

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 ~ 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 ~ 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 ± 0.2 °C.

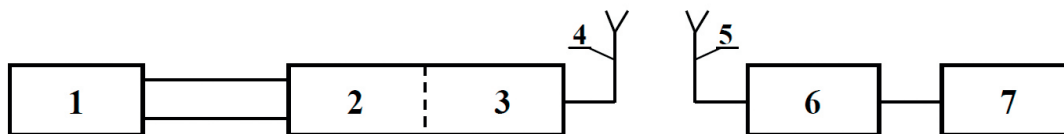
Key words: surface transverse wave, resonator, temperature sensor, wireless sensor

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 umożliwiający 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.

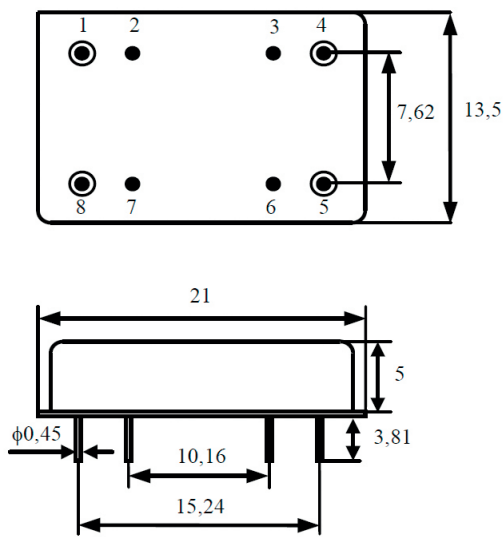


Rys. 1. Schemat blokowy laboratoryjnego urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury. Oznaczenia części nadawczej: 1 – rezonator kwarcowy, 2 – układ generacyjny, 3 – wzmacniacz mocy, 4 – antena nadawcza. Oznaczenia części odbiorczej: 5 – antena odbiorcza, 6 – wzmacniacz, 7 – licznik częstotliwości.

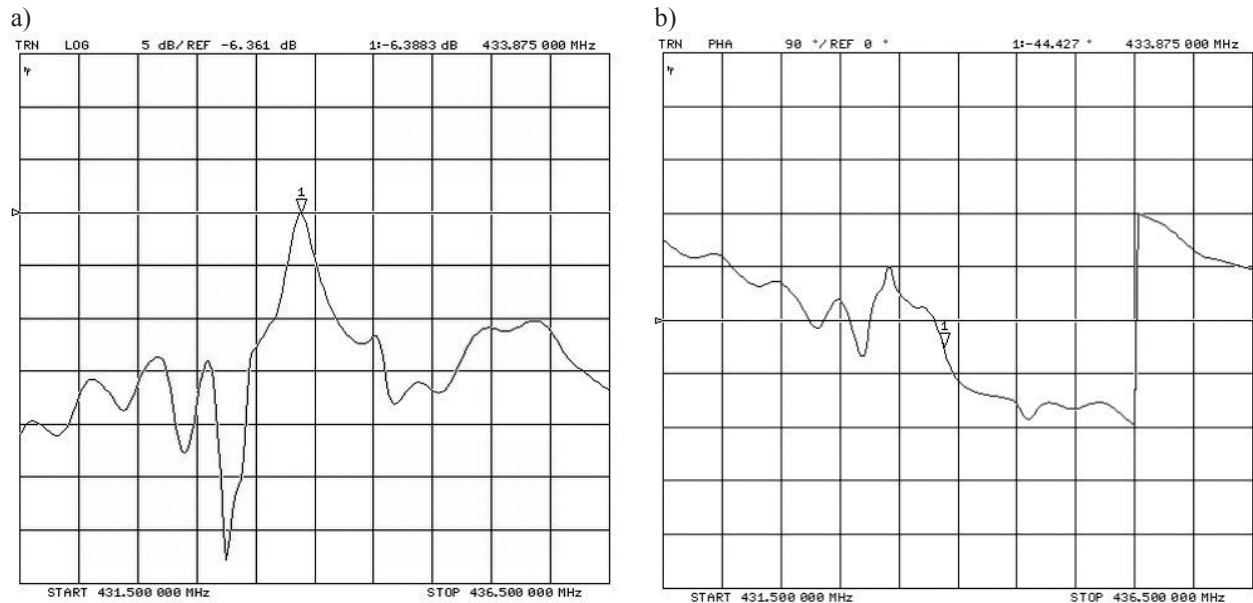
Fig. 1. Block diagram of laboratory wireless temperature sensor. Marking for transmitter unit: 1 – quartz resonator, 2 – generator circuit, 3 – power amplifier, 4 – transmitting antenna. Marking for receiver unit: 5 – receiving antenna, 6 – amplifier, 7 – frequency counter.

3. Rezonator kwarcowy z APFP

W ITME opracowany został rezonator kwarcowy z APFP na częstotliwość ~ 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 (~ 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]:

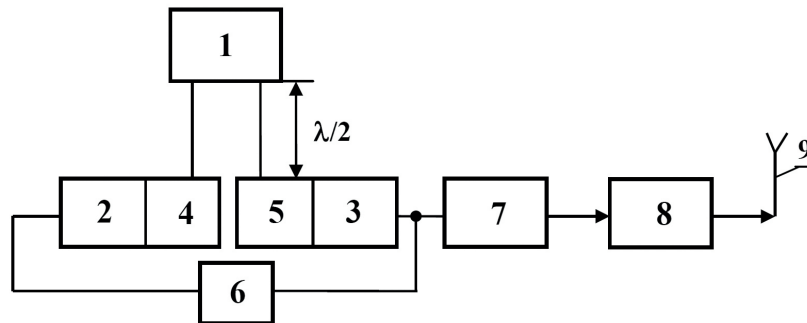
$$1. W(f_0) > 0 \quad (1)$$

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

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

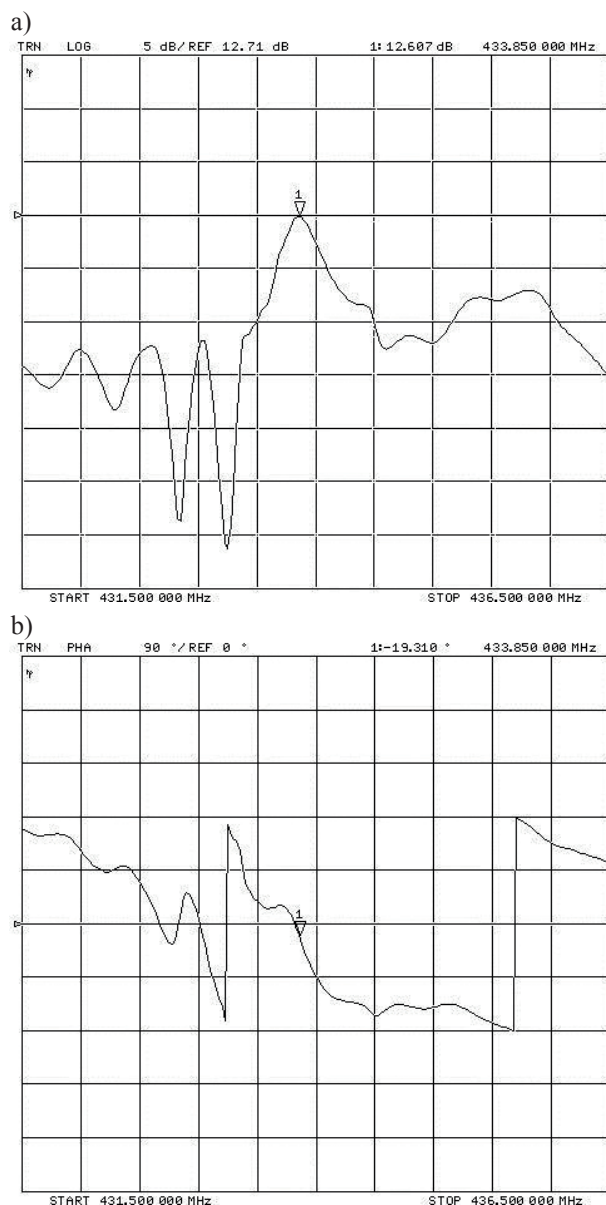
$\varphi(f_0)$ - faza w układzie przy częstotliwości f_0 będąca sumą przesunięć fazowych wprowadzanych przez elementy układu.

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



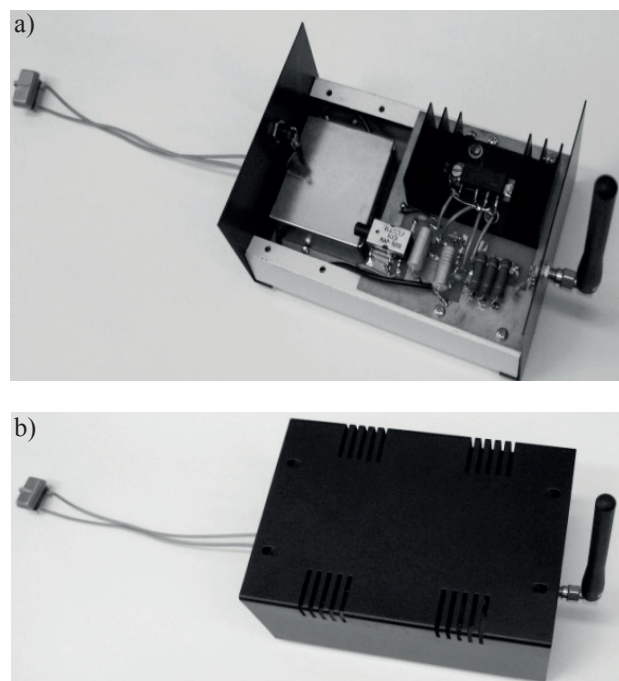
Rys. 4. Schemat blokowy części nadawczej urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury. Oznaczenia: 1 – rezonator kwarcowy, 2, 3 – wzmacniacze szerokopasmowe, 4, 5, 6 – przesuwniki fazy, 7 – wzmacniacz szerokopasmowy, 8 – wzmacniacz mocy, 9 – antena nadawcza.

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.

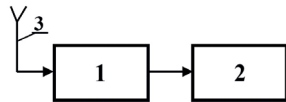
400 ÷ 470 MHz, natomiast antena funkcjonuje w paśmie 433 ± 5 MHz.

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

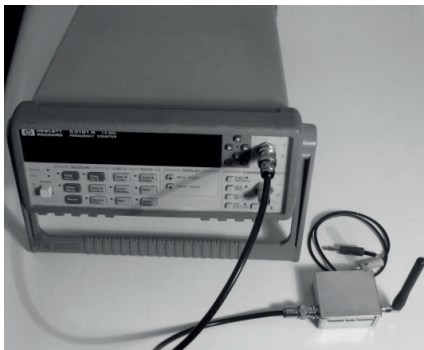
Sygnał emitowany przez część nadawczą czujnika temperatury jest odbierany w części odbiorczej czujnika przez antenę i po przejściu przez wzmacniacz szerokopasmowy rejestrowany jest przez licznik częstotliwości typu HP53181A (Rys. 7). Antena odbiorcza podobnie jak antena nadawcza funkcjonuje w paśmie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



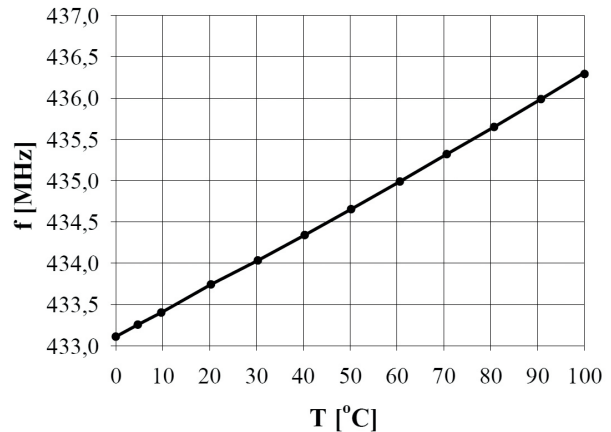
Rys. 8. Część odbiorcza urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury.

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 ~ 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 ~ 1 W wynosi ~ 30 m.

7. Parametry urządzenia do bezprzewodowego pomiaru temperatury

1. Częstotliwość pracy ~ 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 $0,1\%$ 3,2 kHz,
6. Wstępny czas stabilizacji układu 20 min.,
7. Zasięg ~ 30 m,
8. Zakres temperatur pracy części aktywnej układu 25 ± 10 °C
9. Moc promieniowana ~ 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 ~ 1 W umożliwia pomiar temperatury z odległości ~ 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 λ , 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
- [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