

# Bezprzewodowy pomiar temperatury z wykorzystaniem rezonatora kwarcowego z akustyczną poprzeczną falą powierzchniową

Tadeusz Wróbel, Ernest Brzozowski

Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych

ul. Wólczyńska 133, 01 - 919 Warszawa;

e-mail: Tadeusz.Wrobel@itme.edu.pl, Ernest.Brzozowski@itme.edu.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań urządzenia laboratoryjnego do bezprzewodowego pomiaru temperatury, w którym wykorzystano rezonator kwarcowy z akustyczną poprzeczną falą powierzchniową o liniowej zależności częstotliwości rezonansowej od temperatury. Model urządzenia składa się z części nadawczej i odbiorczej. Układ nadawczy z rezonatorem o środkowej częstotliwości  $\sim 434$  MHz, umieszczonym w pętli sprzężenia zwrotnego szerokopasmowych wzmacniaczy, generuje sygnał, który po wzmocnieniu we wzmacniaczu mocy jest przesyłany przy pomocy anteny do układu odbiorczego. Układ odbiorczy składa się z anteny odbiorczej, z szerokopasmowego wzmacniacza i licznika częstotliwości. Opracowany model umożliwia pomiar temperatury w zakresie  $0 \div 100$  °C z odległości  $\sim 30$  m o dokładności  $\sim \pm 0,2$  °C.

**Słowa kluczowe:** poprzeczna akustyczna fala powierzchniowa, rezonator, czujnik temperatury, czujnik bezprzewodowy

## Wireless temperature measurement based on surface transverse wave quartz resonator

**Abstract:** In this paper the results of investigation of a laboratory wireless temperature measurement system are presented. A surface transverse wave quartz resonator with a linear dependence of resonance frequency on temperature was used to produce a model of the sensor. The model consists of a transmitter unit and a receiver unit. In the transmitter unit, the resonator, with the center frequency of about 434 MHz, located in a coupling loop of a broadband amplifier generates a signal, which is sent by an antenna to the receiver unit after amplification by a power amplifier. The receiver unit consists of an antenna, a broadband amplifier and a frequency counter. The developed model can measure temperature in a range of  $0 \div 100$  °C, at a distance of about 30 m, with an accuracy of about  $\pm 0.2$  °C.

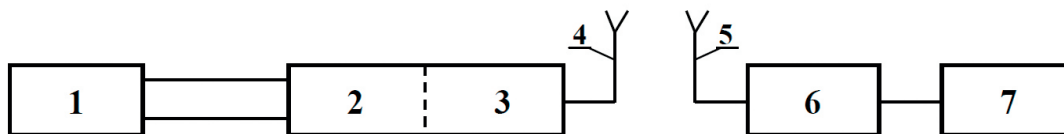
**Key words:** surface transverse wave, resonator, temperature sensor, wireless sensor

## 1. Wstęp

Aktualnie istnieje duże zainteresowanie problematyką monitorowania temperatury w trudno dostępnych miejscach, bądź w nieprzyjnym środowisku. Prowadzone są prace zmierzające do opracowania bezprzewodowych czujników temperatury opartych na podzespołach piezoelektrycznych z akustyczną falą powierzchniową [1 - 2]. W ITME opracowano laboratoryjny bezprzewodowy czujnik temperatury oparty na rezonatorze kwarcowym z akustyczną poprzeczną falą powierzchniową umożliwiającą zdalny pomiar temperatury. W artykule przedstawiono zasadę działania i wyniki pomiarów bezprzewodowego czujnika temperatury.

## 2. Zasada działania urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury

Zasada działania bezprzewodowego czujnika temperatury polega na emisji sygnału o częstotliwości zależnej od temperatury. Emitowany sygnał jest odbierany przez licznik częstotliwości, przy czym wielkość rejestrowanej częstotliwości określa mierzoną temperaturę. Podzespołem poddawany oddziaływaniu mierzonej temperatury jest rezonator kwarcowy z akustyczną poprzeczną falą powierzchniową (APFP). Rezonator jest elementem układu generacyjnego umieszczonym w pewnej odległości od części aktywnej układu. Schemat blokowy bezprzewodowego czujnika temperatury przedstawiono na Rys. 1.

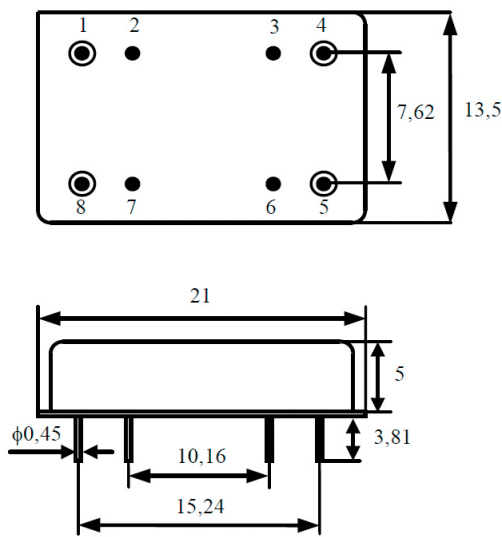


**Rys. 1.** Schemat blokowy laboratoryjnego urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury. Oznaczenia części nadawczej: 1 – rezonator kwarcowy, 2 – układ generacyjny, 3 – wzmacniacz mocy, 4 – antena nadawcza. Oznaczenia części odbiorczej: 5 – antena odbiorcza, 6 – wzmacniacz, 7 – licznik częstotliwości.

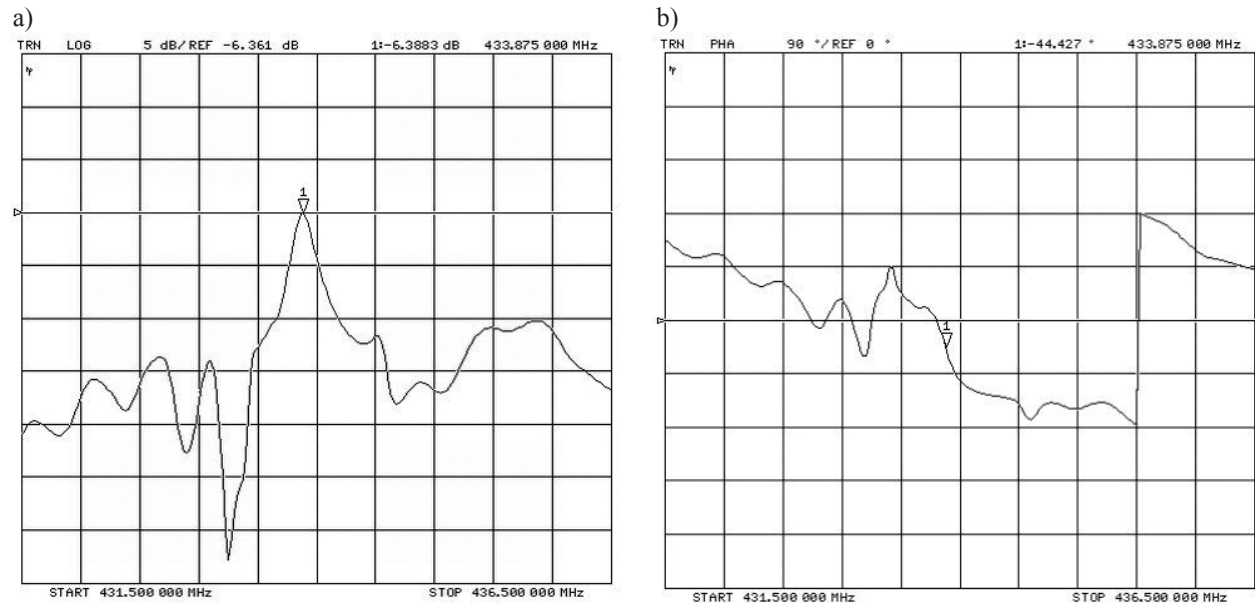
**Fig. 1.** Block diagram of laboratory wireless temperature sensor. Marking for transmitter unit: 1 – quartz resonator, 2 – generator circuit, 3 – power amplifier, 4 – transmitting antenna. Marking for receiver unit: 5 – receiving antenna, 6 – amplifier, 7 – frequency counter.

### 3. Rezonator kwarcowy z APFP

W ITME opracowany został rezonator kwarcowy z APFP na częstotliwość  $\sim 434$  MHz dopuszczoną do zastosowań w czujnikach bezprzewodowych. Rezonator posiada strukturę czwórnikową, wykonany został na kwarcu o orientacji  $55^\circ YX90^\circ$ , charakteryzuje się niską tłumiennością wtrąceniową ( $\sim 6$  dB) oraz liniową zależnością zmian częstotliwości rezonansowej w funkcji temperatury. Szczegółowe parametry rezonatora zamieszczone są w karcie katalogowej [3]. Rezonator zmontowany jest w obudowie metalowej (Rys. 2), jego charakterystyki amplitudową i fazową przedstawiono na Rys. 3. Rezonator załączony do układu generacyjnego decyduje o częstotliwości generacji.



Rys. 2. Obudowa rezonatora kwarcowego.  
Fig. 2. Package of quartz resonator.



Rys. 3. Charakterystyki rezonatora kwarcowego z APFP: a) charakterystyka amplitudowa; b) charakterystyka fazowa.  
Fig. 3. Responses of STW quartz resonator: a) amplitude response; b) phase response.

### 4. Część nadawcza urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury

Podstawowym układem części nadawczej czujnika temperatury jest generator. W skład układu generatora wchodzi: rezonator kwarcowy, wzmacniacze szerokopasmowe i przesuwniki fazy (Rys. 4). Rezonator kwarcowy funkcjonuje między dwoma wzmacniaczami, z którymi połączony jest przewodami koncentrycznymi o impedancji  $Z = 50 \Omega$ . Długość przewodów wynosi pół długości fali, co zapewnia odpowiednią transformację impedancji (1:1).

Wzbudzenie drgań w układzie generacyjnym występuje przy spełnieniu warunków [4]:

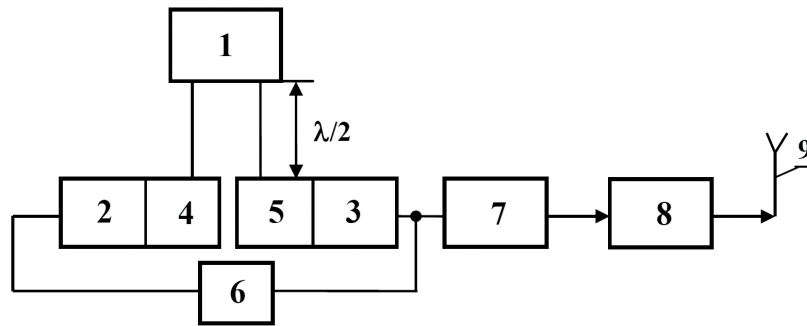
$$1. W(f_0) > 0 \quad (1)$$

$$2. \varphi(f_0) = 2\pi n \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

$W(f_0)$  - wzmocnienie układu przy częstotliwości generacji  $f_0$  [dB],

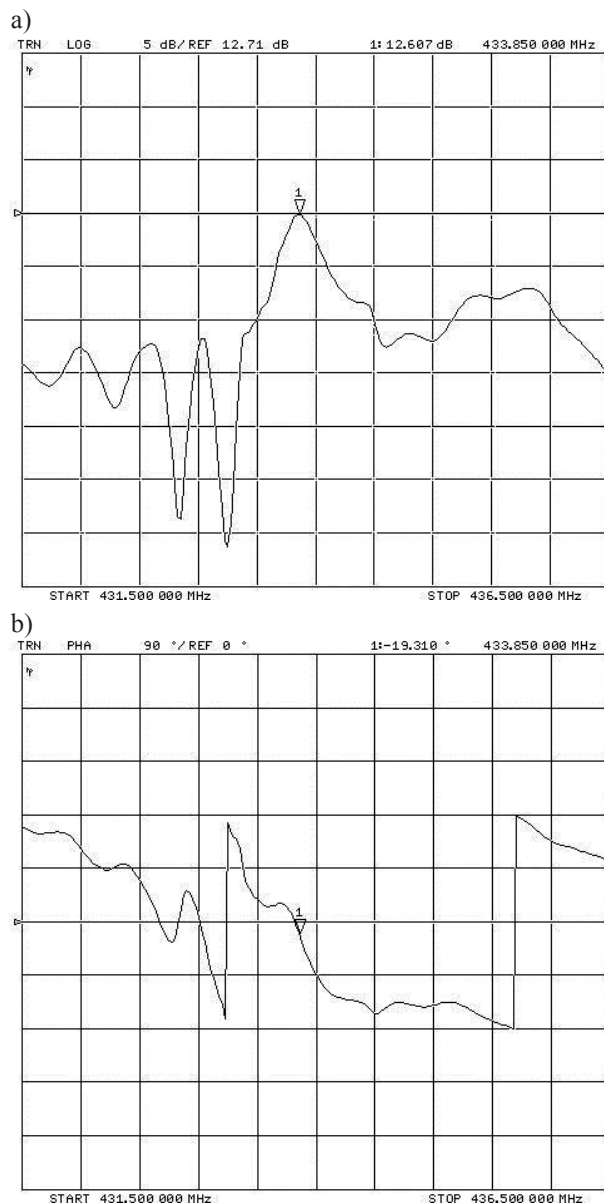
$\varphi(f_0)$  - faza w układzie przy częstotliwości  $f_0$  będąca sumą przesunięć fazowych wprowadzanych przez elementy układu.

W układzie generacyjnym odpowiednie wzmocnienie w pętli sprzężenia zwrotnego zapewniają wzmacniacze, między którymi załączony jest rezonator, natomiast przesuwniki fazy (elementy biernie oraz przewód koncentryczny) wnoszą wymaganą wielkość przesunięcia fazowego. Przewody koncentryczne łączące rezonator z częścią aktywną układu posiadają długość  $l = \lambda/2 = 18$  cm. Wzmacniacz szerokopasmowy załączony między układem generacyjnym a wzmacniaczem mocy pełni funkcję separatora. Sygnał z generatora wzmocniony przez wzmacniacz mocy jest wyemitowany przez antenę nadawczą. Pasmo przenoszenia wzmacniacza mocy wynosi



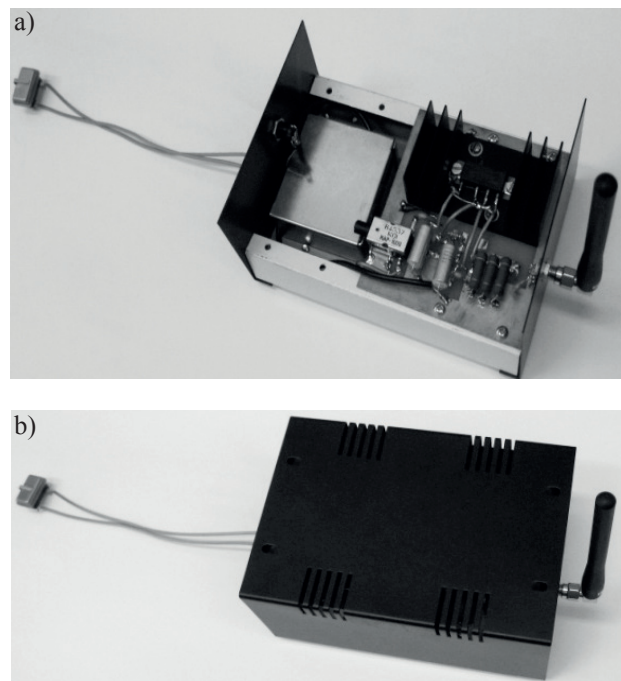
**Rys. 4.** Schemat blokowy części nadawczej urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury. Oznaczenia: 1 – rezonator kwarcowy, 2, 3 – wzmacniacze szerokopasmowe, 4, 5, 6 – przesuwniki fazy, 7 – wzmacniacz szerokopasmowy, 8 – wzmacniacz mocy, 9 – antena nadawcza.

**Fig. 4.** Block diagram of transmitter unit. Marking: 1 – quartz resonator, 2, 3 – wideband amplifiers, 4, 5, 6 – phase shifters, 7 – wideband amplifier, 8 – power amplifier, 9 – transmitting antenna.



**Rys. 5.** Charakterystyki toru generacyjnego: a) charakterystyka amplitudowa, b) charakterystyka fazowa.

**Fig. 5.** Responses of generator circuit: a) amplitude response, b) phase response.



**Rys. 6.** Układ generatora i wzmacniacza mocy w obudowie: a) obudowa otwarta, b) obudowa zamknięta.

**Fig. 6.** Generator circuit and power amplifier in package: a) opened package, b) closed package.

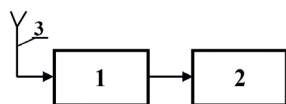
400 ÷ 470 MHz, natomiast antena funkcjonuje w paśmie 433 ± 5 MHz.

Istotnym warunkiem wzbudzenia stabilnych drgań generatora jest odwzorowanie charakterystyk rezonatora kwarcowego w torze generacyjnym. Poprawnie odwzorowane charakterystyki rezonatora w torze generacyjnym przedstawiono na Rys. 5.

Część nadawczą bezprzewodowego czujnika temperatury umieszczono w obudowie metalowej o wymiarach 146 x 102 x 65 mm (Rys. 6).

## 5. Część odbiorcza urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury

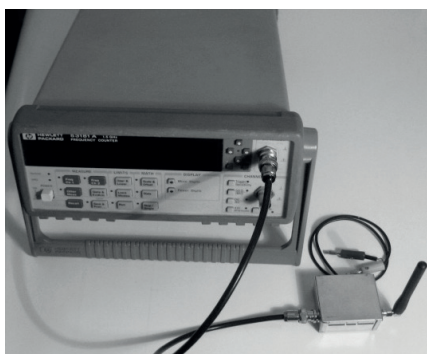
Sygnał emitowany przez część nadawczą czujnika temperatury jest odbierany w części odbiorczej czujnika przez antenę i po przejściu przez wzmacniacz szerokopasmowy rejestrowany jest przez licznik częstotliwości typu HP53181A (Rys. 7). Antena odbiorcza podobnie jak antena nadawcza funkcjonuje w paśmie częstotliwości  $433 \pm 5$  MHz.



**Rys. 7.** Schemat blokowy części odbiorczej urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury. Oznaczenia: 1 - wzmacniacz szerokopasmowy, 2 - licznik częstotliwości, 3 - antena odbiorcza.

**Fig. 7.** Block diagram of receiver unit. Marking: 1 - wideband amplifier, 2 - frequency counter, 3 - receiving antenna.

Wzmacniacz szerokopasmowy umieszczono w obudowie metalowej o wymiarach 50 x 55 x 26 mm. Część odbiorczą bezprzewodowego czujnika temperatury zilustrowano na Rys. 8.



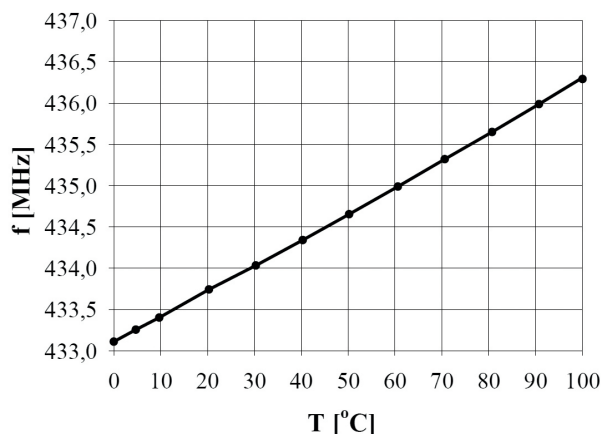
**Rys. 8.** Część odbiorcza urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury.

**Fig. 8.** Receiver unit of laboratory wireless temperature measurement system.

## 6. Badania urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury

Przeprowadzono badania zależności częstotliwości emitowanego sygnału od temperatury (Rys. 9) oraz wykonano pomiar zasięgu tego sygnału.

Badania temperaturowe przeprowadzono w zakresie  $0 \div 100$  °C, przy czym rezonator kwarcowy umieszczono w komorze temperaturowej, natomiast część aktywną układu nadawczego pozostawiono poza komorą. Określona czułość układu na podstawie charakterystyki temperaturowej wynosi  $\sim 32$  kHz /°C, natomiast zdolność rozdzielcza wynosi  $0,1$  °C / 3,2 kHz. Stwierdzono, że po załączeniu zasilania układu częstotliwość generowanego sygnału stabilizuje się po 20 min. Model bezprzewodowe-



**Rys. 9.** Zależność częstotliwości emitowanego sygnału od temperatury.

**Fig. 9.** Emitted signal frequency versus temperature.

go czujnika temperatury pozwala na pomiar temperatury z dokładnością  $\pm 0,2$  °C, natomiast zasięg emitowanego sygnału z mocą  $\sim 1$  W wynosi  $\sim 30$  m.

## 7. Parametry urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury

1. Częstotliwość pracy  $\sim 434$  MHz
2. Zakres pomiaru temperatur  $0 \div 100$  °C,
3. Dokładność pomiaru temperatury  $\pm 0,2$  °C,
4. Czułość układu 32 kHz /°C,
5. Zdolność rozdzielcza układu  $0,1^\circ / 3,2$  kHz,
6. Wstępny czas stabilizacji układu 20 min.,
7. Zasięg  $\sim 30$  m,
8. Zakres temperatur pracy części aktywnej układu  $25 \pm 10$  °C
9. Moc promieniowana  $\sim 1$  W,
10. Zasilanie:
  - napięcie stałe + 12 V,
  - pobór prądu  $\sim 0,8$  A.

## 8. Podsumowanie

Opracowano laboratoryjne urządzenie do bezprzewodowego pomiaru temperatury złożone z części nadawczej i odbiorczej, umożliwiające zdalny pomiar temperatury. Emitowany sygnał o mocy  $\sim 1$  W umożliwia pomiar temperatury z odległości  $\sim 30$  m. Podstawowym elementem układu generacyjnego jest rezonator kwarcowy o liniowej zależności częstotliwości rezonansowej rezonatora od temperatury. Dzięki temu możliwe jest jednoznaczne określenie temperatury. Umieszczenie rezonatora z dala od części aktywnej układu generatora pozwala na pomiar

temperatury w zakresie  $0 \div 100$  °C. Odległość rezonatora od części aktywnej układu generatora może być wielokrotnością połowy długości fali  $\lambda$ , w tym przypadku przyjęto odległość  $\lambda/2 = 18$  cm.

## 9. Literatura

- [1] Reindl L., Shrena I. M.: Wireless measurement of temperature using surface acoustic waves sensors, *IEEE Transactions on UFFC*, 2004, 51, 11, 1457 - 1463
- [2] Canabal A., Davulis P. M., Harris G. M., Pereira da Cunha M.: High-temperature battery-free wireless microwave acoustic resonators sensor system, *Electronics Letters*, 2010, 46, 7, 471 - 472
- [3] Katalog podzespołów z AFP: [www.itme.edu.pl/oferta-154.html](http://www.itme.edu.pl/oferta-154.html)
- [4] Wagner J., Philip M., von Schickfus M.: A Mode-locked acoustic wave oscillator for sensor applications, *2002 IEEE International Frequency Control Symposium and PDA Exhibition*. 255 - 259