

ĆWICZENIE 3

WYBRANE ELEKTRYCZNE CZUJNIKI-PRZETWORNIKI TEMPERATURY

1.CEL ĆWICZENIA:

zapoznanie się z podstawowymi czujnikami elektrycznymi stosowanymi do pomiaru temperatury, ich charakterystykami oraz wybranymi układami zastosowań.

Temperatura jest wielkością skalarną opisującą średnią energię kinetyczną molekuł danego ciała. Pomiaru temperatury dokonuje się w sposób pośredni wykorzystując zmiany pewnych parametrów fizycznych ciał pod wpływem zmiany ich temperatury (zmiany objętości cieczy, ciśnienia gazów, rezystancji właściwej metali). Przebieg różnego rodzaju procesów technologicznych w przemyśle jest silnie obwarowany reżimami temperatury, dlatego też jest ona najczęściej mierzoną wielkością fizyczną.

Z pomiarem temperatury związane są następujące zagadnienia:

- zakres temperatur,
- dokładność i powtarzalność pomiaru,
- możliwość zdalnego pomiaru i przekazania sygnału do układu regulacji,
- wartość energii pobieranej przez układ pomiarowy,
- wymiary czujnika i związane z tym zakłócenia powodowane wprowadzeniem go do badanego obiektu (np. cienki fornir).

W automatyce, ze względu na potrzebę zdalnego wykonania i przekazywania pomiaru najczęściej stosowanymi są czujniki-przetworniki, których działanie oparte jest o zmiany wielkości elektrycznych, czyli czujniki-przetworniki elektryczne. Należą do nich:

- termoogniwa (ogniwa termoelektryczne, czyli termoelementy),
- termorezystory metalowe,
- termorezystory półprzewodnikowe (czyli termistory).

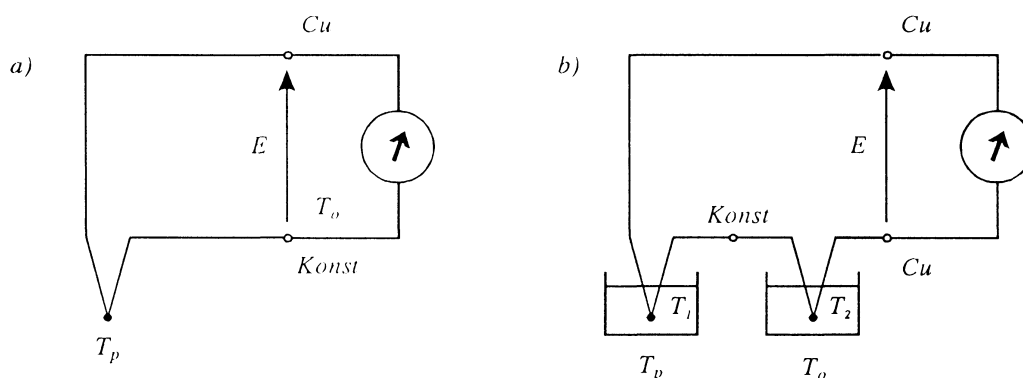
Termoelement

W termoelementach (termoparach) wykorzystane zostało zjawisko termoelektryczne (odkryte przez T. Seebecka), polegające na powstawaniu źródłowego napięcia termoelektrycznego w obwodzie złożonym z dwóch różnych metali, których miejsca styku (spoiny) znajdują się w różnych temperaturach. Analizując dokładniej, powstanie napięcia termoelektrycznego jest wynikiem dwóch zachodzących jednocześnie zjawisk termoelektrycznych:

- zjawiska Peltiera, polegającego na występowaniu napięcia źródłowego na styku dwóch różnych metali,
- zjawiska Thomsona, polegającego na powstawaniu napięcia źródłowego na długości jednorodnego przewodnika, którego końce znajdują się w różnych temperaturach.

Ponieważ w normalnych warunkach nie można rozdzielić tych napięć Peltiera i Thomsona, więc umownie przenosi się je do obu spoin.

Aby móc wykorzystać taki obwód termoelektryczny do pomiaru temperatury, należy dołączyć do niego przyrząd mierzący powstające napięcie (rys.1a). Wiąże się to przeważnie z wprowadzeniem do obwodu trzeciego metalu (przewody łączące miernik). Na dokładność pomiaru znaczący wpływ ma temperatura, w której znajdują się wolne końce termoelementu podłączone do miernika, dlatego też w warunkach laboratoryjnych stosuje się dodatkowe złącze (tzw. złącze odniesienia, rys.1b), a w warunkach przemysłowych układy kompensacyjne.



Rys. 1. a) Prosty układ pomiarowy z termoelementem,

b) Układ z termostatyzacją termoelementu (niezależnie się od zmian temperatury przez wprowadzenie dodatkowej spoiny odniesienia) T_p - temperatura pomiaru. T_o - temperatura odniesienia.

W celu umożliwienia porównywania własności poszczególnych metali stosowanych w termometrii termoelektrycznej, podaje się siłę elektromotoryczną poszczególnych metali i

stopów względem platyny przyjętej za układ odniesienia przy różnicy temperatur wynoszącej 100°C (tabl. 1).

Tablica 1.

Siły elektromotoryczne różnych metali i stopów względem platyny w temperaturze 100°C, przy temperaturze odniesienia 0°C.

Metal	Siła termoelektryczna mV	Metal	Siła termoelektryczna mV
Kopel ¹	-4,0	Iryd	+0,65
Konstantan ²	-3,51	Rod ²	+0,70
Nikiel ²	-1,48	Srebro ²	+0,74
Kobalt ²	-1,33	Cynk ²	+0,70
Alumel ²	-1,29	Miedź ²	+0,76
Pallad ²	-0,57	Złoto ²	+0,78
Platyna	0	Wolfram ²	+1,12
Aluminium ²	+0,42	Molibden ²	+1,45
Ołów ²	+0,44	Żelazo ²	-1,98
Platynorod ² (90%Pt,10%Rh)	+0,645	Nikielchrom ³ (85%Ni, 12%Cr)	+2,2
Platynorod ² (70%Pt,30%Rh)	+0,647	Chromel ² (90%Ni, 10%Cr)	+2,81

¹według danych rosyjskich; ²według danych amerykańskich; ³według danych niemieckich

Siła elektromotoryczna E określona jest wzorem:

$$E = \frac{k}{e} \ln \frac{N_1}{N_2} (T_p - T_0)$$

gdzie:

- k – stała Boltzmana,
- e – ładunek elektryczny elektronu,
- N_1, N_2 – koncentracja swobodnych nośników ładunku zależna od metalu,
- T_p - temperatura pomiaru,
- T_0 - temperatura odniesienia.

W niezbyt dużych przedziałach różnicy temperatur pomiędzy końcami złączonymi (tzw. końcówki ciepłe), a wolnymi końcami termooigniwa (tzw. końcówki zimne) powstaje różnica potencjałów proporcjonalna do różnicy temperatur.

W praktyce stosuje się termooigniwa składające się z:

PtRh - Pt (platynorod - platyna) do 2000 K

NiCr - Ni (niklochrom - nikiel) do 1500 K

Fe - NiCu (żelazo - konstantan) do 800 K

Cu - NiCu (miedź - konstantan) do 600 K

(Konstantan –stop miedzi i niklu (60% Cu i 40% Ni) charakteryzujący się dużą opornością elektryczną, w małym stopniu zależną od temperatury. Stosowany jest do wyrobu oporników, elementów grzejnych oraz termooigniw)

Niewielkie wartości siły elektromotorycznej (SEM) stwarzają szereg trudności pomiarowych i wymagają stosowania przyrządów o dużej czułości oraz uwzględniania spadku napięcia na przewodach, z których wykonane są termooigniwa. Stąd często do pomiarów używane są kompensatory ręczne i automatyczne lub mikrowoltomierze tranzystorowe. Konieczność, zapewnienia stałej temperatury końców odniesienia termooigniwa powoduje stosowanie termostatów lub mostków kompensacyjnych zasilanych z oddzielnego źródła napięcia. W niektórych przypadkach wykorzystuje się termooigniwa jako układy różnicowe np. do pomiaru psychrometrycznej różnicy temperatur dla określania względnej wilgotności powietrza lub jako układy sumujące SEM poszczególnych ogniw np. do pomiaru izolacji cieplnej różnych konstrukcji.

Termorezystory metalowe działają na zasadzie zmiany rezystancji metalu pod wpływem zmian temperatury. Samoistny ruch wolnych elektronów w przewodnikach zwiększa się wraz ze wzrostem temperatury bezwzględnej, utrudniając tym samym uporządkowany ruch elektronów pod wpływem zewnętrznego źródła napięcia elektrycznego, co objawia się wzrostem rezystancji w metalach. W zależności od rodzaju metalu, czujniki-przetworniki wykazują różne współczynniki zmiany rezystancji w funkcji zmiany temperatury. Najlepszym metalem dla potrzeb metrologicznych jest platyna, która odznacza się dużym zakresem liniowych zmian rezystancji i może być stosowana do wysokich temperatur (1000 K). Dla chemicznie czystej platyny zależność rezystancji R od temperatury T w zakresie 273 - 1000 K wyraża się wzorem:

$$R_T = R_{273}[1 + \alpha(\Delta T) + \beta(\Delta T)^2],$$

gdzie: R_T - rezystancja przetwornika Pt w danej temperaturze,

R_{273} - rezystancja przetwornika Pt w temperaturze 273 K,

α, β - współczynniki stałe, zależne od materiału opornika, wyznaczone doświadczalnie. (dla czujnika Pt100 $\alpha = 3,90802 \cdot 10^{-3}$, $\beta = -5,802 \cdot 10^{-7}$)

Powyższa zależność upraszcza się zwykle do postaci:

$$R_T = R_{273}(1 + \alpha\Delta T)$$

gdzie: α - temperaturowy współczynnik rezystancji.

W Europie powszechne zastosowania znalazły przetworniki termorezystorowe Pt100 o standardowej rezystancji w temperaturze 0°C, $R_0 = 100\Omega$ (100°C -138,5Ω) wykonywane przeważnie jako hermetycznie zamknięte pręciki szklane lub ceramiczne o średnicy od 3 do 6 mm i długości od 30 do 60 mm.

Układ pomiaru temperatury wykorzystujący czujnik rezystancyjny jest w istocie miernikiem rezystancji wyskalowanym w jednostkach temperatury. Dla zapewnienia poprawności pomiaru należy zadbać, aby natężenie prądu zasilającego czujnik było na tyle małe, by pomijalny był przyrost temperatury spowodowany wydzielaniem ciepła (ciepło Joule'a). Gdy rezystancja przewodów jest pomijalnie mała w stosunku do rezystancji czujnika można stosować dwuprzewodowy układ pomiarowy. W przeciwnym wypadku (przy długich przewodach zasilających) należy stosować układ czteroprzewodowy (osobne przewody zasilające i pomiarowe) lub trójprzewodowy (w układzie mostkowym lub logometrze).

Termorezystory półprzewodnikowe — termistory działają na zasadzie zmiany rezystywności półprzewodników na skutek zmian temperatury. Ich rezystancja zmienia się na skutek zmian intensywności przejść elektronów do pasma przewodnictwa i tym samym wzrostu liczby dziur.

Termistory wykonuje się najczęściej z tlenków, siarczków lub selenków metali (kobalt, tytan, mangan, żelazo, nikiel, miedź, glin). Odznaczają się one rezystywnością kilka rzędów wyższą niż rezystywność metali. Budowane są termistory:

- NTC - o ujemnej wartości temperaturowego współczynnika rezystancji,
- PTC - o dodatniej wartości temperaturowego współczynnika rezystancji,

- CTR - o nagłym, prawie skokowym zmniejszeniu się rezystancji w wąskim (rzędu kilku stopni) przedziale zmian temperatury.

Rezystancja R termistora NTC w zależności od temperatury bezwzględnej wyraża się wzorem:

$$R_T = R_0 e^{B/T}$$

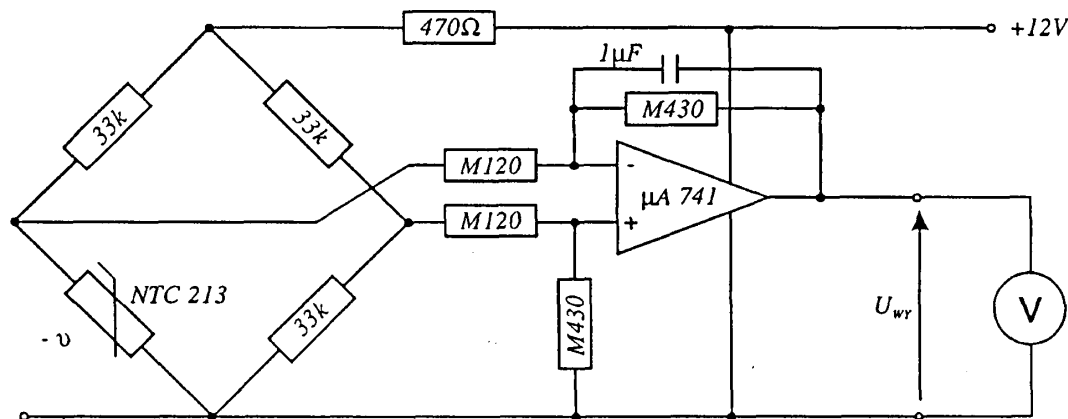
gdzie:

A, B – stałe zależne od konstrukcji termistora i właściwości fizyczny półprzewodnika,

T – temperatura w K.

Termistory odznaczają się małymi wymiarami (np. mogą być wykonane w postaci cienkich folii do pomiaru temperatury powierzchni lub kulki o średnicy dziesiątych części milimetra). Niestety specyficzna ich budowa ogranicza znacznie natężenie przepływu prądu pomiarowego, który nagrzewając czujnik wywołuje błąd pomiarowy. Ponadto istnieje mała powtarzalność w wykonaniu termistorów, co utrudnia zamianę czujników w przypadku ich uszkodzenia.

Termoelementy, termorezystory i termistory mogą być elementami składowymi bardziej skomplikowanych czujników-przetworników. Przykładem takiego rozwiązania jest **przetwornik temperatura-napięcie** zbudowany na wzmacniaczu operacyjnym (rys.2).



Rys.2. Schemat elektryczny przetwornika temperatura - napięcie (T/U) z wykorzystaniem jako czujnik termistora NTC 213, $R_{25} = 33k\Omega$.

Termistor włączony jest w jedno z ramion mostka rezystancyjnego. Sygnał niezrównoważenia mostka powodowany zmianami rezystancji termistora NTC 213 na skutek zmian temperatury podawany jest na wejście wzmacniacza operacyjnego.

2.LITERATURA

1. J.Kostro: *Elementy, urządzenia, i układy automatyki*, WSZP 1983.
2. M.Pilawski: *Fizyczne podstawy elektrotechniki*, WSiP 1982.
3. D.Turzeniecka: *Laboratorium z metrologii elektrycznej i elektronicznej*, skrypt PP 1996.

3.PRZEBIEG ĆWICZENIA:

Student wykonuje wybrane punkty ćwiczenia zgodnie z zaleceniami prowadzącego.

3.1. Wyznaczenie charakterystyki napięcia termoelektrycznego w funkcji różnicy temperatur $U = f(\Delta T)$ termoelementów.

Określić charakterystyki $U = f(\Delta T)$ dla następujących termoelementów:

- NiCr - Ni,
- Cu - Konst,
- Fe - Konst,
- Chromel - Alumel

w zakresie $\Delta T = 100 \text{ K}$. W tym celu umieścić końcówki pomiarowe w naczyniu z olejem na głębokość 2-4 cm, a końcówki odniesienia w drugim naczyniu z olejem o temperaturze pokojowej. **Pomiary wykonywać co 5 K utrzymując, za pomocą płaszcza grzejnego zasilanego z autotransformatora, stałą temperaturę przez 5 min.** Napięcie wyjściowe mierzyć woltomierzem cyfrowym na zakresie 0-100 mV.

3.2. Wyznaczenie charakterystyk rezystancji w funkcji różnicy temperatur $R = f(\Delta T)$ dla termorezystora i termistorów.

Określić charakterystyki $R = f(\Delta T)$ dla:

- czujnika-przetwornika Pt-100 (zakres miernika cyfrowego 1 k Ω),
- czujnika-przetwornika termistorowego (zakres miernika 100 k Ω , a następnie 10 k Ω).

Pomiary rezystancji wykonać przy tych samych zmianach temperatury co w punkcie 2.1, przełączając funkcję miernika cyfrowego na pomiar rezystancji.

3.3. Wyznaczenie charakterystyki napięcia w funkcji zmian temperatury $U = f(\Delta T)$ dla przetwornika temperatura— napięcie.

Określić charakterystykę $U = f(\Delta T)$ przetwornika temperatura-napięcie. W tym celu połączyć układ elektryczny wg schematu z rys.2. Czujnik termistorowy NTC 213 zanurzyć w kolbie z olejem.

Pomiary napięcia wykonać przy tych samych zmianach temperatury co w punkcie 1, przełączając zakres mierzonych napięć miernika cyfrowego na 10V .

