

## 1. Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z różnego rodzaju czujnikami do pomiaru temperatury, poziomu, parametrów chemicznych, prędkości obrotowej i położenia.

## 2. Zakres ćwiczenia:

Program ćwiczenia zawiera:

- zapoznanie się z budową następujących czujników temperatury : rozszerzalnościowych, manometrycznych, rezystancyjnych i termoelektrycznych.
- pomiar charakterystyki statycznej wybranego czujnika,
- pomiar charakterystyki dynamicznej wskazanego czujnika i obiektu ,
- określenie parametrów transmitancji obiektu na podstawie pomiarów jego charakterystyki statycznej i dynamicznej,
- identyfikację wskazanego czujnika,
- poznanie metod poprawnego pomiaru temperatury czujnikami rezystancyjnymi i termoelektrycznymi,
- zapoznanie się z ultradźwiękowymi czujnikami do pomiaru poziomu cieczy i ciał sypkich,
- zapoznanie się z czujnikami prędkości obrotowej i pomiar ich charakterystyk statycznych,
- poznanie czujników niektórych parametrów chemicznych,
- badanie czujników zbliżeniowych.

## 3. Opis przebiegu ćwiczenia.

### 3.1. Czujniki temperatury.

Temperatura jest jednym z ważniejszych parametrów fizycznych w technice i mimo że jest łatwo wyczuwalna pomiary jej narażają wiele problemów. Wynika to z faktu , że nie możemy jej mierzyć w sposób bezpośredni. W trakcie rozwoju termometrii powstało wiele skal temperatur. Obecnie powszechnie stosowana jest międzynarodowa skala temperatur wyznaczona przez kilka punktów stałych ( temperatura wrzenia lub krzepnięcia niektórych ciał ). Te punkty stałe podano w Tabeli 1.1.

Do pomiaru temperatur wykorzystuje się różne zjawiska fizyczne. W związku z tym rozróżnia się następujące rodzaje termometrów:

a) rozszerzalnościowe , w których wykorzystuje się zjawisko rozszerzalności cieczy lub ciał stałych w zależności od temperatury. Należą do nich termometry: cieczowe szklane, dylatacyjne i bimetaliczne,

b) manometryczne, działające na zasadzie zmiany ciśnienia gazu lub cieczy w zamkniętej objętości,

c) termoelektryczne w których wykorzystuje się zjawisko powstawania siły termoelektrycznej na styku dwóch różnych metali . Warunkiem powstania tej siły jest wystąpienie różnicy temperatur między złączem dwóch metali ( spoina pomiarowa ) a wolnymi końcami termoelementu ( zimne końce termoelementu ),

d) rezystancyjne - oparte na zmianie rezystancji niektórych metali (platyny, niklu, miedzi ) oraz pewnych półprzewodników pod wpływem temperatury,

e) pirometryczne w których wykorzystuje się zjawisko emitowania promieniowania cieplnego przez ciało , którego temperaturę chcemy zmierzyć. Zakres stosowalności pirometrów wynosi zwykle od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $3000^{\circ}\text{C}$ .

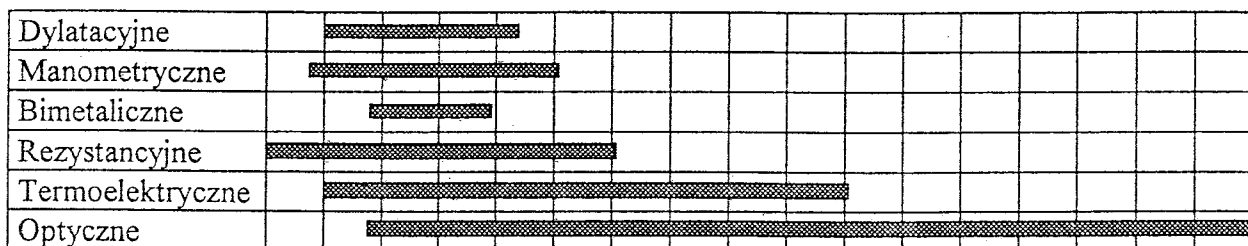
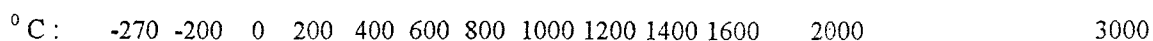
Tabela 1.1.

Punkty stałe międzynarodowej skali temperatur.

Lp.	Stan równowagi	Temperatura	
		$^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$
1	Między ciekłym i gazowym stanem tlenu (punkt wrzenia tlenu)	90,188	- 182,962
2	Między stałym, ciekłym i gazowym stanem wody (punkt potrójny wody)	273,16	0,01
3	Między ciekłym i gazowym stanem wody (punkt wrzenia wody)	373,15	100
4	Między stałym i ciekłym stanem cynku (punkt krzepnięcia cynku)	692,73	419,58
5	Między stałym i ciekłym stanem srebra (punkt krzepnięcia srebra)	1235,08	961,93
6	Między stałym i ciekłym stanem złota (punkt krzepnięcia złota)	1337,58	1064,43

Tabela 1.2.

### Zakresy pomiarowe termometrów



### 3.1.1. Termometry mechaniczne.

W tej grupie termometrów można wyróżnić termometry rtęciowe, dylatacyjne, manometryczne i bimetaliczne.

a) Termometry rtęciowe. Używane powszechnie w medycynie. Techniczne termometry rtęciowe posiadają obudowę chroniącą termometr przed uszkodzeniem. Pomiar temperatury powinien być dokonany tak aby wysokość słupka rtęci była zanurzona w badanej cieczy na wysokość aktualną słupka rtęci. W przypadku różnicy tych wysokości popełnia się błąd, który można wyliczyć i wprowadzić odpowiednią poprawkę. (Uwaga: termometry techniczne skalowane są przy głębokości zanurzenia zaznaczonego na jego obudowie ). Sposób wprowadzenia poprawki pokazuje rys.1.1.

b) Termometry dylatacyjne. W tych termometrach wykorzystuje się zjawisko rozszerzalności cieplnej metali:

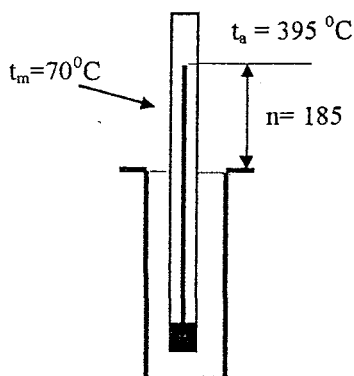
$$l = l_0(1 + \lambda \Delta t)$$

$l$  - długość elementu w temperaturze  $t$

$l_0$  - długość elementu w temperaturze  $t_0$

$\lambda$  - temperaturowy współczynnik rozszerzalności liniowej danego metalu,

$\Delta t$  - różnica temperatur  $\Delta t = t - t_0$



$$\Delta t = \alpha * n (t_a - t_m)$$

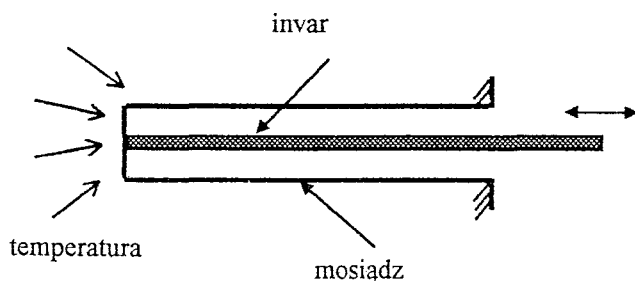
$n$  - wysokość w  $^{\circ}\text{C}$  wynurzonej części słupka rtęci,

$t_a$  - temperatura wskazywana przez termometr,

$t_m$  - średnia temperatura wystającego słupka rtęci (zmierzona np. dodatkowym termometrem),

$\alpha$  - względny współczynnik rozszerzalności rtęci w odniesieniu do szkła (średnio  $\alpha = 0,000158$  dla szkła jenajskiego normalnego i termometrów rurkowych w zakresie od 0 do  $400^{\circ}\text{C}$ )

Rys.1.1. Pomiar temperatury termometrem rtęciowym i przykładowe wyniki pomiarów.



Rys.1.2. Czujnik termometru dylatacyjnego.

Sam czujnik takiego termometru składa się z rury wykonanej np. z mosiądzu i zamocowanego w środku pręta z invaru (materiał o bardzo małym współczynniku rozszerzalności cieplnej).

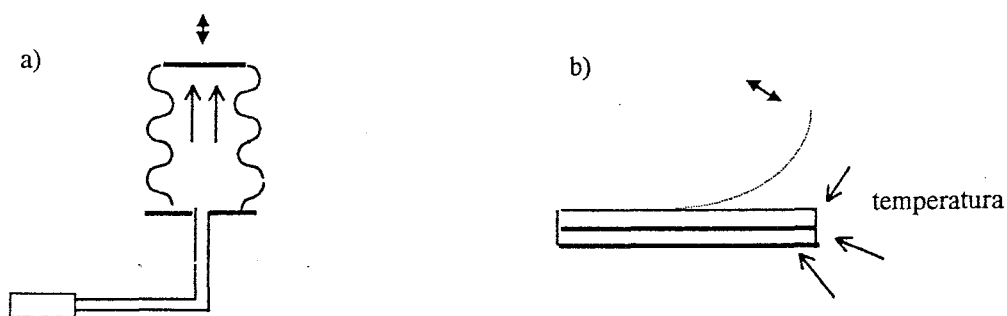
Tak np. dla mosiądzu  $\lambda = 0,0000184 [1/^{\circ}\text{C}]$ ,

dla invaru  $\lambda = 0,0000009 [1/^{\circ}\text{C}]$ .

Pod wpływem temperatury końcówka pręta invarowego ulega przesunięciu co może być wykorzystane do wskazywania temperatury lub częściej do przełączania styków (regulatory dwustawne).

c) Termometry manometryczne. Działanie tych termometrów oparte jest na zjawisku rozszerzalności cieplnej cieczy, gazów lub par (par cieczy o dużej lotności). (rys.1.3.a)

d) Termometr bimetaliczny. Zbudowany jest z dwóch połączonych z sobą materiałów - jednego o dużym temperaturowym współczynniku rozszerzalności liniowej i drugiego o małym współczynniku  $\lambda$ . Pod wpływem temperatury następuje odkształcenie tak wykonanego czujnika co jest wykorzystywane do wskazywania temperatury lub przełączania styków. (rys. 1.3.b)



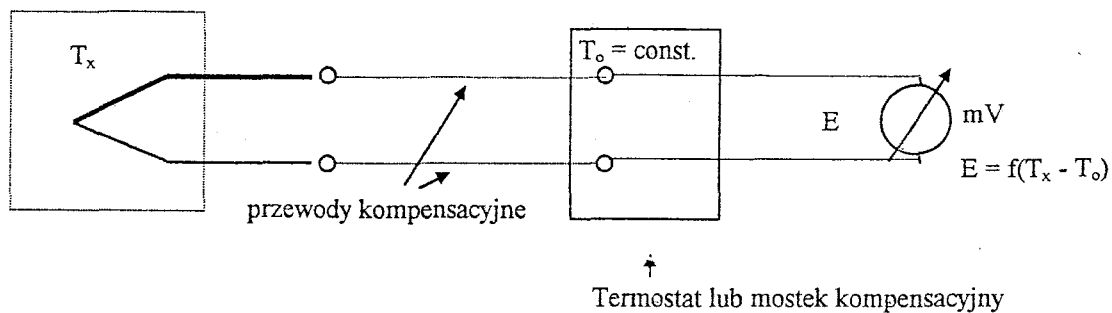
Rys. 1.3. Czujniki termometrów.

a) manometrycznego, b) bimetalicznego.

Końcówkę tego termometru stanowią zamknięte układy membran, mieszków sprężystych (rys. 1.3.a) lub rurek Bourdona.

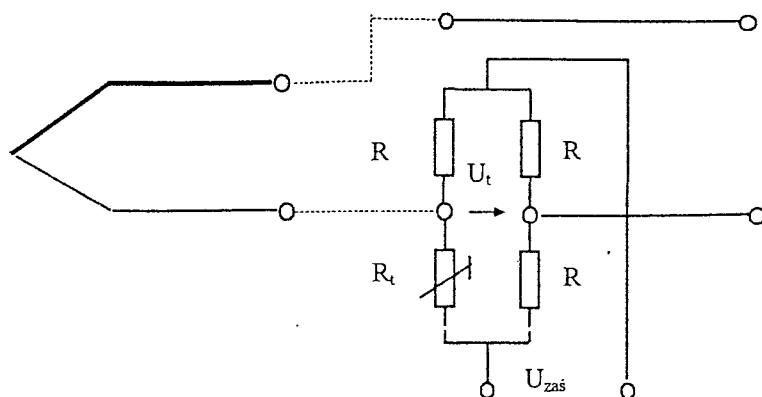
### 3.1.2. Termometry termoelektryczne.

Termoelement zbudowany jest z dwóch różnych materiałów połączonych trwale na jednym końcu (spaw) zwanym spoiną pomiarową. Drugie otwarte końce termoelementu noszą nazwy spoiny odniesienia, wolnych końców termoelementu lub zimnych końców termoelementu. Schemat układu pomiarowego temperatury przy pomocy termoelementu pokazuje rys. 1.4.



Rys. 1.4. Pomiar temperatury przy pomocy termoelementu.

Ponieważ sygnałem wyjściowym termoelementu jest napięcie zależne od różnicy temperatur między temperaturą mierzoną a temperaturą wolnych końców termoelementu, stąd istnieje konieczność stabilizacji temperatury wolnych końców termoelementu. Stabilizacja taka często nie jest możliwa bezpośrednio na końcach termoelementu i trzeba ją przenieść nieco dalej. Oddalenie to wykonuje się przewodami kompensacyjnymi, które dla tanich termoelementów wykonane są z tych samych materiałów z jakich zbudowany jest termoelement a dla drogich ze specjalnych stopów. Stabilizacja temperatury wolnych końców może być zrealizowana przy pomocy termostatu lub mostka kompensacyjnego.



Rys.1.5. Mostek kompensacyjny w układzie pomiaru temperatury termoelementem.

W mostku kompensacyjnym pokazanym na rys.1.5. jeden z rezystorów ( $R_t$ ) jest rezystorem, którego rezystancja zależy od temperatury otoczenia (wykonany jest z miedzi). Pozostałe rezystory są wykonane z wysokostabilnych materiałów oporowych (manganin, konstantan). Mostek jest tak zaprojektowany żeby dla wybranej temperatury np.  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$   $U_t = 0\text{ mV}$ . Przy zmianie temperatury pojawia się na przekątnej mostka napięcie  $U_t$ , zależne od zmian temperatury otoczenia w rejonie mostka kompensacyjnego. W ten sposób automatycznie wprowadza się do układu pomiarowego korektę od zmian temperatury otoczenia. W tabeli 1.3. zestawiono najczęściej spotykane termoelementy.

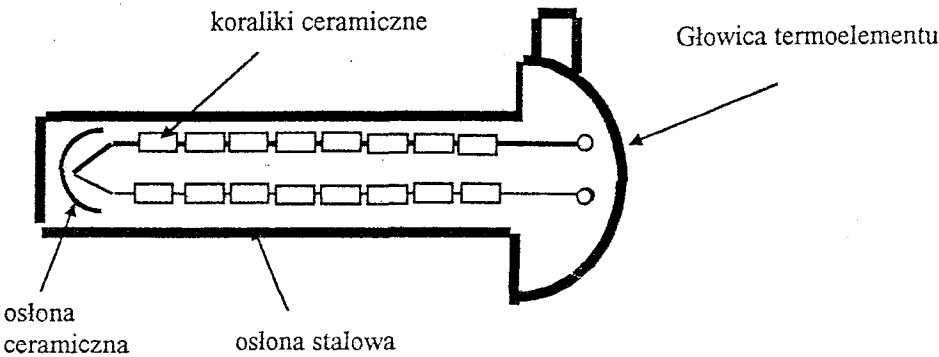
Tabela 1.3.

Parametry typowych termoelementów

L.p.	Typ	Nazwa i skład ramion		Zakres pomiarowy	Temperatura	Napięcie
		+	-	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	mV
1	S	Platyna -rod 90% + 10%	Platyna	0...1300 (do 1600 $^{\circ}\text{C}$ przez 20 sek.)	0 100 200 300 400 500 1000	0 0,645 1,440 2,323 3,260 4,234 9,585
2	J	Żelazo	Konstantan Cu + Ni 60% 40%	-200 ... +800	0 50 100 150 200 250 300	0 2,585 5,268 8,008 10,777 13,553 16,325
3	K	Chromel Ni + Cr 90% + 10%	Alumel Ni + Mn + Al + Si 94%+3%+2%+1%	-200 ...+1100	0 100 150 200 250 300 900	0 4,095 6,137 8,137 10,151 12,207 37,325

4	T	Miedź	Konstantan			-200 ... +400	0	0
			Cu	+	Ni		50	2,138
			60%	+	40%		100	4,277
							150	6,782
							200	9,286
							250	12,073
							300	14,860

Przemysłowe termoelementy produkowane są o różnych długościach i zwykle zamknięte są w obudowie stalowej zakończonej głowicą z zaciskami elektrycznymi lub przetwornikiem pomiarowym. Tak wykonany termoelement posiada znaczną stałą czasową. Obudowa termoelementu jest często niezbędna bowiem chroni go przed uszkodzeniem mechanicznym oraz „zatruciem” chemicznym. Znajdujące się wewnątrz obudowy izolatory ceramiczne zapobiegają zwarciom przewodów termoelementów.



Rys.1.6. Budowa termoelementu przemysłowego.

3.1.3. Termometry rezystancyjne.

Termometry rezystancyjne wykorzystują zależność oporności metali i półprzewodników a także innych materiałów od temperatury. W pomiarach przemysłowych najczęściej stosowane są termometry rezystancyjne wykonane z platyny, niklu lub miedzi. W tabeli 1.4.zestawiono parametry typowych czujników rezystancyjnych (termometrów oporowych).

Tabela 1.4. Parametry typowych czujników rezystancyjnych.

L.p.	Nazwa	Zakres stosowalności °C	Temperatura °C	Rezystancja Ω
1	Pt100	-200 ... +850	0	100,00
			20	107,79
			40	115,54
			60	123,24
			80	130,89
			100	138,50
			120	146,06
			140	153,58
			160	161,04
			180	168,46

			200	175,84
			220	183,17
			240	190,45
			260	197,69
			280	204,88
			300	212,02
2	Ni100	-60 ... + 180	0	100,00
			100	161,71
			180	223,10
			$\alpha = 5,4 \cdot 10^{-3} [1/^{\circ}\text{C}]$	
3	Cu	-200 ... +150	0	100,00
			$\alpha = 4,31 \cdot 10^{-3} [1/^{\circ}\text{C}]$	$R_t = R_o(1 + \alpha \Delta t)$

Czujniki rezystancyjne wykonane są w postaci nawiniętego na karkasie ceramicznym drutu oporowego. Przemysłowe czujniki rezystancyjne posiadają obudowy podobne do tych jakie stosowane są w czujnikach termoelektrycznych. Oprócz tego typu czujników rezystancyjnych do pomiaru temperatury używa się również czujników termistorowych. Stosowane są do tego celu termistory NTC (ujemny współczynnik temperaturowy), PTC (dodatni współczynnik temperaturowy) i PTC (skokowa zmiana rezystancji).

NTC - negativ temperature coefficient,

PTC - positive temperature coefficient,

CTR - critical temperature resistor.

Zależność rezystancji czujnika od temperatury jest nieliniowa i wyraża się ogólnym wzorem:

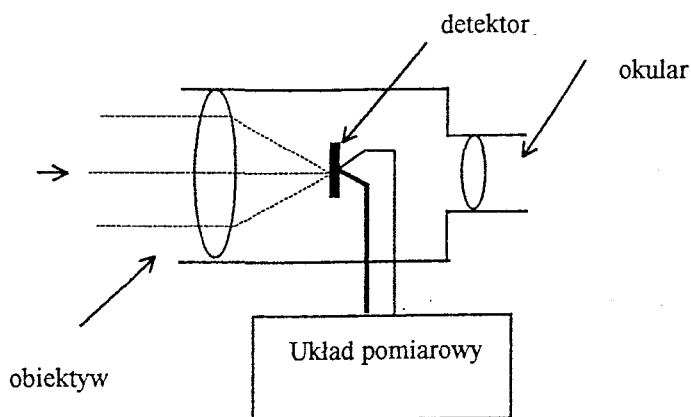
$$R_t = R_o \exp \left[ \beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

$R_o$  - rezystancja termistora w znanej temperaturze  $T_0$  (zwykle  $298,15 \text{ }^{\circ}\text{K}$ )

$\beta$  - stała materiałowa termistora.

### 3.1.4. Pirometry.

Podstawą fizyczną działania pirometrów jest fakt, że wszystkie ciała o temperaturze wyższej od zera absolutnego ( $0 \text{ }^{\circ}\text{K}$ ) emitują promieniowanie cieplne. Pomiar natężenia tego promieniowania jest wykorzystywany w pirometrach do określenia temperatury ciała. Odbywa się to w sposób pośredni poprzez pomiar temperatury ciała doskonale czarnego, które pochłania promieniowanie cieplne emitowane z obiektu którego temperaturę chcemy zmierzyć. Odbywa się to w sposób bezstykowy. Odpowiedni układ optyczny pozwala po skierowaniu lunetki pomiarowej na mierzony obiekt określić jego temperaturę. Pomiar ten wymaga ustawienia czujnika od obiektu w zakresie odległości ustalonych przez producenta. Dla ułatwienia wycelowania pirometr posiada lunetkę optyczną lub w nowszych wykonaniach celownik laserowy. Każdy bezstykowy pirometr promieniowania podczerwonego składa się z układu optycznego skupiającego na detektorze emitowane przez badany obiekt promieniowanie podczerwone, detektora promieniowania i czujnika temperatury otoczenia do kompensacji wpływu tej temperatury na wyniki pomiarów. Nowoczesne pirometry zawierają mikroprocesor, wyświetlacz cyfrowy, wyjście analogowe o standardzie prądowym i złącze komunikacyjne np. typu RS 232.



Układ pomiarowy zawiera:

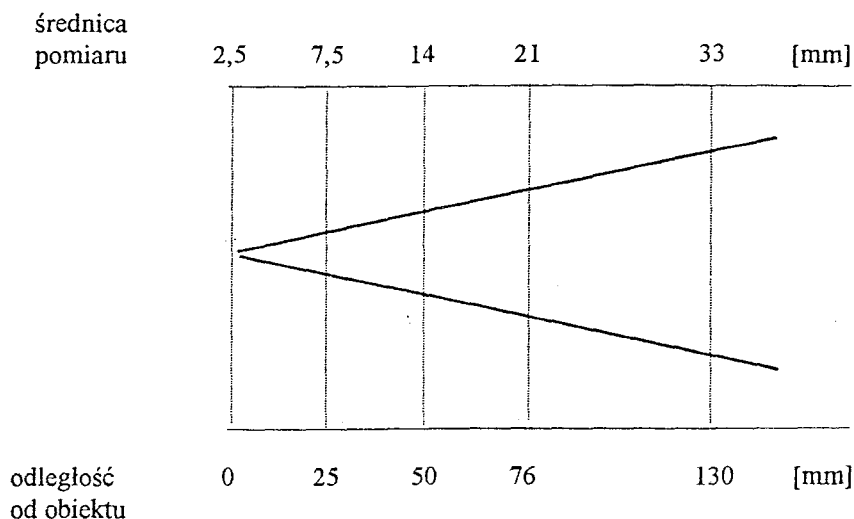
- mikroprocesor,
- wyświetlacz wyniku pomiaru,
- pamięć wyników pomiaru,
- układ korekcji współczynnika emisyjności,
- układ linearyzacji,
- układ kompensacji wpływu zmian temperatury otoczenia,
- wyjście analogowe ,
- RS232.

Rys.1.7. Zasada pracy pirometru optycznego.

Ostatnie lata przyniosły znaczny postęp w technologii wytwarzania pirometrów promieniowania podczerwonego co umożliwiło zwiększenie niezawodności oraz długo czasowej stabilności parametrów. Ogromny postęp został osiągnięty w produkcji elementów optycznych, detektorów promieniowania podczerwonego, elektronice oraz w technologii związanej z produkcją hermetycznych i trwałych obudów. Szeroki zakres temperatur, duża dokładność , odporność na warunki zewnętrzne spowodowały gwałtowny wzrost zapotrzebowania na ten typ urządzeń pomiarowych. W wielu procesach technologicznych nie jest możliwe umieszczenie na stałe czujnika temperatury np. w przemyśle szklarskim, produkcji asfaltu, laminowaniu tkanin i wtedy przydatny jest pomiar na odległość. Podobnie chwilowe pomiary temperatury urządzeń wirujących (przekładni, łożysk), układów elektronicznych, izolacji cieplnych są możliwe przy pomocy pirometrów. Zastosowanie chłodzenia detektora ciekłym azotem lub ostatnio coraz częściej chłodziarką termoelektryczną znacznie zwiększyło zakres pomiarowy temperatur i rozszerzyło zakres ich stosowalności. Zakres temperatur mierzonych pirometrami podawany przez producentów wynosi od  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $+3000^{\circ}\text{C}$ . Obudowy przemysłowych pirometrów są przystosowane do chłodzenia wodą lub powietrzem. Dzięki temu mogą pracować w temperaturach otoczenia do  $175^{\circ}\text{C}$ . Parametry dynamiczne pirometrów określa czas ustalania się wyniku pomiarów. Czas ten w zależności od modelu pirometru wynosi od 80 do 1000 ms.

- Pirometr typ IP f-my Raytek.

Pirometrem można mierzyć temperaturę w zakresie  $-18^{\circ}\text{C}$  do  $+260^{\circ}\text{C}$ . Dokładność pomiaru wynosi  $\pm 2\%$ . Pirometr posiada wyjście standardowe termoparowe typu K, które można połączyć z miernikiem cyfrowym EMT-302. Czas ustalania się pomiaru wynosi 1s. Zakres pomiarowy pirometru pokazano na rys.1.8.



Rys.1.8. Zakres pomiarowy pirometru typu IP.

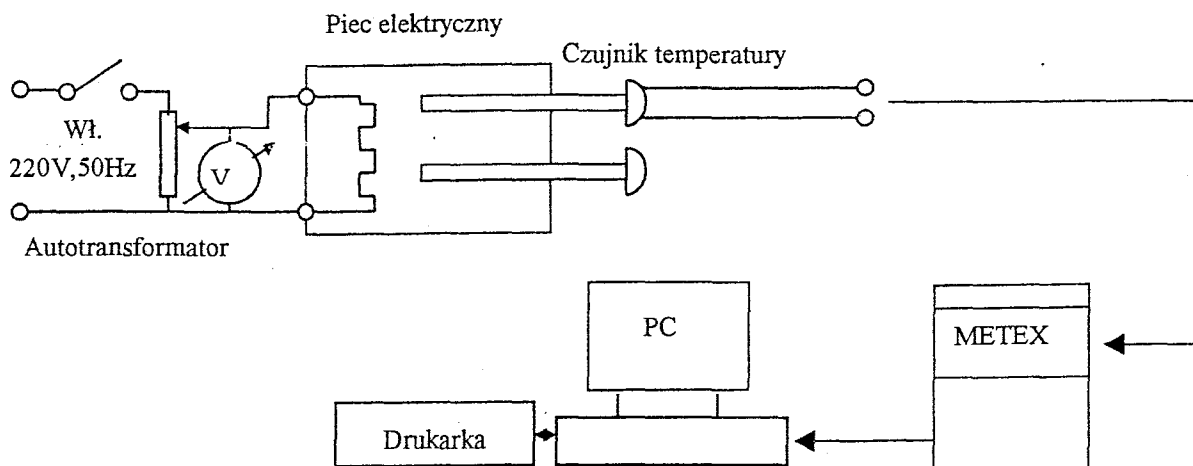
### 3.1.5. Zadanie do wykonania.

#### 3.1.5.1. Zapoznanie się z budową różnych czujników temperatury.

- Należy oglądać budowę zwykłego termometru rtęciowego i zwrócić uwagę na warunki poprawnego pomiaru temperatury tym przyrządem.
- Rozebrać jeden z termoelementów w obudowie. Zobaczyć sposób zabezpieczenia przewodów termoelektrycznych przed zwarcie między sobą i do obudowy. Zwrócić uwagę na połączenia w głowicy termoelementu (biegun plus i minus).
- Dokonać oględzin wybranego czujnika manometrycznego (np. z regulatora temperatury w chłodziarce lub piecyku gazowym). Zwrócić uwagę na ochronę przed uszkodzeniem mechanicznym.
- Znaleźć wśród czujników element bimetaliczny i zapoznać się z jego budową. Wykorzystując źródło ciepła sprawdzić jego działanie.
- Zapoznać się z pirometrem optycznym. Przeczytać instrukcję użytkowania oraz zwrócić uwagę na warunki poprawnego pomiaru temperatury tym przyrządem.

### 3.1.5.2. Pomiar charakterystyki dynamicznej obiektu.

Schemat układu do pomiaru charakterystyk dynamicznych obiektu przedstawia rys. 1.9.



Rys. 1.9. Układ do pomiaru charakterystyki dynamicznej obiektu.

Krzywą narostu sygnału wyjściowego czujnika zaobserwować na ekranie monitora a następnie zarejestrować.

### 3.1.5.3. Określenie parametrów transmitancji mierzonego obiektu.

a) Na podstawie zarejestrowanego przebiegu  $E = f(t)$  określić parametry transmitancji metodą Kűpfműllera:

$$K(s) = \frac{k}{Ts + 1} e^{-sT_o}$$

gdzie:

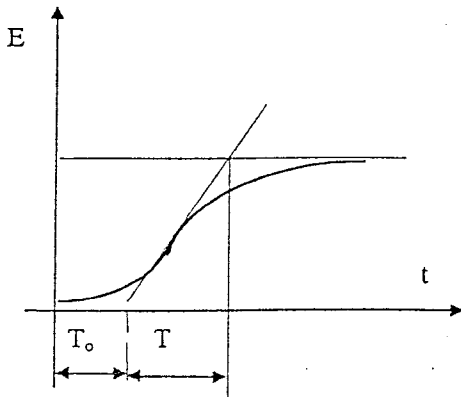
$k$  = współczynnik proporcjonalności,  $[V/V]$

$T$  - stała czasowa,  $[s]$

$T_o$  - czas opóźnienia,  $[s]$

Parametry  $T$ ,  $T_o$  określamy z wykresu.

Sposób pomiaru podanych wyżej parametrów pokazano na rys. 1.10.



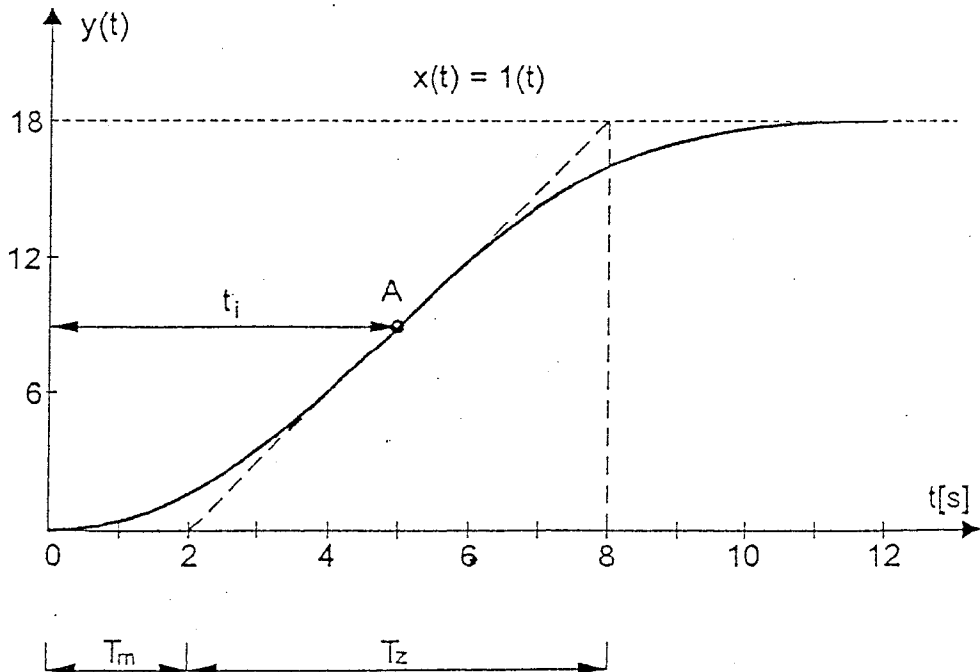
Rys.1.10. Sposób obliczenia parametrów transmitancji .

b) Na podstawie zarejestrowanego przebiegu  $E = f(t)$  określić parametry transmitancji metodą Strejca:

Model Strejca ma następującą postać:

$$K(s) = \frac{k}{(Ts + 1)^n} e^{-\sigma}$$

Sposób określania parametrów podaje rys.1.11.



Rys.1.11. Aproksymacja Strejca .

Postępowanie jest następujące :

- a) Na wyznaczonej eksperymentalnie charakterystyce odpowiedzi skokowej nanosi się styczną przechodzącą przez punkt przegięcia A, następnie wyznaczamy wartości  $t_i$ ,  $T_m$  i  $T_z$  oraz wyliczamy stosunek:

$$\left\{ \frac{T_m}{T_z} \right\}_{\text{exp}}$$

- b) z tablicy określamy rząd  $n$  modelu na podstawie wyliczonego stosunku

$$\left\{ \frac{T_m}{T_z} \right\}_{\text{exp}}$$

Jeżeli wartość :

$$\left\{ \frac{T_m}{T_z} \right\}_{\text{exp}}$$

znajduje się między dwiema wartościami w tablicy, należy przyjąć mniejszy rząd przetwornika a  $T_m$  zmniejszyć o taką wartość  $\tau$ , aby nowy stosunek :

$$\left\{ \frac{T_m}{T_z} \right\}_{\text{tab}}$$

odpowiadał dokładnie modelowi  $n$  - tego rzędu.

$$\tau = \left[ \left( \frac{T_m}{T_z} \right)_{\text{exp.}} - \left( \frac{T_m}{T_z} \right)_{\text{tab.}} \right] * T_z [s]$$

- c) stałą czasową przetwornika otrzymujemy z trzeciej kolumny tabelki, po podstawieniu wartości  $t_i$  dla wcześniej określonego rzędu przetwornika.

Tabela 1.5.

$n$	$T_m/T_z$	$t_i/T$
1	0,000	0
2	0,104	1
3	0,218	2
4	0,319	3
5	0,410	4
6	0,493	5
7	0,570	6
8	0,642	7
9	0,709	8
10	0,773	9