ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979

Seria: ENERGETYKA z. 72 Nr kol. 604

Andrzej USZARUK

Instytut Maszyn
i Urządzeń Energetycznych

NOWY CZUJNIK DO POMIARU TEMPERATUR W UKŁADZIE PRZEPŁYWOWYM WENTYLATORÓW

Streszczenie. W pracy omówiono zalety czujników temperatury, opartych na strukturze krzemowego złącza p-n oraz przedstawiono podstawowe zależności fizyczne złącza w funkcji temperatury. Przytoczono wyniki pomiarów charakterystyk U = f(T) dla wybranego typu diod krzemowych oraz podano przykładowe rozwiązanie (schemat blokowy) cyfrowego miernika temperatury, wykonanego w Zespole Cieplnych Maszyn Wirnikowych

1. Wstęp

W programie badań struktury przepływu w osiowym stopniu sprężającym [1] przewidziano pomiar rozkładu temperatur w przestrzeniach międzywieńcowych stopnia. Wywołało to konieczność opracowania przyrządu do pomiaru temperatur o dużej dokładności [4] i zastosowania nowego czujnika o niewielkich wymiarach i małej bezwładności termicznej. Dotychczas stosowane czujniki elektryczne temperatury, takie jak: termometry rezystancyjne metalowe i półprzewodnikowe oraz termoelementy, wykazują wiele wad. Do wad tych należy głównie zaliczyć: dużą bezwładność termiczną, konieczność stosowania przewodów kompensacyjnych (termometry, termoelektryczne), mały sygnał użyteczny, nieliniowa zależność rezystancji od temperatury (termistory), duże wymiary (termometry rezystancyjne metalowe). Wymienionych wad nie posiadają czujniki oparte na strukturze krzemowego złącza p-n. To, że nie znalazły one dotychczas szerszego zastosowania wszędzie tam, gdzie wymagany jest niezbyt szeroki zakres liniowości temperatury (-40°C - 150°C) [6] oraz duża dokładność jej pomiaru, jak również niewielkie wymiary i mała inercja termiczna, spowodowane jest dwiema przyczynami: konserwatyzmem oraz ograniczoną zamiennością nowych czujników. Dodatkową istotną zaletą zastosowania nowych czujników z cyfrowym przetwarzaniem sygnału jest możliwość badania zjawisk nieustalonych, co w przypadku metod tradycyjnych jest nie do zrealizowania.

Problem zamienności czujników rozwiązano poprzez ich dobór w oparciu o wykres charakterystyk U = f(T). W zastosowaniach szerszych selekcję ele-

mentów elektronicznych (np. diod krzemowych) może przeprowadzić sam producent.

2. Półprzewodnikowy krzemowy czujnik temperatury

Z uwagi na małą pojemność cieplną, niewielkie wymiary oraz możliwość pomiaru temperatury z błędem nie większym niż 0,1°C, przewidziano bezpośrednie zamocowanie czujnika na sondzie kulowej. Istotą metody jest temperaturowa zależność spadku napięcia na złączu p-n w kierunku przewodzenia diody [3]. Zaprojektowany i zbudowany przyrząd został przystosowany do współpracy z dwoma półprzewodnikowymi czujnikami temperatury znajdującymi się przed i za stopniem wentylatora. Charakterystyka złącza idealnego p-n określona jest równaniem:

$$I = I_s(e^{q\,U_z/kT} - 1), \qquad (1)$$

gdzie:

- I_s - prąd nasycenia diody,
- q - elementarny ładunek elektronu,
- U_z - napięcie zewnętrzne przyłożone do złącza,
- k - stała Boltzmana,
- T - temperatura bezwzględna

i jest zależna od temperatury z dwóch powodów:

- Koncentracja równowagowa nośników mniejszościowych, która występuje w prądzie nasycenia (I_s) jest proporcjonalna do kwadratu koncentracji nośników samoistnych (n_i^2) i dlatego wzrasta ona bardzo silnie ze wzrostem temperatury.
- Potencjał elektrokinetyczny kT/q, który występuje jako argument w funkcji wykładniczej jest liniowo zależny od temperatury. Zwykle nie uwzględnia się temperaturowej zależności współczynnika dyfuzji, występującego w prądzie nasycenia, gdyż zależność ta jest stała w porównaniu z bardzo silną zależnością od temperatury, jaką obserwujemy w koncentracji nośników mniejszościowych.

Biorąc pochodną logarytmu równania (1) i pomijając jedynkę, otrzymujemy

$$\frac{d\,(q\,U_z)}{dT} = \frac{q\,U_z}{T} - kT\left(\frac{1}{I_s}\,\frac{d\,I_s}{dT}\right). \qquad (2)$$

Rozważając diodę pracującą w temperaturze pokojowej (300°K) tuż powyżej napięcia progowego (0,2 V dla Ge oraz 0,6 V dla Si) na podstawie równania (2) otrzymujemy:

$$\frac{dU}{dT} = \begin{matrix} -\ 2{,}1\ mV/^{o}C \text{ dla Ge} \\ -\ 2{,}3\ mV/^{o}C \text{ dla Si.} \end{matrix}$$

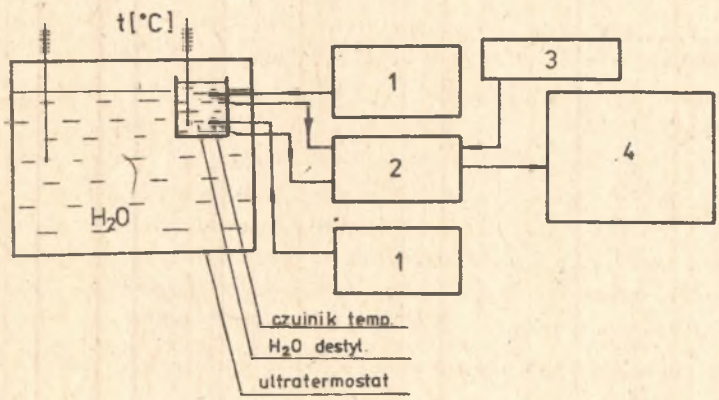
Dane te opierają się na parametrach średnich i dla typowych obliczeń zupełnie dobrze można przyjąć wartość

$$\frac{dU}{dT} = -\ 2{,}5\ mV/^{o}C$$

zarówno dla Ge jak i dla Si w temperaturze pokojowej.
Na podstawie równania (2) można zauważyć, że wartość $\frac{dU}{dT}$ maleje ze wzrostem temperatury i przy małych zmianach temperatury w porównaniu z temperaturą bezwzględną napięcie na złączu p-n przy stałym prądzie zmniejsza się liniowo ze wzrostem temperatury. Tę właśnie charakterystyczną zależność wykorzystano w opracowanej metodzie pomiaru temperatury.

3. Pomiar zależności U = f(T) dla diod krzemowych impulsowych typu BAVP 21

Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy układu pomiarowego służącego do zdejmowania charakterystyk U = f(T). Celem przeprowadzonych pomiarów było określenie kształtu krzywej U = f(T) oraz wybór takich dwóch egzemplarzy diod, których spadki napięć na złączu p-n w funkcji temperatury były jednakowe. Wyniki pomiarów zebrano w tablicy 2.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do badania zależności U = f(T)
1 - źródła napięć odniesienia, 2 - komutator sygnałów analogowych, 3 - układ przełączania, 4 - woltomierz cyfrowy V450

Tablica 1

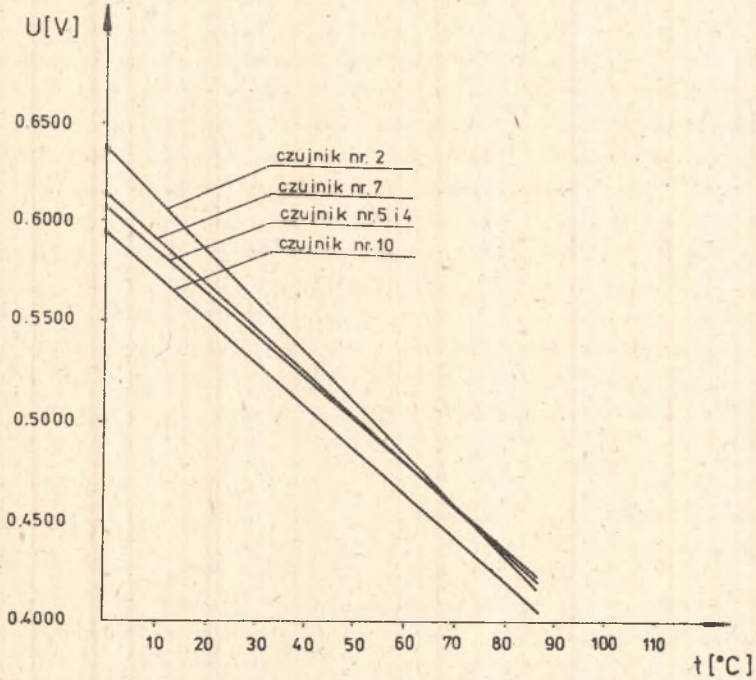
Nr czujnika	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{dU}{dT}\left[\frac{mV}{^oC}\right]$	2,241	2,503	2,162	2,148	2,148	2,283	2,258	2,138	2,227	2,144

Tablica 2

Nr czujnika	U_{p-n} [V]						
	0 °C	11,9°C	21,6°C	29,8°C	40,9°C	58,0°C	86,5°C
1	0,6136	0,5874	0,5655	0,5476	0,5224	0,4840	0,4225
2	0,6305	0,6004	0,5755	0,5549	0,5278	0,4863	0,4150
3	0,6016	0,5762	0,5549	0,5374	0,5235	0,4763	0,4150
4	0,6029	0,5775	0,5563	0,5387	0,5152	0,4780	0,4176
5	0,6028	0,5775	0,5563	0,5387	0,5155	0,4785	0,4180
6	0,6182	0,5913	0,5689	0,5502	0,5251	0,4865	0,4225
7	0,6098	0,5830	0,5607	0,5422	0,5175	0,4785	0,4150
8	0,6070	0,5812	0,5600	0,5426	0,5192	0,4820	0,4200
9	0,6127	0,5863	0,5643	0,5458	0,5217	0,4836	0,4203
10	0,5961	0,5705	0,5491	0,5321	0,5083	0.4698	0,4080

Z uwagi na mały prąd płynący przez złącze p-n czujnika (100 μA) do pomiaru spadku napięcia na złączu użyto woltomierza cyfrowego V 540 o dużym oporze wewnętrznym. Stałą temperaturę zapewniło użycie ultratermostatu, w którym było zanurzone naczynie z wodą destylowaną. W mednium tym znajdowały się badane czujniki. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wykreślono krzywe U = f(T). Niektóre z nich zamieszczono na rys. 2.
Stwierdzono, że wszystkie przebadane diody BAVP-21 wykazują liniowy charakter zmian napięcia na złączu p-n w funkcji temperatury, różnią się zaś jedynie nachyleniem krzywych $\frac{dU}{dT}$, co wyraźnie widać na przedstawionym wykresie.

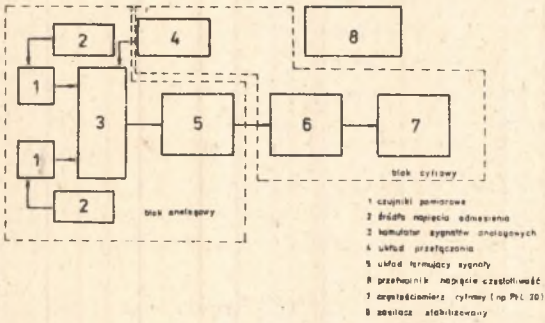
Dla wszystkich przebadanych czujników obliczono nachylenia $\frac{dU}{dT}$ dla zakresu temperatury 11,9°C - 40,9°C, wyniki ujęto w wyżej przedstawionej tablicy 1.



Rys. 2. Wykres zależności U=f(T) dla wybranych czujników

4. Ogólna koncepcja przetwornika temperatura-częstotliwość

Na rys. 3 przedstawiono schemat blokowy przetwornika temperatura-częstotliwość. Przy projektowaniu i budowie przyrządu założono, że będzie on mógł w przyszłości współpracować w systemach centralnej rejestracji danych. Z uwagi na to, że sygnał wyjściowy jest sygnałem TTL umożliwiającym współpracę z dowolnym urządzeniem wykonanym w technice TTL lub z nim kompatybilnym [2]. Przy projektowaniu przyrządu założono, że temperatura otoczenia będzie się zmieniać w dość szerokich granicach, dlatego też szczególną uwagę zwrócono na konstrukcję układów źródeł napięć odniesienia [7,8].



Rys. 3. Schemat blokowy przetwornika temperatura-częstotliwość

Przyrząd przedstawiony na rys. 3 składa się z dwóch blo-

ków - bloku analogowego oraz cyfrowego. W skład bloku analogowego wchodzą następujące podzespoły: czujniki (diody krzemowe), źródła napięć odniesienia, komutator sygnałów analogowych, układ formujący sygnał.
Czujniki temperatury są zasilane przez wysokostabilne układy źródeł napięć odniesienia. Zmiana napięcia na złączu p-n diody pod wpływem temperatury jest przesyłana przez komutator sygnałów analogowych (wybór czujnika I lub II) do układu formującego sygnał, tam po odpowiedniej obróbce sygnał napięciowy jest kierowany do przetwornika napięcie-częstotliwość. Impulsy z przetwornika napięcie-częstotliwość przesyłane są do częstościomierza, który umożliwia cyfrowy odczyt wielkości wejściowej (temperatury), jak również przetwarza informację binarną (częstotliwość) na kod BCD mogący być wielkością sterującą, np. drukarką. Oprócz częstościomierza i przetwornika napięcie-częstotliwość w skład bloku cyfrowego wchodzi układ sterowania i przełączania kanałów pomiarowych.

5. Uwagi końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że diody impulsowe typu BAVP 21 nie spełniają warunków zmienności z uwagi na trudności z doborem egzemplarzy o idealnie takich samych charakterystykach U = f(T). Jako czujniki temperaturowe proponuje się użycie diod pojemnościowych, które są produkowane w tzw. "szóstkach" - co zapewnia stałość parametrów statycznych i dynamicznych dla wybranej "szóstki" [6].

Z uwagi na bardzo małą bezwładność termiczną czujnika temperatury, należy bardzo starannie zaprojektować jego zamocowanie do sondy kulowej oraz sposób podłączenia przewodów zasilających czujnik. Proponuje się do tego celu użycie krótkich przewodów miedzianych o średnicy nie większej od 0,1 mm.

Zaprojektowany i zbudowany w Zespole Cieplnych Maszyn Wirnikowych przyrząd należy traktować jako urządzenie modelowe. Aby osiągnąć lepsze parametry, szczególnie mniejszą wrażliwość na temperaturę otoczenia, proponuje się użycie lepszych jakościowo elementów (głównie wzmacniaczy operacyjnych, np. μA747 lub TCA 490B) [7,8]. Stosując termostat dla przetwornika U/f można znacznie zmniejszyć błąd nieliniowości przetwarzania. W miejsce komutatora sygnałów analogowych zrealizowanych w oparciu o kontaktrony proponuje się użycie scalonego przełącznika analogowego, np. firmy Sescosem - SF.F160K [7]. Istnieje wtedy możliwość pomiaru temperatury w 8 różnych punktach wentylatora. W przypadku stosowania warikapów (diod pojemnościowych) jako czujników temperatury istnieje możliwość wykorzystania tylko jednego źródła napięcia odniesienia.

Praca została wykonana w ramach problemu międzyresortowego MR I.26 "Podstawy projektowania maszyn i urządzeń energetycznych" koordynowanego przez IMP PAN w Gdańsku.

LITERATURA

[1] Witkowski A.: Stanowisko do badań struktury przepływu w osiowym stopniu sprężającym. Materiały na Konferencję Naukowo-Techniczną "Wentylatory przemysłowe" Gliwice-Katowice 1979.
[2] Sowiński: Cyfrowa technika pomiarowa. KWiŁ, Warszawa 1975.
[3] Gray P.E., Searle C.L.: Podstawy elektroniki. PWN Warszawa, 1976.
[4] Pomiary, automatyka, kontrola - nr 6/1976.
[5] Pomiary, automatyka, kontrola - nr 1/1977.
[6] "Sdelovaci technika" - nr 12/1977.
[7] "Linear Integrated Circuits 1976" - katalog firmy Sescosem.
[8] "Linear and Conversion I.C. Products" - katalog firmy PMI.

НОВЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР
В ПРОТОЧНОЙ СИСТЕМЕ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Р е з ю м е

В статье обсуждены достоинства датчиков температуры, основанных на структуре кремниевого соединения p-n, а также представлены основные физические зависимости соединения в функции температуры.

Приведены результаты измерений характеристик U = f(T) для избранного типа кремниевых диодов, а также показано примерное решение (блок-схема) цифрового датчика температуры, созданного в Коллективе тепловых роторных машин.

NEW SENSOR OF TEMPERATURE MEASURMENT IN THE FAN FLOW SYSTEM

S u m m a r y

The positive features of the new temperature gauges based on the structure of silicon p-n junction are presented in this paper. The fundamental physical relations for p-n junctions are presented as a function of temperature. The meaurment results of curves characteristics U = f(t) for selected types of silicon diodes and an example of design (block pattern) of a digital temperature meter constructed in the Thermal Turbomachines Investigation Group is also presented in this paper.