ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1970
Seria: ENERGETYKA z. 37 Nr kol. 282

Andrzej Puszer
Wydziałowe Laboratorium
Miernictwa i Automatyki
Procesów Energetycznych

TERMOMETR PULSACYJNY

Streszczenie: Przedstawiono teorię działania nowego typu termometru przeznaczonego do pomiaru wysokich temperatur. Jest to przyrząd o działaniu okresowym wykorzystujący nieustalone stany temperaturowe czujnika do pomiaru stałej temperatury ośrodka. Podano krótki opis konstrukcji termometru oraz wyniki wzorcowania. W zakończeniu omówiono zalety i wady prototypu, podano wnioski dotyczące jego zastosowania oraz dalszych badań.

Wstęp

Dla wielu procesów technologicznych temperatura jest ważnym parametrem mierzonym i regulowanym. Pomiar temperatury zaliczyć należy do powszechnie stosowanych, a zarazem najtrudniejszych. W szczególności wiele trudności nastręczają pomiary wysokich temperatur przekraczające 1500 C [1]. W wielu dziedzinach nauki zachodzi również potrzeba wyznaczenia wysokich temperatur z dostateczną dla badań dokładnością. Duża różnorodność obiektów pomiaru i warunków przeprowadzania pomiarów, różne wymagania odnośnie zakresu i dokładności, a przede wszystkim wielorakość zjawisk wykorzystywanych przy pomiarze temperatur uniemożliwia stworzenie metod uniwersalnych.

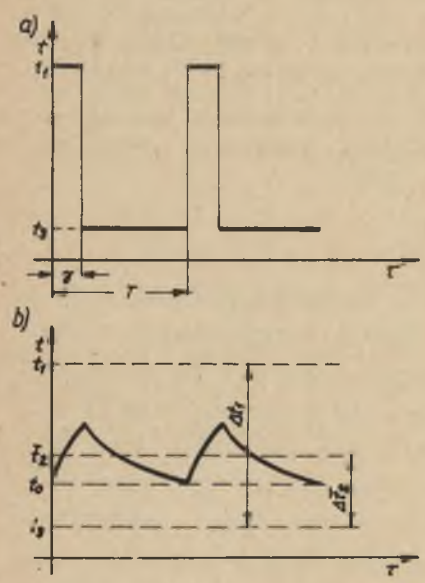
W związku z rozwojem automatyki, rozwinęły się ostatnio metody dynamiczne pomiaru parametrów statycznych. Do nich należy przedstawiany termometr pulsacyjny.

Podstawy teoretyczne

Dane są dwa ośrodki o różnych temperaturach: cieplejszy o temperaturze t_1 (mierzonej) i chłodniejszy o temperaturze t_3 (znanej). Temperatury tych ośrodków spełniają warunki:

$$t_1 = const \qquad t_3 = const$$

Czujnik termometru pulsacyjnego, którym jest termoelement bez osłony przemieszcza się posuwisto-zwrotnym ruchem okresowym o okresie T z jednego ośrodka do drugiego. W ośrodku cieplejszym czujnik przebywa w czasie $\tau = \gamma$, a w chłodniejszym przez czas $\tau = T - \gamma$. Wymuszenie temperaturowe czujnika oraz jego odpowiedź pokazane na rys. 1. Czas γ dobrano tak, aby temperatura czujnika t_2 nie zrównała się z temperaturą t_1, natomiast czas $(T - \gamma)$ pobytu czujnika w ośrodku chłodniejszym jest za krótki, aby temperatura t_2 osiągnęła temperaturę t_3.



Rys. 1. Charakterystyki dynamiczne

$$t_3 < t_2 < t_1$$

Ilość ciepła pochłoniętego przez czujnik w ośrodku cieplejszym wyraża zależność

$$Q_{1,2} = \int_0^{\gamma} Q_{1,2}\, d\tau \qquad (1)$$

gdzie:

$\dot{Q}_{1,2}$ - strumień ciepła płynącego z ośrodka 1 do czujnika. Ilość ciepła tracona przez czujnik w ośrodku chłodniejszym wynosi

$$\dot{Q}_{2,3} = \int_{j}^{T} Q_{2,3}\, d\tau \qquad (2)$$

gdzie:

$\dot{Q}_{2,3}$ - strumień ciepła płynącego z czujnika do ośrodka 3.

Średnia temperatura czujnika t_2 wzrasta do chwili, gdy ilość ciepła pochłoniętego przez czujnik w ośrodku cieplejszym zrówna się z ilością ciepła traconą przez czujnik na rzecz ośrodka chłodniejszego. W stanie równowagi obowiązuje równość

$$\int_{0}^{j} \dot{Q}_{1,2}\, d\tau = \int_{j}^{T} Q_{2,3}\, d\tau \qquad (3)$$

Jeżeli przyjąć, że ilości ciepła wymieniane między czujnikiem a ośrodkami są liniowymi funkcjami różnicy temperatur ośrodków oraz średniej temperatury czujnika t_2, to zależność (3) przedstawić można w postaci

$$\int_{0}^{j} \alpha_{1,2}(t_1-\bar{t}_2)\, d\tau = \int_{j}^{T} \alpha_{2,3}(\bar{t}_2-t_3)\, d\tau \qquad (4)$$

gdzie $\alpha_{1,2}$ - współczynnik wnikania ciepła z ośrodka 1 do czujnika ($\alpha_{1,2}$ = const), $\alpha_{2,3}$ - współczynnik wnikania ciepła z czujnika do ośrodka 3 ($\alpha_{2,3}$ = const).

Średnią temperaturę czujnika przy założeniu, że jest on elementem o inercji pierwszego rzędu określa zależność [2]

$$\bar{t}_2 = \frac{1}{T}\left\{\int_0^{\gamma}\left[t_1 + (t_0 - t_1)\, e^{-\frac{\tau}{T_{1,2}}}\right]d\tau + \right.$$

$$\left. + \int_{\gamma}^{T}\left[t_3 + (t_0 - t_3)\, e^{-\frac{T-\tau}{T_{2,3}}}\right]d\tau\right\} \qquad (5)$$

gdzie t_0 - temperatura czujnika na początku i końcu okresu T, $T_{1,2}$, $T_{2,3}$ - stałe czasowe czujnika przy grzaniu i chłodzeniu ($T_{1,2} < T_{2,3}$).

Po wprowadzeniu oznaczeń

$$\beta = \frac{\alpha_{2,3}}{\alpha_{1,2}}, \qquad \theta = \frac{T-\gamma}{\gamma}, \qquad \Delta t_1 = t_1 - t_3 \quad \text{i} \quad \overline{\Delta t}_2 = \bar{t}_2 - t_3$$

i scałkowaniu zależności (4) otrzyma się

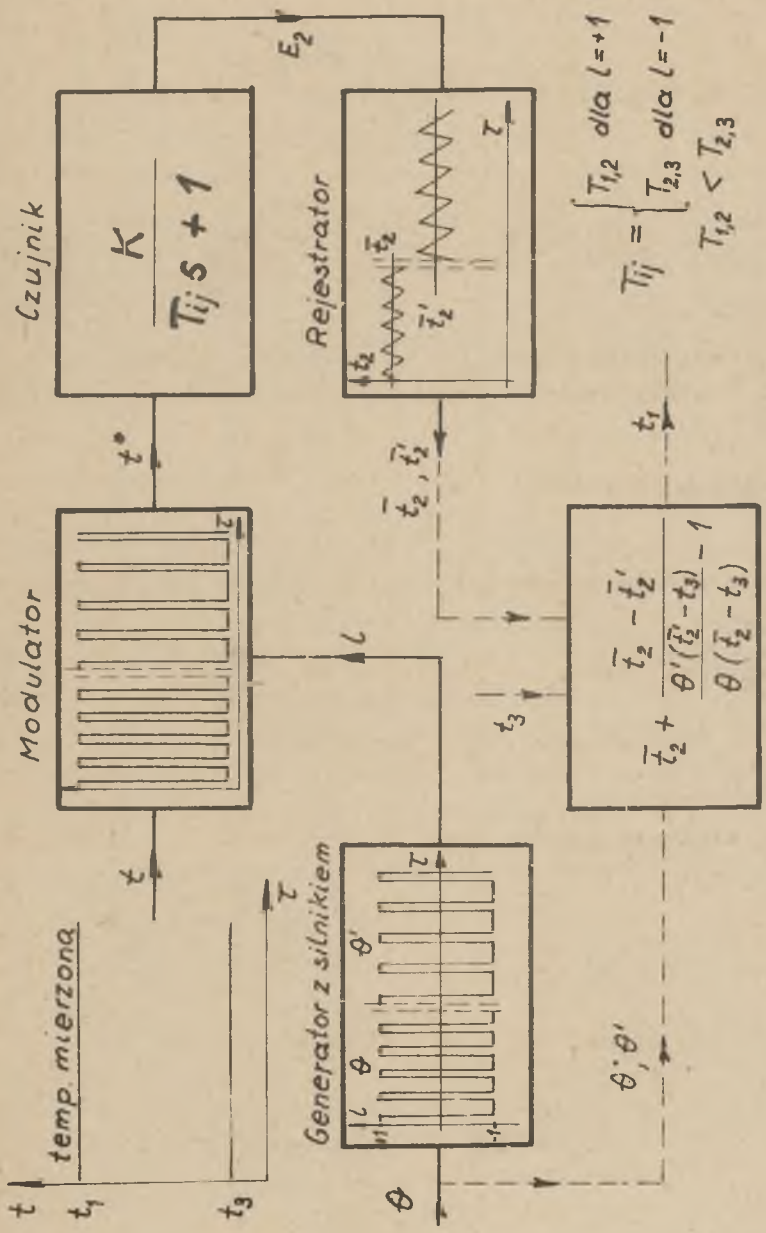
$$\Delta t_1 = \overline{\Delta t}_2(1 + \beta\theta) \qquad (6)$$

Dla innego stosunku czasów $\bar{\theta}' \neq \theta$ zależność (6) przedstawia się

$$\Delta t_1 = \overline{\Delta t}'_2(1 + \beta\bar{\theta}') \qquad (7)$$

Eliminując β z równań (6) i (7) otrzyma się

$$\Delta t_1 = \overline{\Delta t}_2 = \frac{\overline{\Delta t}_2 - \overline{\Delta t}'_2}{\frac{\theta'\overline{\Delta t}'_2}{\theta\,\overline{\Delta t}_2} - 1} \qquad (8)$$



Rys. 2. Schemat blokowy dynamicznej metody pomiaru temperatury przy użyciu termometru pulsacyjnego

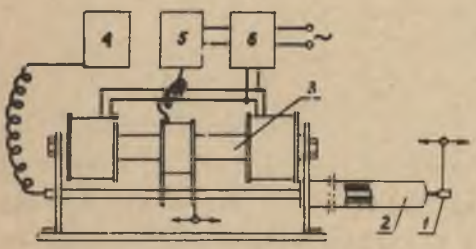
lub

$$t_1 = \bar{t}_2 + \frac{\bar{t}_2 - \bar{t}_2'}{\frac{\Theta'(\bar{t}_2' - t_3)}{\Theta(\bar{t}_2 - t_3)} - 1} \tag{9}$$

Tak więc pomiar temperatury ośrodka cieplejszego t_1 sprowadza się do pomiaru średnich temperatur czujnika $\bar{t}_2$ i $\bar{t}_2$ przy dwu znanych wartościach stosunku Θ oraz temperatury ośrodka chłodniejszego t_3. Schemat blokowy dynamicznej metody pomiaru temperatury realizowanego termometrem pulsacyjnym przedstawiono na rys. 2.

Zasada działania

Schemat ideowy termometru pulsacyjnego przedstawiono na rys. 3. Ośrodkiem o temperaturze niższej t_3 jest w omawianym urządzeniu rurowa chłodnica wodna 2. W chłodnicy tej umieszczony jest osiowo termoelement 1. Termoelement połączony jest sztywno z ruchomym uzwojeniem elektrycznego silnika prostoliniowego 3. Silnik przesuwa termoelement względem chłodnicy ruchem posuwisto-zwrotnym, przy czym skok h termoelementu może być nastawiany (h_{max} = 85 mm). Nastawiana jest również głębokość l zanurzenia termoelementu w chłodnicy.



Rys. 3. Schemat termometru pulsacyjnego

Sygnały sterujące pracą silnika zrealizowane są w generatorze drgań prostokątnych 5. W generatorze można w sposób skokowy nastawiać czas γ przebywania termoelementów w ośrodku gorącym (mierzonym) oraz okres T ruchu posuwisto zwrotnego.

Przedziały nastawialności τ i T są następujące

$$0{,}05s \leqslant \tau \leqslant 2\ s \qquad 0{,}5s \leqslant T \leqslant 10s$$

Przebiegi czasowe siły termoelektrycznej czujnika rejestrowane są za pomocą autokompensatora małoinercyjnego.

Celem przeprowadzenia pomiaru temperatury t_1 np. temperatury gazu w zamkniętej komorze względnie temperatury płomienia palnika, należy chłodnicę umieścić w tym ośrodku na głębokości h-l od punktu, którego temperatura ma być mierzona, do czoła chłodnicy. Po nastawieniu na generatorze odpowiedniego stosunku czasów θ uruchamia się rejestrator i silnik. Pomiar prowadzi się dotąd, aż średnia temperatura $\bar{t}_2$ czujnika osiągnie wartość stałą, co praktycznie trwa 30 - 120s. Następnie nastawia się na generatorze nowy stosunek czasów i pomiar powtarza się uzyskując inną wartość średniej temperatury $\bar{t}_2'$ czujnika. Znając parametry $\bar{t}_2$, $\bar{t}_2'$, τ oraz temperaturę t_3 w chłodnicy, należy posłużyć się zależnością (9) względnie odpowiednim nomogramem, z których wyznacza się wprost temperaturę mierzoną t_1.

Obszerne omówienie poszczególnych elementów termometru pulsacyjnego oraz jego konstrukcji podano w pracy [3].

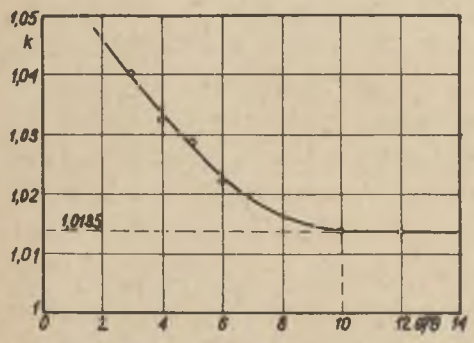
Wyniki badań

Wzorowanie termometru pulsacyjnego w zakresie 550 - 1000 C przeprowadzono w poziomym, rurowym piecu silitowym. Jako termometr wzorcowy wykorzystano termoelement NiCrNi bez osłony o identycznej charakterystyce statycznej z czujnikiem zastosowanym w termometrze pulsacyjnym.

Wskazania czujnika termometru pulsacyjnego rejestrowano na autokompensatorze o szerokości taśmy rejestrującej 250 mm. Większość pomiarów rejestrowano przy prędkości przesuwu taśmy 3 mm/s. Badania przeprowadzono w czterech seriach. W każdej serii przeprowadzono kilka pomiarów przy różnych stosunkach czasów θ. Temperatura w piecu przy każdej serii była inna, najniższa 572,5 C w serii pierwszej, a najwyższa 984 C w serii

ostatniej. Wzorcowanie termometru w zakresie 1000 - 1250 C przeprowadzono w płomieniu palnika gazowego.

Pomiary temperatury w piecu oraz w płomieniu palnika gazowego prowadzono dla stosunków czasów charakterystycznych $\frac{\theta'}{\theta}$ zmieniających się w przedziale 2 - 21.



Rys. 4. Zależność poprawki k od $\frac{\theta'}{\theta}$

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że termometr wykazywał temperaturę niższą od rzeczywistej. Wartość tego błędu zależy od $\frac{\theta'}{\theta}$ przy czym maleje ona wraz ze wzrostem $\frac{\theta'}{\theta}$ a dla $\frac{\theta'}{\theta} \geqslant 10$ osiąga wartość stałą. Celem wyeliminowania błędu wprowadzono do zależności (9) poprawkę k. Wówczas wzór ogólny przybierze postać

$$t_1 = k\left[\bar{t}_2 + \frac{\bar{t}_2 - \bar{t}_2'}{\frac{\theta'(\bar{t}_2' - t_3)}{\theta(\bar{t}_2 - t_3)} - 1}\right] \qquad (10)$$

Zależność k od $\frac{\theta'}{\theta}$ przedstawiono na rys. 4.

Po uwzględnieniu poprawki k rozrzut wskazań termometru pulsacyjnego w stosunku do temperatury rzeczywistej nie powinien przekroczyć $\pm 2\%$.

Wnioski

W podsumowaniu przeprowadzonych badań wymienić należy następujące cechy przyrządu:

Z a l e t y

- termometr pulsacyjny może znaleźć zastosowanie do pomiaru wysokich temperatur dochodzących nawet do 4500 C,

- niedokładność przyrządu w przebadanym zakresie temperatur wynosi ok. ±2%,
- czujnik termometru wykonywany jest z materiałów tanich, takich jak Fe, Konst, Cu, Ni i nie ulega zniszczeniu w trakcie pomiaru;

W a d y

- termometr pulsacyjny przeznaczony jest do pomiaru temperatur ustalonych,
- przyrząd ma skomplikowany napęd części ruchomej,
- zachodzi konieczność posługiwania się wzorem lub nomogramem zamiast dokonywania bezpośredniego odczytu jak to ma miejsce u większości przyrządów.

Badania prototypu termometru pulsacyjnego potwierdziły realność założeń teoretycznych. W obecnym etapie prac prowadzona jest adaptacja tego termometru dla celów przemysłowych.

LITERATURA

[1] GORDOW A.N. - Osnowy pirometrii. 1964. Izd. Mietałłurgia
[2] Temperature its measurement and control in science and industry, Vol. III, New York
[3] GRACZYK Cz., PUSZER A. - Badania prototypu termometru pulsacyjnego. PAK. 1969 nr 2.

ТЕРМОМЕТР ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПОГРУЖЕНИЯ

С о д е р ж а н и е

В рабсте дана теория действя нового типа термометра использованого для измерения больших температур. Прибор периодического действия использует нестационарные температурные состояния чуствительного элемента для измерения постоянной температуры средства.

Дано короткое описание конструкции термометра и результаты калибровки. В окончению работы представлены преимущества и недостатки прототипа, даны предложения его использования и дальнейших исследований.

PULSATION THERMOMETR

S u m m a r y

The autors a theory of operation of a new type of thermometer intended for measuring high temperatures. This is an instrument of cyclic operation using transient temperature of a sensing element for measuring constant temperature of medium. The thermometer design is described and calibration results given. Also discussed are adventages and disadventages of the prototype and conclusions set out as to its application and further tests.