

Rozdział 3

POMIARY TEMPERATURY TERMOMETRAMI REZYSTANCYJNYMI

3.1. Podstawy fizyczne pomiaru temperatury za pomocą termometrów rezystancyjnych

Wszystkie ciała występujące w przyrodzie można podzielić ze względu na właściwości przewodzenia prądu elektrycznego na trzy grupy : metale, półprzewodniki i dielektryki. Ciała zaliczane do poszczególnych grup różnią się wartością rezystywności, która orientacyjnie wynosi:

- dla metali $\rho = 10^{-8} \div 10^{-6} [\Omega \cdot m]$;
- dla półprzewodników $\rho = 10^{-5} \div 10^8 [\Omega \cdot m]$;
- dla dielektryków $\rho = 10^8 \div 10^{12} [\Omega \cdot m]$.

Do budowy termometrów rezystancyjnych wykorzystuje się pierwsze dwie grupy ciał, a więc metale i półprzewodniki. Szczególnie duże możliwości kryją w sobie półprzewodniki, gdyż obejmują najszerszy zakres zmian wartości rezystywności różniących się o 13 rzędów wielkości.

Zasada działania termometrów rezystancyjnych polega na wykorzystaniu zjawiska zmian rezystancji metali lub półprzewodników ze zmianą temperatury.

Dla metali o przewodności elektronowej funkcję tę można przedstawić z dostatecznym przybliżeniem w postaci

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \gamma(T - T_0)^3 + \dots] \quad (3.1)$$

gdzie: $|\beta|, |\gamma| \ll \alpha$ oraz $\alpha > 0$.

Rezystywność większości metali zwiększa się wraz ze wzrostem temperatury, a wtedy temperaturowy współczynnik rezystancji α jest dodatni. Zjawisko to tłumaczy się następująco: przewodzenie prądu elektrycznego w metalach odbywa się za pomocą ruchu elektronów. Liczba nośników prądu elektrycznego jest stała, niezależna od temperatury. Ze wzrostem temperatury wzrasta amplituda drgań cieplnych atomów w siatce krystalicznej oraz prędkość ruchu bezładnego swobodnych elektronów, na skutek czego zwiększa się prawdo-

ĆWICZENIE NR 3

podobieństwo zderzeń swobodnych elektronów z drgającymi atomami w siatce krystalicznej. Powoduje to hamowanie ruchu swobodnych elektronów i wzrost rezystancji przewodnika.

Dla półprzewodników o przewodności dziuowo-elektronowej zależność ta ma charakter wykładniczy

$$R = Ae^{\frac{B}{T}} \quad (3.2)$$

gdzie A i B są wielkościami stałymi, a T jest temperaturą bezwzględną.

Celem unaocznienia charakteru zmian rezystancji, wynikających z zależności (3.1) i (3.2), co jest równoznaczne ze zmianą rezystywności tych materiałów, wykonano i przedstawiono na rys.3.1 w obu przypadkach charakterystyki $\rho = f(T)$.

Zmianę rezystancji danego materiału określa w pierwszym przybliżeniu jego temperaturowy współczynnik rezystancji

$$\alpha = \frac{1}{R} \left(\frac{dR}{dT} \right)_T \quad (3.3)$$

gdzie R oznacza rezystancję materiału w temperaturze T . Wartość α jest zwykle podawana w literaturze we względnych wielkościach lub w procentach zmian rezystancji na stopień Kelwina.

Bardzo często w praktyce korzysta się również ze średniego temperaturowego współczynnika rezystancji, który jest zdefiniowany w postaci

$$\alpha = \frac{1}{100} (R_{100} / R_0) \quad (3.4)$$

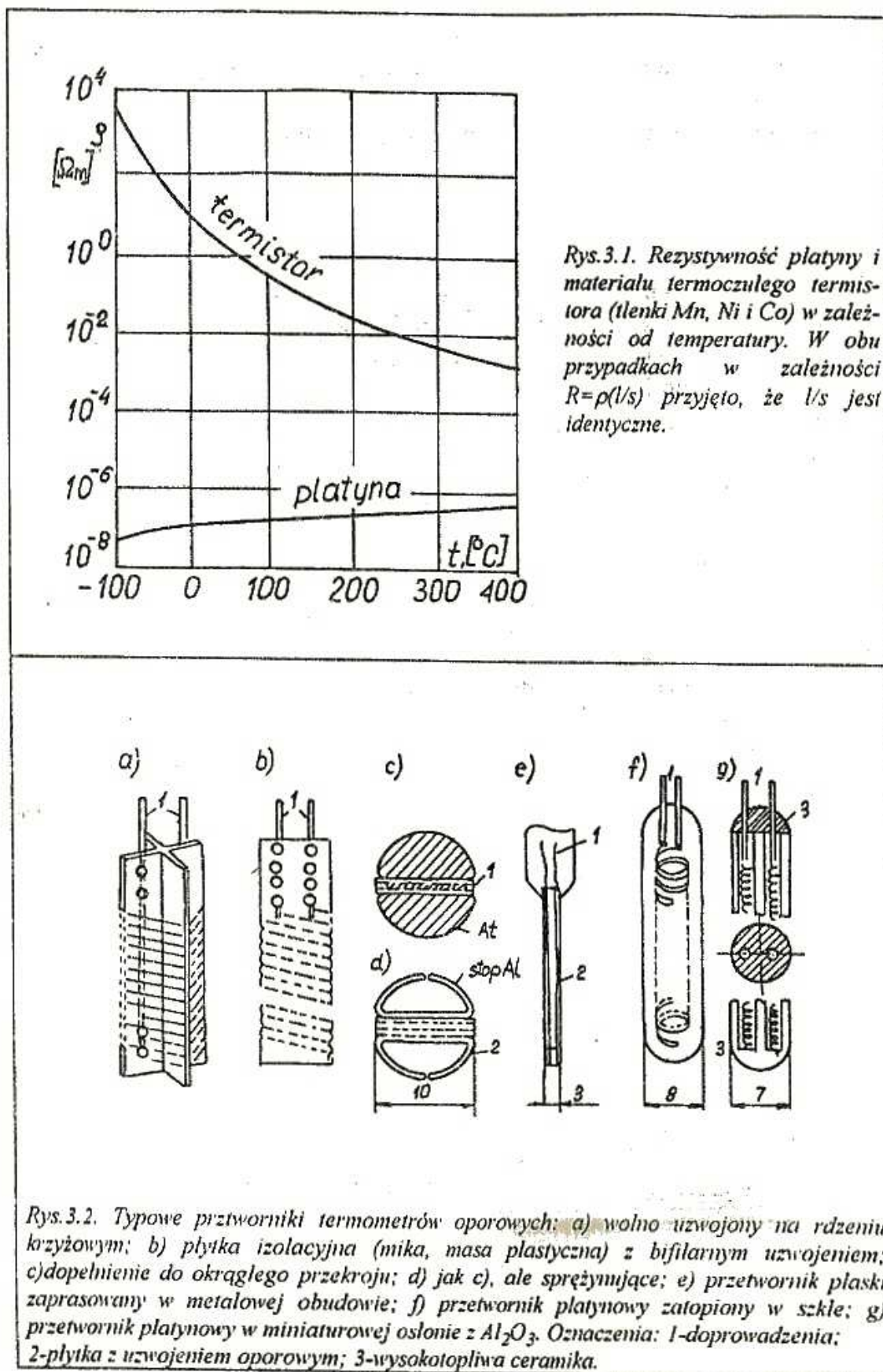
gdzie: R_{100} - rezystancja materiału w temperaturze 100 °C;
 R_0 - rezystancja materiału w temperaturze 0 °C.

3.2. Rezystancyjne czujniki metalowe

Wykonuje się je najczęściej z czystej platyny, niklu lub miedzi. Charakterystyczne dane zawiera *tablica 3.1*. Inne metale i stopy (np. niklu i żelaza) stosowane są raczej wyjątkowo.

Termometr oporowy platynowy został przyjęty w zakresie od punktu tlenu do 903.9 K jako narzędzie interpolacji MPST. Przez zastosowanie odpowiednich środków pomiaru (metody kompensacyjne, specjalne układy mostko-

ĆWICZENIE NR 3



ĆWICZENIE NR 3

we) osiąga się niepewność pomiaru mniejszą niż 0.001 K. W zastosowaniach technicznych platynowy termometr oporowy pozwala również na osiągnięcie wysokich dokładności. Koniecznym warunkiem jest duża czystość platyny. Platyna stosowana w termometrii oporowej powinna spełniać warunek

$$R_{100} / R_0 \geq 1.385,$$

a dla termometrii precyzyjnej powinno być ≥ 1.391 .

Tablica 3.1. Metale stosowane do budowy termometrów oporowych

Metal	$10^8 \cdot \rho$ [$\Omega \cdot m$] w 0 °C	$10^3 \cdot \alpha$ [K ⁻¹] w 10÷100 °C	Zakres stosowania [K]	Wzór dla odtwarzania charakterystyki
Pt	9.83	3.91	70 ÷ 670	$R_T = R_0 [1 + AT^* + B(T^*)^2]$ dla $T = 0 \text{ °C} + 630.5 \text{ °C}$; gdzie $T^* = T - 273$
Ni	6.38	5.40	220 ÷ 420	$R_T = R_0 [1 + AT^* + B(T^*)^2 + C(T^* - 100)(T^*)^3]$ dla $T = -190 \text{ °C} + 0 \text{ °C}$; gdzie $T^* = T - 273$
Cu	1.56	4.31	70 ÷ 320	$R = R_0(1 + \alpha T^*)$; gdzie $T^* = T - 273$

Warunkiem uzyskania dużej dokładności pomiaru jest ochrona przed zanieczyszczeniem platyny (szczególnie szkodliwe są pary metali przy wyższych temperaturze), starzeniem (zaleca się wyżarzać przez 24 godziny w temperaturze około 700 °C) oraz odpowiednia konstrukcja czujnika (brak naprężeń mechanicznych).

Charakterystyka $R(T) = f(T)$ dla miedzi w zakresie od - 40 °C do 200 °C odbiega od liniowości o mniej niż 0.1 °C, dla platyny w zakresie od 0 °C do 100 °C o 0.36 °C, natomiast dla niklu już o 2.96 °C. Oprócz tego uzyskanie ściśle powtarzalnych charakterystyk dla niklu z różnych wytopów jest praktycznie niemożliwe z powodu znacznej zależności charakterystyki od znikomych nawet zanieczyszczeń.

Najczęściej stosowane są czujniki termometryczne platynowe, a czujniki z niklu coraz bardziej tracą na znaczeniu, głównie wobec niemożności sprostania narastającym wymaganiom dokładności.

Nieliniowość zależności rezystancji platyny od temperatury wymaga linearyzacji w przypadku przetwarzania analogowo-cyfrowego. W przypadkach stosowania wyjść analogowych linearyzacja jest zwykle zbędna.

Rozwiązania konstrukcyjne typowych czujników rezystancyjnych pokazano na rys.3.2.

ĆWICZENIE NR 3

3.3. Czujniki termistorowe

Rezystory półprzewodnikowe, powszechnie znane jako termistory, wykonywane są z mieszanin tlenków różnych metali, na przykład Fe, Ni, Ti, Zn, Mn, Sc, V, Co, Cu, odpowiednio formowane, a następnie spiekane wraz z elektrodami doprowadzającymi. Na elektrody stosuje się najczęściej drut platynowy o średnicy 50 μm .

Rezystancję termistorów można w przybliżeniu przedstawić w postaci wzoru (3.2)

$$R = Ae^{\frac{B}{T}}$$

gdzie A [Ω] jest stałą, teoretycznie odpowiadającą rezystancji termistora przy $T \rightarrow \infty$, natomiast B [K] stałą materiałową termistora. Ze wzoru (3.2) wynika wartość temperaturowego współczynnika termistora

$$\alpha = \frac{1}{R} \left(\frac{dR}{dT} \right)_T = -\frac{B}{T^2} \quad [\text{K}]^{-1} \quad (3.5)$$

Jak widać α jest odwrotnie proporcjonalne do temperatury T . Wartości B leżą w granicach od 3200 do 4200 K.

Termistory dzieli się, w zależności od charakteru funkcji $\alpha = f(T)$, na trzy zasadnicze grupy:

I. Termistory NTC. Mają one ujemny temperaturowy współczynnik rezystancji, przeważnie zawarty w przedziale $-2.5 \cdot 10^{-2} \div -6 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$ i rezystywności w zakresie od 10^4 do $10^7 \Omega \cdot \text{m}$.

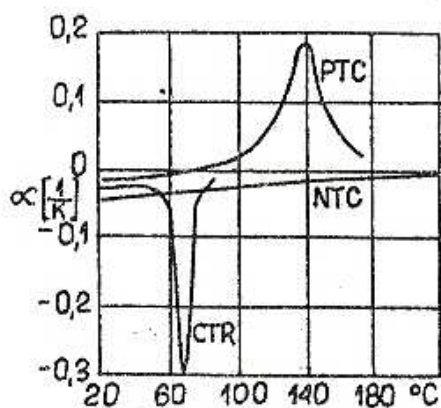
II. Termistory PTC. Mają one w pewnym zakresie temperatury duży dodatni temperaturowy współczynnik rezystancji, dochodzący nawet do 0.7 K^{-1} .

III. Termistory CTR. Są to termistory, których temperaturowy współczynnik rezystancji ma w pewnym wąskim zakresie temperatury ostro zarysowane minimum, którego wartość może osiągać nawet -0.7 K^{-1} .

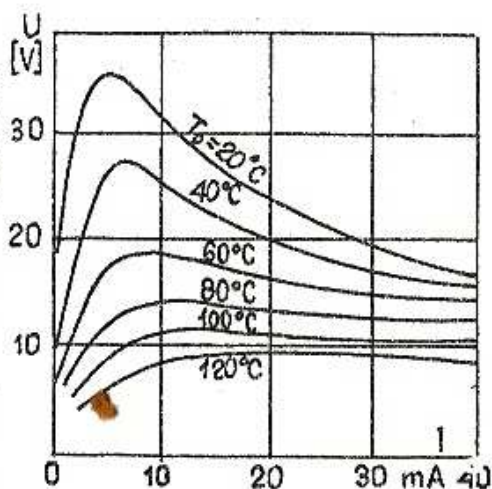
Typowy przebieg zmian temperaturowego współczynnika rezystancji termistorów NTC, PTC i CTR pokazano na rys.3.3, a na rys.3.4 przedstawiono przykładową charakterystykę prądowo-napięciową termistora NTC.

Podstawowym materiałem, z którego wykonuje się termistory PTC jest tytanian baru (BaTiO_3). Dodatek odpowiednich tlenków umożliwia zmniejszenie

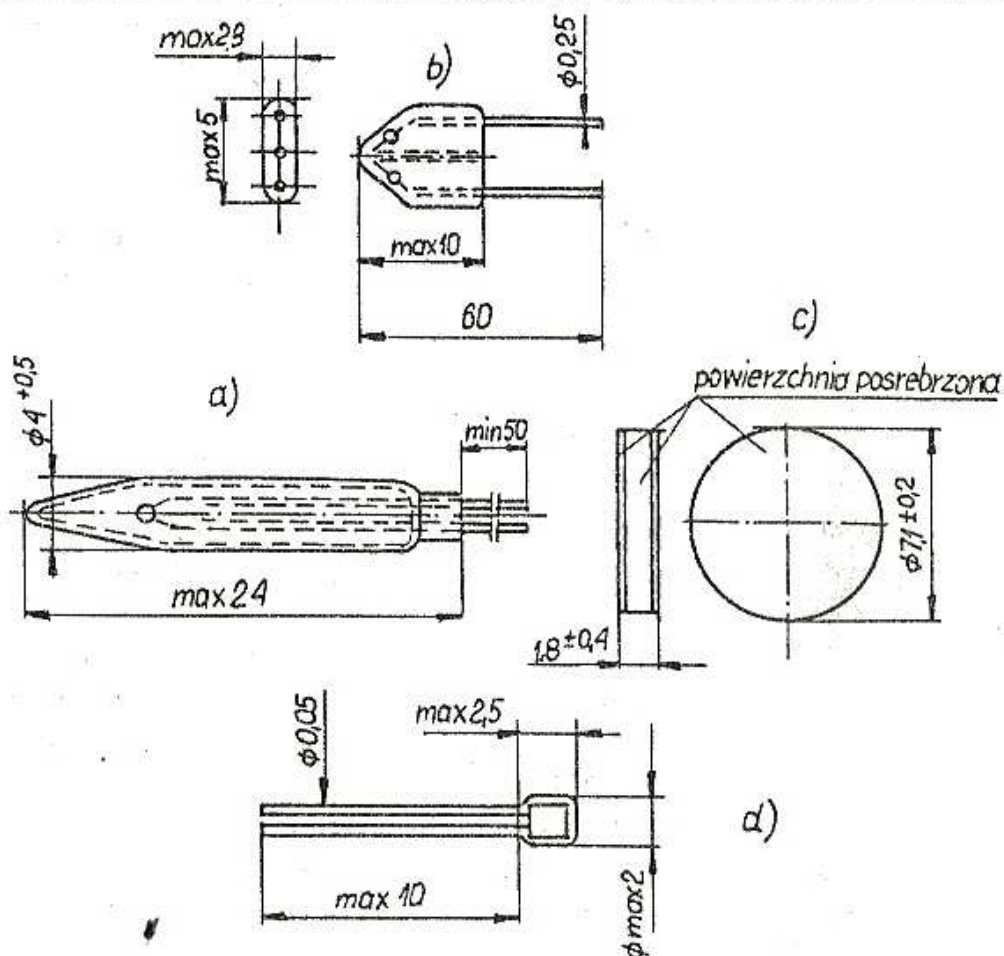
ĆWICZENIE NR 3



Rys.3.3. Typowe zmiany temperaturowych współczynników rezystancji termistorów NTC, PTC i CTR.



Rys.3.4. Typowe charakterystyki U - I termistora NTC przy różnej temperaturze otoczenia.



Rys.3.5. Przykładowe kształty i wymiary termistorów: a) termistor w obudowie próżniowej; b) termistor płytkowy w szklowie; c) termistor płytkowy bez obudowy; d) termistor perłkowy w całoszklanej obudowie.

ĆWICZENIE NR 3

rezystywności BaTiO_3 oraz umożliwia przesuwanie zakresu temperaturowego efektu PTC w termistorze. Termistory CTR wykonuje się głównie z odpowiednio domieszkowanych tlenków wanadu.

Dużą rezystywność właściwą, rzędu $10^5 \Omega \cdot \text{m}$, w temperaturze 25°C , mają materiały termistorowe zawierające Mn, Co i Ni. Małą rezystywność, rzędu $5 \cdot 10^2 \Omega \cdot \text{m}$, mają materiały zawierające Mn, Co i Cu. Pierwszych używa się do masowej produkcji termistorów o dużej rezystancji a drugich o małej rezystancji. Do produkcji termistorów żaroodpornych, stosowanych do 1000°C , stosuje się ZrO_2 z dodatkiem tlenków metali ziem rzadkich bądź też TiO_2 i SnO_2 z dodatkiem tlenków Sb, Ta i Zn.

Termistory niezależnie od typu mogą mieć różne kształty i wymiary. Mogą one mieć kształt paleczek, perełek, płytek lub pastylek. Przykładowe ich wykonanie pokazano na rys.3.5.

Duża bezwzględna wartość temperaturowego współczynnika rezystancji termistorów, możliwość wykonywania termistorów o bardzo małych wymiarach (w postaci perełek o średnicach $0.3 \pm 1 \text{ mm}$) i duże wartości ich rezystancji przemawiają za tym, że w coraz szerszym zakresie będą one wykorzystywane jako czujniki temperatury. Tym bardziej, że dzięki ciąglemu doskonaleniu technologii ich wytwarzania osiąga się coraz większą powtarzalność parametrów, a nieliniowa zależność ich rezystancji od temperatury w dobie powszechnego stosowania mikroprocesorów nie stanowi już problemu.

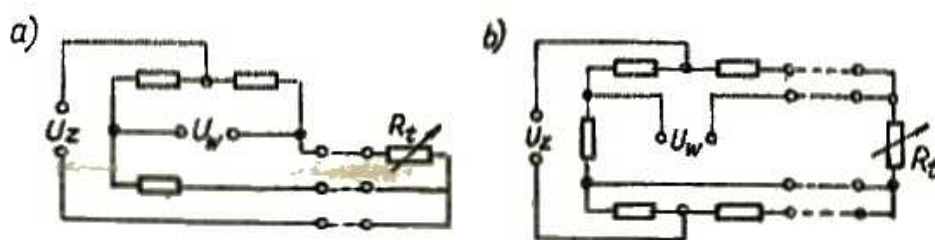
Aktualnie stosuje się je jako czujniki temperatury do bardzo dokładnych pomiarów małych różnic temperatury a także do kompensacji wpływu zmiany temperatury otoczenia.

3.4. Pomiar rezystancji rezystancyjnych czujników termometrycznych

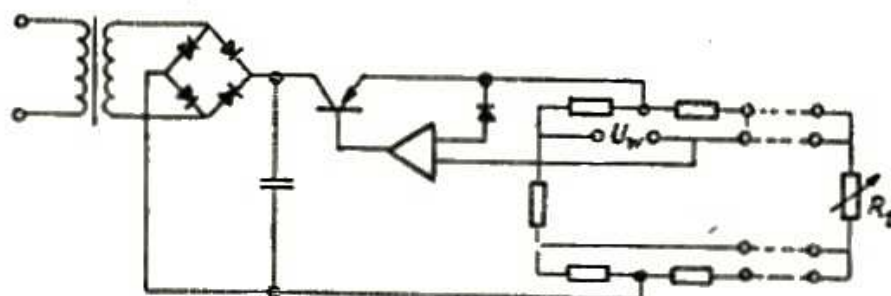
Do pomiaru zmiany rezystancji czujników termometrycznych w warunkach przemysłowych stosuje się mostki, przede wszystkim, mostki niezrównoważone i zrównoważone, zasilane stabilizowanym napięciem lub prądem. Przy mniej dokładnych pomiarach, w wąskim zakresie temperatury (około 50 K), stosuje się również mierniki ilorazowe. Do najdokładniejszych pomiarów stosuje się mostki zrównoważone, także prądu zmiennego, z równoważeniem indukcyjnymi dzielnikami napięć, z wyjściem cyfrowym lub analogowym.

Mostki niezrównoważone stosowane są w dwóch układach. Są to mostek Wheatstone'a z trójprzewodowym połączeniem czujnika termometrycznego (rys.3.6.a). W pierwszym układzie kompensacja zmian oporu połączeń czujnika z mostkiem wymaga pełnej symetrii elektrycznej i termicznej przewodów łączących.

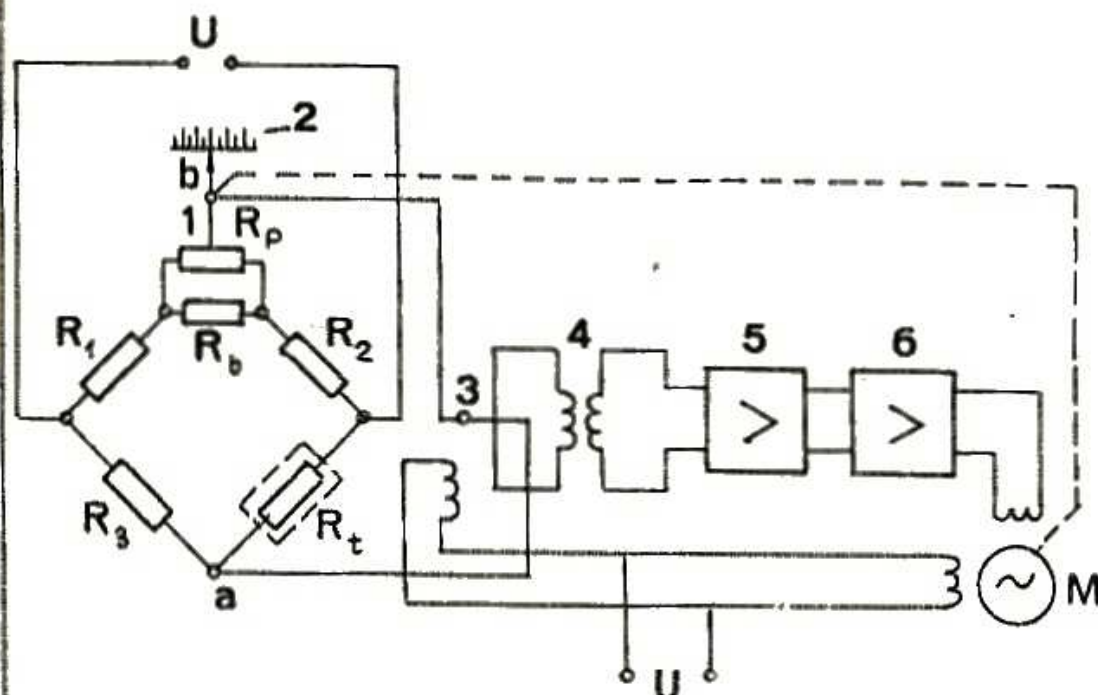
ĆWICZENIE NR 3



Rys.3.6. Mostki nierównoważone: a) mostek Wheatstone'a; b) podwójny mostek Kelwina.



Rys.3.7. Schemat podwójnego mostka Kelwina do termometru oporowego z układem linearyzującym.



Rys.3.8. Schemat blokowy zrównoważonego mostka w układzie śledzącym do termometru oporowego: 1-suwak potencjometru; 2-skala; 3-przetwornik; 4-transformator; 5-wzmacniacz napięciowy; 6-wzmacniacz mocy; M-silnik prądu przemiennego.

ĆWICZENIE NR 3

W przypadku podwójnego mostka Kelwina warunki te nie muszą być ściśle spełnione (rys.3.6.b).

Pierwotny sygnał wyjściowy niezrównoważonego mostka oporowego z czujnikiem do pomiaru temperatury, przy normalnych przemysłowych wykonaniach ma wartość w granicach od 0.2 do 1 mV/K. Jego zależność od temperatury jest nieliniowa z powodu nieliniowej zależności rezystancji czujnika od temperatury oraz - co ważniejsze, z powodu nieliniowości napięcia wyjściowego symetrycznego mostka o jednej gałęzi aktywnej, która wynosi około 10 % przy zmianach rezystancji czujnika $R_{Tmax} = 2.5 R_0$.

Linearyzacja sygnału wyjściowego jest zawsze niezbędna gdy sygnał analogowy jest przetwarzany na cyfrowy. Interesujący układ linearyzacyjny, zastosowany do podwójnego mostka Kelwina, polega na odpowiednim sterowaniu napięciem zasilania mostka. Schemat takiego układu pomiarowego pokazano na rys.3.7.

Przykładowe rozwiązanie mostka zrównoważonego pracującego w układzie śledzącym pokazuje rys.3.8. Rezystor termometryczny R_T oraz niezależne od temperatury rezystory R_1 , R_2 , R_3 i potencjometr równoważący R_p tworzą mostek Wheatstone'a. Zakresy pomiarowe dobiera się za pomocą rezystora R_p . Napięcie nierównowagi mostka, między punktami a i b, jest w tym układzie przetwarzane w przetworniku na sygnał przemienny, a następnie po wzmacnieniu podawane na silnik M, który przesuwając suwak potencjometru aż do uzyskania zerowego napięcia między punktami a i b. Połączona z suwakiem potencjometru wskazówka pokazuje na skali wartość mierzonej temperatury.

Zasilanie mostka prądem przemiennym pozwala wprowadzić na wyeliminowanie przetwornika ale wiąże się z koniecznością starannego ekranowania przewodów łączeniowych. Układy śledzące w postaci automatycznie zrównoważonych mostków są w MP stosowane do pomiaru temperatury głównie w przypadkach gdy jest wymagana rejestracja analogowa.

3.5. Pomiar temperatury tłoka w trakcie pracy silnika

Tłok silnika spalinowego jest poddawany jednocześnie obciążeniom mechanicznym od sił gazowo-masowych oraz obciążeniom cieplnym wywołanym okresowym przejmowaniem ciepła przez denko tłoka od spalin zawartych w komorze spalania. Wielkość obciążeń cieplnych tłoka zależna jest od warunków pracy silnika oraz od warunków chłodzenia. Najwyższe temperatury występują na denku tłoka, a najniższe na dolnych krawędziach płaszcza tłoka.

Bezpośrednią miarą obciążeń cieplnych tłoka jest temperatura, która zależy od ilości ciepła przejmowanego przez denko tłoka z komory spalania oraz

ĆWICZENIE NR 3

od oporów cieplnych, na jakie trafia na swej drodze strumień ciepła, odpływający od denka tłoka przez strefę pierścieniową do ścianek cylindra i czynnika chłodzącego.

Istnieją dwa główne cele pomiaru temperatury w tłoku. W pierwszym przypadku interesują nas temperatury maksymalne w określonych obszarach tłoka, które podczas eksploatacji silnika nie mogą przekraczać wartości granicznych dopuszczalnych ze względu na materiał tłoka lub temperaturę koksowania użytego oleju. W drugim przypadku pomiar temperatury w określonych punktach tłoka pozwala na uściślenie założeń koniecznych do pełnego określenia pól temperatur i wyznaczenia naprężeń cieplnych w tłoku.

3.5.1. Układ do pomiaru temperatury tłoka

W ćwiczeniu do pomiaru temperatury tłoka użyto uniwersalnego mostka tensometrycznego z obwodem wejściowym przystosowanym do pomiaru temperatury za pomocą czujników rezystancyjnych półprzewodnikowych (termistorów) i bezstykowego przekazywania sygnału pomiarowego za pomocą sprzężenia indukcyjnego.

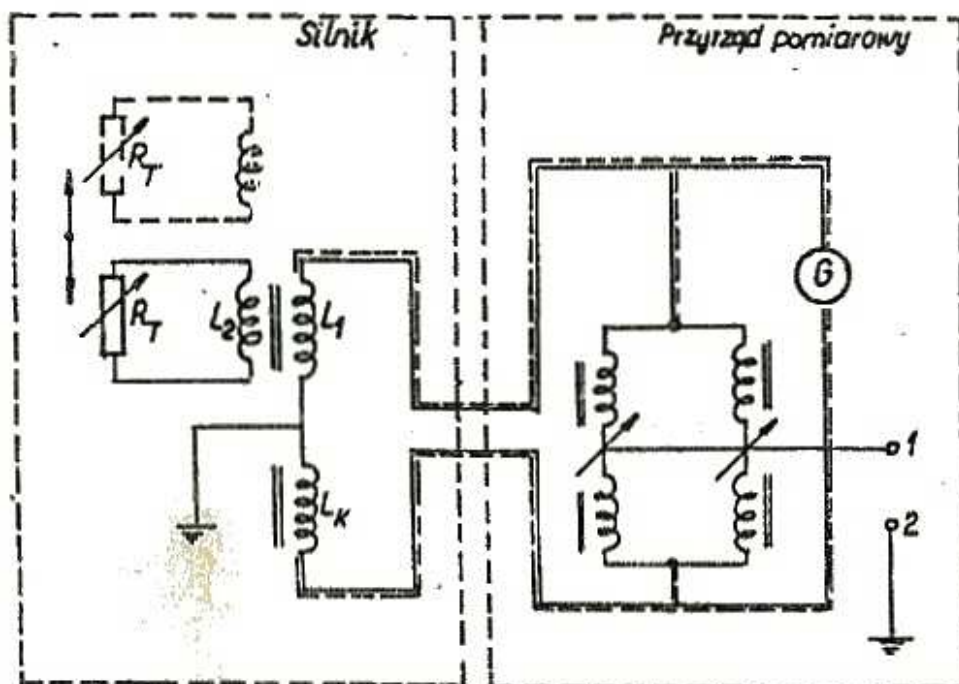
Wejściowy obwód pomiarowy jest wykonany w postaci symetrycznego mostka indukcyjnego (rys.3.9), którego jedna połówka (półmostek czynny) wraz z wtórnym obwodem sprzęgającym znajduje się w skrzyni korbowej silnika, a druga (półmostek regulacyjny) znajduje się na zewnątrz silnika w przyrządzie pomiarowym. Półmostek czynny jest wykonany z dwóch identycznych cewek rdzeniowych (czynnej i kompensacyjnej). Obydwa półmostki są połączone dwużyłowym kablem sygnałowym.

Podczas pracy silnika wtórny obwód pomiarowy, składający się z szeregowo połączonej cewki cylindrycznej (L_2), zamocowanej na wsporniku do dolnej wewnętrznej krawędzi płaszcza tłoka i termistora perłkowego (R_T), umieszczonego w punkcie pomiarowym tłoka, porusza się wraz z tłokiem ruchem posuwisto-zwrotnym i w chwilach zwrotu wewnętrznego tłoka sprzęga się z nieruchomą cewką (L_1) czynnego półmostek, przymocowaną na wsporniku do dolnej krawędzi tulei cylindrowej.

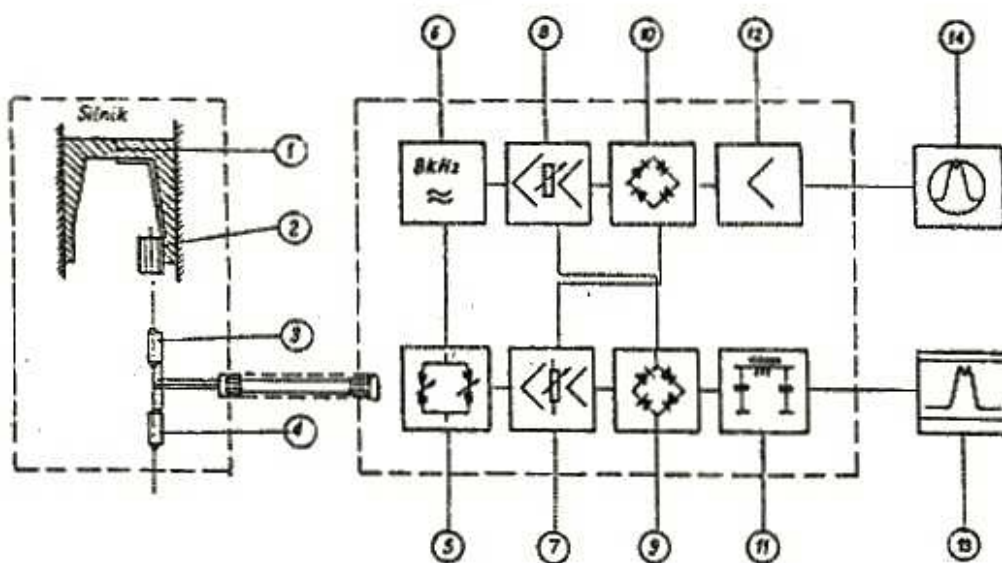
Funkcjonalny schemat układu do pomiaru temperatury tłoka jest pokazany na rys.3.10.

Termistor (1), zamocowany w miejscu pomiarowym tłoka, jest połączony przewodami z cylindryczną cewką wtórną (2), zamocowaną na wsporniku do dolnej wewnętrznej ścianki tłoka. W skrzyni korbowej, na osi przemieszczania się cewki wtórnej, jest zamocowana cewka pierwotna czynna (3) oraz cewka kompensacyjna (4). Cewki pierwotne (3) i (4) stanowią półmostek pomiarowy,

ĆWICZENIE NR 3



Rys. 3.9. Schemat obwodu wejściowego.



Rys. 3.10. Funkcjonalny schemat układu do pomiaru temperatury tłoka.

ĆWICZENIE NR 3

który podczas pomiaru jest połączony kablem z półmostkiem regulacyjnym (5), znajdującym się w przyrządzie pomiarowym na zewnątrz silnika.

Mostek jest zasilany z centralnego generatora (6) napięciem sinusoidalnym o częstotliwości 8 kHz. Przed pomiarem mostek jest zrównoważony i napięcie wyjściowe równa się zeru. Podczas pracy silnika przy położeniu tłoka w pobliżu zwrotu wewnętrznego następuje sprzężenie cewki wtórnej (2) z cewką pierwotną czynną (3) i zmiana całkowitej impedancji czynnego ramienia mostka na skutek wnoszonej impedancji z obwodu wtórnego do pierwotnego. Wartość wnoszonej chwilowej impedancji z obwodu wtórnego do pierwotnego w chwili maksymalnego sprzężenia jest funkcją rezystancji termistora, a ta z kolei jest funkcją temperatury tłoka w miejscu zamocowania termistora. Napięcie nierównowagi mostka w chwilach sprzężenia cewek (2) i (3) podawane jest na dalsze człony układu pomiarowego, który jest typowym układem mostka tensometrycznego z falą nośną. Na wyjściu mostka tensometrycznego otrzymuje się sygnał pomiarowy w postaci krzywej dwugarbowej, który może być obserwowany na oscyloskopie katodowym (14) lub rejestrowany w pamięci układu TCD (Transient Time Converter) albo poprzez kartę A/D w komputerze.

Na rys.3.11 pokazany jest oscylogram jednego punktu pomiarowego. Widoczna na oscylogramie linia oddzielająca impulsy dwugarbowe odpowiada stanowi bez sprzężenia (linia zerowa).

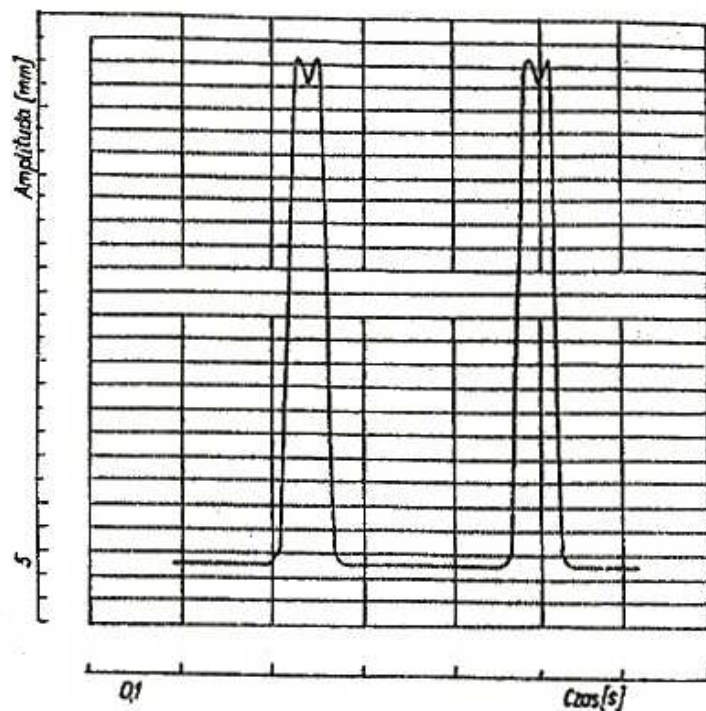
Obydwa skoki impulsu dwugarbowego odpowiadają maksymalnym sprzężeniom, a ich bezwzględne wartości są miarą temperatury tłoka w miejscu zamocowania termistora. Dwugarbowy kształt sygnału pomiarowego świadczy o poprawności pomiaru, a uzyskuje się go na skutek wzajemnego ustawienia przestrzennego cewki wtórnej i pierwotnej, aby maksimum sprzężenia cewek występowało ok. 0.5 mm przed zwrotem wewnętrznym tłoka.

3.6. Przebieg ćwiczenia

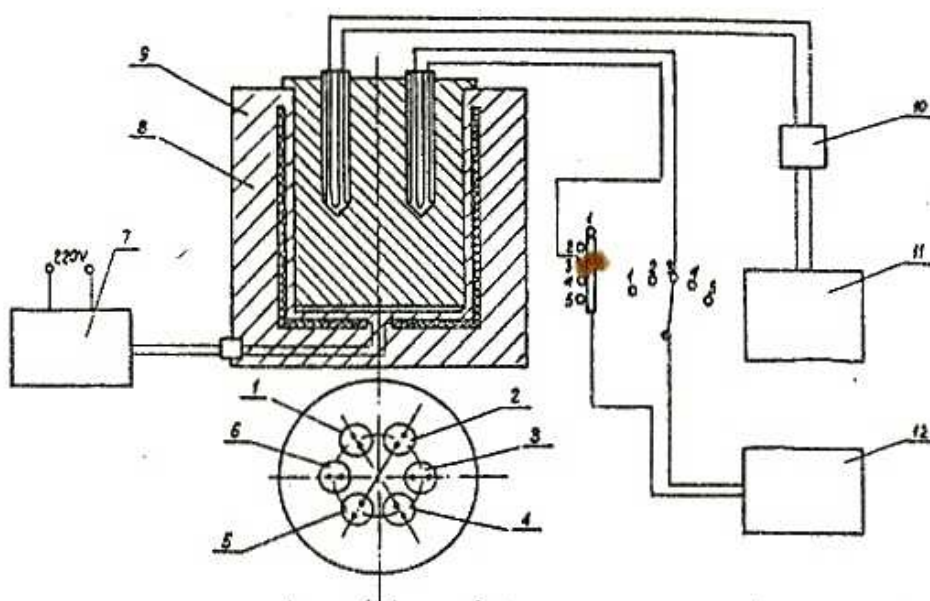
Pomiar temperatury tłoka opisaną metodą może być zrealizowany pod warunkiem, że zostaną wyznaczone charakterystyki wzorcowe dla każdego punktu pomiarowego. Charakterystyki takie powinny być wykonane w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Ponieważ stworzenie rzeczywistych warunków pomiaru jest trudne do zrealizowania, charakterystyki wzorcowe układu pomiarowego wyznacza się statycznie poza silnikiem. Postępowanie takie jest dopuszczalne przy założeniu, że:

- w układzie pomiarowym nie występuje zaburzający wpływ mas metalowych i ruchomych podzespołów silnika (takich jak tłok, wał korbowy, korbowód) na

ĆWICZENIE NR 3



Rys.3.11. Oscylogram jednego punktu pomiaru temperatury tłoka.



Rys.3.12. Schemat układu do wyznaczania charakterystyk temperaturowych termistorów.

ĆWICZENIE NR 3

własne pole magnetyczne elementów transmisji sygnałów pomiarowych, tj. cewek sprzęgających pierwotnych i wtórnych;

- w układzie pomiarowym występuje samokompensacja wpływu zmian temperatury w skrzyni korbowej silnika na zmianę parametrów elementów przekazywania sygnałów pomiarowych (cewki pomiarowe i wtórne);
- wyniki pomiarów nie zależą od prędkości obrotowej silnika.

Jeżeli układ pomiarowy spełnia przedstawione powyżej warunki, to doświadczalne wyznaczanie charakterystyki wzorcowej może być zrealizowane poza silnikiem w dwóch etapach:

- a) wyznaczenie charakterystyk termometrycznych stosowanych do pomiaru termistorów;
- b) wyznaczenie charakterystyki wzorcowej układu pomiarowego.

Ad. a) Wyznaczenie charakterystyki termometrycznej termistora

Zastosowane do pomiaru temperatury tłoka żaroodporne termistory perelkowe, o zakresie mierniczym do 450 °C i średnicy perelki od 0.3 do 1.2 mm, dobrze nadają się do punktowego pomiaru temperatury w całym obszarze tłoka. Ze względu na małe wymiary termistora w stosunku do przekrojów, przez które przepływa ciepło zaburzający wpływ zamocowania termistora, nawet w cienkich ściankach płaszcza tłoka, na pole temperatur jest pomijalnie mały.

Ponieważ podczas obróbki cieplnej termistorów (w procesie ich wytwarzania) następują zmiany kształtów, z czym wiążą się silne zmiany ich własności fizycznych - między innymi i rezystancji - istnieje konieczność doświadczalnego wyznaczania charakterystyki termometrycznej dla każdego zastosowanego do pomiaru temperatury egzemplarza termistora.

Doświadczalne wyznaczanie charakterystyki termometrycznej termistora sprowadza się do pomiaru jego rezystancji nominalnej przy różnych temperaturach środowiska, w którym termistor przebywa. Blokowy schemat układu do wyznaczania charakterystyk termometrycznych termistorów jest przedstawiony na rysunku 3.12.

Termistory umieszcza się w otworach 1 do 5 bloku aluminiowego. Przewody termistorów są izolowane od ścianek otworów dwukanałowymi koszulkami ceramicznymi. W otworze 6 bloku aluminiowego jest umieszczony termoelement wzorcowy PtRh-Pt. Blok aluminiowy jest osadzony w piecu sytytowym 8. Temperatura pieca jest regulowana ręcznie przez zmianę napięcia zasilania grzejnika pieca za pomocą autotransformatora 7. Zimne końce termoelementu wzorcowego są umieszczone w termostacie o temperaturze 0 °C. Napięcie termoelektryczne na termoelementie wzorcowym jest mierzone za pomocą

ĆWICZENIE NR 3

miliwoltomierza cyfrowego 11 z dokładnością $\pm 0.3\mu\text{V}$. Rezystancja termistora mierzona jest za pomocą omomierza cyfrowego 12.

Wykonanie pomiarów

- 1) Ustawiamy położenie suwaka na autotransformatorze tak, aby uzyskać temperaturę pieca o 50°C większą od górnego zakresu mierniczego (400°C).
- 2) Po ustaleniu się warunków cieplnych odczytujemy wartość napięcia termoelektrycznego na termoelemencie wzorcowym za pomocą miliwoltomierza cyfrowego oraz wartość odpowiadającej temu napięciu rezystancji pierwszego termistora.
- 3) Następnie zmniejszamy wartość napięcia na autotransformatorze o 30V , czemu towarzyszy zmniejszanie się temperatury pieca i bloku aluminiowego, widoczne przez powolne zmniejszanie się wartości napięcia termoelektrycznego na woltomierzu cyfrowym. Włączając kolejno następne termistory, odczytujemy dla całkowitych wartości napięcia termoelektrycznego (co 0.1 mV) wartości rezystancji kolejnych termistorów, aż do uzyskania dolnego zakresu mierniczego wszystkich badanych termistorów. Należy przy tym przestrzegać zasady, aby szybkość opadania temperatury pieca i bloku aluminiowego była mniejsza od 3 K/minutę .

Wyniki pomiarów należy umieścić w *tablicy 3.2*.

Tablica 3.2
Wzorcowanie termistora

Rezystancja $R[\Omega]$							
Temperatura $[\text{}^\circ\text{C}]$							

Ad. b) Wyznaczanie charakterystyki wzorcowej układu pomiarowego

Wyznaczanie charakterystyki wzorcowej samego układu pomiarowego powinno obejmować wszystkie jego człony, tj. cewki sprzęgające, kable połączeniowe, wzmacniacz i przyrząd rejestrujący.

Wyznaczanie charakterystyki wzorcowej pełnego układu pomiarowego różni się od pomiarów temperatury tłoka na pracującym silniku tym, że:

- wartości rezystancji termistora symulowane są odpowiednimi wartościami rezystancji ustawianymi na opornicy dekadowej;

ĆWICZENIE NR 3

- wzorcowanie odbywa się przy maksymalnym sprzężeniu cewek (czynnych) nie dynamicznie lecz statycznie.

Schemat stanowiska do wyznaczania charakterystyki wzorcowej układu pomiarowego jest prawie identyczny jak na rys.3.11, z uwzględnieniem założeń jak wyżej.

Wykonywanie pomiarów

- 1) Po dokonaniu połączeń w układzie w/g schematu podanego przez prowadzącego ćwiczenie, ustawiamy na przyrządzie do wzorcowania cewkę (tłokową) w pozycji bez sprzężenia z cewką pierwotną i pokrętlami na płycie czołowej przyrządu doprowadzamy mostek wejściowy do stanu równowagi.
- 2) Rejestrujemy na rejestratorze linie zerową odpowiadającą równowadze mostka.
- 3) Ustawiamy cewkę tłokową w pozycji maksymalnego sprzężenia z cewką pierwotną i na opornicy dekadowej ustawiamy wartość oporności odpowiadającą wartości rezystancji termistora dla górnej granicy zakresu mierniczego. Plamka świetlna na rejestratorze przyjmie w tych warunkach maksymalne wychylenie.
- 4) Rejestrujemy następnie na rejestratorze wartości wychyleń plamki świetlnej dla kolejnych nastaw opornicy dekadowej, poczynając od wartości maksymalnej do minimalnej.
- 5) Odczytujemy z oscylogramu wartości wychyleń plamki świetlnej w zależności od odpowiadających im wartości rezystancji na opornicy dekadowej i wyniki umieszczamy w *tablicy 3.3.*

Tablica 3.3. Wzorcowanie układu pomiarowego

Wychylenie plamki świetlnej w [mm]				
Oporność R w [Ω]				

Wyznaczanie łącznej charakterystyki wzorcowej układu
dla danego punktu pomiarowego

Łączną charakterystykę wzorcową układu dla danego punktu pomiarowego tłoka uzyskuje się przez przyporządkowanie temperatury, odczytanej z charakte-

ĆWICZENIE NR 3

rystryki termometrycznej termistora, wychyleniom plamki świetlnej na rejestratorze dla tych samych wartości rezystancji termistora i opornicy dekadowej.

Wyznaczanie łącznej charakterystyki wzorcowej układu dla dowolnego punktu pomiarowego w tłoku związane jest z odpowiednim doбором zakresu dla danego punktu, a ten z kolei zależy od parametrów obwodu wejściowego (pierwotnego i wtórnego).

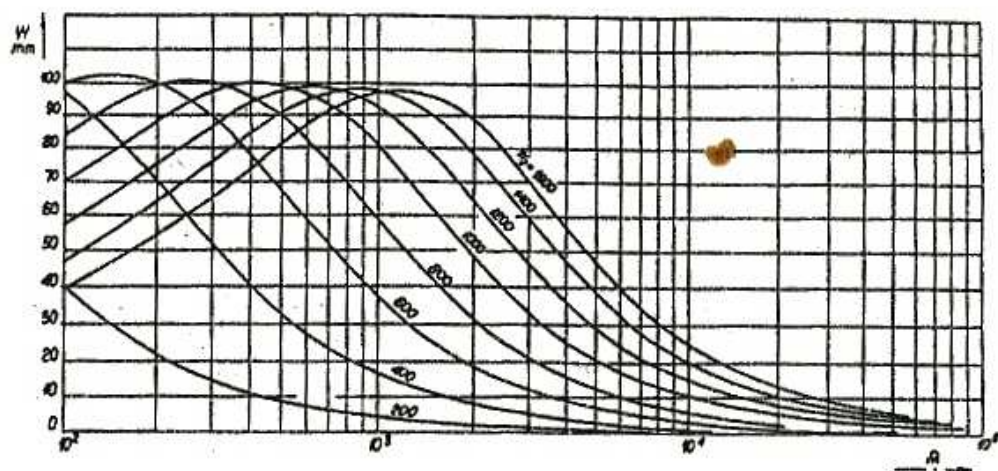
W praktyce dobór parametrów obwodu pierwotnego (nieruchomego), tj. półmostka składającego się z cewki czynnej i kompensacyjnej, jest uwarunkowany dopasowaniem półmostka czynnego, znajdującego się w silniku, z półmostkiem regulacyjnym, znajdującym się na zewnątrz silnika w przyrządzie pomiarowym. Stąd wartości parametrów cewek pierwotnych (czynnej i kompensacyjnej) dla użytego do pomiaru mostka tensometrycznego będą stałe, niezależne od obiektu pomiaru.

Przy stałych parametrach cewek pierwotnych (czynnej i kompensacyjnej) charakterystyka wzorcowa układu pomiarowego zależna będzie tylko od parametrów obwodu wtórnego, tj. od liczby zwojów cewki tłokowej ruchomej i charakterystyki termometrycznej użytego do pomiaru termistora. Dla danego termistora można, przez dobór liczby zwojów cewki wtórnej (ruchomej), tak ukształtować charakterystykę wzorcową układu dla danego punktu pomiarowego, aby w interesującym nas obszarze pomiarowym czułość układu była największa i w przybliżeniu stała.

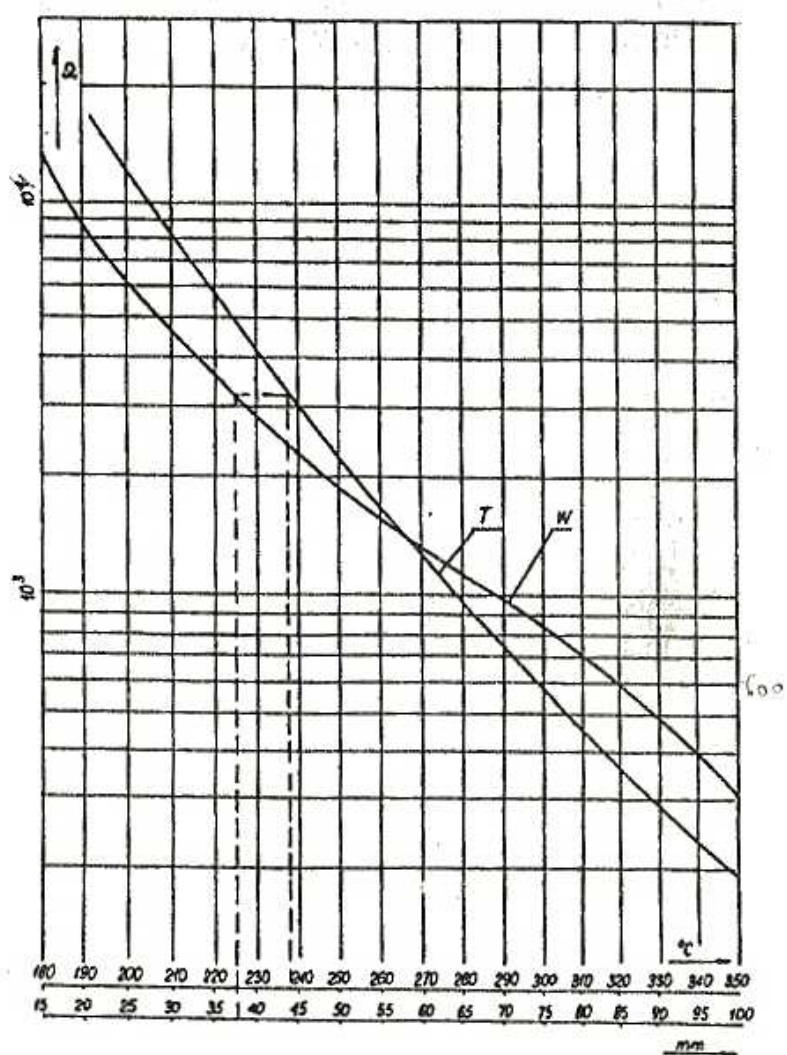
W celu wyznaczenia łącznej charakterystyki wzorcowej układu pomiarowego w interesującym nas obszarze pomiarowym dla danego punktu tłoka postępujemy następująco:

- określamy przewidywany dla danego punktu pomiarowego tłoka zakres pomiaru temperatury (np. od 180 do 300 °C);
- z charakterystyki termometrycznej termistora, wytypowanego do pomiaru temperatury w danym punkcie tłoka, określamy wartości rezystancji odpowiadające granicznym wartościom temperatury przewidywanego zakresu pomiarowego;
- przyporządkowujemy odczytane graniczne wartości rezystancji termistora rezystancjom na osi odciętych rodziny charakterystyk wzorcowych układu pomiarowego (rys. 3.13) i metodą interpolacyjną wyznaczamy w przybliżeniu prostoliniowy odcinek krzywej wzorcowej przyrządu dla tego zakresu pomiarowego; określamy przy tym jednocześnie i jednoznacznie liczbę zwojów cewki tłokowej;
- wykreślamy następnie na papierze półlogarytmicznym wyznaczoną charakterystykę wzorcową przyrządu dla tej liczby zwojów cewki tłokowej w postaci $W =$

ĆWICZENIE NR 3



Rys.3.13. Rodzina charakterystyk wzorcowych układu pomiarowego.



Rys.3.14. Łączna charakterystyka wzorcowa dla jednego punktu pomiarowego.

ĆWICZENIE NR 3

$f(R)$ i charakterystykę termometryczną termistora, użytego do pomiaru w danym punkcie tłoka w postaci $R = f(T)$.

Charakterystyki te na skutek omówionej wyżej wzajemnej korelacji stanowią łączną charakterystykę dla danego punktu pomiarowego w tłoku. Przykładową charakterystykę wzorcową przyrządu dla jednego punktu pomiarowego przedstawiono na rysunku 3.14.

Znając wysokość rejestrowanych na papierze oscylograficznym podczas pomiaru krzywych dwurgabowych, można w sposób pokazany na rys. 3.14 strzałkami i linią przerywaną odczytać odpowiadające im wartości temperatury w danym punkcie pomiarowym.

W sprawozdaniu należy umieścić:

1. Opis układu pomiarowego.
2. Łączną charakterystykę wzorcową układu dla wybranego punktu pomiarowego w układzie współrzędnych $\ln R-T$ oraz $\ln R-W$ w obszarze temperatury wskazanym przez prowadzącego ćwiczenie.
3. Analizę błędów pomiaru.

3.7. Pytania kontrolne

1. Jakie własności powinny posiadać metale stosowane na uzwojenia czujników termometrów rezystancyjnych?
2. Podać klasyfikację czujników termometrów rezystancyjnych metalicznych.
3. Wyjaśnij fizykę zjawiska zmniejszania się rezystancji w półprzewodnikach ze wzrostem temperatury.
4. Podać charakterystykę porównawczą czujników termometrów rezystancyjnych metalicznych i termistorów.
5. Wyjaśnić dlaczego w układzie do pomiaru temperatury tłoka wyniki pomiaru nie zależą od prędkości obrotowej silnika.

Literatura

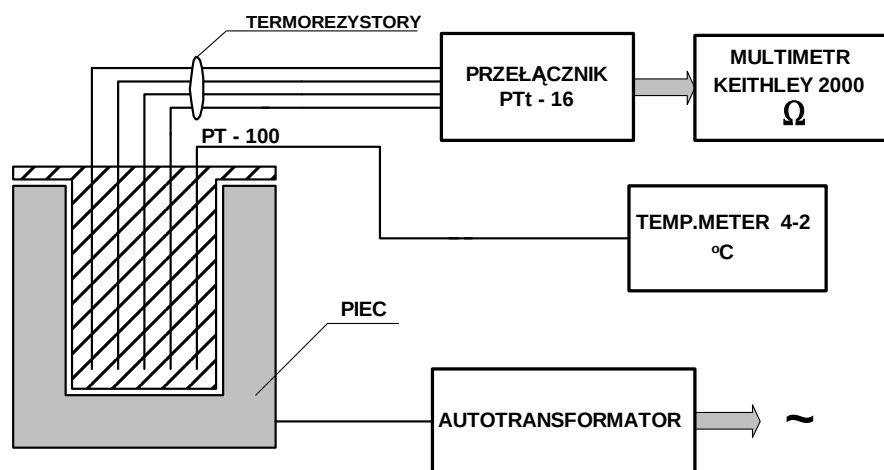
- [1] Wiśniewski S. *Pomiary temperatury w badaniach silników i urządzeń cieplnych*. WNT, W-wa 1983.
- [2] Romer E. *Miernictwo przemysłowe*. PWN, W-wa 1978.

OPIS WYKONYWANIA ZADAŃ

Celem pomiarów jest sporządzenie przebiegu charakterystyk temperaturowych wybranych termometrów rezystancyjnych oraz wyznaczenie charakterystyki toru pomiarowego aparatury do pomiaru temperatur tła silnika spalinowego.

I WYZNACZENIA CHARAKTERYSTYK TEMPERATUROWYCH WYBRANYCH TERMOMETRÓW REZYSTANCYJNYCH

- Połączyć elementy (sprawdzić połączenia) aparatury w zestaw wg poniższego schematu:



- Poprosić prowadzącego ćwiczenie o weryfikację połączeń zestawionej aparatury.
- Po uzyskaniu zezwolenia od prowadzącego włączyć zasilanie przyrządów i odczekać ok. 5 minut.. Ustawić rodzaj pracy multimetru na pomiar rezystancji (zakres $10\text{M}\Omega$).
- Sporządzić tablicę do zapisywania wyników pomiarów wg wzoru

$T_{\text{pieca}} [^{\circ}\text{C}]$	$R_{T1} [\text{M}\Omega]$	$T_{\text{pieca}} [^{\circ}\text{C}]$	$R_{T2} [\text{M}\Omega]$	$T_{\text{pieca}} [^{\circ}\text{C}]$	$R_{T3} [\text{M}\Omega]$
25,0		26,0		27,0	
35,0		36,0		37,0	
45,0		46,0		47,0	
...		...		...	



ĆWICZENIE NR 3

5. Nastawić zadaną wartość napięcia zasilania pieca (pokrętko autotransformatora nastawić na działkę 90). Za pomocą pokrętki przełącznika PTt-16 dołączać kolejno termorezystory do multimetru. Zapisać wartości zmierzonej rezystancji w tabeli. Pomiar przeprowadzić w zakresie od 25°C do 95°C.

UWAGA: Przy osiągnięciu przez piec temperatury 95°C - WYŁĄCZYĆ ZASILANIE PIECA (pokrętko autotransformatora ustawić na ZERO) !!!

WYNIKI pomiarów przedstawić w postaci wykresu krzywych (na jednym rysunku) sporządzonego np. w Excelu (dwie skale na osi R).

II WYZNACZENIE CHARAKTERYSTYKI TORU POMIAROWEGO APARATURY ZT-1 DO BADANIA TEMPERATUR TŁOKA SILNIKA SPALINOWEGO.

1. Poprosić prowadzącego ćwiczenie o weryfikację połączeń zestawionej aparatury ZT-1.
2. Po uzyskaniu zezwolenia od prowadzącego włączyć zasilanie przyrządów i odczekać ok. 5 minut. Przepisać tablicę cechowania termistora z tablicy danych dostarczonej przez prowadzącego. Ustawić wartość 200Ω na rezystorze dekadowym. Sprawdzić i ew. skorygować położenie suwadła dla uzyskania maksymalnego sprzężenia cewek (uzyskać maksimum wartości napięcia wyjściowego).
3. Przepisać, z danych dostarczonych przez prowadzącego, charakterystykę temperaturową termistora $R_T=f(T)$.
4. Sporządzić tablicę wg wzoru:

R_T [Ω]	$U_{\text{wyjściowe}}$ [V]
9000	
8000	
.....	

Odczytać wartość napięcia wyjściowego dla następujących wartości rezystancji nastawianych na rezystorze dekadowym:

od 9000Ω do 2000Ω co 1000Ω,

od 1900Ω do 200Ω co 100Ω.

Uwaga: przed odczytem napięcia na woltomierzu wcisnąć każdorazowo przycisk zerowania **D** w aparaturze ZT-1.

Sporządzić wykres charakterystyki temperaturowej termistora $R_T=f(T)$ i charakterystyki toru pomiarowego $U_{\text{wyjściowe}} = f(R_T)$ korzystając z takiego samego ustawienia osi R na rysunkach obu charakterystyk (pożądane przedstawienie obu charakterystyk na jednym rysunku). Oś R przedstawić jako zmienną w skali logarytmicznej. Korzystając z obu sporządzonych wykresów odczytać wartość temperatury dla podanej przez prowadzącego wartości $U_{\text{wyjściowe}}$ napięcia wyjściowego.

SPRAWOZDANIE

W sprawozdaniu przedstawić wykresy opisane w punktach I oraz II oraz podać wartość napięcia $U_{\text{wyjściowe}}$ podaną przez prowadzącego i odpowiadającej mu temperatury tłoka, wyznaczonej ze sporządzonego, w części II, wykresu.

Wykresy sporządzić w Excelu.