

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 244202 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **439110**

(22) Data zgłoszenia: **2021.10.01**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.04.03 BUP 14/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.12.18 WUP 51/2023**

(51) MKP:

G01K 1/024 (2021.01)

G01K 11/125 (2021.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**MICROSENSOR SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Wrocław, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

MATEUSZ MAZUR, Sopot, PL

ŁUKASZ MACIEJEWSKI, Smolec, PL

DANIEL PILECKI-SILVA, Smolec, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Anna Kwapich, Gdańsk, PL

(54) Tytuł:

Sensor do zdalnego pomiaru temperatury obiektu

PL 244202 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sensor do zdalnego pomiaru temperatury obiektu. Ma on zastosowanie przy pomiarach temperatury w trudno dostępnych środowiskach, obiektach, w szczególności gdy istnieje potrzeba ciągłego monitorowania temperatury obiektu.

Znane rozwiązania dotyczące pomiarów temperatury oparte są na różnego rodzaju czujnikach połączonych w różny sposób z układami pomiarowymi. Czujnikami są elementy, których właściwości, parametry zmieniają się pod wpływem zmian temperatury, a układy pomiarowe przekształcają wartości tych parametrów na temperaturę obiektu. Sensory i metody pomiarowe można klasyfikować w różny sposób, w zależności od przyjętych kryteriów podziału. Pomiar może być realizowany w sposób kontaktowy, gdy czujnik styka się z badanym obiektem, albo bezkontaktowy – oparty na pomiarze jakiegoś rodzaju promieniowania emitowanego przez obiekt. W czujnikach kontaktowych wykorzystywana jest zmiana pod wpływem temperatury określonych parametrów, np. w termometrach – zmiana objętości płynu, w termistorach – zmiana rezystancji, w termoparach – zmiana napięcia elektrycznego na styku dwóch metali. Czujniki aktywne wymagają połączenia ze źródłem energii, natomiast czujniki pasywne nie wymagają żadnego własnego zasilania. Przykładem pomiarów bezkontaktowych jest pirometria, czyli pomiary opierające się na analizie promieniowania cieplnego emitowanego przez badany obiekt. W metodach przewodowych czujnik będący w kontakcie z badanym obiektem wymaga połączenia przewodowego z układem pomiarowym, natomiast systemy bezprzewodowe nie wymagają połączenia kablowego między sensorem i układem pomiarowym. Systemy takie umożliwiają zdalny pomiar temperatury za pomocą sensora będącego w kontakcie termicznym z badanym obiektem. Wiele znanych systemów zdalnego pomiaru temperatury zawiera czujniki z wbudowanymi elektrycznymi elementami, albo źródłami zasilania, które są podatne na uszkodzenia pod wpływem temperatury, co ogranicza ich temperaturowy zakres pracy.

W publikacji patentowej US8342745B2 ujawniono aparaturę i metodę do pomiaru temperatury. Rozwiązanie przewiduje użycie zbioru pasywnych indywidualnych elementów pomiarowych, które mają co najmniej jeden mierzalny fizyczny parametr zależny od temperatury, różny dla różnych elementów. Elementy te układa się w postaci tablicy tak, że cała tablica podczas pomiaru znajduje się w tej samej temperaturze. Określa się wartości parametrów wszystkich elementów zanim zostaną poddane działaniu mierzonej temperatury, następnie umieszcza się całą tablicę elementów pomiarowych w obszarze mierzonej temperatury i określa wartości parametrów wszystkich elementów w tablicy, a następnie porównuje wartości parametru z pierwszego i drugiego pomiaru dla każdego elementu z każdym innym elementem. Rozwiązanie to nie umożliwia ciągłych pomiarów temperatury w czasie rzeczywistym.

Jedne z nowszych metod i systemów pomiaru temperatury wykorzystują jako pasywne sensory mikrofalowe periodyczne struktury rezonansowe. W metodach tych wykorzystuje się zmianę właściwości filtrujących sensora w zależności od temperatury. Metoda polega na emitowaniu w kierunku takiego sensora elektromagnetycznego sygnału mikrofalowego i obserwacji widma sygnału transmitowanego przez tę strukturę – metoda transmisyjna, albo sygnału odbitego od tej struktury – metoda odbiciowa. W zależności od kształtu wzoru, struktura może odbijać bądź transmitować sygnał na różnych częstotliwościach. Przykładowo sygnał może być odbijany na jednej częstotliwości, tzw. częstotliwości rezonansowej, a na pozostałych częstotliwościach transmitowany albo selektywnie może być transmitowana jedna częstotliwość rezonansowa, a odbijane wszystkie pozostałe. Mikrofalowe periodyczne struktury rezonansowe mogą mieć jedną albo więcej częstotliwości rezonansowych. Pod wpływem temperatury następuje zmiana wymiarów struktury, co powoduje zmianę częstotliwości rezonansowej. Po wykalibrowaniu takiego sensora, analiza widma sygnału transmitowanego albo odbitego, pomiar jego częstotliwości rezonansowej, a także innych wybranych parametrów, umożliwia pomiar temperatury obiektu.

Znany jest ze zgłoszenia patentowego opublikowanego pod numerem US2010/0290503 pasywny bezprzewodowy sensor umożliwiający zdalny pomiar temperatury. Ujawniony sensor posiada sąsiadujące ze sobą elementy wrażliwe na temperaturę i elementy selektywne częstotliwościowo. Elementy selektywne częstotliwościowo mają określoną częstotliwość rezonansową i rozpraszają część sygnału padającego na sensor w pobliżu jego częstotliwości rezonansowej. Sygnał rozproszony jest tłumiony w różnym stopniu w funkcji temperatury, w jakiej znajduje się czujnik. W publikacji ujawniono różne wzory warstwy selektywnej częstotliwościowo, w szczególności krzyżkowe, a także różne wzajemne usytuowanie warstw selektywnych częstotliwościowo i warstw podłoża wrażliwych na temperaturę, a także wpływ wzoru i ułożenia warstw na parametry rezonansu. W szczególności ujawniono wariant

z jedną warstwą podłoża i jednakowymi warstwami selektywnymi częstotliwościowo po jego obu stronach oraz wariant, w którym warstwa selektywna częstotliwościowo znajduje się pomiędzy dwoma warstwami podłoża.

Z publikacji polskiego zgłoszenia patentowego P.431984 znane jest rozwiązanie wykorzystujące mikrofalową strukturę selektywną częstotliwościowo do zdalnego pomiaru temperatury. Pasywny sensor ma na podłożu dielektrycznym warstwę obwodów mikrofalowych w postaci równo rozmieszczonych pasów przewodnika o ściśle określonych wymiarach, które tworzą selektywną strukturę o częstotliwości zaporowej 16,4 GHz zmieniającej się o 0,825 MHz przy zmianie temperatury o 1°K. Układ pomiarowy zawiera pasywny sensor, urządzenia emitujące i odbierające promieniowanie mikrofalowe połączone przewodowo z układem elektronicznym zawierającym generator sygnału mikrofalowego i analizator sygnału mikrofalowego, przy czym sensor znajduje się pomiędzy urządzeniem emitującym sygnał i urządzeniem odbierającym sygnał.

Z publikacji CN107402031A znany jest sensor do zdalnego pomiaru temperatury mający strukturę selektywną częstotliwościowo w postaci płaskiego podłoża dielektrycznego pokrytego z jednej strony warstwą metalu ze szczelinami, a z drugiej strony warstwą pełnej metalizacji, z periodyczną strukturą metalizowanych otworów przelotowych łączących obie warstwy metaliczne, rozmieszczonych koncentrycznie wokół szczelin.

Sensor do zdalnego pomiaru temperatury obiektu według wynalazku zawiera mikrofalową periodyczną strukturę selektywną częstotliwościowo w postaci płaskiego podłoża dielektrycznego pokrytego z jednej strony warstwą periodycznego wzoru metalizacji ze szczelinami w tej warstwie metalizacji, a z drugiej strony pokrytego warstwą pełnej metalizacji, z metalizowanymi otworami przelotowymi w podłożu dielektrycznym łączącymi obie warstwy metalizacji i charakteryzuje się tym, że szczeliny ułożone są równolegle w rzędach i kolumnach pomiędzy metalizowanymi otworami przelotowymi.

Korzystnie warstwa periodycznego wzoru metalizacji stanowi macierz jednakowych elementarnych komórek, z których każda ma jedną szczelinę i jednakową liczbę metalizowanych otworów przelotowych po obu stronach szczeliny.

Najkorzystniej sensor zaopatrzony jest w termowód połączony jednym swym końcem z warstwą pełnej metalizacji i mający postać rdzenia przewodzącego ciepło, którego boczne ścianki pokryte są warstwą izolatora cieplnego.

Rozwiązanie według wynalazku zapewnia zwiększenie dokładności i pewności zdalnych pomiarów temperatury obiektów o różnych kształtach, wykonanych z różnych materiałów, zwłaszcza takich, które nie mają płaskiej powierzchni. Wynalazek zapewnia dużą pewność i dokładność pomiarów dzięki szybkiemu wyrównywaniu temperatury, sprawnej wymianie energii cieplnej między obiektem i sensorem. Ponadto rozwiązanie umożliwia zwiększenie dokładności pomiarów dla zadanych warunków pomiaru.

Przykładowa realizacja rozwiązania według wynalazku zilustrowana jest rysunkiem, na którym fig. 1 przedstawia schematycznie budowę sensora, fig. 2 przedstawia widok rzeczywistego sensora od strony warstwy selektywnej, z zaznaczoną elementarną komórką, fig. 3 przedstawia schemat systemu pomiarowego, fig. 4 przedstawia poglądowe charakterystyki częstotliwościowe sygnału odbiorczego dla różnych temperatur, fig. 5 przedstawia poglądową charakterystykę kalibracyjną, fig. 6 przedstawia zmierzone charakterystyki częstotliwościowe dla dwóch temperatur.

W przykładowej realizacji pokazanej na fig. 1 sensor **1** do zdalnego pomiaru temperatury obiektu **2** jest mikrofalową periodyczną strukturą rezonansową mającą postać podłoża dielektrycznego **3**, które z jednej strony pokryte jest warstwą periodycznego wzoru metalizacji **4**, a z drugiej strony pokryte jest warstwą pełnej metalizacji **5**. W podłożu dielektrycznym **3** znajdują się równomiernie rozmieszczone metalizowane otwory przelotowe **6**, które łączą warstwę pełnej metalizacji **5** z obszarem metalicznym warstwy periodycznego wzoru metalizacji **4**. Periodyczny wzór metalizacji utworzony jest przez zbiór szczelin **7** stanowiących przerwy w metalizacji. Cała warstwa periodycznego wzoru metalizacji **4** składa się z macierzy jednakowych elementarnych komórek **8** ułożonych w wiersze i kolumny. Pojedyncza elementarna komórka **8** ma jedną centralnie położoną szczelinę **7**, a po obu jej stronach znajduje się jednakowa liczba metalizowanych otworów przelotowych **6** ułożonych w rzędy równoległe do szczeliny **7**. Pojedyncza szczelina **7** ma szerokość poniżej $0,5 \lambda$, a długość od $0,4 \lambda$ do 1λ , gdzie λ jest długością fali elektromagnetycznej w wolnej przestrzeni sygnałów wykorzystywanych do pomiaru. Warstwa pełnej metalizacji **5** połączona jest w swej centralnej części z jednym końcem termowodu **9**, który składa się z rdzenia **10** przewodzącego ciepło i otaczającego go izolatora cieplnego **11**. Rdzeniem przewodzącym

ciepło jest metalowy pręt, a izolator cieplny ma postać tulei teflonowej albo ceramicznej pokrywającej boczne ścianki pręta.

W przykładowej realizacji elementarna komórka sensora ma wymiary 9 x 10,5 mm, grubość podłoża dielektrycznego wynosi 0,2 mm, grubość warstw metalizacji 17 μm . Pojedyncza szczelina ma długość 7 mm, szerokość 0,8 mm. W przykładowej realizacji sensor **1** składa się z trzydziestu sześciu elementarnych komórek **8** ułożonych w sześciu kolumnach i sześciu wierszach tak, że wszystkie szczeliny **7** są do siebie równoległe bądź leżą w jednej linii. Po obu stronach każdej szczeliny **7** znajdują się po trzy rzędy metalizowanych otworów przelotowych **6**. Pręt stanowiący rdzeń **10** termowodu wykonany jest z miedzi albo mosiądzu, ma długość dziesięciu do kilkudziesięciu mm, w zależności od potrzeb i ograniczeń badanego obiektu, średnicę 2–60 mm. Izolator cieplny **11** w postaci tulei, np. teflonowej, ceramicznej, ma grubość ścianek 1–2 mm. Jeden koniec pręta połączony jest trwale z warstwą pełnej metalizacji **5** poprzez lutowanie, spawanie lub zgrzewanie. W innym wariantcie realizacji sensora termowód **9** może być połączony z warstwą pełnej metalizacji **5** rozłącznie, w szczególności przez docisk współpracujących ze sobą powierzchni, realizowany dowolnymi znanymi środkami, także ze wspomaganie przewodności cieplnej za pomocą np. pasty przewodzącej. W zależności od potrzeb, sensor może być także umieszczony w obudowie realizującej dodatkowe funkcje, np. zabezpieczenia warstw metalizacji, mocowania termowodu, mocowania do obiektu i inne niezbędne dla konkretnego miejsca zastosowania.

Sensor według wynalazku pracuje w przykładowym systemie zdalnego pomiaru temperatury obiektu pokazanym na fig. 3, który posiada następujące główne elementy składowe: sensor **1** będący w kontakcie termicznym z badanym obiektem **2** za pośrednictwem termowodu **9**, blok pomiarowy **20**, blok komunikacji **30** oraz układ nadrzędny **40**. Sensor **1** jest mikrofalową periodyczną strukturą rezonansową o postaci opisanej powyżej, zintegrowaną z termowodem **9**. Koniec termowodu **9** umieszczony jest we wgłębieniu wykonanym w obiekcie **2**, którego temperatura ma być mierzona. Blok pomiarowy **20** zawiera moduł nadawczo-odbiorczy **21** połączony za pomocą kabla koncentrycznego **12** z anteną **13**. W module nadawczo-odbiorczym **21** znajduje się generator elektromagnetycznego sygnału mikrofalowego emitowanego w kierunku sensora **1** jako padający sygnał nadawczy, a także dowolne urządzenie odbierające odbity od sensora sygnał odbiorczy, np. analizator widma, detektor mocy itp. Moduł nadawczo-odbiorczy **21** może być zrealizowany za pomocą dowolnych znanych środków technicznych zapewniających emisję i odbiór sygnału mikrofalowego.

W przykładowej realizacji pokazanej na fig. 3 system posiada jedną antenę **13**, wspólną dla sygnału emitowanego i sygnału odbitego. W innych wariantach moduł nadawczo-odbiorczy **21** może współpracować z dwoma oddzielnymi antenami: anteną nadawczą i anteną odbiorczą. W przykładowej realizacji obiekt **2**, którego temperatura jest mierzona, znajduje się wewnątrz jakiegoś urządzenia, nie pokazanego na rysunku, antena **13** umieszczona jest także wewnątrz, a blok pomiarowy znajduje się na zewnątrz urządzenia i kabel koncentryczny **12** przeprowadzony jest przez ściankę obudowy **14** urządzenia. Blok pomiarowy **20** zawiera moduł kontroli i przetwarzania **22** zintegrowany z modulem nadawczo-odbiorczym **21**. Moduł kontroli i przetwarzania **22** wyposażony jest w algorytmy i środki obliczeniowe skonfigurowane do przetwarzania danych pochodzących z modułu nadawczo-odbiorczego **21** oraz wyznaczania w czasie rzeczywistym parametrów charakterystyk częstotliwościowych elektromagnetycznych sygnałów mikrofalowych emitowanych i odbieranych przez antenę **13**, która w przykładowej realizacji jest anteną nadawczo-odbiorczą. Moduł nadawczo-odbiorczy **21** zawiera generator sygnału mikrofalowego i analizator widma sygnału i może być zrealizowany dowolnymi znanymi środkami technicznymi. Alternatywą jest wykorzystanie indywidualnie zaprojektowanych i zrealizowanych układów nadawczo-odbiorczych o różnej architekturze, umożliwiających generację i pomiar charakterystyk częstotliwościowych sygnału mikrofalowego. Moduł kontroli i przetwarzania **22** wyposażony jest w środki obliczeniowe zapewniające automatyczne normowanie w czasie rzeczywistym charakterystyki odbitego od sensora sygnału odbiorczego **E2** w odniesieniu do charakterystyki padającego na sensor sygnału nadawanego **E1**, w szczególności ze względu na możliwą niestabilność amplitudową generatora sygnału mikrofalowego. Moduł kontroli i przetwarzania **22** może być także skonfigurowany do automatycznego wykrywania w czasie rzeczywistym zmian pozycji sensora **1**, w szczególności jego odległości od anteny **13** i synchronizowania sygnałów nadawanych i odbieranych tak, aby generacja sygnału nadawczego i pomiar charakterystyki odbitego sygnału odbiorczego w całym spektrum częstotliwości odbywał się dla tego samego położenia sensora **1** względem anteny **13**. Jest to istotne i korzystne dla pomiarów temperatury w warunkach, gdy badany obiekt **2** jest elementem ruchomym, np. okresowo zmieniającym

położenie względem bloku pomiarowego **20** i anteny **13**. Blok pomiarowy **20** zawiera także moduł interfejsu użytkownika **23** połączony dwukierunkowo z modułem kontroli i przetwarzania **22**. W module interfejsu użytkownika **23** znajduje się wyświetlacz **24** aktualnie zmierzonej temperatury oraz sygnalizator **25**, np. świetlny, dźwiękowy, nadający sygnał alarmowy przy przekroczeniu zadanych progów temperatury. Interfejs użytkownika **23** może być także zaopatrzony w środki techniczne umożliwiające użytkownikowi wprowadzanie, zmianę danych i kryteriów pracy systemu do modułu kontroli i przetwarzania **22**. Blok pomiarowy **20** połączony jest dwukierunkowo z blokiem komunikacji **30**, który jest wyposażony w środki techniczne do komunikacji z układem nadrzędnym **40**. Umożliwia to zarządzanie pomiarem temperatury obiektu **2**, ustawianie parametrów, odbiór wyników pomiarów i sygnałów alarmowych w miejscu oddalonym od obiektu **2** i bloku pomiarowego **20**.

Zdalny pomiar temperatury obiektu oparty jest na zastosowaniu bezprzewodowego pasywnego sensora **1** umieszczonego w kontakcie termicznym z obiektem **2**, którego temperatura jest mierzona. W kierunku sensora **1** emitowany jest mikrofalowy sygnał nadawczy **E1**, mierzone i analizowane są charakterystyki częstotliwościowe sygnału odbiorczego **E2** odbitego od sensora. Wykorzystuje się zjawisko zmian właściwości selektywnych takiej struktury sensora w wyniku zmian temperatury, na skutek zmian wymiarów periodycznej warstwy metalicznej oraz parametrów podłoża pod wpływem zmian temperatury. Pomiar dla konkretnego obiektu przebiega w następujących głównych etapach: zaprojektowanie zindywidualizowanego sensora **1** dla danego obiektu **2** i warunków pomiaru, fizyczna realizacja sensora **1**, kalibracja sensora **1**, umieszczenie sensora **1** w kontakcie termicznym z badanym obiektem **2**, pomiar właściwy metodą odbiciową. Na etapie projektowania, dla określonego badanego obiektu **2** określa się i zakłada możliwą odległość sensora **1** od anteny **13** nadawczej i odbiorczej sygnału mikrofalowego, znajdującej się po tej samej stronie sensora, wymiary i wzór elementarnej komórki **8** struktury selektywnej częstotliwościowo oraz pasmo pomiarowe sygnału nadawczego **E1**. Wzór metalizacji wybiera się tak, aby sensor odbijał sygnały na wszystkich częstotliwościach pasma pomiarowego sygnału nadawczego, poza jedną częstotliwością rezonansową f_0 . Przykładowo jako elementarną komórkę wybiera się strukturę, w której na podłożu dielektrycznym **3** po jednej stronie znajduje się warstwa metalizacji z jedną szczeliną **7**, czyli powierzchnią bez metalizacji, a druga strona podłoża dielektrycznego pokryta jest warstwą pełnej metalizacji **5**, przy czym warstwy metalizacji znajdujące się po przeciwnych stronach podłoża połączone są metalizowanymi otworami przelotowymi **6** w podłożu. Za pomocą narzędzi projektowania wspomaganego komputerowo symuluje się działanie w różnych warunkach pomiarowych struktury selektywnej częstotliwościowo mającej różną liczbę elementarnych komórek **8**, różną grubość podłoża dielektrycznego **3** i optymalizuje się liczbę elementarnych komórek, wymiary elementarnej komórki i całej struktury, grubość podłoża dielektrycznego, liczbę i rozmieszczenie otworów przelotowych tak, aby uzyskać jak największą amplitudę i dobroć rezonansu sygnału odbiorczego **E2** odbitego od sensora **1** w zadanych warunkach pomiarowych, a także możliwą do osiągnięcia maksymalną dynamikę zmian częstotliwości i wartości amplitudy i/lub fazy rezonansu odbitego sygnału odbiorczego **E2** przy zmianach temperatury. Celem optymalizacji jest wybranie takiej struktury, dla której możliwe jest wykrycie przez blok pomiarowy **20** jak najmniejszych zmian częstotliwości rezonansowej f_0 , a tym samym jak najmniejszych zmian temperatury. Zaprojektowaną optymalną strukturę realizuje się w postaci fizycznej, która będzie wykorzystana jako zindywidualizowany sensor. W kolejnym etapie przeprowadza się proces kalibracji fizycznie zrealizowanej struktury: sensor umieszcza się kolejno w różnych znanych temperaturach i dla każdej z nich emituje się sygnał nadawczy **E1** w kierunku warstwy periodycznego wzoru metalizacji **4**, odbiera i analizuje sygnał odbiorczy **E2** odbity od sensora oraz wyznacza jego parametry, w szczególności częstotliwość rezonansową i amplitudę rezonansu. W trakcie kalibracji zapamiętane również mogą być całe charakterystyki częstotliwościowe. Poglądowe charakterystyki częstotliwościowe dla czterech różnych temperatur T_1, T_2, T_3, T_4 mające różne częstotliwości rezonansu f_1, f_2, f_3, f_4 , pokazane są na fig. 4. Na tej podstawie tworzy się charakterystykę kalibracyjną zindywidualizowanego sensora jako zależność częstotliwości rezonansowej od temperatury. Charakterystyka kalibracyjna może być zależnością liniową jak na fig. 5, albo może to być funkcja nieliniowa. Znając charakterystykę kalibracyjną, każdej zmierzonej częstotliwości rezonansowej f_0 można przyporządkować temperaturę. W kolejnym etapie sensor **1** umieszcza się w kontakcie termicznym z badanym obiektem **2** tak, aby warstwa pełnej metalizacji **5** znajdowała się od strony obiektu **2**. Najkorzystniej kontakt sensora z badanym obiektem realizuje się za pośrednictwem termowodu **9**, którego jeden koniec zespala się w centralnej części sensora z warstwą pełnej metalizacji w dowolny znany sposób, np. poprzez lutowanie, albo docisk we wspólnej obudowie. Drugi koniec termowodu umieszcza

się w przygotowanym wcześniej zagłębieniu w ścianie badanego obiektu **2**. Po zamocowaniu zindywidualizowanego sensora do badanego obiektu, umieszcza się antenę **13** nadawczo-odbiorczą modułu nadawczo-odbiorczego **21** w zadanej odległości od warstwy periodycznego wzoru metalizacji **4** i rozpoczyna pomiar temperatury obiektu **2**. W tym celu generuje się i emituje w kierunku sensora mikrofalowy sygnał nadawczy **E1** w paśmie częstotliwości zawierającym częstotliwość rezonansową periodycznej struktury selektywnej częstotliwościowo oraz rejestruje i analizuje odbity od sensora sygnał odbiorczy **E2**, w szczególności jego charakterystyki częstotliwościowe. Zgodnie ze znaną zasadą działania struktury selektywnej częstotliwościowo, padający na sensor **1** sygnał nadawczy **E1** na niektórych częstotliwościach zostanie odbity, a na innych zaabsorbowany i wytracony w strukturze sensora, więc sygnał powracający do układu pomiarowego na pewnych częstotliwościach będzie miał znacznie mniejszą energię niż na pozostałych częstotliwościach, co pokazują poglądowe charakterystyki na fig. 5. W rozwiązaniu według wynalazku zindywidualizowany sensor **1** odbija wszystkie częstotliwości sygnału nadawczego **E1** poza jedną, ma jeden rezonans, przy czym charakterystyki sygnału odbiorczego **E2** będą różne dla różnych temperatur, ponieważ pod wpływem temperatury zmieniają się wymiary geometryczne warstwy periodycznego wzoru metalizacji **4**, a także parametry podłoża dielektrycznego **3**. Po przez identyfikację zmian częstotliwości rezonansowej f_0 i amplitudy rezonansu wyznacza się temperaturę obiektu na podstawie charakterystyki kalibracyjnej danego sensora. Można także porównywać całe charakterystyki częstotliwościowe w szerszym spectrum częstotliwości, mierzyć i analizować parametry zespolone sygnałów, w zależności od możliwości pomiarowych i oprogramowania bloku pomiarowego **20**. Wszystkie pomiary, analizy i określenie temperatury realizuje się w czasie rzeczywistym za pomocą modułu kontroli i przetwarzania **22** wyposażonego w dedykowane komputerowe środki obliczeniowe. W celu eliminacji niedokładności pomiarów wynikających np. z niestabilności amplitudowej generatora sygnału nadawczego, w czasie pomiaru normuje się charakterystykę sygnału odbiorczego **E2** w odniesieniu do charakterystyki sygnału nadawczego **E2**, za pomocą środków obliczeniowych zaimplementowanych w module kontroli i przetwarzania **22** bloku pomiarowego **20**. W przypadku pomiaru temperatury obiektu ruchomego, położenie sensora umieszczonego na obiekcie jest zmienne w czasie względem stałego umiejscowienia anteny **13** modułu nadawczo-odbiorczego **21**, co niekorzystnie wpływa na dokładność pomiarów. W celu eliminacji tej niedokładności, w czasie pomiaru synchronizuje się generację sygnału nadawczego z aktualną pozycją sensora tak, aby pomiar charakterystyki sygnału odbiorczego w całym spectrum częstotliwości odbywał się dla tej samej pozycji sensora względem anteny **13** modułu nadawczo-odbiorczego **21**.

W przykładowej realizacji wynalazku pomiary prowadzono z wykorzystaniem sensora o wyżej wskazanych parametrach dla sygnału nadawczego w paśmie 24 GHz i odległości sensora od anten 3,5 cm. Przy zmianie temperatury o 10°C częstotliwość rezonansowa sygnału odbiorczego zmienia się o ok. 0,06%. W temperaturze 27°C rezonans obserwowany był na częstotliwości 24,05 GHz, a przy temperaturze 60°C – na częstotliwości 23,95 GHz, co ilustrują charakterystyki pokazane na fig. 6. Dla zastosowanych materiałów czujnika zakres mierzonych temperatur: -40°C do 200°C. Stosując różne materiały, różne wymiary, geometrię sensora, a także różne częstotliwości pasma mikrofalowego sygnału, można wykorzystać rozwiązanie do pomiarów dla różnych przewidywanych zakresów temperatur obiektu.

Dla szybkości i dokładności pomiarów temperatury przy użyciu sensora z periodyczną strukturą selektywną częstotliwościowo duże znaczenie ma szybkość przyjęcia energii cieplnej przez tę strukturę. Jest to szczególnie istotne przy pomiarach temperatury ciał stałych. Przedmiotowe rozwiązanie zapewnia maksymalnie szybką wymianę ciepła między badanym obiektem **2** i warstwą periodycznego wzoru metalizacji **4**, co jest istotne dla osiągnięcia jak największej dokładności pomiarów. W zależności od miejsca zastosowania, sensor może być mocowany przy użyciu dowolnych znanych środków technicznych. Warstwa pełnej metalizacji **5** może stykać się całą swą powierzchnią z powierzchnią obiektu, co zapewnia szybkie przyjęcie przez tę warstwę energii cieplnej od badanego obiektu, a metalizowane otwory przelotowe **6** zapewniają szybkie przekazanie tego ciepła do warstwy periodycznego wzoru metalizacji **4**. W przypadku badania obiektu o płaskiej powierzchni sensor może być zespolony swoją warstwą pełnej metalizacji **5** z powierzchnią obiektu **2** np. za pomocą kleju termoprzewodzącego, bez użycia termowodu. W przypadku obiektów o powierzchniach nie płaskich, albo takich, dla których ważny jest pomiar temperatury wnętrza, a nie powierzchni, maksymalnie szybką wymianę ciepła między wnętrzem obiektu **2** i warstwą periodycznego wzoru metalizacji **4** zapewnia warstwa pełnej metalizacji **5**, metalizowane otwory przelotowe **6** oraz termowód **9**. Koniec rdzenia **10** termowodu szybko osiąga temperaturę obiektu i przekazuje energię cieplną do warstwy pełnej metalizacji **5**, a izolator cieplny **11** zapobiega

rozpraszaniu tej energii cieplnej. Rozwiązanie według wynalazku przeznaczone jest głównie do zastosowania przy pomiarach temperatury obiektów stałych, takich jak części maszyn i urządzeń, np. panewki łożysk korbowodów. W innym zastosowaniu, gdy badanym obiektem jest np. płyn, sensor może być zawieszony w badanym środowisku przy użyciu dowolnych znanych środków technicznych tak, aby warstwa periodycznego wzoru metalizacji **4** znajdowała się w zasięgu anten bloku pomiarowego **20**.

W proponowanym rozwiązaniu warstwa pełnej metalizacji sensora zapewnia niezależnienie częstotliwości rezonansowej odbitego od sensora sygnału odbiorczego od kształtu i materiału badanego obiektu. W szczególnie korzystnym wariantcie połączenie warstwy pełnej metalizacji z metalizowanymi otworami przelotowymi i z termowodem zapewnia sprawną wymianę energii cieplnej między sensorem i badanym obiektem, niezależnie od kształtu obiektu. Komputerowe projektowanie zindywidualizowanego sensora dla określonych warunków pomiarowych oraz zastosowanie oprogramowanego modułu kontroli i przetwarzania umożliwia szybkie przetwarzanie i analizę danych, a tym samym szybkie pomiary w czasie rzeczywistym. Moduł interfejsu użytkownika umożliwia szybką reakcję na zmiany temperatury, a także sygnalizację przekroczenia zaprogramowanych progów alarmowych. Dzięki zastosowaniu bloku komunikacji z układem nadrzędnym możliwe jest zdalne zarządzanie pomiarami i ich wynikami.

Przedstawione przykładowe realizacje nie wyczerpują możliwych wariantów realizacji rozwiązania mających istotne cechy według wynalazku. W szczególności warstwa periodycznego wzoru metalizacji sensora może mieć elementarne komórki o różnej liczbie szczelin w metalizacji, różnym wzorze metalizacji, różnej liczbie i układzie metalizowanych otworów przelotowych. Możliwe są także różne warianty fizycznej realizacji termowodu. W systemie pomiarowym moduł interfejsu użytkownika może być wyposażony w różne znane środki techniczne, a blok komunikacji i układ nadrzędny mogą zawierać elementy i układy realizujące różne oczekiwane przez użytkownika funkcje.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sensor do zdalnego pomiaru temperatury obiektu zawierający mikrofalową periodyczną strukturę selektywną częstotliwościowo w postaci płaskiego podłoża dielektrycznego (3) pokrytego z jednej strony warstwą periodycznego wzoru metalizacji (4) ze szczelinami (7) w tej warstwie metalizacji, a z drugiej strony pokrytego warstwą pełnej metalizacji (5), z metalizowanymi otworami przelotowymi (6) w podłożu dielektrycznym (3) łączącymi obie warstwy metalizacji **znamienny tym**, że szczeliny (7) ułożone są równolegle w rzędach i kolumnach pomiędzy metalizowanymi otworami przelotowymi (6).
2. Sensor według zastrz. 1 **znamienny tym**, że cała warstwa periodycznego wzoru metalizacji (4) stanowi macierz jednakowych elementarnych komórek (8), z których każda ma jedną szczelinę (7) i jednakową liczbę metalizowanych otworów przelotowych (6) po obu stronach szczeliny (7).
3. Sensor według zastrz. 2 **znamienny tym**, że zaopatrzony jest w termowód (9), który jest połączony jednym swym końcem z warstwą pełnej metalizacji (5) i ma postać rdzenia (10) przewodzącego ciepło, którego boczne ścianki pokryte są warstwą izolatora cieplnego (11).

Rysunki

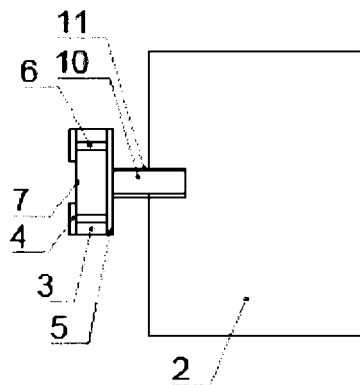


Fig. 1

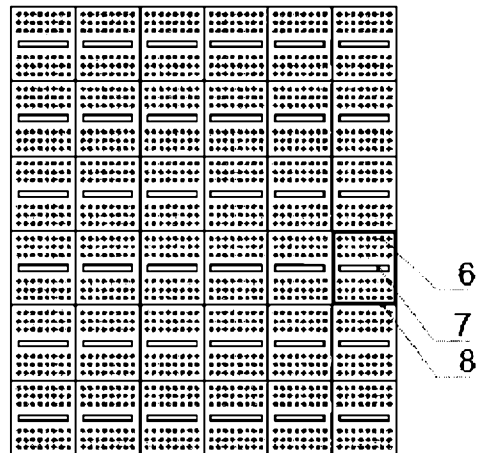


Fig. 2

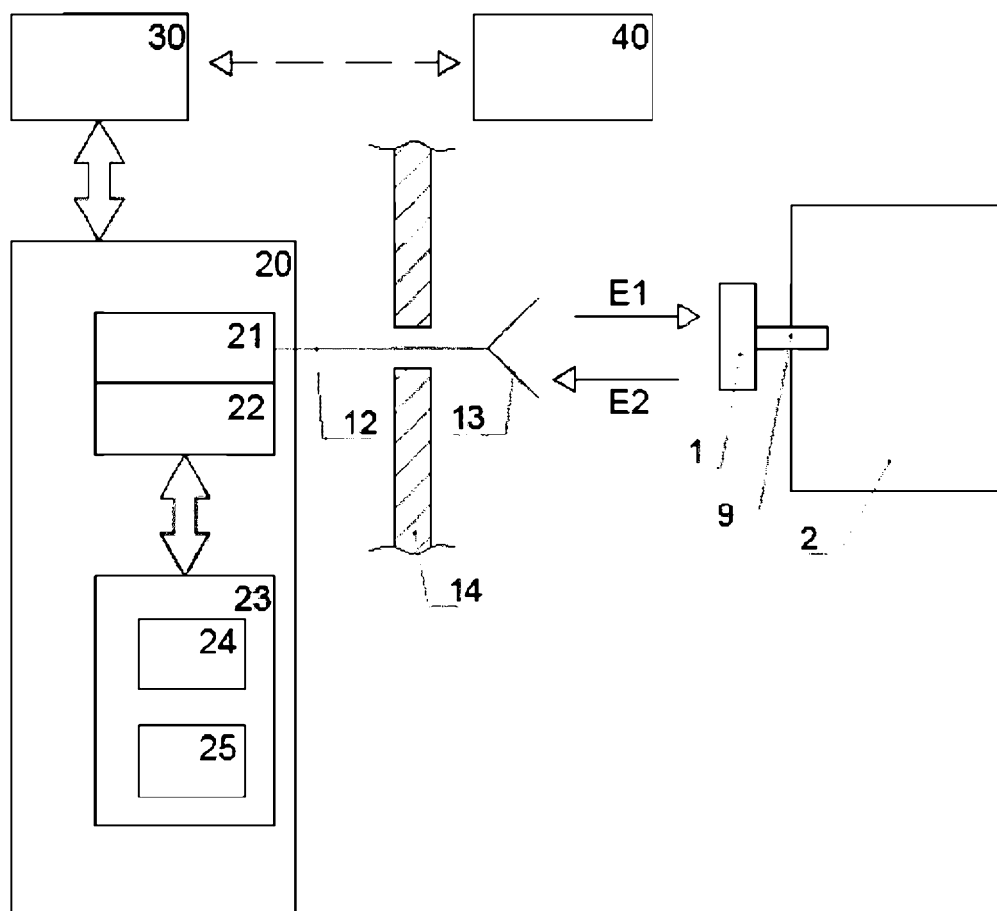


Fig. 3

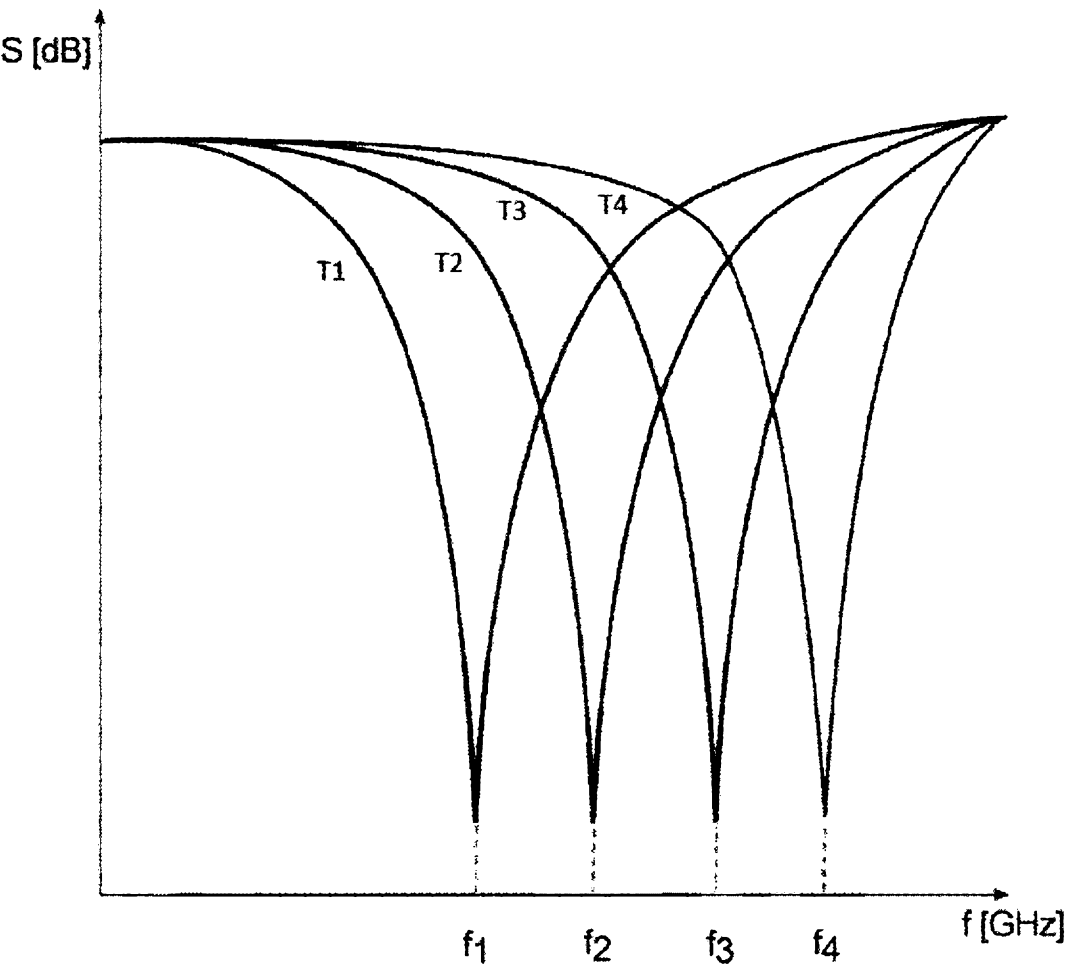


Fig. 4

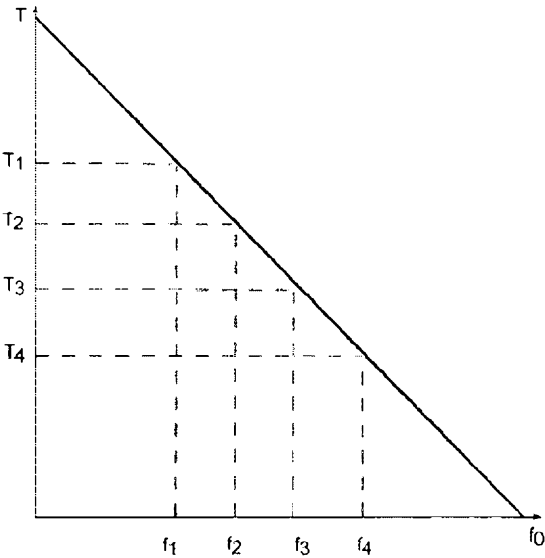


Fig. 5

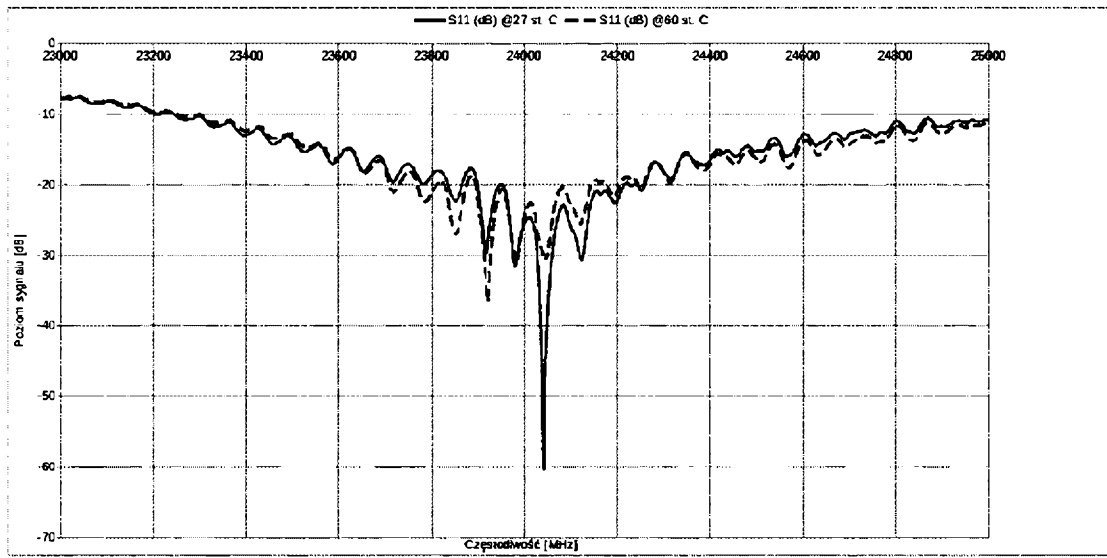


Fig. 6