | A | A   | A  | A    | A  | A    | B  | C    | D  | D    | D  | D    | D  | D    | D  |
|             | 25 | A                                             | A | A   | A  | A    | A  | A    | A  | A    | A  | B    | B  | C    | D  | D    | D  |
|             | 35 | A                                             | A | A   | A  | A    | A  | A    | A  | A    | A  | B    | B  | C    | D  | D    | D  |

Tablica 3. Wyniki pomiarów dla nadajnika zasilanego napięciem 5V

|             |    | Dystans między odbiornikiem a nadajnikiem [m] |   |     |    |      |    |      |
|-------------|----|-----------------------------------------------|---|-----|----|------|----|------|
|             |    | 2,5                                           | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 |
| Antena [cm] | 15 | A                                             | A | A   | B  | C    | D  | D    |
|             | 25 | A                                             | A | A   | A  | B    | C  | D    |
|             | 35 | A                                             | A | A   | A  | B    | C  | D    |

Trzeci test sprawdzał wpływ poziomu napięcia zasilania nadajnika na zasięg systemu pomiarowego. Zastosowany nadajnik może być zasilany napięciem z zakresu od 5 do 12 V. Docelowo jak i w poprzednich testach moduł nadajnika RF433 był zasilany napięciem 9 V bezpośrednio z baterii, pozostała część układu tj. mikrokontroler i termometr DS18B20 zasilano napięciem 5 V obniżonym za pośrednictwem stabilizatora scalonego

LM7805. W tym teście moduł nadajnika został również zasilony napięciem obniżonym o wartości 5 V. Wyniki testów zamieszczono w tabeli 3.

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Niniejszy artykuł miał na celu przedstawienie prostego oraz taniego systemu mikroprocesorowego do bezprzewodowego pomiaru temperatury z wykorzystaniem częstotliwości 433 MHz. Po przeprowadzonych badaniach widać że zastosowane moduły RF 433 mają stosunkowo duży zasięg. Nadajnik można zasilac napięciem z zakresu od 3,5 V do 12 V. W badanym przypadku napięcie zasilania miało wartość 9 V, dlatego nie udało się osiągnąć zasięgów podanych przez producenta. Obniżenie napięcia zasilania nadajnika do wartości 5V spowodowało znaczne pogorszenie zasięgu stworzonego systemu. Przy tak małych odległościach wyniki dla terenu otwartego jak i zabudowanego były identyczne. Przy zasilaniu napięciem 12 V parametry prawdopodobnie byłyby zbliżone do katalogowych. Stworzony system działa poprawnie i może być stosowany do kontroli temperatury na dystansie nie przekraczającym 25 m dla terenu zabudowanego oraz 80 m dla terenu otwartego. System ten daje możliwość łatwej rozbudowy. Można swobodnie zwiększyć ilość punktów pomiarowych przez zastosowanie większej ilości

nadajników z sensorami. Dodatkowo konieczna będzie modyfikacja kodu programu odbiornika. Każdy z nadajników musi mieć unikalny bit kontrolny który będzie rozpoznawany przez odbiornik. Wykorzystany mikrokontroler produkowany jest od wielu lat, jednak mimo to ma wystarczająco dużo mocy obliczeniowej aby swobodnie radzić sobie ze złożonymi algorytmami. Dodatkowo układy z rodziny ATmega zużywają niewiele energii dzięki czemu mogą być zasilane z baterii i pracować przy tym przez długi okres.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Kurytnik I. P., Karpiński M.: Bezprzewodowa transmisja informacji. Wydawnictwo PAK, Warszawa 2008.
2. Chwaleba A., Poniński M.: Metrologia elektryczna, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 2010.
3. Nawrocki W.: Komputerowe Systemy Pomiarowe. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
4. Baranowski R.: Mikrokontrolery AVR ATmega w praktyce. Wydawnictwo BTC, Warszawa 2005.
5. Klimasz C.: Obsługa interfejsu 1-Wire na przykładzie DS18B20. Kraków 2008.

### WIRELESS TEMPERATURE MEASUREMENT

The aim of this article was the development and implementation of microprocessor measurement system designed to measure the temperature. The system includes a transmitter for measuring temperature and a receiver that displays the temperature value on the LCD display. Data transmission between the transmitter and the receiver uses radio waves at a frequency of 433 MHz. The first part of the article contains a brief introduction to wireless communication. Next chapter contains description created measuring system, used components, manufacturing method and the principle of action. In experimental part tested operation of the created system and range depending on the type of antenna and the supply voltage.

**Keywords:** temperature measurement, wireless transmission, measuring system, microcontroller.