

Krzysztof BIERNACKI ¹⁾
Wojciech PIERZGALSKI ²⁾
Paweł STUDZIŃSKI ¹⁾

BEZPRZEWODOWY SYSTEM ROZPROSZONY DO REJESTRACJI WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH W PRZEMYŚLE SPOŻYWCZYM ³⁾

W systemach bezprzewodowych moduły pomiarowe są zasilane z baterii. Pojemność baterii jest stosunkowo mała. Przedstawiono wybrane aspekty projektowania bezprzewodowych systemów. Opisano system rozproszony dla rejestrowania klimatu w obiektach przemysłu spożywczego.

WIRELESS SYSTEM FOR DATA ACQUISITION OF CLIMATE IN THE FOOT INDUSTRY

In wireless systems measurement modules are supplied from battery. Ampere-hour capacity of battery is relatively low. Selected aspects design of wireless measurement systems is given. Wireless system for data acquisition in food industry is also described.

1. WPROWADZENIE

Współczesne systemy rozproszone zbudowane są z modułów pomiarowych i modułu centralnego, którym w większości przypadków jest sterownik komputerowy. Do wejść modułów pomiarowych są dołączane różne czujniki pomiarowe, które umożliwiają pomiary wielkości nieelektrycznych. Systemy rozproszone przeznaczone do wykonywania dokładnych pomiarów są budowane przy wykorzystaniu cyfrowej transmisji danych. Transmisja ta w porównaniu do transmisji analogowej wykazuje szereg zalet. Wybrani producenci aparatury np. firma Advantech wyposaża swoje systemy rozproszone w moduły z modemem radiowym, dzięki czemu jest możliwa bezprzewodowa transmisja danych. Należy podkreślić, że moduły radiowe, w wykonaniu firmy Advantech, wymagają dołączenia zewnętrznego zasilania z uwagi na pobieraną moc, większą od 1W [1]. Ostatnio pojawiły się bezprzewodowe systemy rozproszone do rejestracji warunków klimatycznych (temperatura, wilgotność) [2-4]. W przypadku budowy rozproszonego bezprzewodowego systemu pomiarowego z komunikacją radiową, w którym moduły pomiarowe będą zasilane z wbudowanych baterii, należy uwzględnić szereg aspektów. Współczesne energooszczędne układy takie jak: przetworniki analogowo-cyfrowe, mikroprocesory lub modemy radiowe nie umożliwiają dostatecznie długiego czasu życia baterii. Specyfika pracy systemów rozproszonych pozwala na impulsowe zasilanie modułów pomiarowych, co umożliwia istotnie zwiększyć czas życia baterii.

-
1. Przemysłowy Instytut Elektroniki, Warszawa
 2. Ośrodek Badawczo Rozwojowy Metrologii Elektrycznej METROL, Zielona Góra
 3. Referat opracowany w ramach projektu celowego nr 6T10 2003 C/06068

W referacie przedstawiono podstawowe problemy związane z opracowaniem bezprzewodowego systemu pomiarowego, a zwłaszcza dotyczące projektowania modułów pomiarowych, zasad komunikacji radiowej. W części końcowej opisano wybrany system rozproszony przeznaczony do monitorowania i rejestracji warunków klimatycznych w pomieszczeniach produkcyjnych lub magazynach.

2. KONCEPCJA BUDOWY MODUŁÓW POMIAROWYCH

W ramach projektu dotyczącego systemów rozproszonych założono opracowanie systemu z komunikacją radiową i systemu z komunikacją przewodową. Systemy z komunikacją radiową wykazują pewną wrażliwość na zakłócenia. Moduły pomiarowe systemu rozproszonego powinny umożliwić pomiary wielkości elektrycznych (napięć i prądów stałych) jak i wielkości nieelektrycznych takich jak temperatura lub wilgotność. Temperaturę można mierzyć przy wykorzystaniu termoelementów (J, K, T, E, R, S, B, N) lub termorezystorów (Pt100, Pt1000). Podstawowa struktura modułu pomiarowego powinna składać się z przetwornika analogowo-cyfrowego, sterownika i układów interfejsu - w przypadku komunikacji przewodowej albo modemu radiowego w przypadku komunikacji bezprzewodowej. Do pomiarów sygnałów z termopar najwygodniej jest użyć przetwornik analogowo-cyfrowy sigma delta. Przetworniki tego typu umożliwiają pomiary niewielkich napięć ze znaczną rozdzielczością oraz są wyposażone w multiplekser wejściowy, dzięki czemu można dokonać niezależnych pomiarów sygnału z termopary i sygnału zależnego od temperatury zimnych końców. Taka struktura pomiarowa może być w sposób programowy przystosowana do pomiaru wielu typów termoelementów [5].

W przypadku budowy modułów pomiarowych z modemami radiowymi, które są zasilane z wbudowanej baterii należy stosować układy o niewielkim poborze mocy, które są wyposażone w funkcję pracy spoczynkowej. Pozwala to na impulsowe zasilanie modułów. Przy zmianie stanu pracy układów należy się liczyć z wystąpieniem efektu bezwładności zadziałania układów. Dotyczy to zwłaszcza czujników wilgotności, których czas reakcji może wynosić od kilku sekund aż do minuty [6].

Założono, że moduły pomiarowe będą wykonane przy wykorzystaniu nowoczesnego mikrokonwertera rodziny AduCxxx firmy Analog Devices [7]. Mikrokonwertery te oprócz przetwornika analogowo-cyfrowego sigma-delta i przetwornika cyfrowo-analogowego są wyposażone w sterownik mikroprocesorowy. Z uwagi na dodatkowe funkcje mikrokonwertery ADuCxxx są szczególnie przydatne do modułów z komunikacją cyfrową. Przy wyborze określonego typu konwertera istotną sprawą jest wartość rozdzielczości przetwornika sigma-delta. Układy rodziny AduCxxx są wyposażone w przetwornik A/C o rozdzielczości: 12bit, 16bit, 24bit. Można wykazać, że największa wymagana rozdzielczość przetwornika dotyczy pomiarów temperatury za pomocą termoelementów [5]. Przy założonej

rozdzielczości pomiaru temperatury równej $0,1^{\circ}\text{C}$, rozdzielczość przetwornika A/C 16 bitów jest wystarczająca.

3. ZASADY ŁĄCZNOŚCI BEZPRZEWODOWEJ

Pojedynczy cykl pracy układów modułu pomiarowego, który jest zasilany z baterii, składa się z fazy aktywnej i fazy spoczynkowej. Ze względów na ograniczoną pojemność baterii, faza aktywna jest stosunkowo krótka w porównaniu do fazy spoczynkowej. O wyborze fazy decyduje zegar modułu, który jest zasilany w sposób ciągły. W fazie aktywnej następuje pomiar wielkości mierzonej, rejestracja wyników w pamięci nieulotnej, a następnie przesłanie wyników do jednostki centralnej. Przy impulsowym zasilaniu modemu radiowego komunikacja tego modemu z modemem sterownika systemu może być realizowana w określonych przedziałach czasu, których szerokość jest zależna od różnicy czasów zegarów modułu pomiarowego i jednostki centralnej. W przypadku nawiązywania łączności przez jednostkę centralną z wieloma modemami radiowymi przedziały czasu niezbędne do nawiązania łączności z konkretnym z wybranymi modułami mogą być znacznie większe. Pobory mocy modemów radiowych są na tyle duże, że może to prowadzić do znacznych strat energii podczas transmisji danych pomiarowych [6]. Zastosowanie odpowiedniej organizacji komunikacji wewnątrz systemu pozwala na istotne zmniejszenie strat energii modułów pomiarowych.

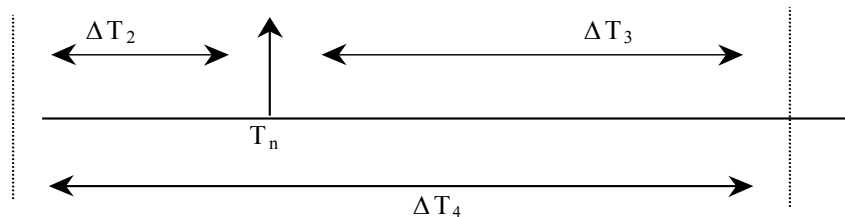
Poniżej omówiono mechanizm kontroli dostępu do sieci (MAC), który pozwala na oszczędności energii niezbędnej do przesłania danych pomiarowych z stacji obiektowych do stacji centralnej, a przy tym zapewnia transmisję zgodną ze standardem Modbus.

Cechy charakterystyczne mechanizmu dostępu do sieci są następujące:

- sieć złożona z jednej stacji bazowej- "master" i N (max 32) stacji obiektowych -"slave"
- stacje obiektowe wykazują okresową aktywność (zdolność do komunikacji)
- wywoływanie obiektów slave (polling)
- kontrola błędów transmisji (LCR, CRC)
- protokół z potwierdzeniem wykonania i powtarzaniem w przypadku błędów (ACQ)
- pakietowe przesyłanie danych

Organizacja komunikacji wykorzystuje mechanizm odpytywania (polling) stacji obiektowych przez stację centralną.

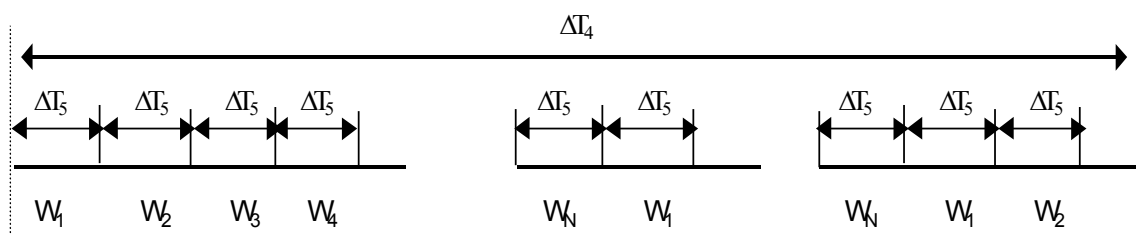
W ramach systemu zbierania danych założono, że stacja centralna nawiązuje łączność ze stacjami obiektowymi w sposób okresowy w czasach: T_1, T_2, \dots, T_n określonych na okres doby. Dla każdego czasu T_n ($n=1, 2 \dots$) łączność jest nawiązywana w przedziale czasu ΔT_4 - rys. 1.



Rys. 1. Przedział łączności radiowej.

Fig. 1. Window of radio-communication.

Z uwagi na rzeczywiste przesunięcia czasowe zegarów stacji obiektowych i stacji bazowej początek nawiązywania łączności jest przesunięty względem czasu T_n o odstęp czasu ΔT_2 . W przedziale czasu ΔT_4 stacja centralna wywołuje cyklicznie stacje obiektowe począwszy od stacji nr 1 aż do stacji N, a następnie cykl wywoływania stacji się powtarza aż do końca odstępu czasu ΔT_4 -rys. 2. Odcinek czasu wywoływania jednej stacji- ΔT_5 jest oknem czasowym przeznaczonym dla tej stacji. Stacje obiektowe w okolicach czasu T_n przechodzą ze stanu uśpienia w stan aktywności.



Rys. 2. Struktura okresu ΔT_4 .

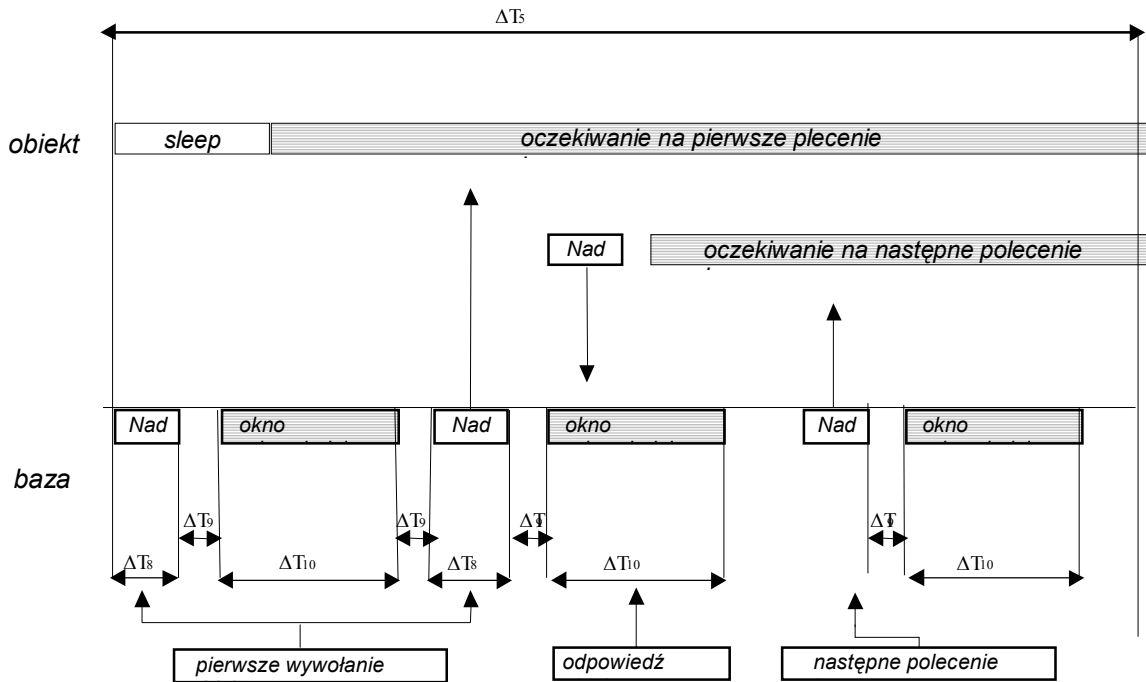
Fig. 2. Structure of ΔT_4 period.

Na rys. 3 przedstawiono strukturę łączności dowolnej stacji obiektowej ze stacją bazową w ramach okna ΔT_5 . Stacja obiektowa po zakończeniu fazy uśpienia przechodzi w fazę aktywną, a modem radiowy w stan odbioru. Stacja obiektowa oczekuje na pierwsze polecenie bazy. Stacja bazowa rozpoczyna pracę od fazy nadawania, która trwa przez czas ΔT_8 . Po przełączeniu modemu na odbiór stacja bazowa oczekuje odpowiedzi od wywoływanej stacji obiektowej przez czas ΔT_{10} . W przypadku braku odpowiedzi stacja bazowa po czasie ΔT_9 przełącza się na nadawanie, a następnie na odbiór.

W przypadku odebrania przez daną stację obiektową wywołania, które jest adresowane do niej, następuje nawiązanie łączności, a następnie przesłanie danych do stacji centralnej. Jeśli moment czasowy nawiązania łączności nastąpił zbyt późno i łączność nie może być zrealizowana w ramach tego okna czasowego stacja centralna podejmuje decyzję o przerwaniu łączności, a stacja obiektowa przechodzi w stan uśpienia na czas $(N-1) \cdot \Delta T_5$.

W przypadku gdy dana stacja nie odbierze żadnego kompletnego wywołania, które jest do niej adresowane, to po czasie ΔT_5 przechodzi ona w stan nieaktywności na odcinek

czasu $0,5 \cdot N \cdot \Delta T_5$ po czym włącza się na następny okres nasłuchu o czasie trwania ΔT_5 . W przypadku ponownego niepowodzenia stacja ta wyłącza się na okres $N \cdot \Delta T_5$ i analogicznie dalej aż do czasu ΔT_4 .



Rys. 3. Struktura łączności stacji bazowej z stacją obiektową

Fig. 3. Communication structure of system controller with measurement module.

4. SYSTEM ROZPROSZONY DO REJESTRACJI WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH

W ramach prac nad systemem rozproszonym zaprojektowano rodzinę przetworników pomiarowych serii PTH1...5 oraz serii PTH1...5R, które są przeznaczone do rozproszonych systemów przewodowych i bezprzewodowych. Przetworniki te umożliwiają pomiary wielkości elektrycznych (napięcia, prądy) i wielkości nieelektrycznych (temperatura, wilgotność). Pomiar temperatury może być wykonany za pomocą termorezystorów (Pt100, Pt100), termoelementów (J, K, T, E, R, S, B, N) lub półprzewodnikowych czujników scalonych z wyjściem cyfrowym. Te ostatnie są również wykorzystywane do pomiarów wilgotności. Dzięki temu możliwe jest wykonanie systemów rozproszonych do różnorodnych zastosowań. Przetworniki pomiarowe zaprojektowano przy wykorzystaniu mikrokonwerta serii ADuCxxx, który oprócz multipleksera analogowego, przetwornika analogowo-cyfrowego sigma delta (16-to bitowego), przetwornika cyfrowo-analogowego zawiera sterownik mikroprocesorowy (8 bitów). Ponadto konwerter ten jest wyposażony w dodatkowe funkcje, które są przydatne do budowy przetworników pomiarowych z komunikacją cyfrową.

Należy podkreślić, że przystępna cena omawianego mikrokonwertera umożliwia budowę modułów obiektowych o wielu funkcjach użytkowych dla wykorzystania w systemach rozproszonych pomiarowo-rejestrujących. Poniżej opisano taki bezprzewodowy system rozproszony przeznaczony do rejestracji warunków klimatycznych w pomieszczeniach fabrycznych lub hurtowniach produktów spożywczych, a wykonany z przetworników pomiarowych i PTH1...5R i centrali nadawczo-rejestrującej CNR. Na tego typu systemy rozproszone, które mogą być stosowane na wielu obiektach przemysłowych przy monitorowaniu i rejestracji warunków klimatycznych istnieje obecnie duże zapotrzebowanie.

4.1. Przetworniki pomiarowe

W rozważanym bezprzewodowym systemie rozproszonym, który jest przeznaczony do pomiarów i rejestracji warunków klimatycznych zastosowano półprzewodnikowe czujniki temperatury i wilgotności. Czujniki te, przeznaczone do zasilania z niskiego napięcia charakteryzują się małą mocą strat (typowo 30 μ W) oraz krótkim czasem odpowiedzi przy pomiarach wilgotności (4s). Charakteryzują się one stosunkowo wysoką rozdzielczością (0,1 $^{\circ}$ C) i dokładnością (0,5 $^{\circ}$ C) pomiarów temperatury. W przypadku pomiarów wilgotności dokładność pomiaru wynosi 3,5 % RH (w wykonaniach specjalnych 2 % RH).

Wszystkie podzespoły przetworników umieszczono na dwu pakietach. Pakiet główny zawiera: mikrokonweter ADuCxxx, źródło odniesienia, zegar czasu rzeczywistego i układy pamięci. Z uwagi na impulsowe zasilanie przetwornika pomiarowego zegar czasu rzeczywistego jest zasilany z dodatkowej baterii. Modem radiowy umieszczono na oddzielnym pakiecie, co jest wygodne z uwagi na możliwość sprawdzenia jego działania. Przetworniki pomiarowe są zasilane z baterii litowych o napięciu 3,3V.

Wymienione pakiety przetwornika umieszczono w obudowie z tworzywa o stopniu ochrony IP65. W przypadku komunikacji radiowej istotną sprawą jest dobór odpowiedniej anteny.

Na podstawie przeprowadzonych badań wynika, że typowe anteny do telefonów komórkowych typu dipol prosty "ćwierć-falowy" o długości geometrycznej około 45 mm, przystosowane do pracy w paśmie 900MHz, wykazują zasięg około 30% mniejszy w porównaniu do anten, których rzeczywiste wymiary odpowiadają długości ćwierci fali (około 90mm). W przetwornikach PTH1...5R zastosowano antenę o długości 90 mm.

4.2. Sterownik systemu

Sterownik bezprzewodowego systemu rozproszonego składa się z komputera PC i centrali nadawczo-rejestrującej CNR, która współpracuje z modemem radiowym. System Windows nie umożliwia sterowania transmisją radiową w czasie rzeczywistym, stąd też oprogramowanie systemu rozproszonego jest zapisane na płycie CD i oferowane łącznie z centralą nadawczo-rejestrującą CNR. Na szczególną uwagę zasługuje program

wizualizacyjny **PTH-V**. Program umożliwia wizualizację i archiwizację wyników pomiarów z 32 przetworników obiektowych za pomocą komputera. Wyniki pomiarów eksponowane są na ekranie w postaci widoku pojedynczego wybranego przetwornika z wykresami w funkcji czasu lub w postaci widoku zawierającego grupę 8-miu przetworników PTH1...5 dowolnie wybranych. Program **PTH-V**, podczas wizualizacji wyników pomiarów z wybranych przetworników, wyświetla w oknach raportowych przekroczenia alarmowe z wszystkich załączonych przetworników.

Program **PTH-V** wykonuje rejestracje wyników pomiarów oraz stanów alarmowych, zapisu dokonuje na plikach dysku twardego komputera. Podczas wyświetlania bieżących pomiarów istnieje możliwość analizy zapisanych wyników. Po wejściu w funkcję można na ekranie w postaci tabeli pokazać zapisane wyniki pomiarów z podaniem przedziału czasowego, oraz wykonać wykresy czasowe, a następnie dokonać wydruku na drukarce.

4.3. Dane techniczne elementów systemu rozproszonego

Przeprowadzono badania pakietów modemów radiowych (metody porównawcze) z różnymi typami anten, badano zasięgi łączności kompletnego systemu. Wykonano pomiary dokładności przetworników. Wyniki badań pozwoliły określić parametry rozważanego systemu.

Tabela 1.

Parametry techniczne systemu rozproszonego

Nazwa parametru	Wielkość parametru , jednostka miary
Pomiary temperatury	
Zakres pomiaru	-30 ... +65 °C
Rozdzielczość pomiaru	0,1 °C
Dokładność pomiaru	± 0,5 °C
Pomiary wilgotności względnej	
Zakres pomiaru	0...100%
Rozdzielczość pomiaru	0,1%
Dokładność pomiaru	± 3,5 % RH (± 2 % RH)
Pomiar napięcia	
Zakresy pomiaru	±20mV, ± 200mV, ±2V
Dokładność pomiaru	±0,05%

Parametry toru radiowego	
Czułość	-100 dBm
Moc wyjściowa nadajnika	10 dBm
Częstotliwość pracy	868 MHz
Prędkość transmisji	50.0 kb/s
Prognozowany zasięg pracy	
• teren nie zabudowany	200 m
• teren słabo zabudowany	100 m
teren gęsto zabudowany	50 m
Wymiary przetworników PTH1...5	120×80×55 mm

Literatura:

1. Advantech - www.advantech.com
2. Przetworniki typu OMWT firmy Omega - www.omega.com
3. System Logginet-Radio firmy Logginet- www.mikster.com.pl
4. Przetworniki typu RTR-5X firmy Synotech- www.synotech.com
5. Studziński P.: Nowy multimetr cyfrowy do pomiarów wielkości nieelektrycznych. Zeszyty naukowe Politechniki Łódzkiej ELEKTRYKA nr 99, XXXIII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów, MKM,2001, Łódź, 2001, str. 75-80.
6. Studziński P., Reska D.: Wybrane aspekty budowy modułów pomiarowych z komunikacją bezprzewodową. Międzyuczelniana Konferencja Metrologów, Gliwice-Ustroń, 2004
7. Analog Devices-<http://www.analog.com>

ABSTRACT

Wireless systems are used for data acquisition. These systems serve for measurement of electrical and nonelectrical quantities such temperature and humidity. Rate of data acquisition of these systems should be very low.

In wireless systems measurement modules are supplied from battery. Ampere-hour capacity of battery is relatively low. The measurement modules are a digital signal conditioners which communicate over a radio link. Integrated circuits of measurement module have to ensure:

- very low power dissipation
- power-down mode that reduces the standby power consumption

Selected aspects design of wireless measurement systems is given. Wireless system for date acquisition in the room of food industry is also described. The PTH1...5 humidity / temperature measurement module are accurate, stable transmitters designed for harsh environments.

The PTH1-V Windows software can receive data from up to 32 of the measurement modules, however it can only display data from up to eight modules at a time. Data can be printed in graphical or tabular format and can also be exported to a text or Microsoft Excel file.