

Sensory temperatury

Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z właściwościami i układami pracy, podstawowych sensorów temperatury. Wyznaczenie charakterystyk statycznych i dynamicznych badanych sensorów oraz zaprojektowanie i układów kondycjonowania sygnałów. Przetestowania przyrządów pomiarowych do zdalnego pomiaru temperatury. Sprawdzenie możliwości oraz zaobserwowanie ograniczeń metod wykorzystujących promieniowanie podczerwone. W ćwiczeniu badane są sensory termoelektryczne termorezystory, termistory, termoogniwa, oraz pirometr przemysłowy i kamera termowizyjna.

1. Wstęp

Generalny podział metod pomiaru temperatury można przeprowadzić na: stykowe i bezdotkowe. W stykowych/dotkowych metodach elektrycznych możemy wyróżnić sensory rezystancyjne i termoogniwa. Sensory rezystancyjne można podzielić na termorezystory metalowe i termistory (półprzewodnikowe).

Termorezystory metalowe wykorzystują zjawisko zmiany rezystancji metalu wraz ze zmianą temperatury. Dla metali zmiana rezystancji jest proporcjonalna do zmian temperatury. Termorezystory wykonuje się głównie z platyny i niklu żądzie z miedzi. Ze względu na szeroki zakres pomiarowy, dobrą liniowość i wystarczającą czułość termorezystory platynowe są najbardziej popularne (około 99% produkcji).

Rezystancję termorezystora można zapisać następującym wzorem

$$R_T = R_0(1 + \alpha(T - T_0))$$

T - temperatura [°C]

T_0 - temperatura odniesienia zwyczajowo 0°C

R_T - rezystancja termorezystora w temperaturze T

R_0 - rezystancja termorezystora w temperaturze odniesienia

α - temperaturowy współczynnik rezystancji $\left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$

Termorezystory metalowe wykonuje się w większości z drutów nawijanych na izolacyjne karkasy. Oznaczenie termorezystorów metalowych ma postać MR_0 , gdzie M jest materiałem rezystancyjnym a R_0 rezystancją w temperaturze odniesienia. Przykładowo termorezystor PT100 jest wykonany z platyny a jego rezystancja w $T_0 = 0^\circ\text{C}$ wynosi 100 Ohm. Podstawowe parametry termorezystorów przedstawione są w tabeli

Tabela 1. Parametry termorezystorów metalowych

Materiał	Zakres pomiarowy	$\alpha \left[\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right]$
Platyna	$-200 \div 850^{\circ}\text{C}$	0,00385
Nikiel	$-60 \div 150^{\circ}\text{C}$	0,00617
Miedź	$-40 \div 120^{\circ}\text{C}$	0,00426

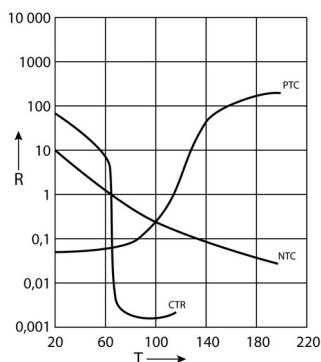
Termistory są termoryzystorami półprzewodnikowymi. Najczęściej są to spieki tlenków, siarczków i krzemionek z metalami (Fe, Cu, Mg, Al, U, Co). Termistory cechują się wysoka czułością rzędu kilku %/K ale mają nieliniową charakterystykę i wąski zakres pomiarowy. Termistory można podzielić ze względu na zmianę rezystancji w funkcji temperatury:

NTC - termistory z ujemnym współczynnikiem zmian rezystancji (Negative Temperature Coefficient) stosowane do pomiarów temperatury standardowe w zakresie $-50 \div 150^{\circ}\text{C}$ specjalizowane do 350°C .

PTC – termistory z dodatnim współczynnikiem zmian rezystancji (Positive Temperature Coefficient) stosowane w układach zabezpieczający lub jako wskaźniki (wysokiej/niskiej) temperatury, mogą być również użyte do pomiaru temperatury w przypadku elementów linearyzowanych (linear thermistor).

CRT – termistor o skokowej zmianie rezystancji (Critical Temperature Resistor) stosowany jako element zabezpieczający.

Typowe charakterystyki termistorów przedstawione są na rynku 1.



Rys. 1. Charakterystyki statyczne termistorów

Charakterystykę termistora NTC można formalnie opisać wzorem

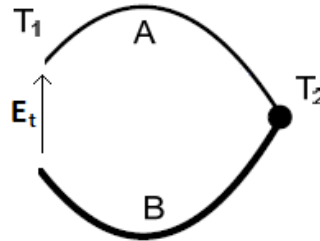
$$R_T = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

R_T - rezystancja termistora w temperaturze T

R_0 - rezystancja termistora w temperaturze odniesienia zwyczajowo 20°C

B - współczynnik materiałowy

Termoogniwo zwane również termoparą (*ang. thermocouple*) jest sensorem temperatury bazującym na zjawisku Seebecka. Sensor ten składa się z dwóch różnych metali połączonych na jednym końcu. W takim układzie wywołanie różnicy temperatur między punktem styku a otwartymi końcami powoduje generację siły termoelektrycznej proporcjonalnej do różnicy temperatur między stykiem a wolnymi końcami.



Rys. 2. Struktura termoogniwa

$$E_t = S_{AB}(T_2 - T_1)$$

E_t - siła termoelektryczna [V]

T_1 - temperatura wolnych końców (zimnych końców)

T_2 - temperatura złącza (spoina/punkt pomiaru)

W zależności od użytych metali zakres pomiarowy termoogniw mieści się w granicach $-200 \div 2500^\circ\text{C}$. Po mimo niskiej czułości (do kilkudziesięciu $\mu\text{V/K}$) sensory te są często wykorzystywane szczególnie w sytuacjach przemysłowych do pomiaru wysokich temperatur. Należy jednak pamiętać że sensor ten mierzy różnicę temperatur więc w celu uzyskania temperatury bezwzględnej konieczna jest znajomość i stabilizacja temperatury wolnych końców.

Zdalnym pomiar temperatury realizowany jest przez pirometr lub kamerę termowizyjną. Wykorzystywane jest tu zjawisko promieniowania cieplnego ciał znajdujących się powyżej temperatury zera bezwzględnego

$$I = \varepsilon \sigma T^4$$

I - energia wypromieniowana przez jednostkę powierzchni ciała [W/m^2]

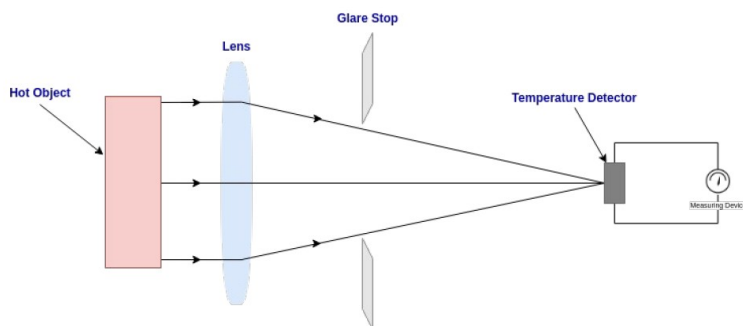
ε - emisyjność ciała

σ - stała Stefana-Boltzmana $\sim 5,670367(13) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$

T - temperatura [K]

Struktura pirometru przedstawiona jest na rysunku 3. Możemy tam wyróżnić układ optyczny skupiający promieniowanie optyczne na detektorze. Detektor (mikrobolometr, termostos, detektor

kwantowy) przetwarza energię promieniowania na sygnał elektryczny. Układ pomiarowy oblicza finalny wyniki z uwzględnieniem emisyjności ciała.



Rys. 3. Struktura pirometru

Struktura kamery termowizyjnej jest zbliżona z tą różnicą, że zamiast pojedynczego detektora temperatury występuje matryca sensorów pozwalająca na zmierzenie temperatury obserwowanej powierzchni. Kamera termowizyjna posiada również bardziej złożony układ przetwarzania sygnału pomiarowego i wizualizacji.

2. Przebieg ćwiczenia

Zadaniem studentów jest samodzielne wykonanie pomiarów i wyznaczenie charakterystyk zgodnie z programem ćwiczenia. Studenci zobowiązani są również do opracowanie sprawozdania końcowego z przygotowaniem odpowiedzi na pytania postawione w poniższej instrukcji.

Uwaga: Po zestawieniu układu pomiarowego, przed przystąpieniem do dalszej pracy konieczne jest sprawdzenie i akceptacja układu pomiarowego przez prowadzącego zajęcia laboratoryjne.

W przypadku zastania połączonego układu pomiarowego koniecznym jest sprawdzenie poprawności połączeń, oraz ustawienie wartości początkowych układu pomiarowego i oprogramowania.

2.1 Stanowisko pracy

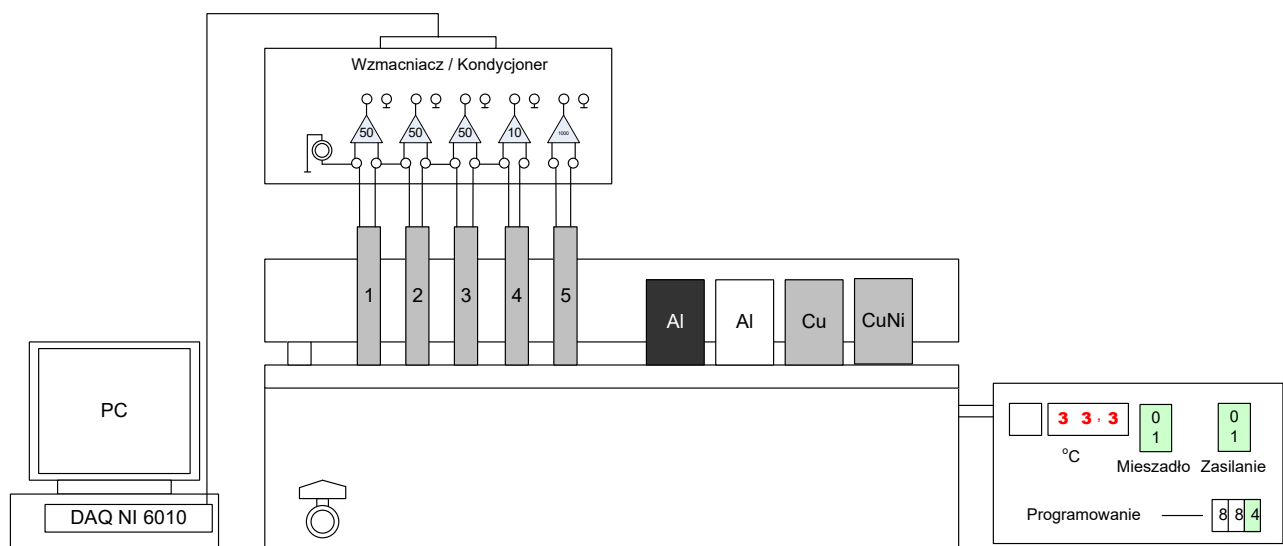
Do realizacji ćwiczenia przeznaczone jest stanowisko wyposażone w:

- Czujnik temperatury – 5 szt.
- Regulowany układ grzewczy (łaznia wodna) – 1szt.
- Termometr
- Pirometr
- Próbki materiałów do badań pirometrycznych
- Komputer PC z kartą zbierania danych NI 6010 i zainstalowanym wirtualnym przyrządem pomiarowym mierzącym sygnał napięciowy z czujników
- Instrukcja wykonania ćwiczenia.

W ćwiczeniu badane są parametry pięciu podstawowych czujników temperatury którymi są

- Termoogniwo,
- Termorezystory metalowe
- Termistor

Wykonywane są również pomiary pirometryczne obrazujące wpływ materiału na wynik pomiaru temperatury. Czujniki i próbki metali do badań pirometrycznych pracują w układzie pomiarowym przedstawionym na rysunku nr 4.



Rys. 4. Układ pomiarowy

Czujniki i próbki zanurzone są w zbiorniku wypełnionym wodą. Za pomocą układu regulacyjnego możliwe jest uzyskanie temperatury z zakresu - od aktualnej temperatury wody w zbiorniku do 99°C. Wymaganą temperaturę ustawia się układem pokręteł „Programowanie”. Aktualna temperatura wody prezentowana jest na głównym wyświetlaczu. Włączenie mieszadła wprawia wodę w ciągły ruch, dzięki czemu zachodzi szybsza wymiana ciepła między grzałkami a wodą oraz utrzymywany jest równomierny rozkład temperatury w całej objętości wanny wodnej.

Wzmacniacz/ kondycjoner

Zadaniem układu kondycjonowania jest zasilenie obwodu składającego się z 4 czujników rezystancyjnych połączonych szeregowo oraz wzmocnienie spadków napięć na czujnikach rezystancyjnych i siły termoelektrycznej E termooigniwa w celu przetworzenia napięcia z większą precyzją.

Znając wydajność źródła prądowego oraz aktualną temperaturę wody w której zanurzone są sensory możliwe będzie wykreślenie charakterystyk zmian rezystancji w funkcji temperatury $R=f(T)$ – dla czujników rezystancyjnych. Dla termooigniwa zostanie wyznaczona zależność $E=f(T)$

Wzmacniacz podłączony jest do karty zbierania danych NI 6010 znajdującej się w komputerze. Na bazie karty NI 6010 został stworzony wirtualny przyrząd pomiarowy umożliwiający jednoczesny pomiar spadków napięć na wszystkich sensorach. Przyrząd został zbudowany w środowisku LabVIEW SignalExpress i uruchamiany jest ikona „Termo” znajdująca się na pulpicie.

Opis kanałów (od lewej)

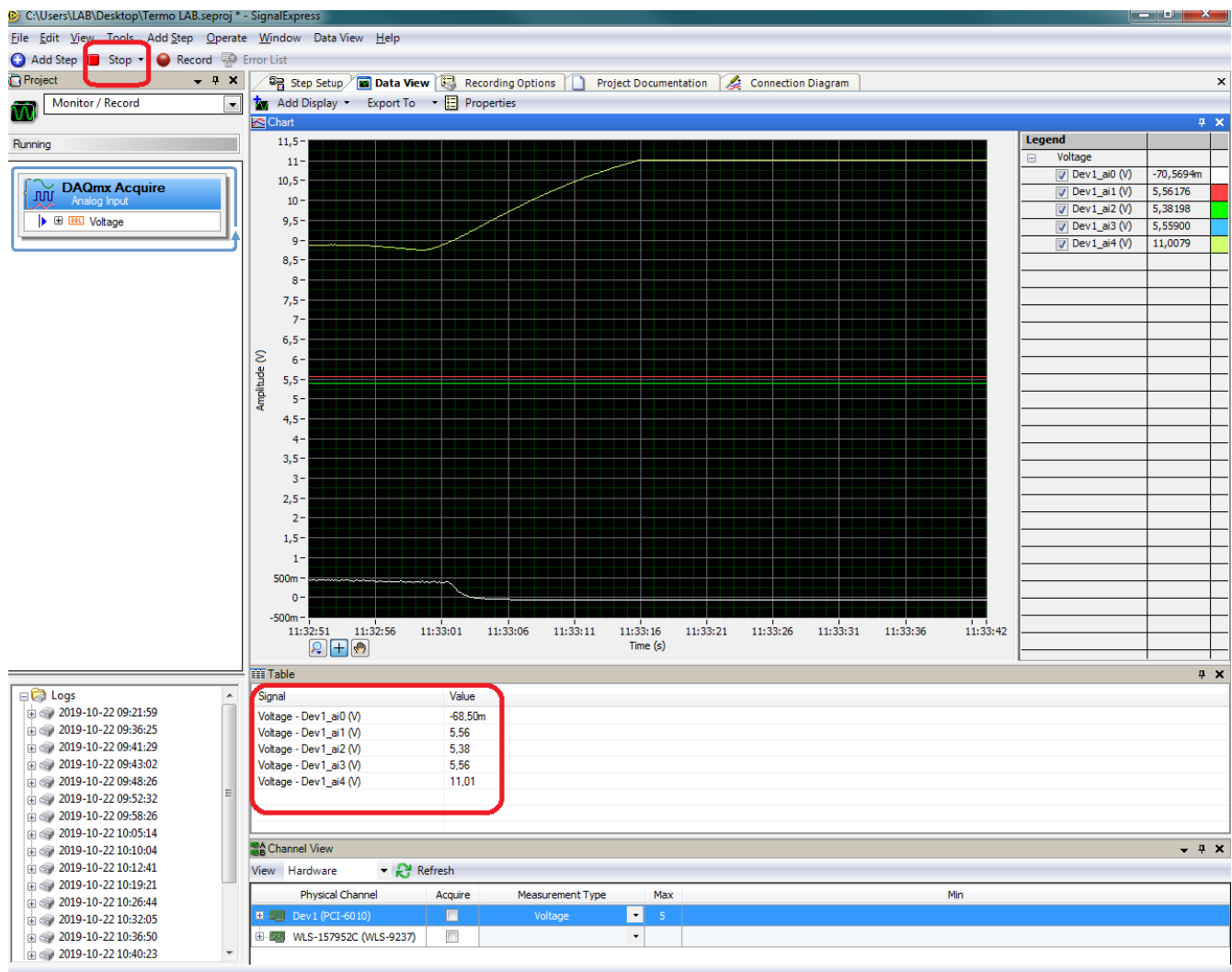
Kanał ai0 mierzy napięcie na wyjściu wzmacniacza G=1000

Kanał ai1 mierzy napięcie na wyjściu wzmacniacza G=50

Kanał ai2 mierzy napięcie na wyjściu wzmacniacza G=50

Kanał ai3 mierzy napięcie na wyjściu wzmacniacza G=50

Kanał ai4 mierzy napięcie na wyjściu wzmacniacza G=10



Rys. Wirtualny przyrząd pomiarowy - Termo

Pomiary pirometryczne

W celu przeprowadzenia pomiarów pirometrycznych należy uzgodnić z prowadzącym próbki metalu których temperatura będzie mierzona (aluminium, miedź, mosiądz, o fakturze matowej, polerowanej, zaczernionej) i wstawić je do wanny grzewczej.

W celu zmierzenia temperatury pirometrem należy nacisnąć spust pirometru i ustawić wskaźnik laserowy na badanym obiekcie i zwolnić spust i odczytać temperaturę

W przypadku pomiaru temperatury próbek zanurzonych w wodzie należy ustawić wskaźnik laserowy na środku próbki około 2 cm nad powierzchnią wody.

UWAGA

Wskaźnik laserowy pirometru może uszkodzić wzrok.

Zabronione jest kierowanie wiązki lasera na oczy

Arkusz wspomagający wykonanie ćwiczenia

Na pulpicie znajduje się arkusz kalkulacyjny wspomagający wykonanie ćwiczenia. Arkusz jest chroniony przed zapisem. Należy go otworzyć i zapisać pod własną nazwą (numer grupy i zespołu) pozwoli to na pełną modyfikację arkusza. Modyfikacja pól oznaczonych kolorem białym wystarczy do rejestracji pomiarów i realizacji ćwiczenia

2.2 Wyznaczenie charakterystyk statycznych - równolegle przeprowadzić pomiary pirometryczne

Pierwszym zadaniem jest wyznaczenie charakterystyk statycznych badanych czujników. W tym celu należy:

- a) Podłączyć sensory: sensor 0 do kanału 0, sensor 1 do kanału 1, itd.,
- b) Uruchomić wirtualny przyrząd pomiarowy
- c) Otworzyć arkusz kalkulacyjny wspomagający wykonanie ćwiczenia wybrać zakładkę statyczne.
- d) Wstawić wydajność źródła prądowego (1mA) i wartości wzmocnień dla danego sensora
- e) Termoregulatorem ustawić zadaną temperaturę wody (zacząć od jak najniższej możliwej)
- f) W chwili osiągnięcia przez wodę zadanej temperatury, zmierzyć napięcia na zaciskach wszystkich sensorów i dane wprowadzić do arkusza kalkulacyjnego

- g) Zmierzyć temperaturę pirometrem dla wszystkich próbek wynik wstawić do arkusza i protokołu. Podczas pomiaru należy utrzymywać tą samą odległość pirometru od próbki, wskaźnik laserowy ustawić ok. 2 cm nad powierzchnią wody.
- h) Zwiększyć temperaturę wody o zadana wartość (o ile prowadzący nie zaleci inaczej zwiększyć temperaturę o 5°C.
- i) Powtarzać procedurę od punktu e) do i) dziesięć razy – nie przekroczyć maksymalnej temperatury wody $T=90^{\circ}\text{C}$

Po wyznaczeniu charakterystyk statycznych przeanalizować właściwości sensorów i omówić poniższe problemy:

- 1) Określić na podstawie zebranych informacji rodzaj i typ każdego z badanych sensorów.
- 2) Określić czułość sensorów
- 3) Omówić charakterystyki uzyskane z pomiarów pirometrycznych

2.3 Wyznaczenie charakterystyk dynamicznych

W celu wyznaczenia charakterystyk dynamicznych należy:

- a) Przełączyć arkusz kalkulacyjny na zakładkę **dynamiczne**;
- b) Wstawić wydajność źródła prądowego (1mA) i wartości wzmocnień dal danego sensora;
- c) Umieścić czujniki w zbiorniku z ciepłą wodą (o ile w nim nie są)
- d) Wybrać czujniki (numer czujnika) dla którego będzie zdejmowana charakterystyka, zmierzyć wartość napięcia na badanym czujniku i zanotować ją w arkusz dla wartości czasu $t = 0[\text{s}]$.
- e) Przełożyć wybrany czujnik do pojemnika z zimną wodą z jednoczesnym uruchomieniem stopera lub rejestracją czasu na zegarze systemowym komputera PC;
- f) Dokonywać pomiaru napięcia na czujniku co 15s; pomiary kontynuować do 240s
- g) Po zakończeniu cyklu pomiarowego, badany czujnik wyjąć z pojemnika z zimną wodą i przełożyć go powtórnie do zbiornika z ciepłą wodą;
- h) Powtórzyć procedurę dla wszystkich czujników,
- i) Po wyznaczeniu charakterystyk dynamicznych dla każdego z sensorów, wyłączyć zasilanie łaźni wodnej a sensory umieścić w zbiorniku z ciepłą wodą.

Po wyznaczeniu charakterystyk dynamicznych przeanalizować właściwości sensorów i omówić problemy

- 1) Określić wartości stałych czasowych dla badanych sensorów

- 2) Wstępnie oszacować potencjalne zastosowanie sensorów, ze względu na ich stałą czasową
- 3) Jakie układy/metody służą do kształtowania charakterystyk dynamicznych ?

2.4 Wyznaczenie współczynnika emisyjności

W celu wyznaczenia współczynnika emisyjności materiału należy:

Metoda 1

- a) Wybrać próbkę materiału – temperatura próbki w czasie wyznaczania współczynnika nie może ulegać zmianie;
- b) zmierzyć temperaturę powierzchni próbki, termometrem dotykowym. Należy pamiętać o zapewnieniu odpowiedniego czasu pomiaru;
- c) skierować pirometr na powierzchnię zmierzoną termometrem i tak regulować wartość współczynnika emisyjności w pirometrze, aby temperatura przez niego wyświetlana była tak sama jak zmierzona termometrem;
- d) odczytać wyznaczony współczynnik emisyjności.

Metoda 2

- a) Wybrać próbkę materiału – temperatura próbki w czasie wyznaczania współczynnika nie może ulegać zmianie;
- b) Dokładanie nakleić na powierzchnię mierzoną czarna matową taśmę lub zaczernić czarna matową farbą i dokonać pomiaru temperatury zaczernionej powierzchni pirometrem z ustawioną wartością emisyjności na 0.95;
- c) Skierować pirometr na powierzchnię nie zaczerntoną i tak regulować wartością współczynnika emisyjności w pirometrze, aby temperatura przez niego wyświetlana była taka sama jak zmierzona na powierzchni zaczernionej.
- d) odczytać wyznaczony współczynnik emisyjności.

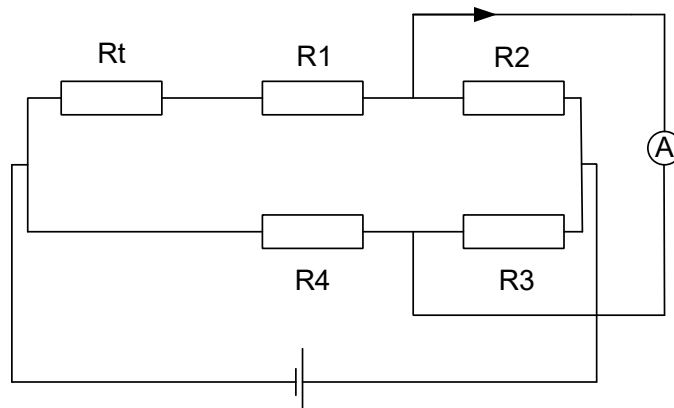
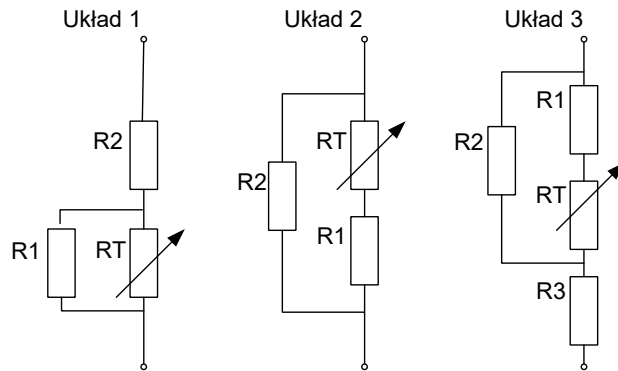
Zanotować wyniki wyznaczonej emisyjności w sprawozdaniu.

Omówić problemy:

- 1) Jak definiowany jest współczynnik emisyjności
- 2) W jakich sytuacjach może być przydatna informacja o emisyjności materiału.

2.5 Korekcja charakterystyk statycznych

Schematy podstawowych układów korekcyjnych przedstawia Rys. 2.



Układ mostkowy

Rys. 2. Układy korekcyjne

Omówić poniższe problemy związane ze stosowaniem układów korekcyjnych

1. Zastanowić się nad potrzebą i możliwością zastosowania układów korekcyjnych dla otrzymanych charakterystyk statycznych.
2. Ocenąć podstawowe wady i zalety układów korekcyjnych.

3. Sprawozdanie

W sprawozdaniu powinny znaleźć się:

- Schematy układów pomiarowych;
- Wyniki pomiarów;
- Charakterystyki badanych sensorów statyczne i dynamiczne, Odpowiedzi na pytania zawarte w instrukcji;
- Wnioski własne i spostrzeżenia.

Po wykonaniu sprawozdania należy wyłączyć przyrządy pomiarowe i komputer. Sprawozdanie przekazać prowadzącemu zajęcia laboratoryjne.