

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **241177**
(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **435440**

(22) Data zgłoszenia: **24.09.2020**

(51) Int.Cl.
G01N 25/32 (2006.01)
G01N 33/22 (2006.01)

(54) **Sposób wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów i układ pomiarowy
do wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
28.03.2022 BUP 13/22

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
16.08.2022 WUP 33/22

(73) Uprawniony z patentu:
ELEKTROMETAL SPÓŁKA AKCYJNA,
Cieszyn, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
EDWARD CIEŚLAR, Goleszów, PL
JAN DZIUBAN, Wrocław, PL
PAWEŁ KNAPKIEWICZ, Trzebnica, PL

(74) Pełnomocnik:
rzec. pat. Włodzimierz Caban

PL 241177 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów i układ pomiarowy do wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów, znajdujące zastosowanie w wielu dziedzinach techniki gdzie wykorzystywane są gazy i występuje potrzeba wyznaczenia kaloryczności.

W stanie techniki opis EP1337844B1 ujawnia sposób określania kaloryczności mieszaniny gazów, w tym wielu gazów węglowodorowych, a także gazu ziemnego, pośrednio poprzez wyznaczenie składu gazów tej mieszaniny. W tym sposobie, zgodnie ze znaną zasadą, kaloryczność mieszaniny gazów wyznacza się przez określenie udziału poszczególnych gazów w mieszaninie i obliczenie na tej podstawie kaloryczności tej mieszaniny. Sam sposób obejmuje wybranie jednego lub większej ilości dominujących węglowodorów reprezentowanych w mieszaniu gazów, przy założeniu, że liczba dominujących węglowodorów jest mniejsza niż liczba gazów składających się na tą mieszaninę. W kolejnym etapie mierzy się szereg charakterystyk mieszaniny gazów, a liczba mierzonych cech jest o jeden mniejsza niż całkowita liczba dominujących składników mieszaniny gazów. Efektywny skład mieszaniny gazów określa się z pomiarów charakterystyk tej mieszaniny, przy użyciu wcześniej zdefiniowanych parametrów dla każdego dominującego składnika mieszaniny gazów. Parametry są zależne od mierzonej cechy oraz dominujących składników mieszaniny gazów, przy składzie mieszaniny gazów, który wynosi 100%. Ponadto założenie, że w skład mieszaniny gazów wchodzi cztery dominujące składniki, a ich udział w mieszaninie gazów wynosi 100% pozwala na przeprowadzenie trzech pomiarów wyznaczających dominujące składniki mieszaniny gazów. Czwarty dominujący składnik mieszaniny gazów może być obliczony w oparciu o układy równań. Pomiary charakterystyk mieszaniny gazów obejmują trzy właściwości: przewodność cieplną gazu w pierwszej temperaturze, przewodność cieplną gazu w drugiej temperaturze oraz prędkość dźwięku. Ze względu na mierzone właściwości gazu w sposobie wykorzystuje się czujniki przewodności cieplnej gazu i czujniki prędkości dźwięku. Wykorzystanie tych właściwości determinuje zastosowane układy równań, które tworzone są dla przewodności termicznej gazu i prędkości rozchodzenia się dźwięku w gazie.

Ponadto, US7091509B2 ujawnia sposób określania dla mieszaniny gazów co najmniej jednej właściwości energetycznej takiej jak kaloryczność, czy liczba Wobbego. W tym sposobie dla mieszaniny gazów dokonuje się pomiaru dobranej liczby właściwości fizycznych mieszaniny gazów bądź też jednej, wybranej właściwości fizycznej mieszaniny gazów w różnych temperaturach. Następnie na podstawie wspomnianych właściwości fizycznych określa się skład mieszaniny gazów złożonej z wielu składników, która jest odpowiednikiem badanej mieszaniny gazów. W kolejnym etapie określa się właściwości energetyczne badanej mieszaniny gazów na podstawie składu mieszaniny gazowej będącej równoważnikiem. Jako właściwości fizyczne mierzy się zwłaszcza prędkość rozchodzenia się dźwięku, przewodność cieplną, współczynnik lepkości dynamicznej, gęstość, współczynnik załamania, stałą dielektryczną gazu, czy absorpcję w podczerwieni. W szczególności wykorzystuje się pomiar par właściwości fizycznych w postaci współczynnika lepkości dynamicznej z przewodnością cieplną, przewodność cieplną w dwóch różnych temperaturach, współczynnik załamania z przewodnością cieplną oraz prędkość dźwięku z współczynnikiem załamania. Przed przystąpieniem do właściwych pomiarów wymaga się przeprowadzenia kalibracji polegającej na wykonaniu kilku serii pomiarów właściwości fizycznych równoważnej mieszaniny o znanych składach i zdeterminowaniu związku pomiędzy tymi właściwościami fizycznymi, a zawartością poszczególnych składników równoważnej mieszaniny gazowej. Tym samym skład mieszaniny gazowej wyznacza się w oparciu o kilka mierzonych właściwości fizycznych gazu i zestawia się go z pomiarami właściwości fizycznych mieszanin gazów o znanych składach. W sposobie wykorzystuje się również metody matematyczne, w tym równania i wyznaczanie współczynników w oparciu o metodę regresji. Dla ustalonego składu mieszaniny gazowej można obliczyć jej wartość kaloryczną opierając się o charakterystyczne wartości dla każdego z jej składników.

Natomiast w chromatografii gazowej znane są urządzenia pomiarowe pozwalające wyznaczyć skład mieszaniny gazowej i jej właściwości energetyczne. Chromatografia gazowa jest metodą podziałową, gdzie mieszanina gazów zostaje rozdzielona na pojedyncze jej składniki w wyniku przepuszczenia próbki przez kapilarę. Z uwagi na różne właściwości fizyczne poszczególnych gazów, takich jak masa i wielkość cząsteczek, gazy te poruszają się w kapilarze z różną prędkością, tym samym docierają do detektora umieszczonego na końcu kapilary w różnym czasie. Obecność rozdzielonych gazów rejestrowana jest przez czujnik przewodności termicznej, a w wyniku pomiaru otrzymuje się chromatogram, na podstawie którego można precyzyjnie określić skład jakościowy i ilościowy badanej próbki, a na podstawie tego obliczyć wartość kaloryczną opierając się o charakterystyczne wartości dla każdego z jej

składników. Przykładowo US2010242573A1 ujawnia czujnik przewodności cieplnej gazu wykorzystujący mostek Wheatstone'a zbudowany w taki sposób, że rezystory pomiarowe, które wchodzi w kontakt z próbką gazu, są umieszczone na jednej stronie czujnika, a rezystory referencyjne, które wchodzi w kontakt z gazem referencyjnym są umieszczane po drugiej stronie tego czujnika. W czujniku przewodności cieplnej gazu porównuje się różnicę potencjałów między punktami połączeń rezystorów odniesienia i rezystorów pomiarowych.

Natomiast WO9934198A2 ujawnia sposób i urządzenie do określania właściwości płynów, a zwłaszcza do określenia przewodności cieplnej, dyfuzyjności cieplnej, ciepła właściwego i prędkości badanego płynu. W tym rozwiązaniu wykorzystywany jest generator częstotliwości sekwencyjnie lub jednocześnie dostarczający sygnały wejściowe do wybranych elementów grzejnych lub czujnikowych, a mierzone jest opóźnienie czasowe lub fazowe przy różnych częstotliwościach z wykorzystaniem algorytmu FFT. Generator częstotliwości dostarcza zmieniający się w czasie sygnał wejściowy do co najmniej jednego elementu grzejnego i do czujnika. Element grzejny i czujnik są umieszczone w jednej odnodze odpowiedniego obwodu mostka Wheatstone'a. W takim przypadku sygnał wyjściowy grzałki i sygnał wyjściowy czujnika wskazują odpowiednio rezystancję, a tym samym temperaturę elementu grzejnego i czujnika. Z tego względu, że przewodność cieplna badanego płynu bezpośrednio wpływa na zmienną w czasie reakcję na temperaturę elementu grzejnego, a przewodnictwo cieplne płynu typowo zależy od ciśnienia lub temperatury płynu to wykorzystując te właściwości określa się przewodność cieplną, ciśnienie lub temperaturę płynu badając zmienne opóźnienie fazowe lub opóźnienie czasowe między zmiennym w czasie sygnałem wejściowym dostarczonym do elementu grzejnego, a późniejszą temperaturą przejściową. W tym celu wykorzystywany jest procesor implementujący algorytm FFT. Zasadniczo procesor jest wykorzystywany do określania opóźnienia fazowego między zmiennym w czasie sygnałem wejściowym, a sygnałem wyjściowym grzałki podczas przejściowego stanu podwyższonej temperatury. Procesor odbiera zmienny w czasie sygnał wejściowy dostarczany przez generator częstotliwości i sygnał wyjściowy podgrzewacza. Następnie wykorzystując algorytm FFT lub metodę korelacji krzyżowej określa opóźnienie fazowe między zmiennym w czasie sygnałem wejściowym, a sygnałem wyjściowym grzałki. W oparciu o opóźnienie fazowe oblicza się temperaturę, ciśnienie lub przewodność cieplną badanego płynu. Samo urządzenie zawiera natomiast krzemowy korpus w którym osadzone są środki grzejne w komunikacji termicznej z badanym płynem, posiadające rezystancję zmieniającą się wraz z temperaturą oraz czujniki w komunikacji termicznej z badanym płynem, posiadające rezystancję zmieniającą się wraz z temperaturą, przy czym sygnał wyjściowy tych czujników zapewnia informacje o temperaturze i zmieniającej się wraz z nią rezystancji, a także urządzenie zasilające dostarczające okresowo zmieniający się w czasie sygnał wejściowy. Dodatkowo urządzenie jest zaopatrzone w środki przełączające do łączenia wspomnianych środków zasilających ze wspomnianymi środkami grzejnymi lub z czujnikami.

Celem wynalazku jest rozwiązanie problemu technicznego polegającego na znacznym skomplikowaniu dotychczasowych metod i układów przeznaczonych do wyznaczenia kaloryczności mieszaniny gazów, a obejmujących w szczególności konieczność dokonywania licznych pomiarów właściwości fizycznych gazów.

Wynalazek dotyczy sposobu wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów, w którym kalibruje się układ pomiarowy, a następnie mierzy się wybraną właściwość fizyczną mieszaniny gazów, po czym na podstawie wybranej właściwości fizycznej określa się skład mieszaniny gazowej i określa się kaloryczność mieszaniny gazów w oparciu o udział składników w mieszaninie gazowej. Istota wynalazku polega na tym, że dla kalibracji układu pomiarowego oraz dla pomiaru wybranej właściwości fizycznej mieszaniny gazów wyznacza się temperaturę odniesienia, przy czym w układzie pomiarowym w otoczeniu gazowym w pobliżu co najmniej jednego termorezystora pomiarowego umieszcza się co najmniej jeden termorezystor grzejny, który zasila się sygnałem zmiennym, a następnie po kalibracji układu pomiarowego jako właściwość fizyczną mieszaniny gazów mierzy się co najmniej jeden z następujących parametrów: przebieg zmian rezystancji lub przebieg zmian natężenia prądu lub przebieg zmian napięcia, w co najmniej jednym termorezystorze pomiarowym w otoczeniu gazowym i wyznacza się dla mierzonych parametrów parametry przebiegu wykładniczego, które zestawia się z informacjami z etapu kalibracji układu pomiarowego, po czym wyznacza się skład mieszaniny gazów i na podstawie składu mieszaniny gazów wyznacza się jej kaloryczność.

Korzystnie w układzie pomiarowym w otoczeniu gazowym umieszcza się dodatkowy termorezystor grzejny i ogrzewa się układ pomiarowy do temperatury odniesienia.

Celowym jest, gdy mierzy się temperaturę układu pomiarowego i odnosi się zmierzoną temperaturę układu pomiarowego do ustalonej temperatury odniesienia.

Właściwym jest również, gdy na etapie kalibracji wykorzystuje się mieszaniny gazów o znanym składzie dla których mierzy się przebieg zmian rezystancji lub przebieg zmian natężenia prądu lub przebieg zmian napięcia, po czym aproksymuje się z wykorzystaniem regresji powierzchniowej wartości poszczególnych parametrów uzyskanych z pomiarów i zapisuje się w pamięci trwałej układu pomiarowego parametry regresji powierzchniowej w powiązaniu ze znanymi składami mieszaniny gazów.

Szczególnie korzystnym jest, gdy pomiar właściwości fizycznych mieszaniny gazów przeprowadza się w warunkach statycznych otoczenia gazowego.

Równie właściwym jest, gdy termorezystor grzejny zasila się sygnałem zmiennym o przebiegu prostokątnym.

Celowym jest, gdy termorezystor grzejny zasila się prądem albo napięciem.

Kolejny wynalazek dotyczy układu pomiarowego do wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów, zawierającego korpus z komorą pomiarową z przyporządkowanym wlotem i wylotem dla mieszaniny gazowej, przy czym w komorze pomiarowej zamocowane są co najmniej jeden termorezystor grzejny, termorezystor pomiarowy, a także co najmniej jeden termorezystor referencyjny. Istota wynalazku polega na tym, że w komorze pomiarowej zamocowany jest co najmniej jeden dodatkowy termorezystor grzejny, a w polu oddziaływania termorezystora grzejnego znajduje się termorezystor pomiarowy, a poza polem oddziaływania termorezystora grzejnego znajduje się termorezystor referencyjny.

Korzystnie układ pomiarowy do wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów zawiera termorezystory pomiarowe temperatury.

Szczególnie zasadnym jest, gdy termorezystory pomiarowe temperatury połączone są szeregowo.

Podstawową zaletą wynalazków jest uzyskanie sposobu oraz układu do wyznaczenia kaloryczności mieszaniny gazów w oparciu o pomiary realizowane z wykorzystaniem termorezystora lub termorezystorów umieszczonych w otoczeniu gazowym. W szczególności układ pomiarowy może być wytworzony w technologii mikromechanicznej. Osiąga się dzięki temu znaczne obniżenie kosztów związanych z wykorzystywaniem sposobu oraz z wytwarzaniem odpowiedniego układu, eliminując konieczność wykorzystywania dedykowanych i kosztownych czujników do realizowania pomiarów wybranych parametrów mieszaniny gazów. Przekłada się to bezpośrednio na możliwość taniej i masowej produkcji. Co więcej, do określenia kaloryczności mieszaniny gazów wymagana jest tylko niewielka próbka tej mieszaniny, która daje wystarczające stabilne pomiary. Konsekwentnie dzięki sposobowi i układowi uzyskuje się możliwość wykonania kalorymetru o niewielkich kosztach produkcji, wystarczającej stabilności metrologicznej i niskim zużyciu energii umożliwiającym wieloletnie zasilanie bateryjne. Dzięki wynalazkom można więc wytworzyć kartę pomiarową, która może być szeroko wykorzystywana, przykładowo do określenia kaloryczności mieszaniny gazowej w gazomierzach domowych bądź przemysłowych.

Wynalazki zostały bliżej przedstawione w przykładach wykonania i na rysunku na którym fig. 1 przedstawia przebieg sygnału zasilania termorezystora grzejnego, fig. 2 – zależność sygnału wyjściowego z termorezystorów pomiarowych od składu mieszaniny gazowej, fig. 3 – sygnał wyjściowy z termorezystorów pomiarowych na wykresie funkcji, fig. 4 – korpus z kanałami prowadzącymi dla gazu w których umieszczane są elementy układu elektrycznego, fig. 5 – schemat ideowy elektrycznego układu pomiarowego do wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów z zaznaczonymi źródłami zasilania, fig. 6 – kolejny schemat ideowy elektrycznego układu pomiarowego do wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów z zaznaczonymi źródłami zasilania.

Sposób wyznaczenia kaloryczności mieszaniny gazów został wykorzystany w układzie pomiarowym umieszczonym w otoczeniu gazowym. W układzie zostały wykorzystane dwa termorezystory pomiarowe oraz dwa termorezystory referencyjne umieszczone w układzie mostka Wheatstone'a. W sposobie w pierwszej kolejności do termorezystorów w układzie mostka Wheatstone'a dodaje się termorezystor grzejny, który następnie zasila się sygnałem zmiennym (fig. 1). W przykładzie wykonania do zasilania termorezystora grzejnego wykorzystywano prąd o przebiegu prostokątnym. Możliwe są także inne przykłady wykonania, w których termorezystor grzejny może być zasilany napięciem o charakterze okresowo zmiennym w czasie. Tym samym uzyskano czujnik, w którym dochodzi do transportu ciepła pomiędzy termorezystorem grzejnym, a termorezystorami pomiarowymi. Mieszanina gazów w obszarze termorezystorów pomiarowych jest ogrzewana, a zmiana jej temperatury wpływa na przebieg zmiany rezystancji lub przebieg zmian natężenia prądu lub przebieg zmian napięcia w termorezystorach pomiarowych. W przykładzie wykonania realizowano pomiar przebiegu zmiany rezystancji termorezystorów

pomiarowych. Konsekwentnie nie mierzy się bezpośrednio właściwości fizycznych mieszaniny gazowej, takiej jak temperatura, czy prędkość rozchodzenia się dźwięku, ale jako właściwość fizyczną mieszaniny gazowej mierzy się przebieg zmian rezystancji lub przebieg zmian natężenia prądu lub przebieg zmian napięcia w termorezystorach pomiarowych. Ponadto w sposobie wykorzystuje się także zależność zmiany temperatury od rodzaju mierzonego gazu, co pozwala na identyfikację rodzajów gazu w mieszaninie gazów. Należy także zaznaczyć, że pomiar przeprowadza się w warunkach statycznych otoczenia gazowego, bez przepływu mieszaniny gazów, dla pobranej próbki o niewielkiej objętości.

W następnym etapie wyznacza się temperaturę odniesienia, właściwą zarówno dla kalibracji układu pomiarowego, jak i dla późniejszych pomiarów właściwości fizycznych gazu. W przykładzie wykonania jako temperaturę odniesienia wybrano trzy temperatury: 20°C, 40°C, 50°C. Dla tych wybranych temperatur przeprowadzono kalibrację układu pomiarowego, podczas której wykorzystano mieszaniny gazów o znanym składzie. Podczas kalibracji układu pomiarowego mierzy się przebieg zmiany rezystancji lub przebieg zmian natężenia prądu lub przebieg zmian napięcia, po czym aproksymuje się z wykorzystaniem regresji powierzchniowej wartości poszczególnych parametrów uzyskanych z pomiarów i zapisuje się w pamięci trwałej układu pomiarowego parametry regresji powierzchniowej w powiązaniu ze znanymi składami mieszaniny gazów.

Sygnal wyjściowy z termorezystorów pomiarowych zależy od składu mieszaniny gazów (fig. 2). Korzystnie, sygnał wyjściowy z termorezystorów pomiarowych może być opisany zmiennymi statycznymi oraz dynamicznymi. Sygnał wyjściowy z termorezystorów pomiarowych (fig. 3), jest dobrze przybliżony zależnością matematyczną – funkcją dopasowującą:

$$f(x) = D + \frac{A - D}{(1 + \frac{x}{C})^B}$$

gdzie:

A – dolna asymptota,

B – współczynnik Hilla czyli stromość nachylenia w liniowej części sigmoidy,

C – jest punktem przegięcia krzywej i jest powiązane z wartością $f(0)$ tj. wartością x środka liniowej części krzywej,

D – górna asymptota,

G – współczynnik asymetryczności – początkowo 0.5.

W oparciu o przeprowadzone pomiary wyznaczana jest wartość parametrów A, B, C, D lub G dla co najmniej kilku wybranych, różnych składów mieszaniny gazów. Liczba składów mieszaniny gazów, dla których wyznaczane są wartości parametrów musi być wystarczająca, aby wyznaczyć zależność parametru od udziałów procentowych. Jeżeli zakłada się występowanie w mieszaninie gazowej trzech składników to pomiar należy przeprowadzić dla co najmniej trzech składów mieszaniny gazów, wyznaczając punkty płaszczyzny. Zwiększenie liczby badanych składów zwiększa dokładność wyznaczenia zależności ze względu na eliminację błędów losowych.

Ponadto liczba niezbędnych parametrów, które należy wyznaczyć, zależy od liczby składników mieszaniny gazów i jest zawsze o jeden mniejsza od liczby zakładanych składników tej mieszaniny gazów. Dla zakładanych trzech składników mieszaniny gazowej wyznaczamy wartości dwóch wybranych parametrów przykładowo

$$y_C = f_C(x_1, x_2, x_3)$$

i

$$y_D = f_D(x_1, x_2, x_3)$$

z wartościami odpowiednio parametru C i D. Wynika to z założenia, że suma udziałów procentowych składników mieszaniny gazów musi dać zawsze sumarycznie 100%. Takie założenie pozwala, na utworzenie dodatkowego równania i pozwala uniknąć konieczności wyznaczania trzeciego parametru.

Dzięki tej zależności uzyskujemy uproszczoną tablicę wartości dla wybranych parametrów dla opisywanej trójskładnikowej mieszaniny gazów:

$$y_C = f_C(x_1, x_2) \text{ i } y_D = f_D(x_1, x_2)$$

Tym samym ze względu na liniową zależność parametrów istnieje możliwość eliminacji jednego, dowolnego, parametru.

Dla wyznaczonych tablic wartości wybranych parametrów

$$y_C = f_C(x_1, x_2) \text{ i } y_D = f_D(x_1, x_2)$$

wyznaczana jest płaszczyzna regresji, lub hiperpłaszczyzna dla więcej niż dwóch parametrów, za pomocą metody najmniejszych kwadratów. Dla płaszczyzny układ równań w postaci macierzowej przyjmuje następującą postać:

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n (x_{1i} * x_{2i}) & \sum_{i=1}^n x_{1i} \\ \sum_{i=1}^n (x_{1i} * x_{2i}) & \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{2i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{2i} & n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} A_k \\ B_k \\ C_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (y_{ki} * x_{1i}) \\ \sum_{i=1}^n (y_{ki} * x_{2i}) \\ \sum_{i=1}^n y_{ki} \end{bmatrix}$$

gdzie:

- n – liczba badanych składów w celu wyznaczenia zależności dla kalibracji czujnika,
- i – numer badanego składu mieszaniny gazów,
- x_1, x_2 – dwa dowolnie wybrane udziały w mieszaninie gazów, gdzie trzeci składnik x_3 – jest uzupełnieniem do 100%,
- y_k – wartość parametru y_C lub y_D dla składu mieszaniny gazów podanego dla czujnika,
- A_k, B_k, C_k – wartości współczynników definiujących płaszczyznę regresji dla funkcji f_C i f_D ,
- k – może przyjąć wartości A, B, C, D, G.

Rozwiązując powyższy macierzowy układ równań wyznaczamy wartości A_k, B_k, C_k , definiując płaszczyznę regresji dla poszczególnych parametrów. Natomiast równania płaszczyzn, wraz z równaniem dodatkowym, definiujące zależność parametrów od udziału składników w mieszaninie gazów, dla wybranych dwóch parametrów C i D przedstawiają się następująco:

$$\begin{cases} y_C = A_C * x_1 + B_C * x_2 + C_C \\ y_D = A_D * x_1 + B_D * x_2 + C_D \\ x_1 + x_2 + x_3 = 1 \end{cases}$$

Tym samym uzyskujemy układ trzech równań, w których niewiadomymi są wartości udziału procentowego poszczególnych składników mieszaniny gazów przykładowo: azotu, metanu i etanu.

Dodatkowo należy zaznaczyć, że można zwiększyć ilość możliwych do uzyskania parametrów, a przez to i liczbę uwzględnianych składników mieszaniny, przez zmianę amplitudy prądu zasilającego. Ze względu na zależność od temperatury parametrów gazu istotnych dla przedstawianej metody, głównie ciepła właściwego i przewodności cieplnej, uzyskujemy w ten sposób wartości parametrów liniowo niezależne od składu mieszaniny gazów dla każdej z temperatur.

Jak wskazano powyżej, parametry z etapu kalibracji, a więc wskazane równania płaszczyzn wyznaczane są w czasie kalibracji czujnika i zapisywane w pamięci nieulotnej układu elektronicznego. Należy wyjaśnić, że dla uzyskania wysokiej dokładności pomiaru konieczne jest kalibrowanie każdego egzemplarza czujnika. Przy założeniu większej ilości składników mieszaniny gazów, układ równań uzyskuje się analogicznie.

Po etapie kalibracji można w pełni wykorzystywać sposób wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów. Na tym etapie, identycznie jak na etapie kalibracji wykorzystuje się termorezystor grzejny, który zasila się sygnałem zmiennym – prądem o przebiegu prostokątnym. Jak wskazano, ogrzewa się mieszaninę gazów w obszarze termorezystorów pomiarowych, a zmiana temperatury wpływa na przebieg zmiany rezystancji lub przebieg zmian natężenia prądu lub przebieg zmian napięcia w termorezystorach pomiarowych. Mierzy się więc zamiast właściwości fizycznej mieszaniny gazów, przebieg zmian rezystancji lub przebieg zmian natężenia prądu lub przebieg zmian napięcia w termorezystorach pomiarowych. Podczas pomiaru kaloryczności mieszaniny gazów, pomiaru przebiegu zmian rezystancji lub przebiegu zmian natężenia prądu lub przebiegu zmian napięcia w termorezystorach pomiarowych dokonuje się z częstotliwością pozwalającą na dokładne odtworzenie przebiegów tych właściwości,

w przykładzie wykonania pomiar realizowano z częstotliwością 100 kHz. Pomiarów zastępujących pomiary właściwości fizycznej mieszaniny gazów dokonuje się w odniesieniu do temperatury odniesienia z etapu kalibracji układu pomiarowego. W tym celu mierzy się wartość temperatury układu pomiarowego i wykorzystując zależność liniową parametru od temperatury, zmierzoną temperaturę przelicza się i odnosi się ją do wybranej temperatury odniesienia. Tym samym wyznaczając kaloryczność mieszaniny gazów przelicza się parametry z etapu kalibracji w określonej temperaturze, na temperaturę zmierzoną.

Pomiary realizowane podczas wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów zestawia się z informacjami z etapu kalibracji układu pomiarowego, wyznaczając skład mieszaniny gazów, a następnie na podstawie składu mieszaniny gazów jej kaloryczność. Kaloryczność mieszaniny gazów jest więc wyznaczana dwuetapowo – w pierwszym etapie określone są udziały objętościowe składników, a w drugim etapie w oparciu o wartości udziałów objętościowych wyznaczana jest kaloryczność.

Identycznie jak podczas kalibracji etap pierwszy polega na wyznaczaniu wartości parametrów C i D dla badanej mieszaniny gazów z wykorzystaniem tego samego układu równań, definiującego zależność parametrów od udziału składników w mieszaninie gazowej.

Rozwiązaniem układu równań są wartości objętościowych udziałów procentowych x_{ip} odpowiadających zmierzonym parametrom y_{cp} i y_{dp} , a dla mieszaniny trzyskładnikowej wartości x_{1p} , x_{2p} , x_{3p} .

Etap drugi polega na obliczeniu kaloryczności mieszaniny gazów w oparciu o jej skład. Kaloryczność wyznacza się na podstawie normy PN-EN ISO 6976.

W alternatywnym przykładzie wykonania w układzie pomiarowym w otoczeniu gazowym umieszcza się dodatkowy termorezystor grzejny i ogrzewa się układ pomiarowy do temperatury odniesienia z etapu kalibracji. Cały układ pomiarowy dogrzewa się z wykorzystaniem dodatkowego termorezystora grzejnego przed rozpoczęciem pomiaru parametrów tak, aby ustabilizować właściwą temperaturę. W porównaniu ze sposobem wykorzystującym pomiar temperatury układu pomiarowego, przykład wykonania obejmujący etap dogrzewania układu pomiarowego cechuje się większym zużyciem energii. Tą cechą trzeba uwzględnić w faktycznych zastosowaniach, gdzie jako temperaturę odniesienia ustalono na temperaturę o około 20°C wyższą niż najwyższa temperatura otoczenia, a przed rozpoczęciem pomiarów układ pomiarowy jest dogrzewany do tej temperatury.

W kolejnym przykładzie wykonania przedstawiono układ pomiarowy mieszaniny gazów, w którym można zastosować opisany w poprzednich przykładach wykonania sposób wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów.

Układ pomiarowy do wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów zawiera korpus 1 (fig. 4) z kanałami 2 prowadzącymi dla mieszaniny gazów, tworzącymi komorę pomiarową z przyporządkowanymi kanałami prowadzącymi stanowiącymi wlot i wylot dla mieszaniny gazowej. Układ pomiarowy został wykonany w technologii mikromechanicznej. W komorze pomiarowej zamocowane są jeden termorezystor grzejny RG (fig. 5, fig. 6) zasilany napięciem lub prądem o charakterze okresowo zmiennym w czasie oraz połączone w układzie mostka pomiarowego dwa termorezystory pomiarowe R1, R2 i dwa termorezystory referencyjne RA, RB. Termorezystory R1, R2 oraz RA, RB są połączone ze źródłem zasilania oraz z punktem masy. Termorezystor grzejny RG ogrzewa mieszaninę gazów dla której wyznaczana jest kaloryczność w obszarze termorezystorów pomiarowych R1, R2. Tym samym w polu oddziaływania termorezystora grzejnego RG znajduje się termorezystor pomiarowy R1, R2, a poza polem oddziaływania termorezystora grzejnego RG znajdują się termorezystory referencyjne RA, RB. W przykładzie wykonania odległość pomiędzy termorezystorem grzejnym RG, a termorezystorami pomiarowymi R1, R2 wynosi 20 μm , zaś odległość pomiędzy termorezystorem grzejnym RG i termorezystorami pomiarowymi R1, R2, a termorezystorami referencyjnymi RA, RB wynosi około 1000 μm , i dobrana jest tak aby nagrzewanie termorezystora RG w czasie pomiaru nie miało wpływu na zmianę temperatury rezystorów referencyjnych RA, RB.

Układ w komorze pomiarowej posiada dodatkowy termorezystor grzejny RH przeznaczony do ogrzewania układu pomiarowego do temperatury odniesienia. Ponadto w układzie znajdują się połączone szeregowo termorezystory pomiarowe temperatury RT1, RT2, RT3 służące do pomiaru temperatury całego układu pomiarowego, co ma znaczenie zarówno w sposobie wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów obejmującym pomiar realizowany w temperaturze otoczenia z odniesieniem i przeliczeniem zmierzonej temperatury układu pomiarowego do ustalonej temperatury odniesienia, jak i w sposobie wyznaczenia kaloryczności mieszaniny gazów obejmującym dogrzewanie układu pomiarowego do ustalonej temperatury odniesienia, służąc również wtedy do precyzyjnego kontrolowania temperatury układu.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów, w którym kalibruje się układ pomiarowy, a następnie mierzy się wybraną właściwość fizyczną mieszaniny gazów, po czym na podstawie wybranej właściwości fizycznej określa się skład mieszaniny gazowej i określa się kaloryczność mieszaniny gazów w oparciu o udział składników w mieszaninie gazowej, **znamienny tym**, że dla kalibracji układu pomiarowego oraz dla pomiaru wybranej właściwości fizycznej mieszaniny gazów wyznacza się temperaturę odniesienia, przy czym w układzie pomiarowym w otoczeniu gazowym w pobliżu co najmniej jednego termorezystora pomiarowego umieszcza się co najmniej jeden termorezystor grzejny, który zasila się sygnałem zmiennym, a następnie po kalibracji układu pomiarowego jako właściwość fizyczną mieszaniny gazów mierzy się co najmniej jeden z następujących parametrów: przebieg zmian rezystancji lub przebieg zmian natężenia prądu lub przebieg zmian napięcia w co najmniej jednym termorezystorze pomiarowym w otoczeniu gazowym i wyznacza się dla mierzonych parametrów parametry przebiegu wykładniczego, które zestawia się z informacjami z etapu kalibracji układu pomiarowego, po czym wyznacza się skład mieszaniny gazów i na podstawie składu mieszaniny gazów wyznacza się jej kaloryczność.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w układzie pomiarowym w otoczeniu gazowym umieszcza się dodatkowy termorezystor grzejny i ogrzewa się układ pomiarowy do temperatury odniesienia.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że mierzy się temperaturę układu pomiarowego i odnosi się zmierzoną temperaturę układu pomiarowego do ustalonej temperatury odniesienia.
4. Sposób według jednego z zastrz. od 1 albo 2, **znamienny tym**, że na etapie kalibracji wykorzystuje się mieszaniny gazów o znanym składzie dla których mierzy się przebieg zmian rezystancji lub przebieg zmian natężenia prądu lub przebieg zmian napięcia, po czym aproksymuje się z wykorzystaniem regresji powierzchniowej wartości poszczególnych parametrów uzyskanych z pomiarów i zapisuje się w pamięci trwałej układu pomiarowego parametry regresji powierzchniowej w powiązaniu ze znanymi składami mieszaniny gazów.
5. Sposób według jednego z zastrz. od 1 do 3, **znamienny tym**, że pomiar właściwości fizycznych mieszaniny gazów przeprowadza się w warunkach statycznych otoczenia gazowego.
6. Sposób według jednego z zastrz. od 1 do 5, **znamienny tym**, że termorezystor grzejny zasila się sygnałem zmiennym o przebiegu prostokątnym.
7. Sposób według jednego z zastrz. od 1 do 6, **znamienny tym**, że termorezystor grzejny zasila się prądem albo napięciem.
8. Układ pomiarowy do wyznaczania kaloryczności mieszaniny gazów zawierający korpus z komorą pomiarową z przyporządkowanym wlotem i wylotem dla mieszaniny gazowej, przy czym w komorze pomiarowej zamocowane są co najmniej jeden termorezystor grzejny, termorezystor pomiarowy, a także co najmniej jeden termorezystor referencyjny, **znamienny tym**, że w komorze pomiarowej zamocowany jest co najmniej jeden dodatkowy termorezystor grzejny (RH), a w polu oddziaływania termorezystora grzejnego (RG) znajduje się termorezystor pomiarowy (R1, R2), a poza polem oddziaływania termorezystora grzejnego (RG) znajduje się termorezystor referencyjny (RA, RB).
9. Układ pomiarowy według zastrz. 8 albo 9, **znamienny tym**, że zawiera termorezystory pomiarowe temperatury (RT1, RT2, RT3).
10. Układ pomiarowy według zastrz. 9, **znamienny tym**, że termorezystory pomiarowe temperatury (RT1, RT2, RT3) połączone są szeregowo.

Rysunki

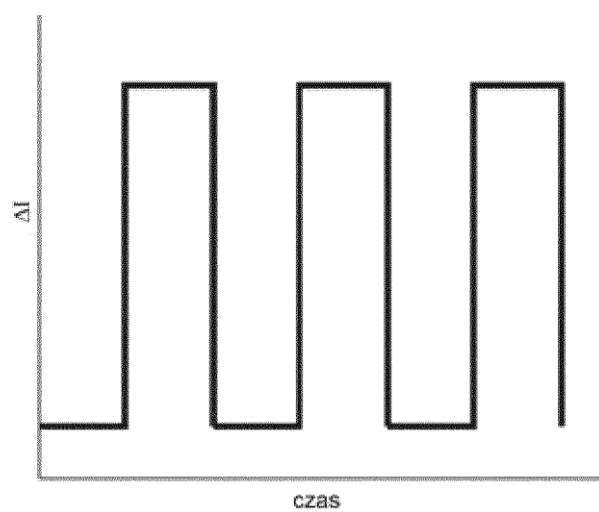


Fig. 1

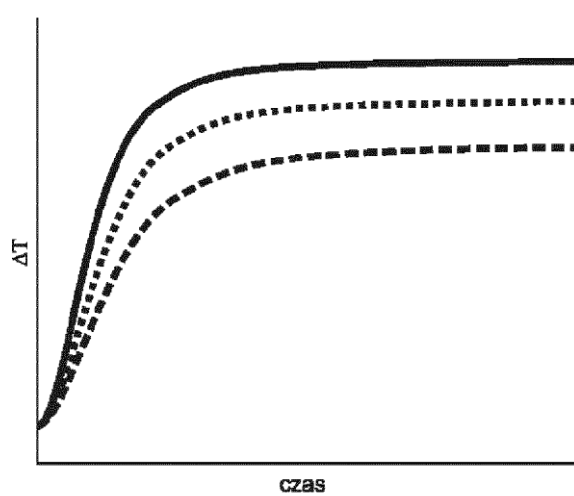


Fig. 2

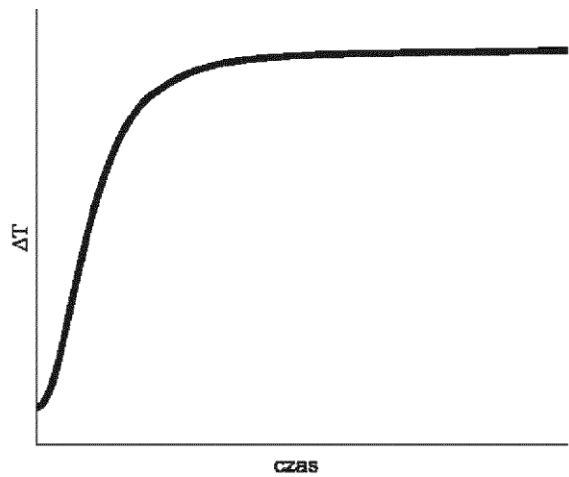


Fig. 3

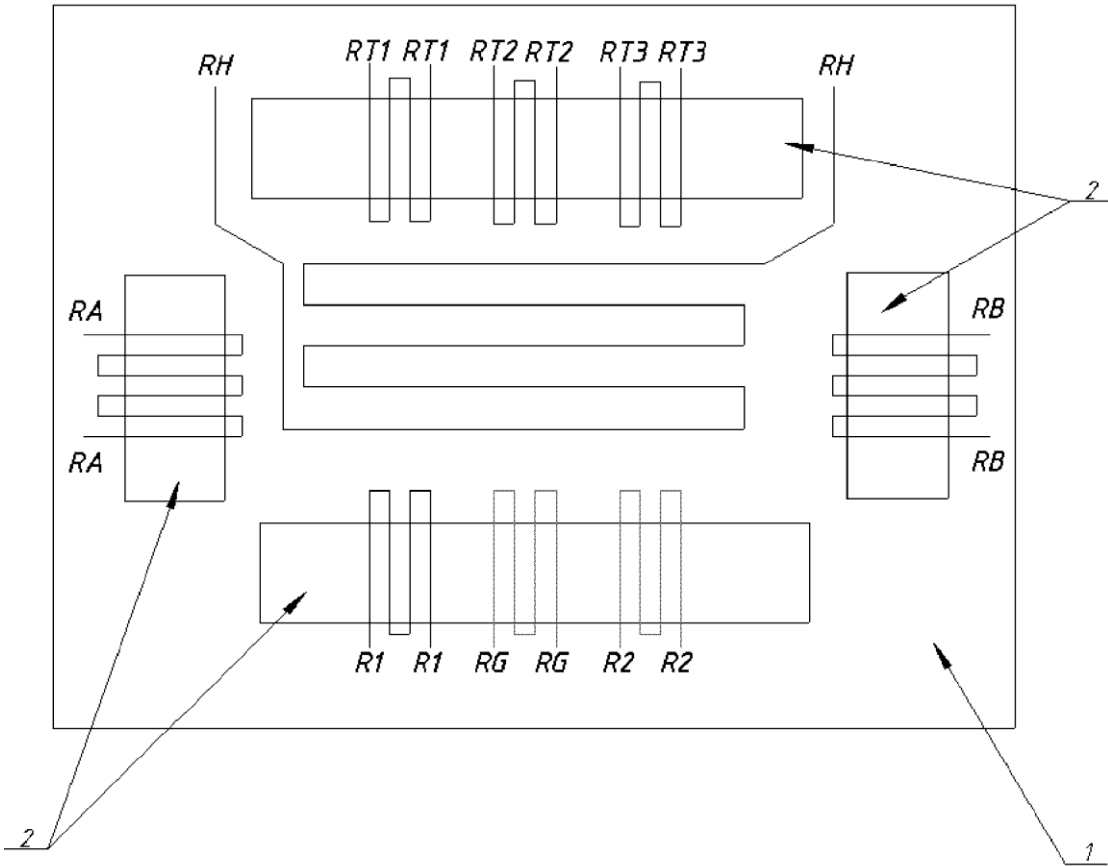


Fig. 4

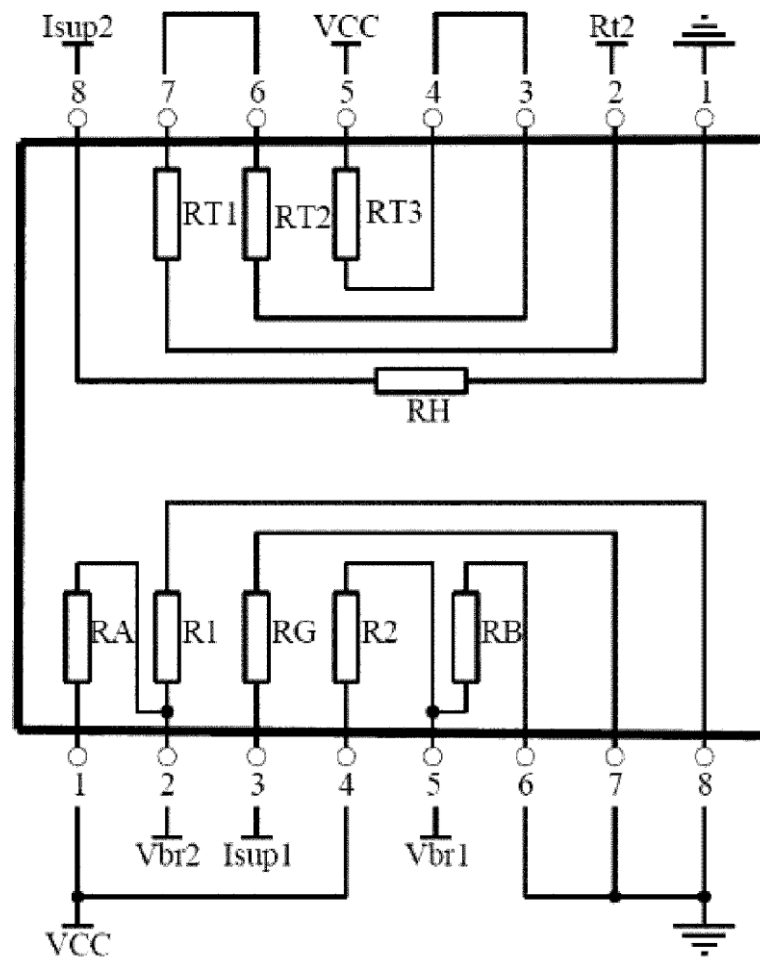


Fig. 5

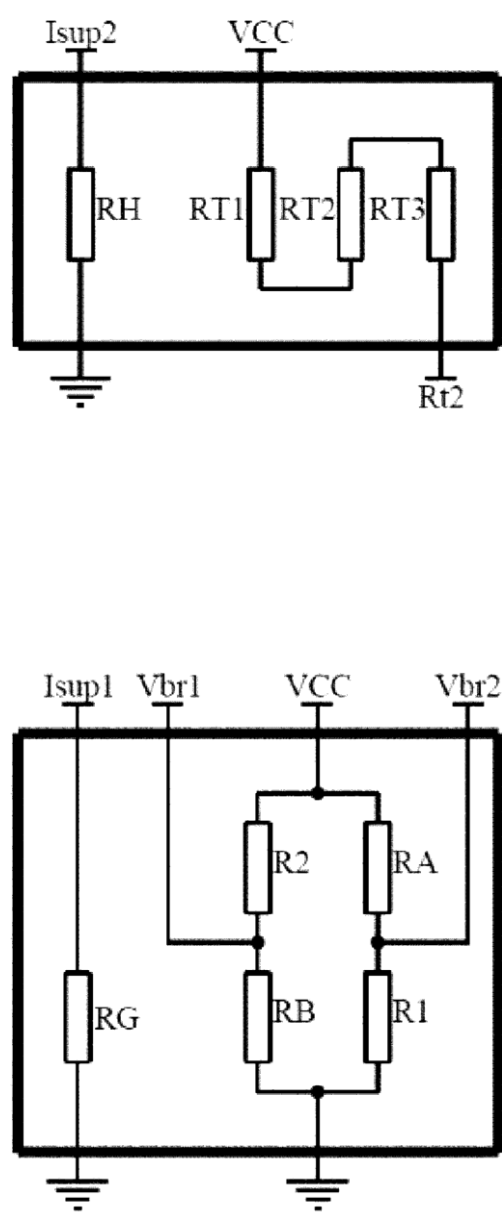


Fig. 6