

TERMISTOR JAKO TERMOMETR

Celem ćwiczenia jest szczegółowe prześledzenie standardowej procedury budowy i kalibracji przyrządu pomiarowego. Celem ćwiczenia od strony analizy danych jest wyznaczenie niepewności zależności odwrotnej.

WYMAGANIA TEORETYCZNE

Prawa Ohma i Kirchhoffa – dzielnik napięcia.

ZADANIE DOMOWE

obowiązkowe przed przystąpieniem do wykonania pomiarów

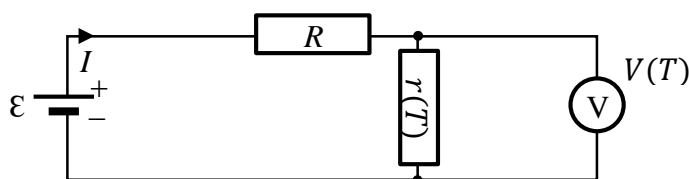
- a) Zależność oporności r typowego termistora od temperatury absolutnej T , z dobrym przybliżeniem, opisuje zależność:

$$r = r_{\infty} \exp\left(\frac{B}{T}\right), \quad (1)$$

gdzie B jest stałą materiałową termistora. Zaproponuj postać transformacji zmiennych zależnej r (oporu) i niezależnej T (temperatury) sprowadzającej to wyrażenie do postaci liniowej $y = ax + b$, w której y jest nową zmienną zależną, a x nową zmienną niezależną. Podaj związek między parametrami a oraz b i parametrami B i r_{∞} termistora.

- b) W typowych czujnikach temperatury, termistor wykorzystany jest jako element dzielnika napięć (rys. 1). Oblicz spadek napięcia na termistorze oraz udowodnij, że w punkcie przegięcia krzywej $V(T)$ ($\frac{d^2V}{dT^2}\bigg|_{T_0} = 0$) zachodzi związek:

$$R = r_{\infty} \frac{B-2T_0}{B+2T_0} \exp\left(\frac{B}{T_0}\right). \quad (2)$$



Rysunek 1. Schemat dzielnika napięć

INSTRUKCJA

Układ pomiarowy

Masz do dyspozycji:

- naczynie o pojemności około 200 ml;
- termoparę typu J podłączoną do komputera za pomocą złącza NI USB-TC01;
- termistor w aluminiowej rurce z wyprowadzonymi przewodami; termistor to obiekt o rozmiarze kilku milimetrów umieszczony i zalany żywicą na końcu rurki;
- płytkę drukowaną służącą do budowy dzielnika napięć;
- urządzenie do akwizycji danych NI myDAQ;
- miernik uniwersalny do monitorowania napięcia zasilającego;
- zestaw oporników;
- przewody;
- gorącą wodę i lód.

W trakcie pomiarów obchodź się bardzo ostrożnie z naczyniem z wodą – woda o temperaturze 80°C – 90°C jest gorąca. Naczynie ustaw z dala od Ciebie, aby niechcący go nie potrącić, staraj się

nim nie poruszać, a gdy woda stygnie, nie okładaj go lodem lub ręcznikami nasączonymi zimną wodą – pozwól, aby proces stygnięcia przebiegał autonomicznie – bez Twojej interwencji i jakiegokolwiek zakłóceń.

Zanotuj numer termistora, który otrzymałeś (numer ten podaj w opisie ćwiczenia).

Wyznaczanie charakterystyki temperaturowej termistora

Korzystając z programu *Termistor* ustaw cyfrowy miernik uniwersalny w urządzeniu myDAQ do pomiaru oporności i podłącz do termistora. Zanotuj temperaturę i oporność termistora w warunkach temperatury pokojowej.

Napełnij naczynie gorącą wodą. Umieść termistor i termoparę w wodzie. Zadbaj, aby termistor i czujnik termopary znalazły się możliwie blisko siebie i oba elementy były zanurzone w wodzie – wypełnienie naczynia do ok. 1/4 wysokości powinno to zapewnić – zbyt duża ilość wody jest niewygodna, bo naczynie będzie wolniej stygło, a to, przy skończonym czasie pomiaru, zawęzi badany obszar temperatur. Nim rozpoczniesz zapisywanie pomiarów, poczekaj aż termometr zacznie definitywnie wskazywać malejącą wartość temperatury. Wygodne może tu być obserwowanie wskazań oporu termistora. Uruchom zapisywanie pomiarów temperatury stygnącej wody i oporności termistora przy zmianie temperatury o 1°C. Prowadź pomiary przez 20 minut. Jednocześnie wybrane punkty pomiarowe nanoszą na wykres przedstawiający zależność logarytmu temperatury od odwrotności temperatury bezwzględnej umieszczonym na rys. A1 w Aneksie tej instrukcji.

W programie obsługującym pomiary wstrzymaj zapisywanie pomiarów (przyciskiem pauzy). Napełnij naczynie zimną wodą z kranu i dodaj pewną ilość lodu. Tak dobierz proporcje wody i lodu, aby po wymieszaniu i **całkowitym** stopieniu lodu, woda miała mniej niż 10°C. I tu, jak poprzednio, zbyt duża ilość wody jest niewygodna, bo naczynie będzie wolniej się ogrzewało, a to, przy skończonym czasie pomiaru, zawęzi badany obszar temperatur. Nim rozpoczniesz ponowne zapisywanie pomiarów, poczekaj aż temperatura zacznie definitywnie rosnać. Uruchom ponownie zapisywanie pomiarów, ponownie nanosząc na ten sam wykres wybrane punkty pomiarowe. Zakończ, gdy czas wykonywania pomiarów przekroczy 20 minut.

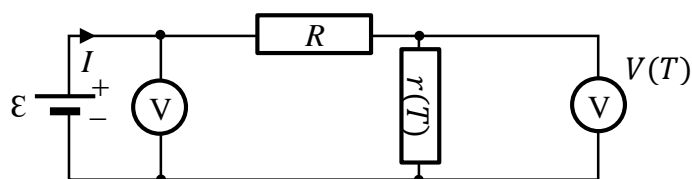
Wyznaczanie optymalnych parametrów układu do kalibracji termistora

Wykorzystując wyniki zadania domowego oraz wykonywany w trakcie pomiarów wykres, wyznacz szacunkowe oceny parametrów r_{∞} i B termistora. W tym celu nanieś na rysunek niektóre ze zmierzonych wartości temperatury i oporności termistora (nie wykorzystuj wszystkich danych – wystarczy, że użyjesz po kilka punktów danych z obszaru wyższych i niższych temperatur), dopasuj „na oko” – za pomocą linijki – linię prostą do danych, wyznacz parametry tej linii prostej i na tej podstawie wyznacz oceny parametrów termistora. Oceny te winny wyjść, w przybliżeniu, między 3500 K a 4000 K dla parametru B oraz około 1 Ω dla parametru r_{∞} .

Wykorzystując znalezione szacunkowe oceny parametrów r_{∞} i B termistora, oraz wyniki zadania domowego, wyznacz ocenę wartości R oporu dzielnika dla temperatury $t_0 = 65^{\circ}\text{C}$. Skorzystaj z wykresu na rysunku A.2 (w aneksie) lub kalkulatora. Wartość oporności referencyjnej dzielnika powinna zawierać się, w przybliżeniu, między 10 k Ω a 50 k Ω .

Budowa i kalibracja termometru

Z otrzymanego zestawu oporników wybierz ten, który najlepiej odpowiada wartości obliczonej dla $t_0 = 65^\circ\text{C}$. Wykorzystując płytkę, zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2, zbuduj dzielnik napięcia, którego elementami są opornik i termistor oraz uniwersalny miernik cyfrowy w urządzeniu myDAQ pozwalający mierzyć napięcie na termistorze. Napełnij naczynie gorącą wodą i wstaw do naczynia termistor i termometr. Po sprawdzeniu przez prowadzącego zajęcia poprawności połączeń elektrycznych układu, podłącz do układu dzielnika zasilanie 15 V z odpowiednich wyprowadzeń urządzenia myDAQ oraz podłącz miernik uniwersalny do monitorowania napięcia zasilającego. Zanotuj wartość tego napięcia. Wykonaj pomiary z gorącą wodą jak przy zdejmowaniu charakterystyki temperaturowej. Notuj wartości: temperatury, napięcia na termistorze i napięcia zasilania nie dłużej niż przez 30 minut. Obserwuj, od czasu do czasu, wskazania miernika napięcia na zasilaczu. Odnotuj charakter i rozmiar obserwowanych zmian napięcia.



Rysunek 2. Schemat układu pomiarowego.

RAPORT KOŃCOWY

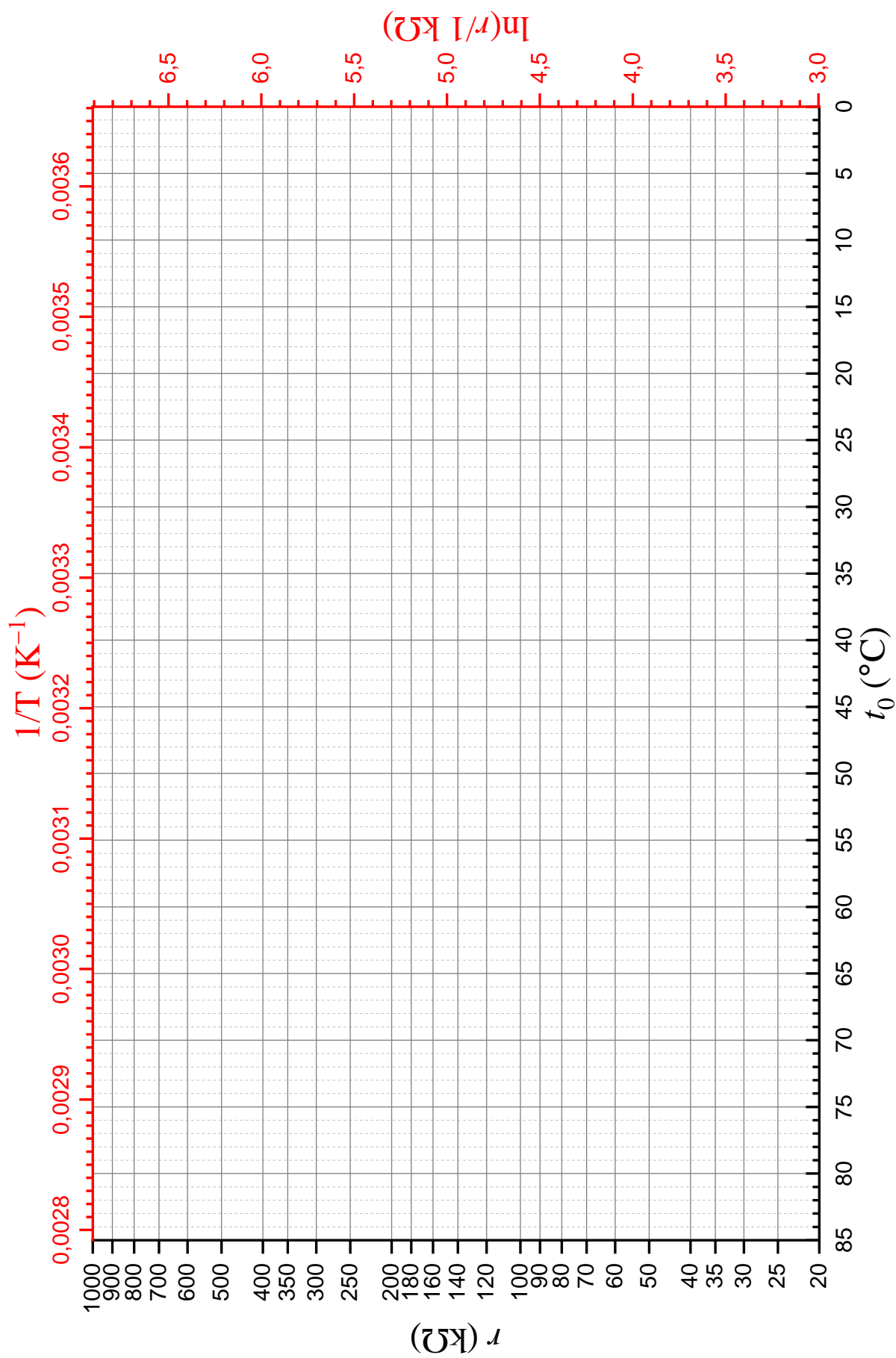
Raport końcowy, przygotowany zgodnie z ogólnymi zasadami podanymi we wzorcu, powinien zawierać w części odnoszącej się do analizy danych i dyskusji:

1. Dla charakterystyki temperaturowej termistora wyznaczenie metodą najmniejszych kwadratów ocenę współczynników B i r_∞ termistora oraz ich niepewności oraz ocenę ich kowariancji i współczynnika korelacji (podaj postać minimalizowanej funkcji i jasno zdefiniuj wszystkie występujące w niej wielkości), przyjmij, że temperatura mierzona wzorcową termoparą znana jest dokładnie, natomiast niepewność pomiaru oporu przyjmij zgodnie z charakterystyką miernika myDAQ (tabela A1 w aneksie)..
2. Dla temperatury $t_0 = 65^\circ\text{C}$ ocenę optymalnego oporu referencyjnego R w dzielniku napięcia zgodnie ze wzorem (2) wraz z jego niepewnością.
3. Wartość oporu wybranego opornika użytego do dzielnika napięcia oraz odpowiadającą temu opornikowi temperaturę t_0 .
4. Dla zależności napięcia na termistorze od temperatury wyznaczenie metodą najmniejszych kwadratów ocenę parametrów tej zależności wraz z ich niepewnościami i kowariancją oraz testem χ^2 (podaj postać minimalizowanej funkcji i jasno zdefiniuj wszystkie występujące w niej wielkości), przyjmij, że temperatura mierzona wzorcową termoparą znana jest dokładnie, natomiast niepewność odczytu napięcia przyjmij zgodnie z charakterystyką miernika myDAQ (tabela A1 w aneksie).
5. Ocenę parametrów zależności odwróconej wraz z ich niepewnościami i kowariancją.
6. Wyznaczoną wartość temperatury wraz z jej niepewnością dla arbitralnie wybranej przez Ciebie przykładowej wartości napięcia. Przyjmij niepewność wyznaczenia napięcia zgodnie z charakterystyką miernika myDAQ (tabela A1 w aneksie).

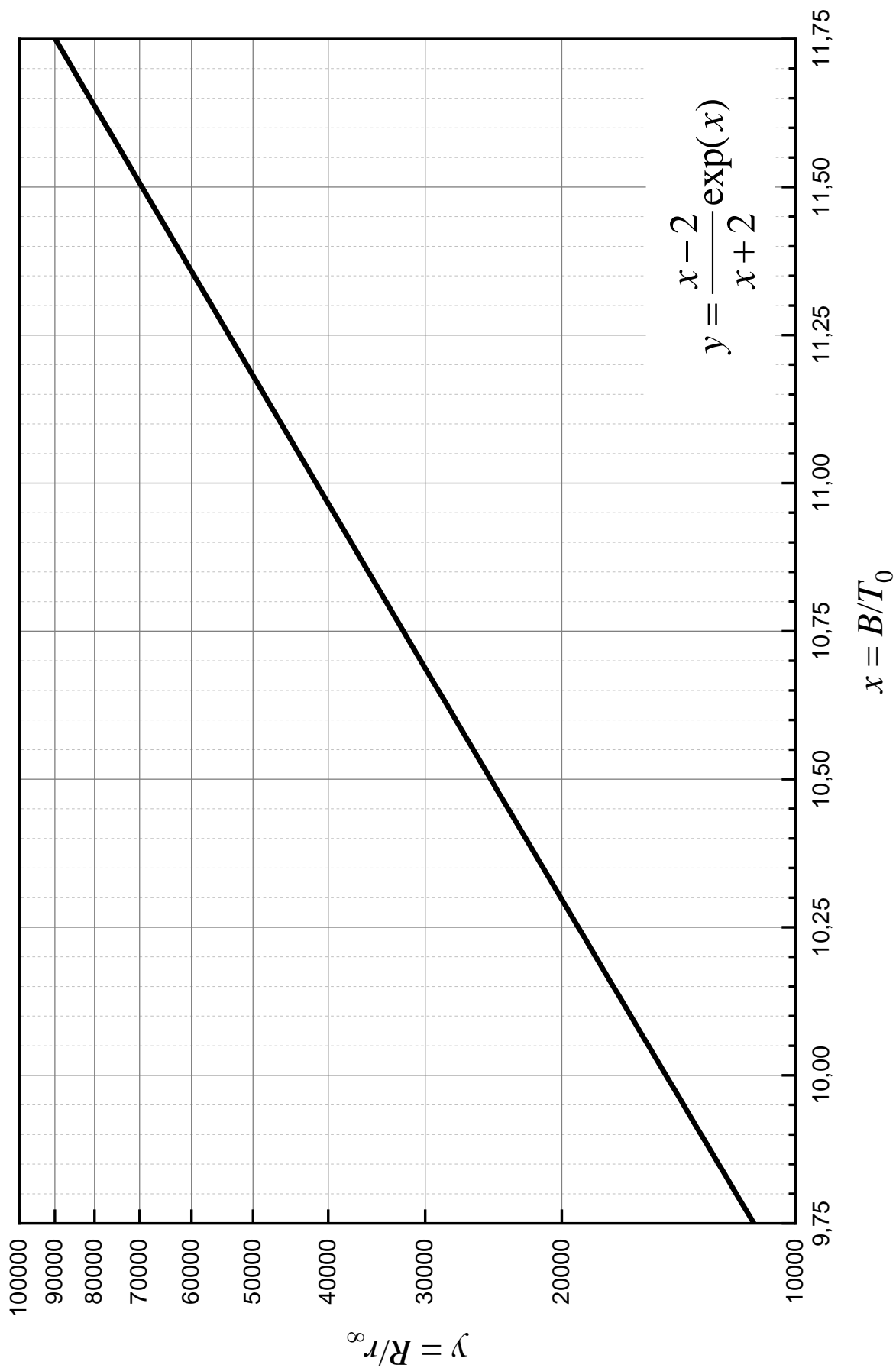
ANEKS

Tabela A1 Dokładności cyfrowego miernika uniwersalnego w urządzeniu do akwizycji danych NI myDAQ.

Zakres	Rozdzielczość	Procent wskazania	Liczba cyfr znaczących
	c	w (%)	nc
pomiar oporności			
200,0 Ω	0,1 Ω	0,8	3 c
2,000 k Ω	0,001 k Ω		
20,00 k Ω	0,01 k Ω		
200,0 k Ω	0,1 k Ω		
2,000 M Ω	0,001 M Ω		
20,00 M Ω	0,01 M Ω	1,5	5 c
pomiar napięcia stałego			
200,0 mV	0,1 mV	0,5	2 c
2,000 V	0,001 V		
20,00 V	0,01 V		
60,00 V	0,1 V		
pomiar natężenia prądu stałego			
20,00 mA	0,01 mA	0,5	3 c
200,0 mA	0,1 mA		
1 A	0,001 A		



Rysunek A.1 Zależność oporu termistora od temperatury



Rysunek A.2 Zależność R/r_∞ od B/T_0 , zgodnie ze wzorem (2).

TERMISTOR JAKO TERMOMETR

PRZYPOMNIENIE Z PRACOWNI WSTĘPNEJ

Zależność pierwotna:

$$U = ht + g$$

oceny parametrów, ich niepewności i kowariancja:

$$h \pm u_h, g \pm u_g, c_{hg}$$

Zależność odwrócona:

$$t = HU + G$$

oceny parametrów:

$$H = \frac{1}{h}$$

$$G = -\frac{g}{h}$$

niepewności ocen:

$$u_H^2 = \frac{1}{h^4} u_h^2$$

$$u_G^2 = \frac{g^2}{h^4} u_h^2 + \frac{1}{h^2} u_g^2 - 2 \frac{g}{h^3} c_{hg}$$

kowariancja:

$$c_{HG} = -\frac{g}{h^4} u_h^2 + \frac{1}{h^3} c_{hg}$$

Niepewność temperatury wyznaczonej na podstawie zmierzonego napięcia:

$$u_t^2 = \frac{1}{h^2} u_V^2 + \frac{t^2}{h^2} u_h^2 + \frac{1}{h^2} u_g^2 + \frac{2t}{h^2} c_{hg}$$