



POMIARY WIELKOŚCI NIEELEKTRYCZNYCH

Dr inż. Eligiusz PAWŁOWSKI
Politechnika Lubelska
Wydział Elektrotechniki i Informatyki

Prezentacja do wykładu dla EMST

Semestr letni

Wykład nr 5

Prawo autorskie

Niniejsze materiały podlegają ochronie zgodnie z **Ustawą o prawie autorskim i prawach pokrewnych** (Dz.U. 1994 nr 24 poz. 83 z późniejszymi zmianami).

Materiał ten udostępniam **do celów dydaktycznych** jako materiały pomocnicze do wykładu z przedmiotu Pomiar Wielkości Nielektrycznych prowadzonego dla studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Mogą z nich również korzystać inne osoby zainteresowane tą tematyką. Do tego celu materiały te można **bez ograniczeń przeglądać, drukować i kopiować wyłącznie w całości**.

Wykorzystywanie tych materiałów bez zgody autora w inny sposób i do innych celów niż te, do których zostały udostępnione, **jest zabronione**.

W szczególności **niedopuszczalne jest**: usuwanie nazwiska autora, edytowanie treści, kopiowanie fragmentów i wykorzystywanie w całości lub w części do własnych publikacji.

Eligiusz Pawłowski

Uwagi dydaktyczne

Niniejsza prezentacja stanowi **tylko i wyłącznie materiały pomocnicze** do wykładu z przedmiotu Pomiary Wielkości Nielektrycznych prowadzonego dla studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Udostępnienie studentom tej prezentacji nie zwalnia ich z konieczności sporządzania **własnych notatek z wykładów** ani też nie zastępuje **samodzielnego studiowania** obowiązujących podręczników.

Tym samym zawartość niniejszej prezentacji w szczególności **nie może być** traktowana jako zakres materiału obowiązujący na kolokwium.

Na kolokwium obowiązujący jest **zakres materiału faktycznie wyłożony podczas wykładu** oraz zawarty w odpowiadających mu fragmentach **podręczników** podanych w wykazie literatury do wykładu.

Eligiusz Pawłowski

Tematyka wykładu

Międzynarodowa skala temperatur MST-90

Czujniki temperatury (generacyjne i parametryczne)

Czujniki termoelektryczne i ich układy pracy

Czujniki termorezystancyjne i ich układy pracy

Półprzewodnikowe czujniki temperatury

Skale temperatury

1724- **Skala Fahrenheita** oparta o temperaturę mieszaniny lodu, wody i chlorku amonu (0°F), temperaturę mieszaniny lodu i wody (32°F) i temperaturę ciała ludzkiego (96°F)

1742- **Skala Celsjusza** oparta o punkt topniejącego lodu (100°C) i punkt wrzenia wody (0°C)

1850- **Skala Celsjusza** zmodyfikowana przez **Strömera**: punkt topniejącego lodu (0°C) i punkt wrzenia wody (100°C), punkt potrójny wody ma temperaturę $0,01^{\circ}\text{C}$

1854- **Skala Kelvina** oparta o temperaturę zera bezwzględnego, w której zanika ruch cząsteczek i punkt potrójny wody ($273,16\text{ K}$)

Przeliczanie skal temperatury

Przeliczanie skali Celsjusza na skalę Fahrenheita:

$$20^{\circ}\text{C} = 68^{\circ}\text{F}$$

$$t_F = 32 + \frac{9}{5} t_C \quad ^{\circ}\text{F}$$

$$10^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{F}$$

$$0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}$$

Przeliczanie skali Fahrenheita na skalę Celsjusza:

$$-10^{\circ}\text{C} = 14^{\circ}\text{F}$$

$$t_C = \frac{5}{9} (t_F - 32) \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$-20^{\circ}\text{C} = -4^{\circ}\text{F}$$

Przeliczanie skali Celsjusza na skalę Kelvina:

$$T_K = t_C + 273,15 \text{ K}$$

Termometr Fahrenheita w Gdańsku

Daniel Gabriel Fahrenheit
(ur.24.05.1686 r. w Gdańsku,
zm. 14.09.1736 w Hadze)-
wybitny fizyk, twórca pierwszych
rzetelnych termometrów
i wynalazca termometrów
rtęciowych, wprowadził skalę
temperatur do dziś używaną
w kilku krajach, m.in. w USA.

Przeliczenie. Umrechnung. Conversion.
 $t(C) = [t(F) - 32] \cdot \frac{5}{9}$ $t(F) = t(C) \cdot \frac{9}{5} + 32$

Międzynarodowa Skala Temperatur MST-90

Defining Fixed Points of the ITS-90

Material ^a	Equilibrium State ^b	Assigned value of temperature	
		T_{90} (K)	t_{90} (°C)
He	VP	3–5	–270.15 to –268.15
e-H ₂	TP	13.8033	–259.3467
e-H ₂ (or He)	VP (or GT)	≈17	≈–256.16
e-H ₂ (or He)	VP (or GT)	≈20.3	≈–252.85
Ne	TP	24.5561	–248.5939
O ₂	TP	54.3584	–218.7916
Ar	TP	83.8058	–189.3442
Hg	TP	234.3156	–38.8344
H ₂ O	TP	273.16	0.01
Ga	MP	302.9146	29.7646
In	FP	429.7485	156.5985
Sn	FP	505.078	231.928
Zn	FP	692.677	419.527
Al	FP	933.473	660.323
Ag	FP	1234.93	961.78
Au	FP	1337.33	1064.18
Cu	FP	1357.77	1084.62

^a e-H₂ indicates equilibrium hydrogen; that is, hydrogen with the equilibrium distribution of its *ortho* and *para* forms at the corresponding temperatures. Normal hydrogen at room temperature contains 25% *para* and 75% *ortho* hydrogen. The isotopic composition of all materials is that naturally occurring.

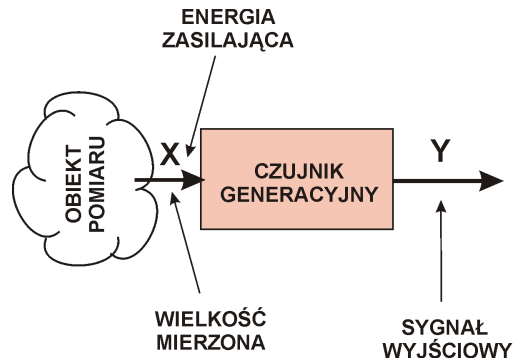
^b VP indicates vapor pressure point or equation; GT indicates gas thermometer point;

TP indicates triple point; FP indicates freezing point; MP indicates melting point

Czujniki do pomiaru temperatury

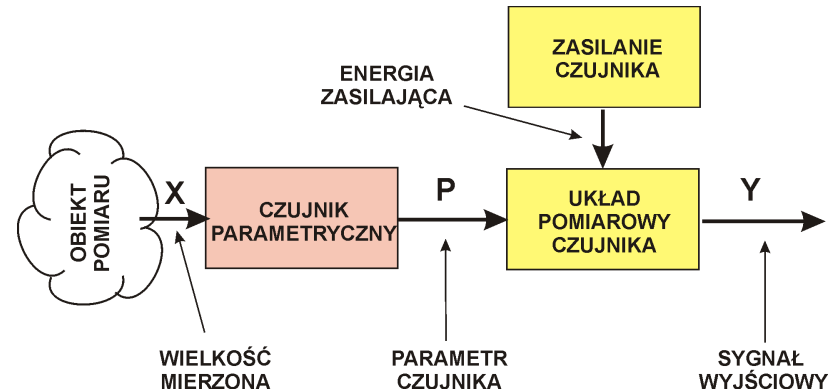
1. Czujniki **termoelektryczne**, termopary (*Thermocouples*)
2. Czujniki **termorezystancyjne** (*RTD Resistance Temperature Detectors*)
3. Czujniki półprzewodnikowe **termistorowe**
4. Czujniki półprzewodnikowe **złączowe**

Czujniki generacyjne i parametryczne - przypomnienie



Czujnik generacyjny (aktywny)

pobiera z obiektu energię procesu związaną z wielkością mierzoną X i generuje elektryczny sygnał wyjściowy Y bez potrzeby dodatkowego zasilania.

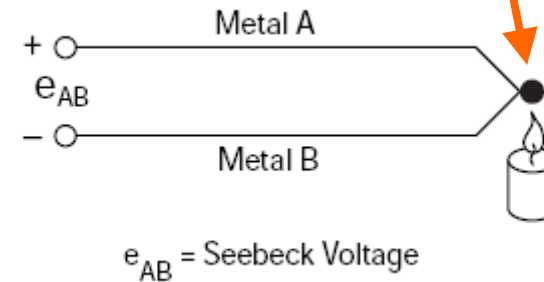
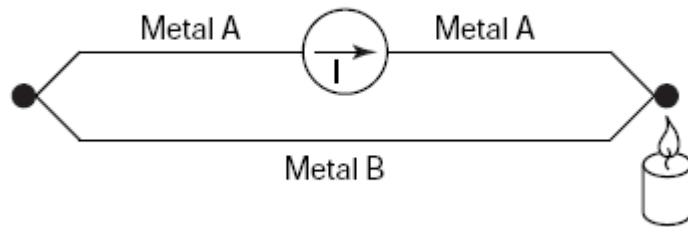


Czujnik parametryczny (pasywny)

pod wpływem wielkości mierzonej X zmienia swój określony parametr elektryczny P , wyjściowy sygnał elektryczny Y jest generowany układzie pomiarowym czujnika dzięki energii pobranej ze źródła energii zasilającej.

Termopary – efekt Seebeka

The Seebeck Effect



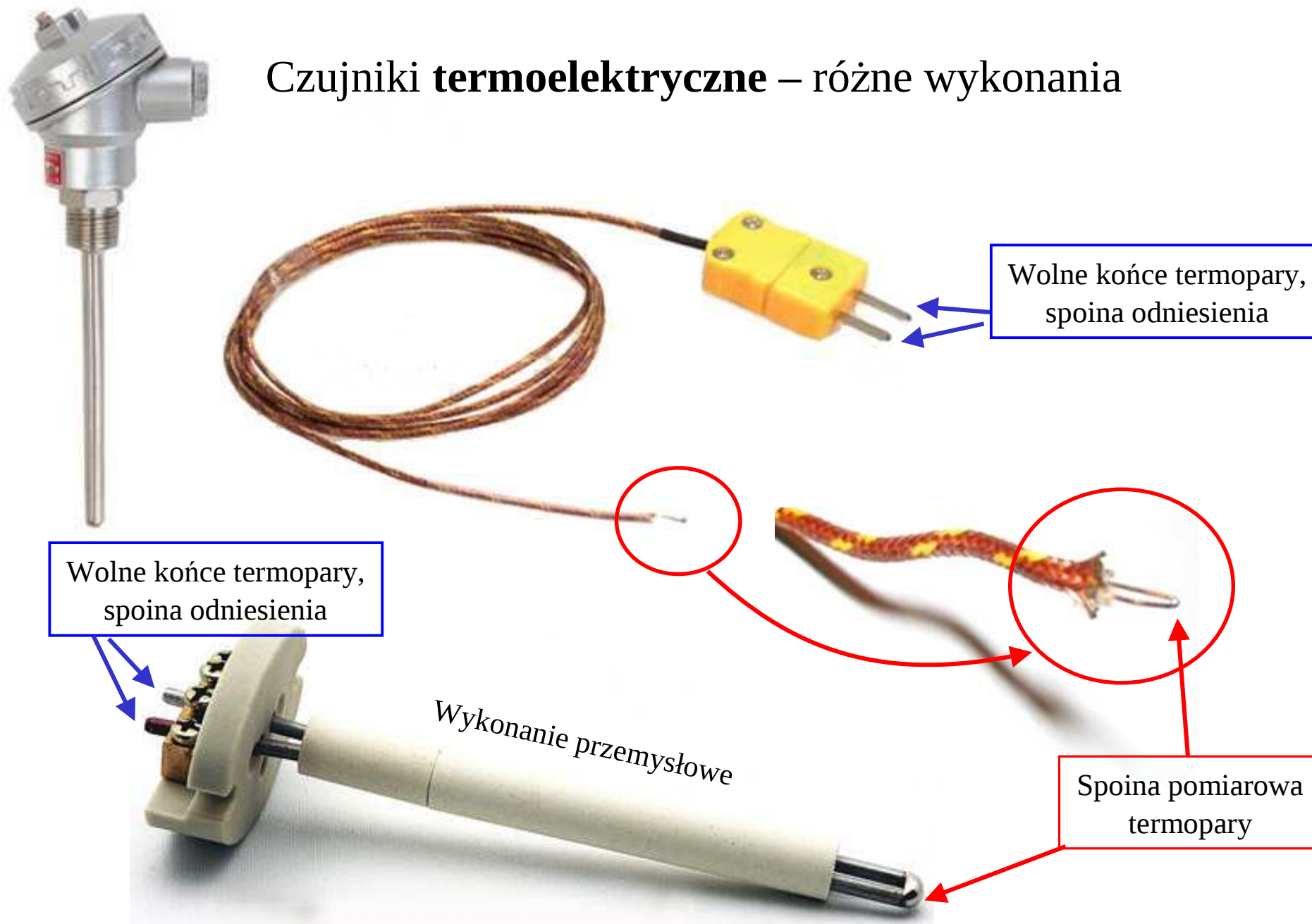
Złącze pomiarowe

$$e_{AB} = \alpha T$$

Zasada pomiaru temperatury za pomocą termopary

Problem pomiaru za pomocą termopary polega na tym, że siła termoelektryczna e_{AB} powstaje nie tylko na złączu pomiarowym, ale również na każdym innym złączu dwóch metali w całym układzie pomiarowym.

Czujniki termoelektryczne – różne wykonania



Termopary – podstawowe właściwości

Type	Metal		Standard U.S. Color Code		Ω /Double Foot @ 20°C 20 AWG	Seebeck Coefficient S ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) @ T ($^\circ\text{C}$)		Range	Wire Error in $^\circ\text{C}$ Standard	Special	NIST Specified Material Range [†] ($^\circ\text{C}$)
B	Platinum-30% Rhodium	Platinum-6% Rhodium	Gray	Red	0.22	5.96	600	870 to 1700	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.25\%$	0 to 1820
E	Nickel-10% Chromium	Constantan	Violet	Red	0.71	58.67	0	0 to 900	± 1.7 or $\pm 0.5\%$	± 1 or $\pm 0.4\%$	-270 to 1000
J	Iron	Constantan	White	Red	0.36	50.38	0	0 to 750	± 2.2 or $\pm 0.75\%$	± 1.1 or $\pm 0.4\%$	-210 to 1200
K	Nickel-10% Chromium	Nickel	Yellow	Red	0.59	39.45	0	0 to 1250	± 2.2 or $\pm 0.75\%$	± 1.1 or $\pm 0.4\%$	-270 to 1372
N	Nicrosil	Nisil	Orange	Red	0.78	25.93	0	0 to 1250	± 2.2 or $\pm 0.75\%$	± 1.1 or $\pm 0.4\%$	-270 to 1300
R	Platinum-13% Rhodium	Platinum	Black	Red	0.19	11.36	600	0 to 1450	± 1.5 or $\pm 0.25\%$	± 0.6 or $\pm 0.1\%$	-50 to 1768
S	Platinum-10% Rhodium	Platinum	Black	Red	0.19	10.21	600	0 to 1450	± 1.5 or $\pm 0.25\%$	± 0.6 or $\pm 0.1\%$	-50 to 1768
T	Copper	Constantan	Blue	Red	0.30	38.75	0	0 to 350	± 1 or $\pm 0.75\%$	± 0.5 or $\pm 0.4\%$	-270 to 400

Najważniejsze parametry termopar:

- czułość S w $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- zakres temperatur pracy
- błędy
- skład chemiczny, znakowanie

AWG - American Wire Gauge (Brown & Sharpe wire gauge)

Conversion table - American Wire Gauge - mm. - mm ²						
AWG N°	Diam. mm.	Area mm ²		AWG N°	Diam. mm.	Area mm ²
1	7,350	42,400		16	1,290	1,3100
2	6,540	33,600		17	1,150	1,0400
3	5,830	26,700		18	1,024	0,8230
4	5,190	21,200		19	0,912	0,6530
5	4,620	16,800		20	0,812	0,5190
6	4,110	13,300		21	0,723	0,4120
7	3,670	10,600		22	0,644	0,3250
8	3,260	8,350		23	0,573	0,2590
9	2,910	6,620		24	0,511	0,2050
10	2,590	5,270		25	0,455	0,1630
11	2,300	4,150		26	0,405	0,1280
12	2,050	3,310		27	0,361	0,1020
13	1,830	2,630		28	0,321	0,0804
14	1,630	2,080		29	0,286	0,0646
15	1,450	1,650		30	0,255	0,0503

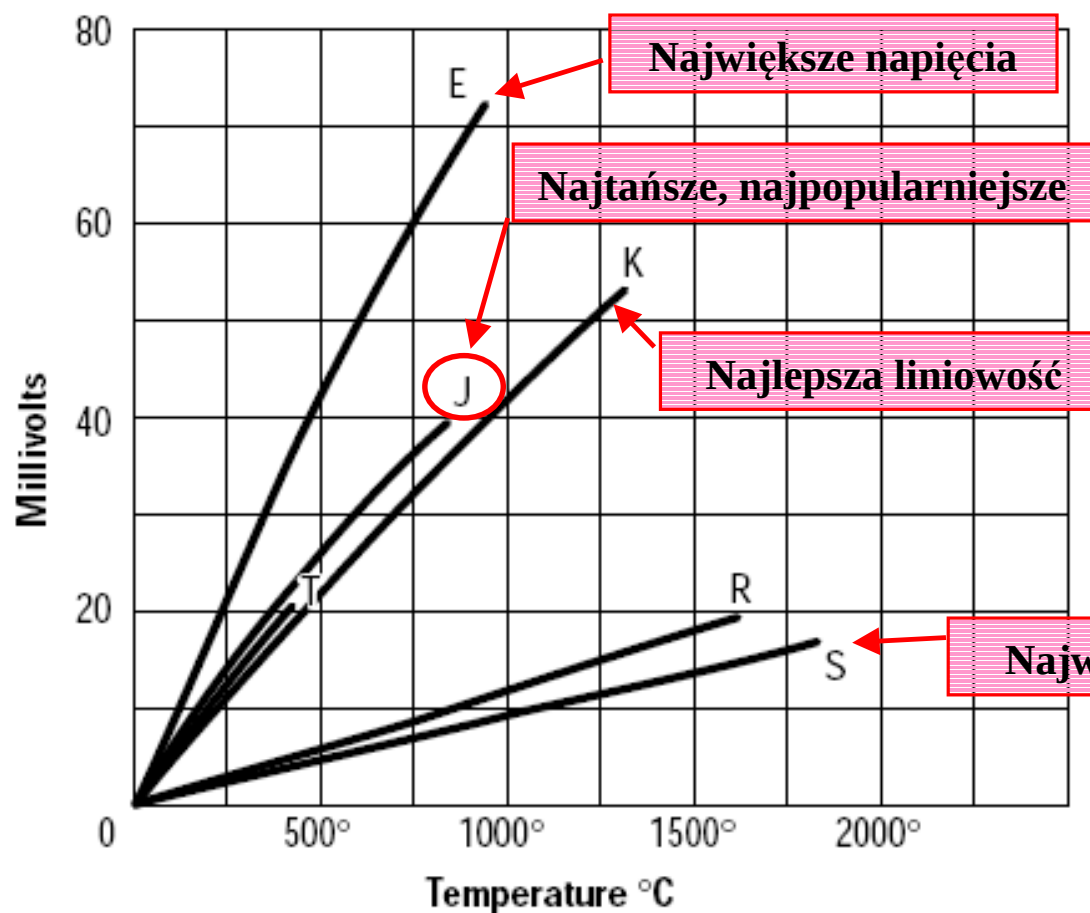
Tnt-Audio Internet HiFi Review

<http://www.tnt-audio.com>

- przewód z numerem AWG większym o 6 ma około dwa razy mniejszą średnicę, a więc 4 razy mniejszy przekrój (np. 6 AWG jest 2 razy grubszy niż 12 AWG);
- przewód z numerem AWG większym o 3 ma około dwa razy mniejszy przekrój, czyli może przewodzić 2 razy mniejszy prąd (czyli np. przewód 15 AWG można zastąpić dwoma przewodami 18 AWG połączonymi równolegle);
- przewód z numerem AWG większym o 10 ma około 10 razy mniejszy przekrój.

Charakterystyki przetwarzania termopar

Thermocouple Temperature vs. Voltage Graph

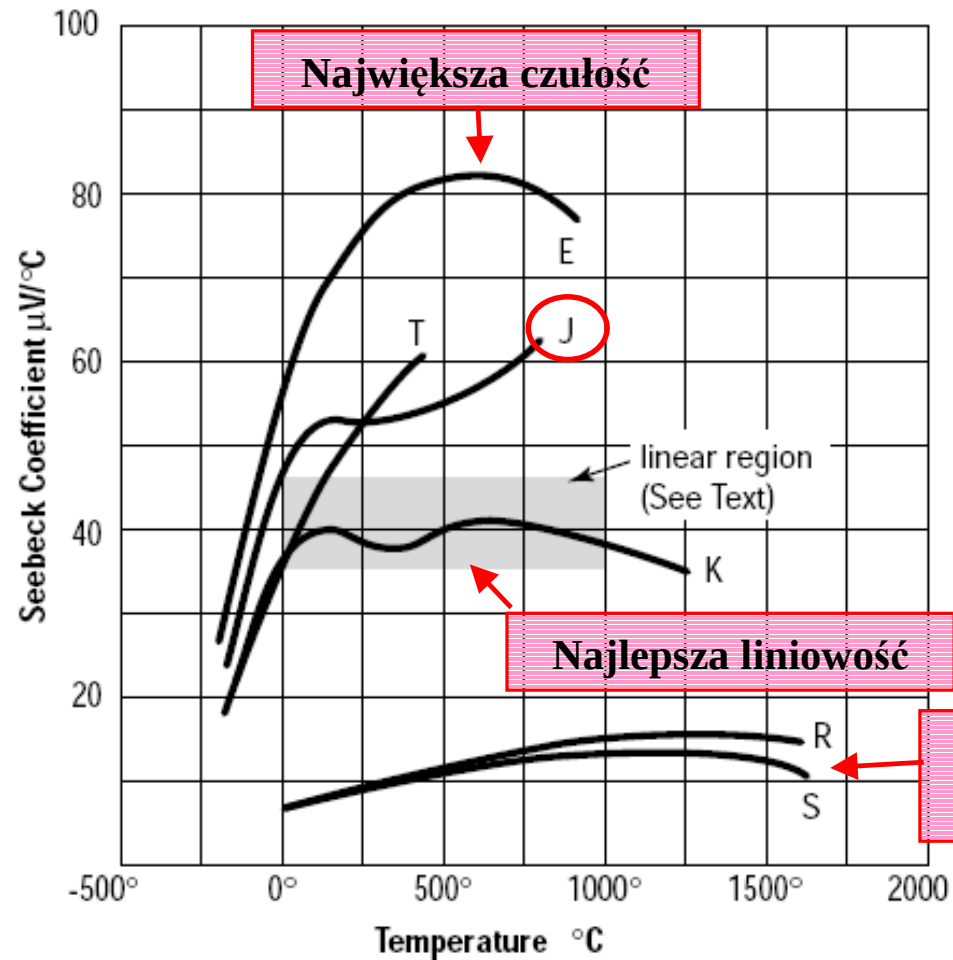


Type	Metals	
	+	-
E	Chromel	vs. Constantan
J	Iron	vs. Constantan
K	Chromel	vs. Alumel
R	Platinum	vs. Platinum 13% Rhodium
S	Platinum	vs. Platinum 10% Rhodium
T	Copper	vs. Constantan

Wniosek: nie ma jednego, najlepszego rozwiązania!

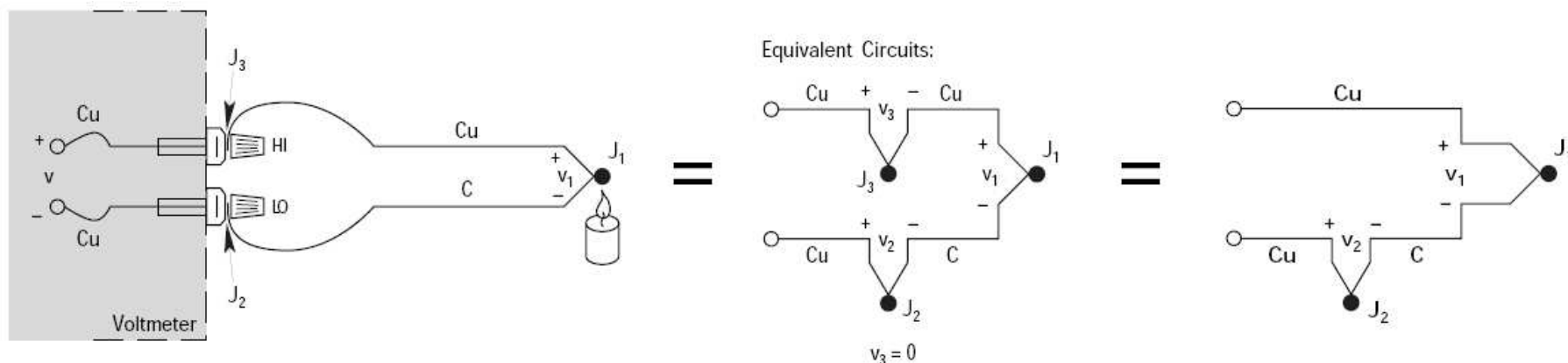
Nieliniowości termopar

Seebeck Coefficient vs. Temperature



Type	Metals
E	Chromel vs. Constantan
J	Iron vs. Constantan
K	Chromel vs. Alumel
R	Platinum vs. Platinum 13% Rhodium
S	Platinum vs. Platinum 10% Rhodium
T	Copper vs. Constantan

Termopara – problem temperatury wolnych końców



Dołączenie woltomierza tworzy dodatkowe dwa złącza (dla Cu-Const)

$$V = (V_1 - V_2) \cong \alpha(t_{J_1} - t_{J_2})$$

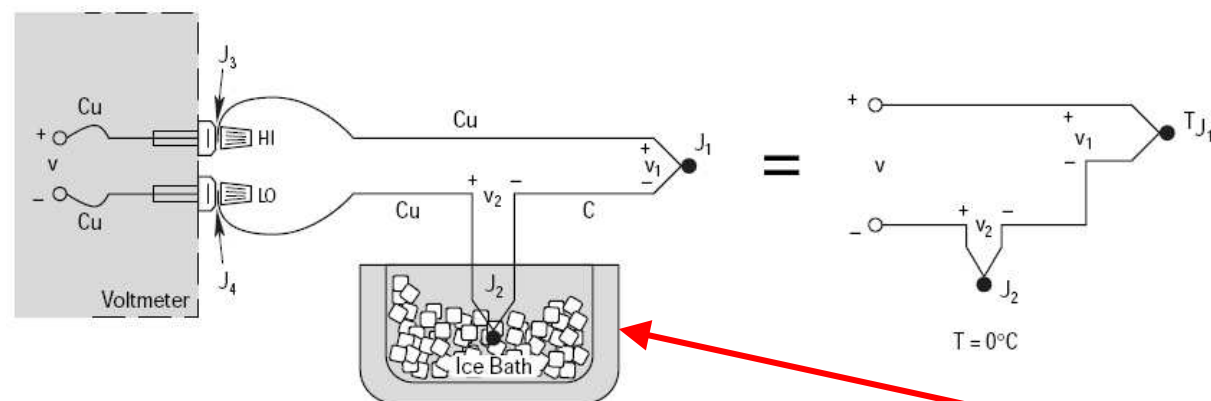
$$T_{J_1} (^{\circ}\text{C}) + 273.15 = t_{J_1} (\text{K})$$

$$V = V_1 - V_2 = \alpha[(T_{J_1} + 273.15) - (T_{J_2} + 273.15)]$$

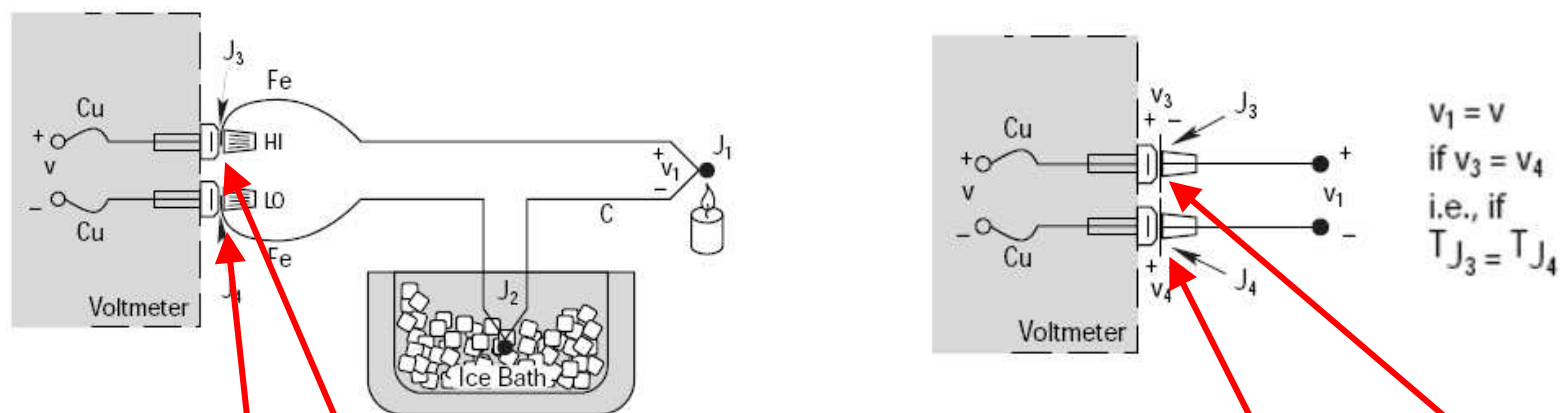
$$V = \alpha(T_{J_1} - T_{J_2})$$

Wynik pomiaru jest zależny od różnicy temperatur złącz J_1 i J_2 !!!

Rozwiązanie problemu temperatury wolnych końców

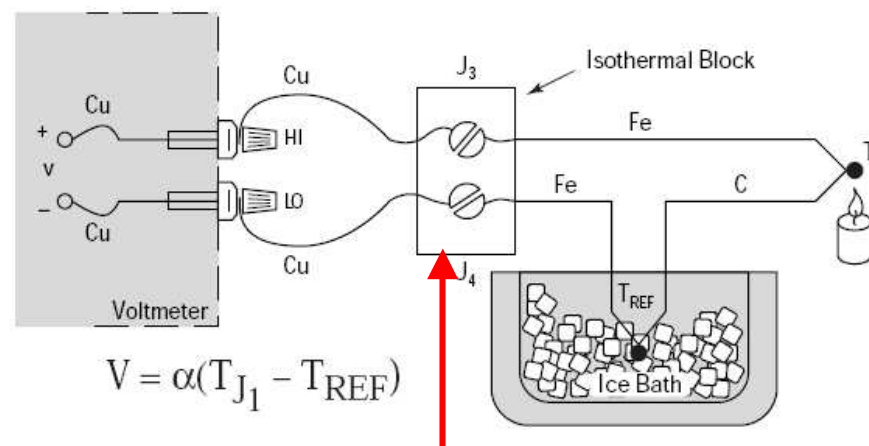


Umieszczenie wolnych końców w mieszaninie lodu z wodą (Ice Bath)

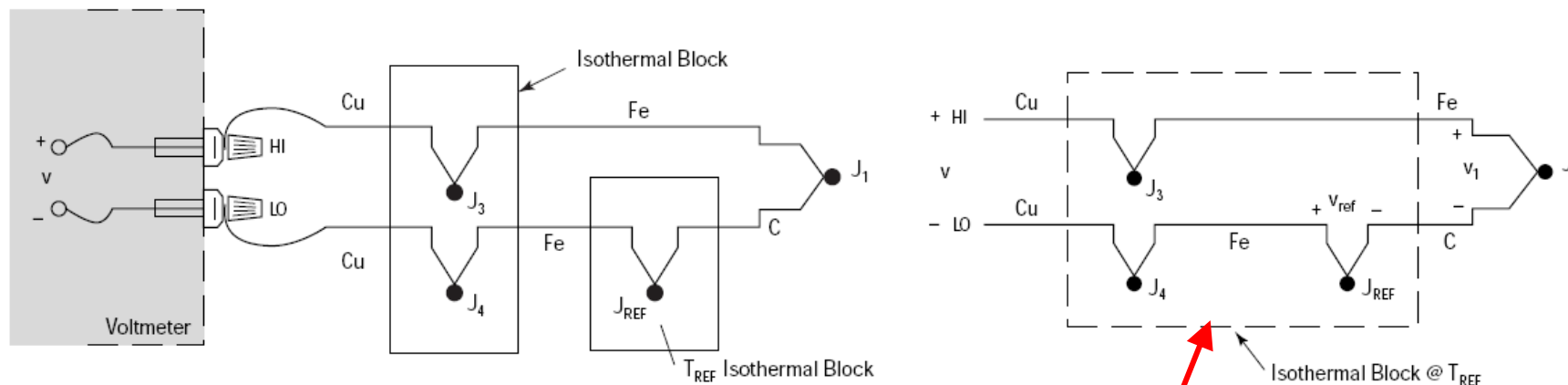


Dla innej termopary (Fe-Const.) powstają kolejne dwa złącza

Zastosowanie bloku isotermicznego

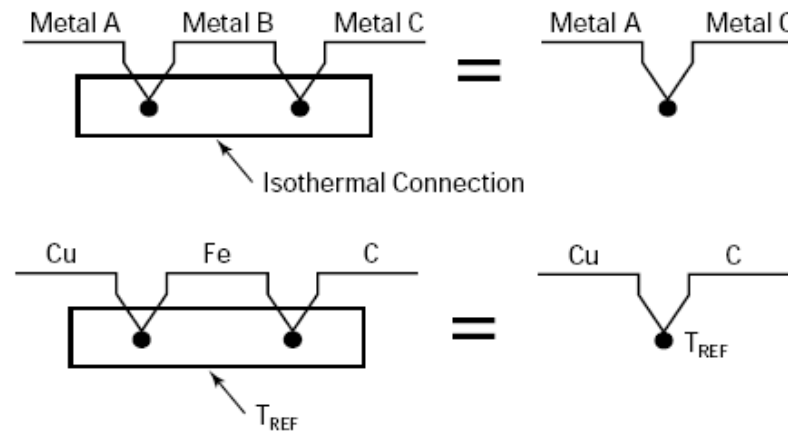


Umieszczenie dodatkowych złącz J3, J4 w bloku isotermicznym



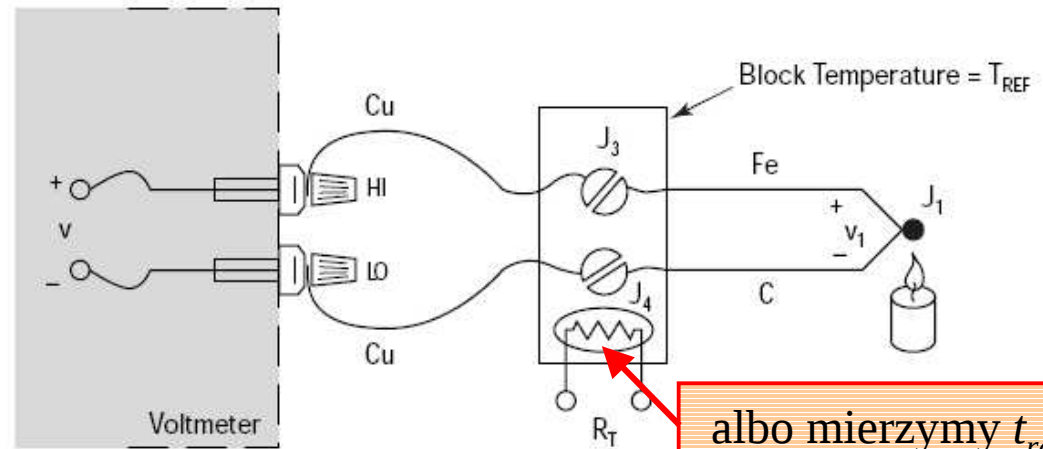
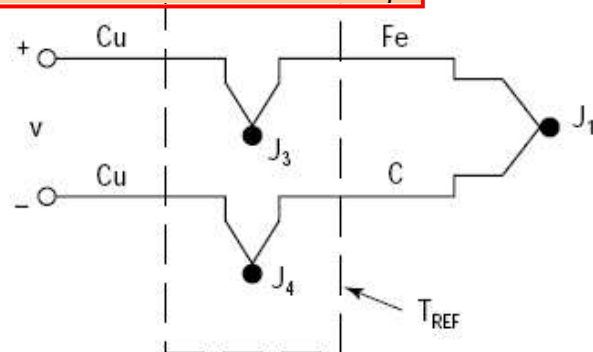
Eliminacja mieszaniny wody z lodem

Zastosowanie prawa trzeciego metalu



Prawo trzeciego metalu

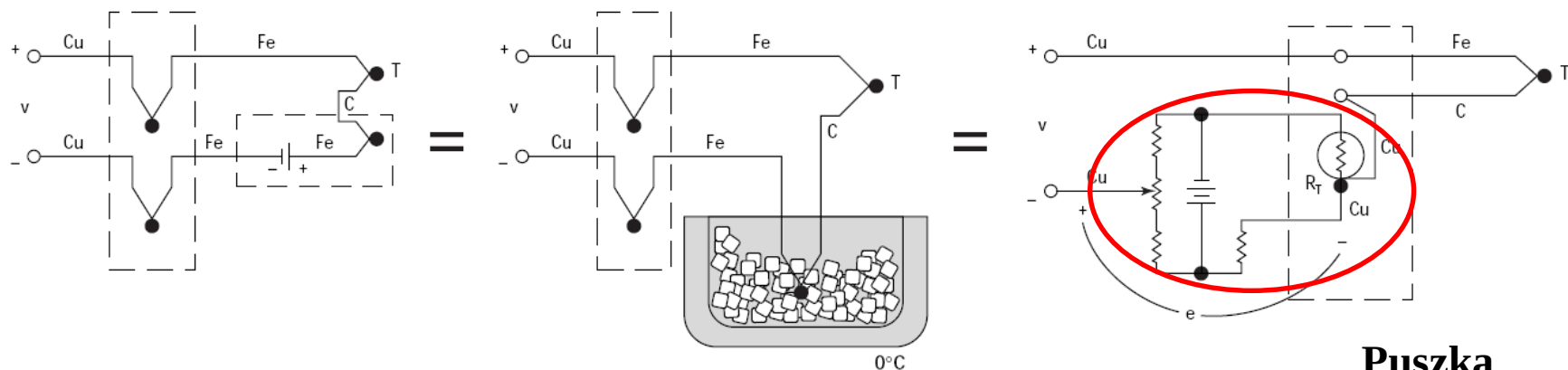
albo stabilizujemy t_{ref}



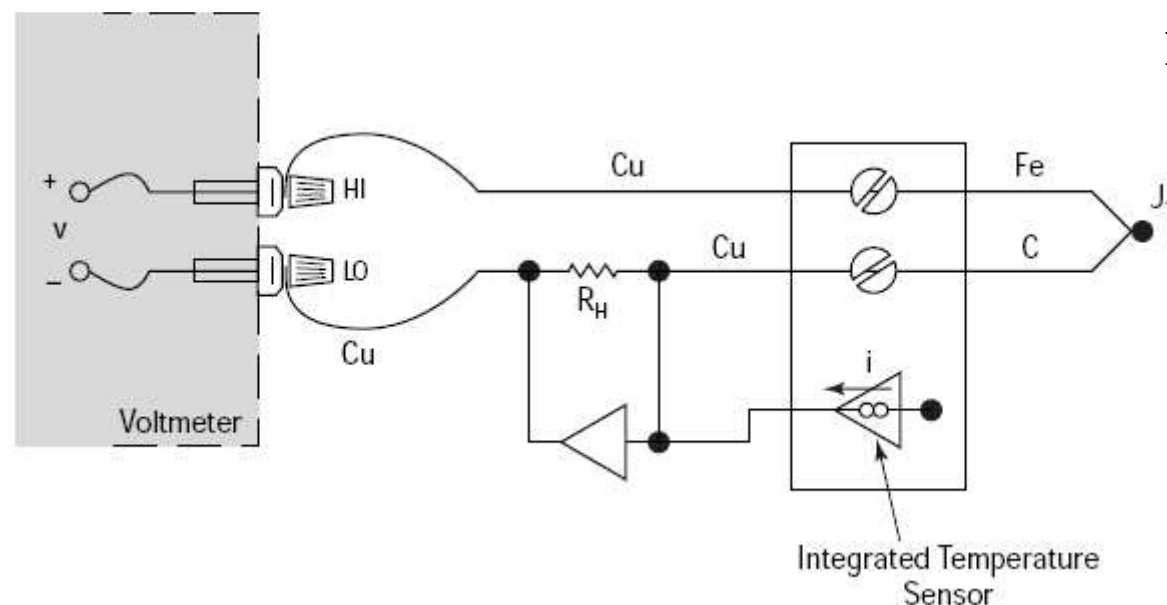
albo mierzymy t_{ref}

Ostateczny układ pomiarowy termopary z blokiem isotermicznym

Kompensacja temperatury wolnych końców termopary



**Puszka
kompensacyjna**

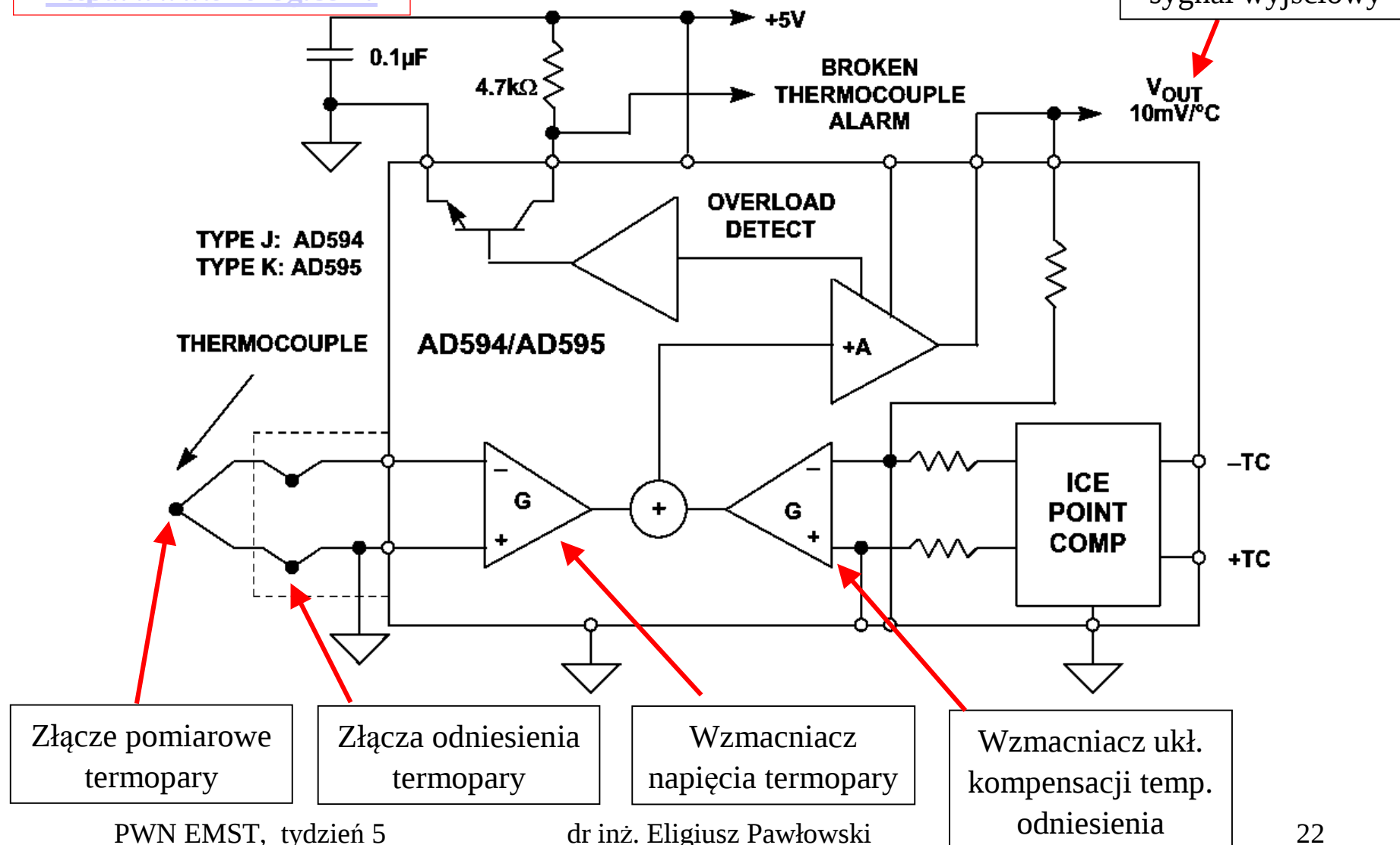


Zasada kompensacji mostkiem niezrównoważonym i układem elektronicznym

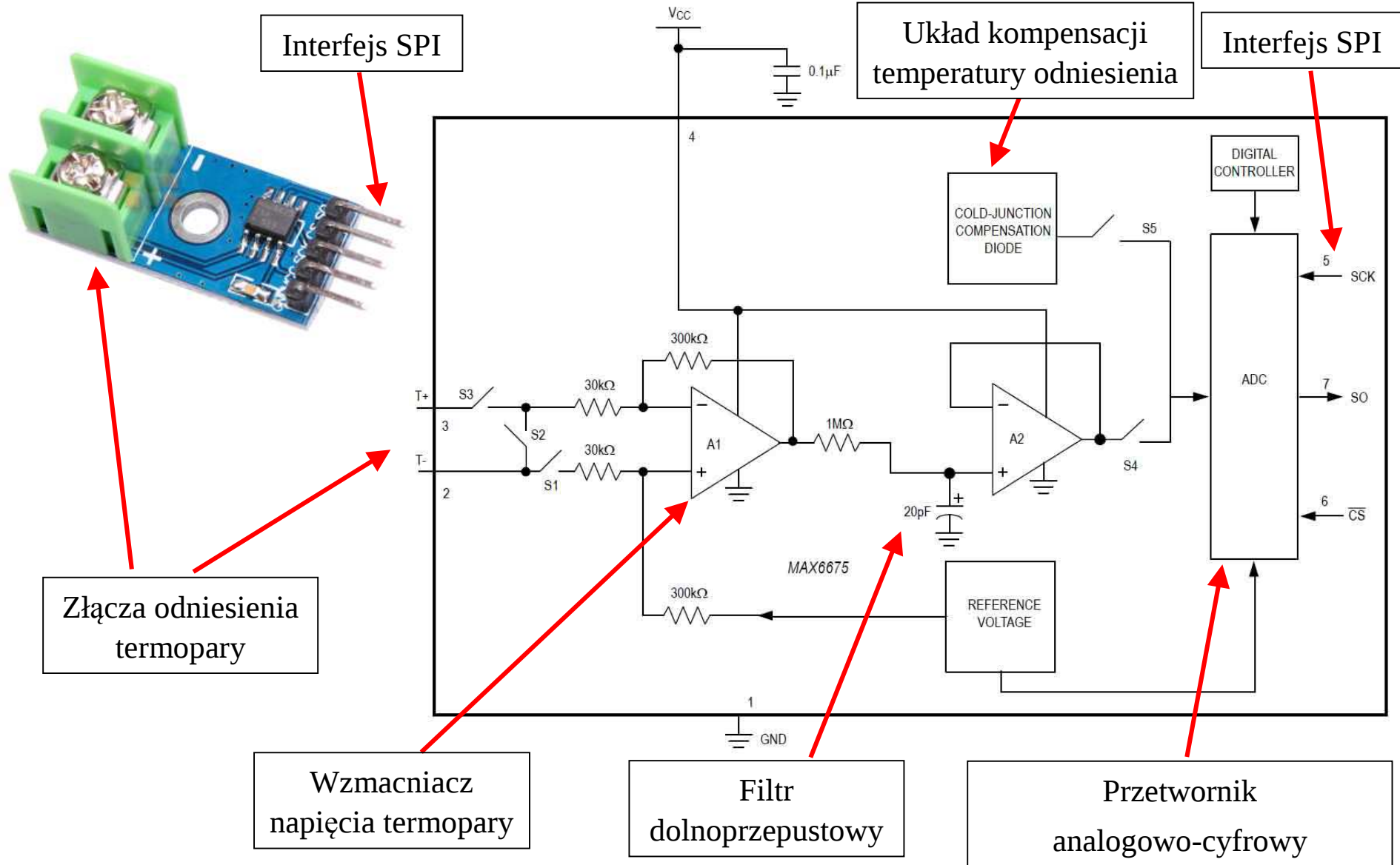
AD 594/AD595 – specjalizowany wzmacniacz do termopar

Źródło: Analog Devices

<http://www.analog.com/>



MAX6675 – wzmacniacz do termopary K z ADC i interfejsem



Problem temperatury wolnych końców - podsumowanie

Rozwiązywanie problemu temperatury wolnych końców:

- Umieszczenie w mieszaninie wody z lodem (0°C),
- Umieszczenie w termostacie i stabilnej znanej temperaturze i odjęcie stałej wartości od wyniku pomiaru,
- j.w. modyfikacja: zakopanie w ziemi poniżej granicy zamarzania,
- Umieszczenie w temperaturze otoczenia, pomiar temperatury otoczenia i odjęcie od wyniku pomiaru,
- Zastosowanie kompensacji temperatury wolnych końców (puszki kompensacyjnej lub podobnego rozwiązania)

Przewody kompensacyjne

CZAKI THERMO-PRODUCT

05-090 Raszyn-Rybie, ul. 19 Kwietnia 58

www.czaki.pl

tel. +48 22 7202302

fax. +48 22 7202305

e-mail czaki@czaki.pl



PRZEWODY KOMPENSACYJNE

Przewody kompensacyjne wykonywane są z takich samych materiałów co termoelement lub ze stopów zastępczych, które nie są identyczne z termoelementem, mają jednak takie same właściwości termoelektryczne jak termopara.

Materiały zastępcze są stosowane do termopar typu K i N oraz do termopar z metali szlachetnych typu R i S (dla termopar typu B stosowane są przewody miedziane w zakresie temperatur do $+100^{\circ}\text{C}$).

Przewody kompensacyjne mogą być stosowane do temperatur $+200^{\circ}\text{C}$.

Druty do przewodów kompensacyjnych są znormalizowane w DIN 43713.

Napięcia termoelektryczne w dopuszczalnym zakresie temperatur odpowiadają napięciom termoelektrycznym dla termopar według PN-EN 60584. Odchylenia graniczne dla przewodów kompensacyjnych ustalone są w DIN 43722.

Przewody kompensacyjne produkowane są w dwóch klasach.

Klasa 1 - przewody kompensacyjne wykonane z takich samych materiałów co termoelement.

Klasa 2 przewody kompensacyjne wykonane z takich samych materiałów co termoelement lub z materiałów zastępczych.

Dostarczamy przewody w klasie 1.

Przewody kompensacyjne odpowiadają pod względem oznaczeń barwnych normie DIN 43722:

termoelement	kolor przewodu	żyła ⊕	kolor	żyła ⊖	kolor
T Cu-CuNi	brązowy	Cu	brązowy	CuNi	biały
J Fe-CuNi	czarny	Fe	czarny	CuNi	biały
K NiCr-NiAl	zielony	NiCr	zielony	NiAl	biały
N NiCrSi-NiSi	różowy	NiCrSi	różowy	NiSi	biały
S PtRh-Pt	pomarańczowy	PtRh	pomarańczowy	Pt	biały

Praktyczne parametry termopar – zakres pracy

CZAKI THERMO-PRODUCT

05-090 Raszyn-Rybie, ul. 19 Kwietnia 58
www.czaki.pl

tel. +48 22 7202302
fax. +48 22 7202305
e-mail czaki@czaki.pl



CZUJNIKI TEMPERATURY TERMoeLEKTRYCZNE

Czujniki temperatury termoelektryczne reagują na zmianę temperatury zmianą siły termoelektrycznej wbudowanego w nie termoelementu. Termoelement są to dwa przewodniki wykonane z różnych materiałów, połączone ze sobą na jednym końcu i tworzące część układu wykorzystującego zjawisko termoelektryczne do pomiaru temperatury (zjawisko Seebecka).

Zjawisko termoelektryczne polega na wytworzeniu siły termoelektrycznej na skutek różnicy temperatur między dwoma spoinami: pomiarową (połączone końce termoelementu), na którą działa w mierzona temperatura i odniesienia (wolne końce termoelementów), która znajduje się w znanej temperaturze (najczęściej 0°C).

TYPY TERMoeLEMENTÓW

Oznaczenie	Rodzaj termoelementu	Zakres temperatur do stosowania długotrwałego [°C]	Zakres temperatur do stosowania krótkotrwałego [°C]
T Cu-CuNi	miedź-miedź/nikiel lub miedź-konstantan	-100 ... +400	-200 ... +600
E NiCr-CuNi	nikiel/chrom-miedź/nikiel lub nikiel/chrom-konstantan	-100 ... +700	-200 ... +1000
J Fe-CuNi	żelazo-miedź/nikiel lub żelazo-konstantan	-100 ... +700	-200 ... +900
K NiCr-NiAl	nikiel/chrom-nikiel/aluminium	-100 ... +1000	-200 ... +1300
N NiCrSi-NiSi	nikiel/chrom/krzem-nikiel/krzem	-100 ... +1000	-200 ... +1300
S PtRh10-Pt	platyna/rod 10%-platyna	0 ... +1300	0 ... +1600
R PtRh13-Pt	platyna/rod 13% -platyna	0 ... +1300	0 ... +1600
B PtRh30-PtRh6	platyna/rod 30% -platyna/rod 6%	0 ... +1300	0 ... +1800

Termoelementy do bardzo wysokich temperatur

Oznaczenie	Rodzaj termoelementu	Zakres temperatur [°C]	Błąd maksymalny [°C]
G W-W26Re	wolfram-wolfram/ren 26%	26%0.. +2320	0...425 ± 4,5°C 425...2320 ± 1%
D W3Re-W26Re	wolfram/ren 3%-wolfram/ren		
C W5Re-W26Re	wolfram/ren 5%-wolfram/ren 26%		

Praktyczne parametry termopar – błędy

CZAKI THERMO-PRODUCT

05-090 Raszyn-Rybie, ul. 19 Kwietnia 58

www.czaki.pl

tel. +48 22 7202302

fax. +48 22 7202305

e-mail czaki@czaki.pl



TOLERANCJE DLA TERMoeLEMENTÓW

Klasa	Dopuszczalne odchyłki termoelementu									
	typ K, N		typ J		typ S, R		typ T		typ B	
	Temperatura [°C]	Δt	Temperatura [°C]	Δt	Temperatura [°C]	Δt	Temperatura [°C]	Δt	Temperatura [°C]	Δt
1	-40 do 375	1,5°C	-40 do 375	1,5°C	0 do 1100	1°C	-40 do 125	0,5 °C	--	--
	375 do 1000	0,4%	375 do 750	0,4%	1100 do 1600	(*)	125 do 350	0,4%	--	--
2	-40 do 333	2,5°C	-40 do 333	2,5°C	0 do 600	1,5°C	-44 do 133	1°C	--	--
	333 do 1200	0,75%	333 do 750	0,75%	600 do 1600	0,25%	133 do 350	0,75%	600 do 1700	0,25%

(*) dla termoelementu typ S i R dopuszczalna odchyłka obliczana jest wg wzoru: $[1 + (t-1100) \times 0,003]^\circ\text{C}$

Dla niskich temperatur błąd w stopniach °C

Dla wysokich temperatur błąd w procentach %

Praktyczne parametry termopar – szybkość odpowiedzi

CZAKI THERMO-PRODUCT

05-090 Raszyn-Rybie, ul. 19 Kwietnia 58

www.czaki.pl

tel. +48 22 7202302

fax. +48 22 7202305

e-mail czaki@czaki.pl



WŁASNOŚCI DYNAMICZNE TERMoeLEMENTÓW PŁASZCZOWYCH

Czujniki termoelektryczne z termopary płaszczonej				
Średnica termoelementu	Stała czasowa [s]			
	woda 0,2m/s		powietrze 2,0m/s	
	T _{0,5}	T _{0,9}	T _{0,5}	T _{0,9}
spoina uziemiona (1a, 2a)				
0,25	0,01	0,06	0,9	2
0,5	0,03	0,10	1,8	6
1	0,06	0,18	3	10
1,5	0,13	0,40	8	25
3	0,22	0,75	20	80
4,5	0,45	1,60	40	110
6	0,55	2,60	60	185
8	0,80	3,90	80	250
spoina izolowana (1b, 2ab, 2b)				
0,5	0,06	0,13	1,8	6
1	0,15	0,5	3	10
1,5	0,21	0,6	8	25
3	1,2	2,9	26	88
4,5	2,5	5,9	37	120
6	4	9,6	60	200
8	6,5	14	95	290

Prawie 5000 razy większa

Parametry termopar - podsumowanie

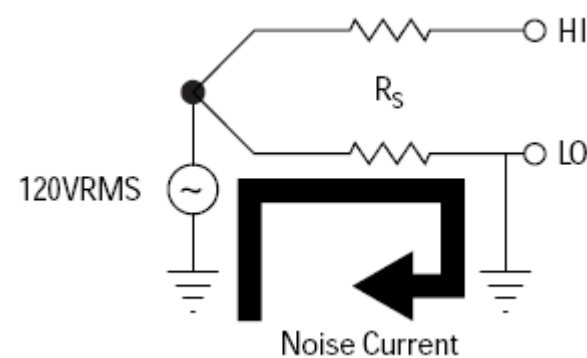
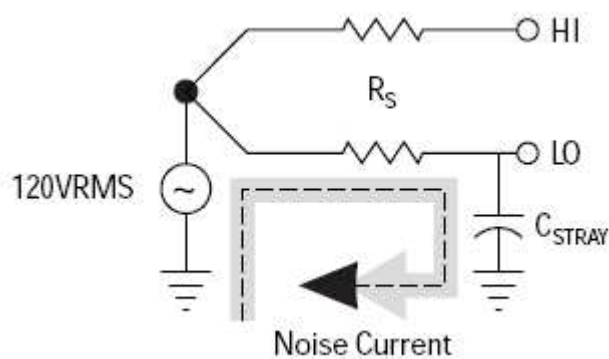
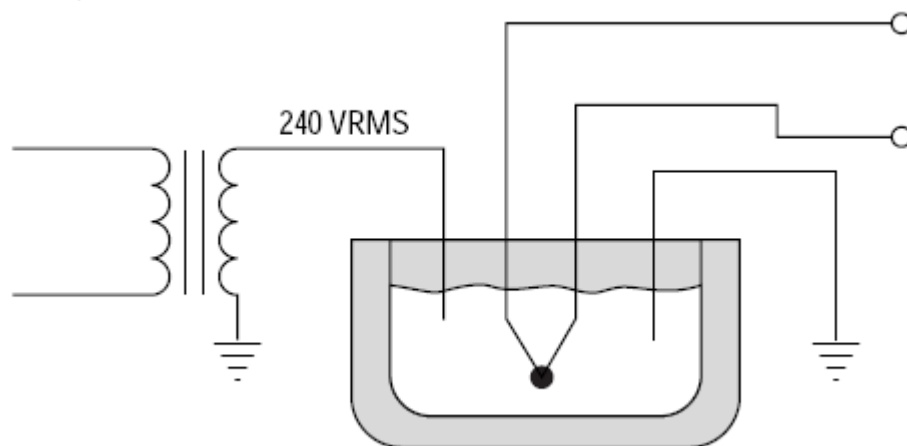
-zakres temperatur pracy od -100°C do $+1800^{\circ}\text{C}$, specjalne wykonania do $+2320^{\circ}\text{C}$

-błędy pomiaru temperatury od 0,25% do 0,75% w zakresie temperatur ok. 300°C ... 1700°C oraz do $2,5^{\circ}\text{C}$ w zakresie temperatur od -40°C do $+300^{\circ}\text{C}$

-czas odpowiedzi $T_{0,9}$ w zakresie od 0,06s (uziemiona spoina, w wodzie 0,2m/s) do 290s (spoina izolowana, w powietrzu 2m/s)

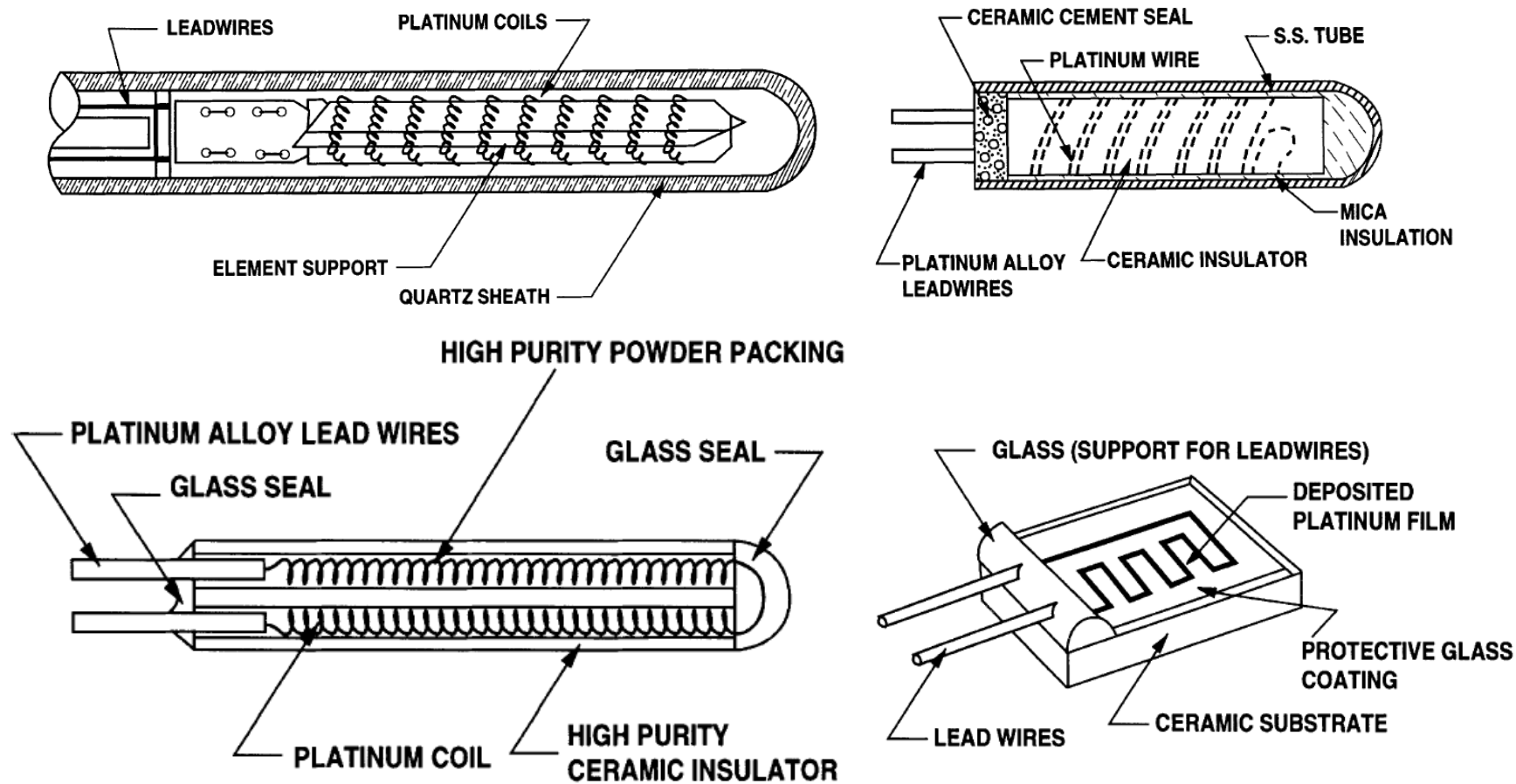
Sygnał wyjściowy maksymalnie do ok. 75mV (termopara typu E chromel-konstantan w temperaturze 1000°C)

Zakłócenia w układzie pomiarowym termopary



Przykład -Powstawanie zakłóceń podczas pracy pieca łukowego

Czujniki termorezystancyjne - przykładowe konstrukcje



Rozwiązania konstrukcyjne czujnika Pt100

Cienki drut platynowy

Czujniki Pt100 - przykładowe konstrukcje

drutowe ceramiczne

cienkowarstwowe

drutowe szklane

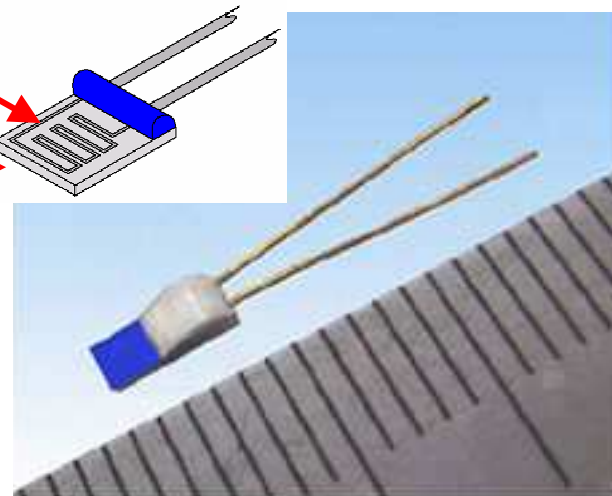
Napylona cienka
warstwa platyny

Podłoże ceramiczne

W plastikowej obudowie

cienkowarstwowe

RoHS
Compliant



Czujnik Pt100 w wykonaniu przemysłowym



Wkład czujnika Pt100 w wykonaniu przemysłowym

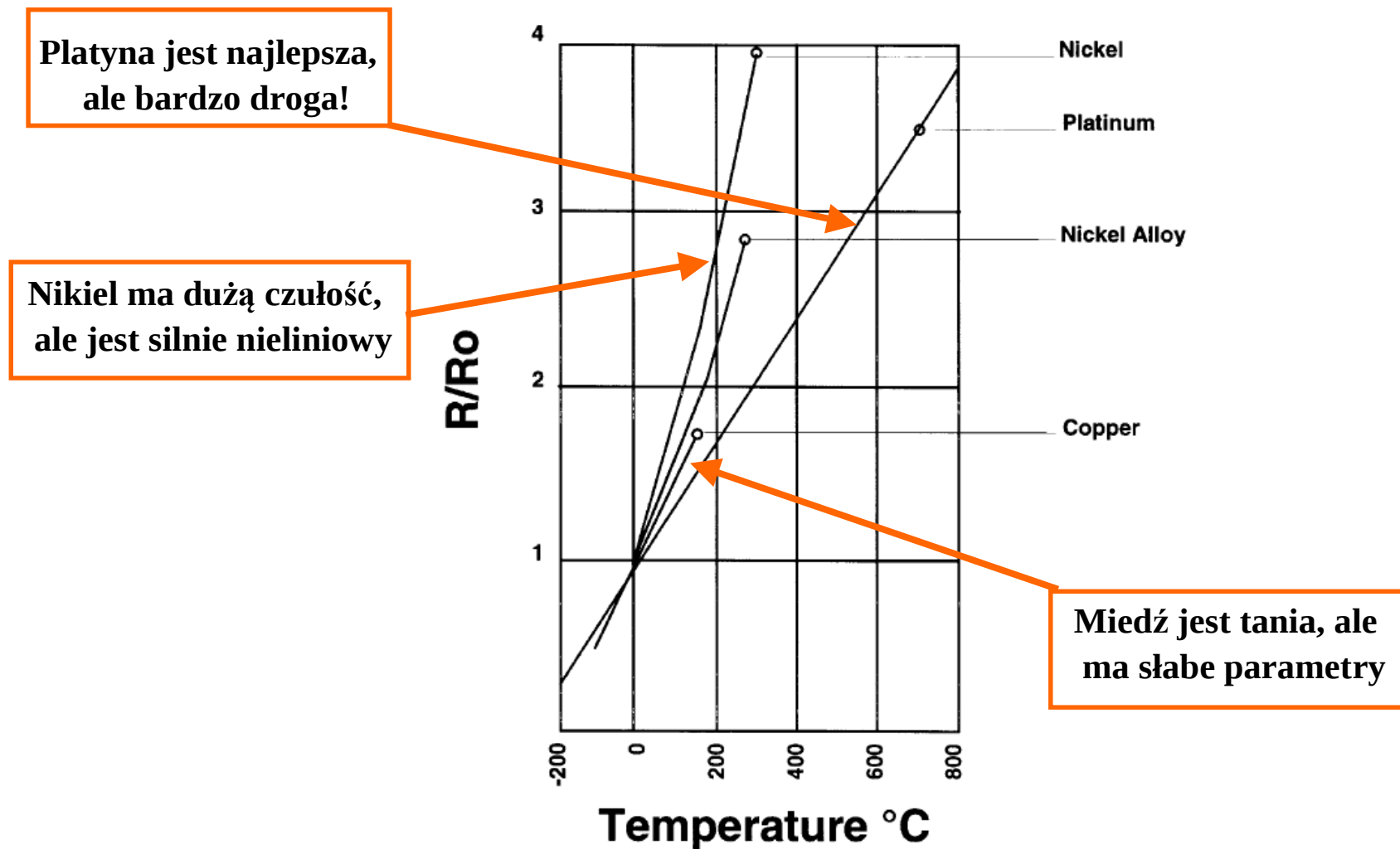


Obudowa w wykonaniu przemysłowym

Czujnik Pt100 zainstalowany w instalacji przemysłowej



Metale stosowane w czujnikach termorezystancyjnych



Charakterystyka czujnika platynowego Pt100

$$\text{For } < 0 \text{ } ^\circ \text{C} \quad R_T = R_0[1 + \alpha T + \beta T^2 + \chi T^3(T - 100)]$$

$$\text{For } > 0 \text{ } ^\circ \text{C} \quad R_T = R_0[1 + \alpha T + \beta T^2]$$

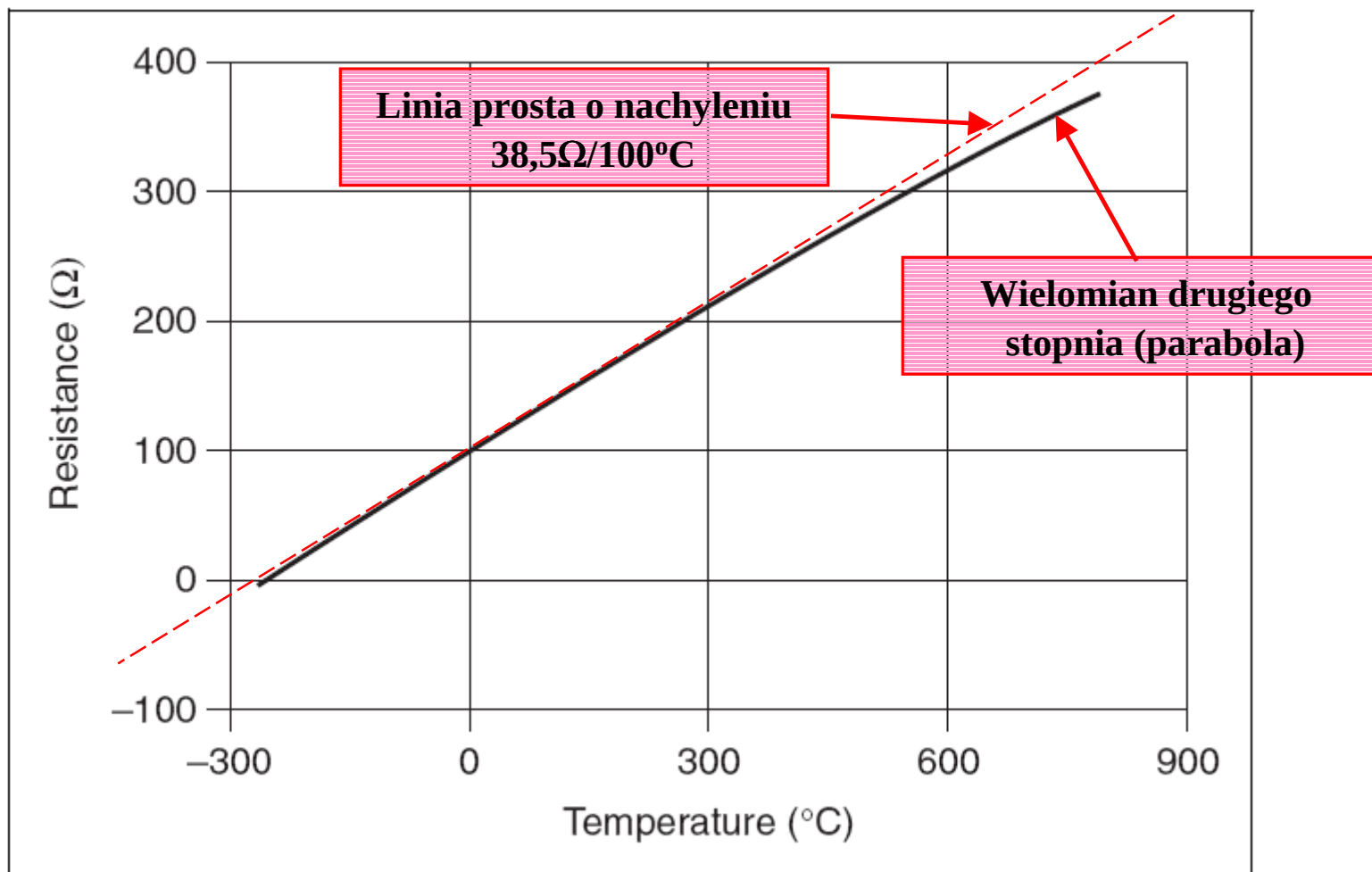
R_T = resistance at temperature T

R_0 = nominal resistance

PN-EN 60751+A2 α , β , and χ are constants used to scale the RTD

Standard	Temperature Coefficient (α)	A	B	C
DIN 43760	0.003850	3.9080×10^{-3}	-5.8019×10^{-7}	-4.2735×10^{-12}
American	0.003911	3.9692×10^{-3}	-5.8495×10^{-7}	-4.2325×10^{-12}
ITS-90	0.003926	3.9848×10^{-3}	-5.8700×10^{-7}	-4.0000×10^{-12}
*For temperatures below 0 °C only. C = 0.0 for temperatures above 0 °C				

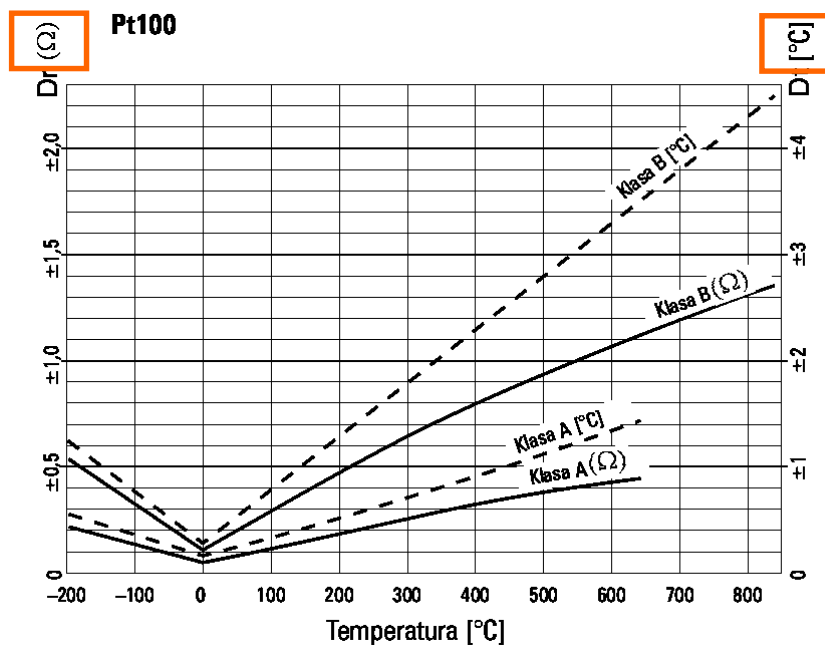
Charakterystyka czujnika platynowego Pt100



Resistance-Temperature Curve for a 100 Ω Platinum RTD, $\alpha = 0.00385$

CHARAKTERYSTYKI REZYSTORÓW TERMOMETRYCZNYCH (dane skrócone)

Rezystor Pt100 PN-EN 60751+A2 (Pt500 = 5xPt100, Pt1000 = 10xPt100)									
T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)
-100	60,26	10	103,90	120	146,07	230	186,84	340	226,21
-90	64,30	20	107,79	130	149,83	240	190,47	350	229,72
-80	68,33	30	111,67	140	153,58	250	194,10	360	233,21
-70	72,33	40	115,54	150	157,33	260	197,71	370	236,70
-60	76,33	50	119,40	160	161,05	270	201,31	380	240,18
-50	80,31	60	123,24	170	164,77	280	204,90	390	243,64
-40	84,27	70	127,08	180	168,48	290	208,48	400	247,09
-30	88,22	80	130,90	190	172,17	300	212,05	450	264,18
-20	92,16	90	134,71	200	175,86	310	215,61	500	280,98
-10	96,09	100	138,51	210	179,53	320	219,15	550	297,49
0	100,00	110	142,29	220	183,19	330	222,68	600	313,71



PN-EN 60751+A2

Dopuszczalne odchyłki rezystancji D_r i temperatury D_t

Klasa tolerancji
A
B

Tolerancja
 $0,15 + 0,002 \cdot |t|$
 $0,3 + 0,005 \cdot |t|$

gdzie $|t|$ oznacza moduł temperatury w stopniach Celsjusza
(bez uwzględnienia znaku)

$$\Delta t = 0,15^{\circ}\text{C} + 0,2\% \cdot t$$

Problem pomiarowy - rezystancja przewodów

TDY, TDX

NORMA:

PN-91/T-90200

PN-91/T-90206

PN-91/T-90205

PEŁNA NAZWA:

Przewód montażowy jednożyłowy lub wielożyłowy o żyłach miedzianych jednodrutowych lub wielodrutowych o izolacji poliwinitowej (Y) lub polietylenowej (X).

PRZYKŁAD OZNACZENIA:

Przewód rodzaju TDY jednożyłowy z żyłą o średnicy znamionowej 0,4 mm:

PRZEWÓD TDY 1x0,4mm PN-91/T-90206

Przewód rodzaju TDY dwużyłowy o średnicy znamionowej 0,5 mm o barwach izolacji żył niebieskiej (n) i białej (b):

PRZEWÓD TDY (n-b) 2x0,5mm PN-91/T-90206

ZASTOSOWANIE:

Przewody przeznaczone są do stałych połączeń wewnętrznych w urządzeniach telekomunikacyjnych i elektronicznych.

KONSTRUKCJA:

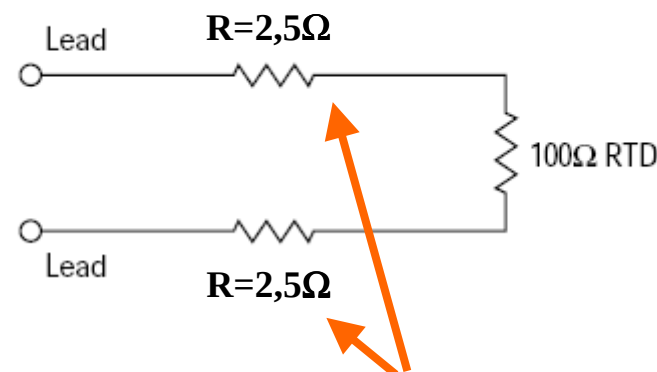
Ilość żył	Max. wymiar zewnętrzny [mm]	Masa kabla [kg]
1x0,4	0,7	1,6
2x0,4	1,3	3,2
3x0,4	1,6	4,8
4x0,4	1,9	6,4
1x0,5	0,8	2,3
2x0,5	1,5	4,6
3x0,5	1,9	6,9
4x0,5	2,1	9,2
1x0,6	0,9	3,1
2x0,6	1,7	6,2
3x0,6	2,1	9,3
4x0,6	2,4	12,4
1x0,8	1,3	5,7
1x1,0	1,5	8,6

CHARAKTERYSTYKA:

Parametry elektryczne w temperaturze 20°C	Jednostka	jednożyłowe
Rezystancja pętli żył (max)	Ω/km	Średnica znamionowa żyły Cu [mm] 0,4 0,5 0,6 0,8 1,0 288 184 128 72 45,6
Odporność izolacji na napięcie probiercze w ciągu 1 min. - dla średnicy znamionowej żyły Cu: 0,4; 0,5; 0,6 mm 0,8; 1,0 mm	V	Napięcie przemienne ~1000 ~1500
Rezystancja izolacji każdej żyły - dla średnicy znamionowej żyły Cu: 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0 mm	MΩxkm	Napięcie stałe 1500 2250



Effect of Lead Resistance



Pętla 100m (2x100mb) przewodu Cu 1mm ma rezystancję ok. 5Ω

CHARAKTERYSTYKA:

Parametry elektryczne w temperaturze 20°C	Jednostka	jednożyłowe	wielożyłowe
Rezystancja pętli żył (max)	Ω/km	Średnica znamionowa żyły Cu [mm] 0,4 0,5 0,6 0,8 1,0 288 184 128 72 45,6	0,4 0,5 0,6 296 190 131,8
Odporność izolacji na napięcie probiercze w ciągu 1 min. - dla średnicy znamionowej żyły Cu: 0,4; 0,5; 0,6 mm 0,8; 1,0 mm	V	Napięcie przemienne ~1000 ~1500	Napięcie stałe 1500 2250
Rezystancja izolacji każdej żyły - dla średnicy znamionowej żyły Cu: 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0 mm	MΩxkm	TDY 200 TDX 1000	



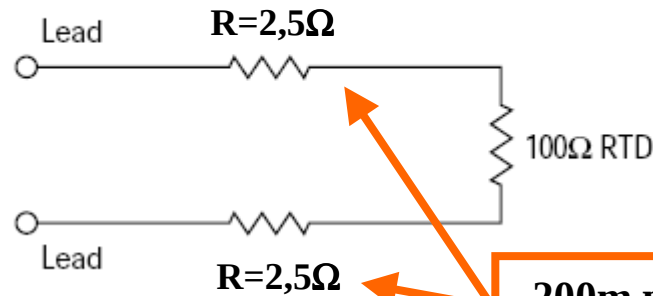
kable i przewody telekom



kable i przewody telekomunikacyjne

Problem pomiarowy - rezystancja przewodów

Effect of Lead Resistance



Czułość czujnika Pt100:

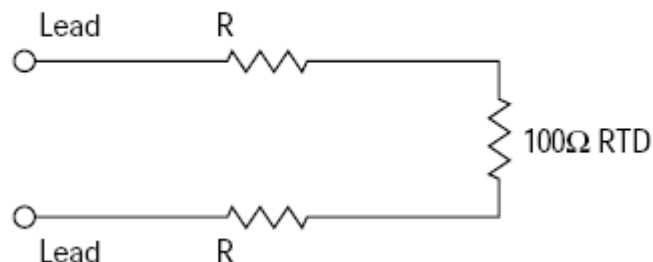
$$S = \frac{R_{100} - R_0}{100^{\circ}\text{C}} = \frac{138,5 \Omega - 100 \Omega}{100^{\circ}\text{C}} = 0,385 \frac{\Omega}{^{\circ}\text{C}} \approx 0,4 \frac{\Omega}{^{\circ}\text{C}}$$

Błąd od rezystancji przewodów 2 x 100mb ($\Delta R = 4,56 \Omega$):

$$\Delta t = \frac{\Delta R}{S} = \frac{4,56 \Omega}{0,385 \frac{\Omega}{^{\circ}\text{C}}} = 11,8^{\circ}\text{C} !!!$$

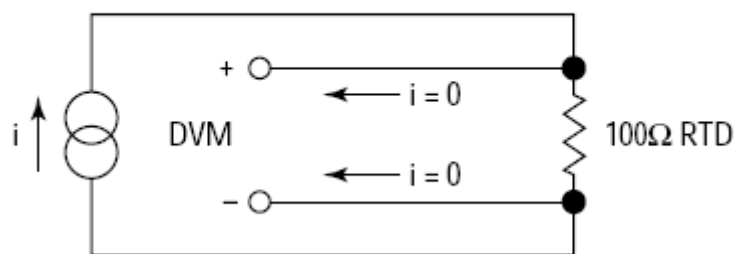
Układy pracy czujnika termorezystancyjnego

Effect of Lead Resistance



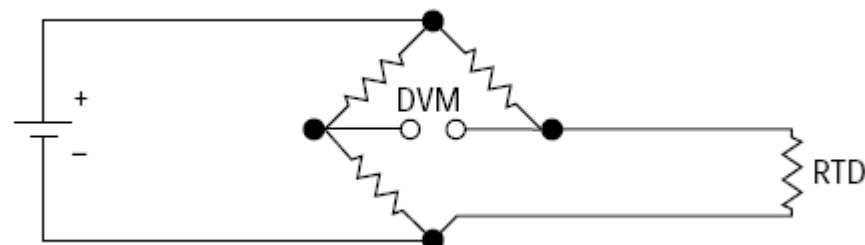
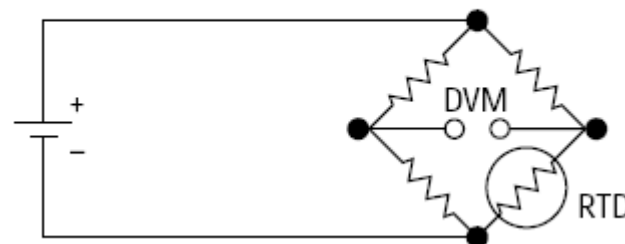
Tylko przy krótkich grubych przewodach

4-Wire Ohms Measurement

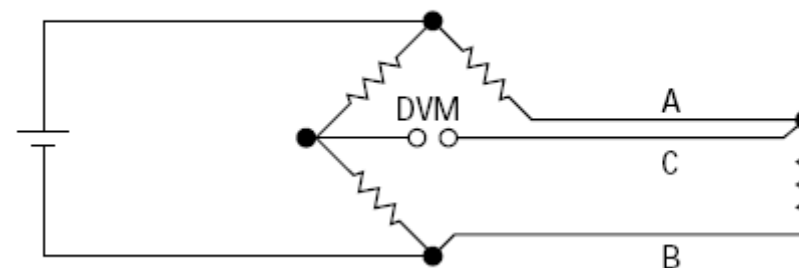


Układ czteroprzewodowy

Wheatstone Bridge



3-Wire Bridge

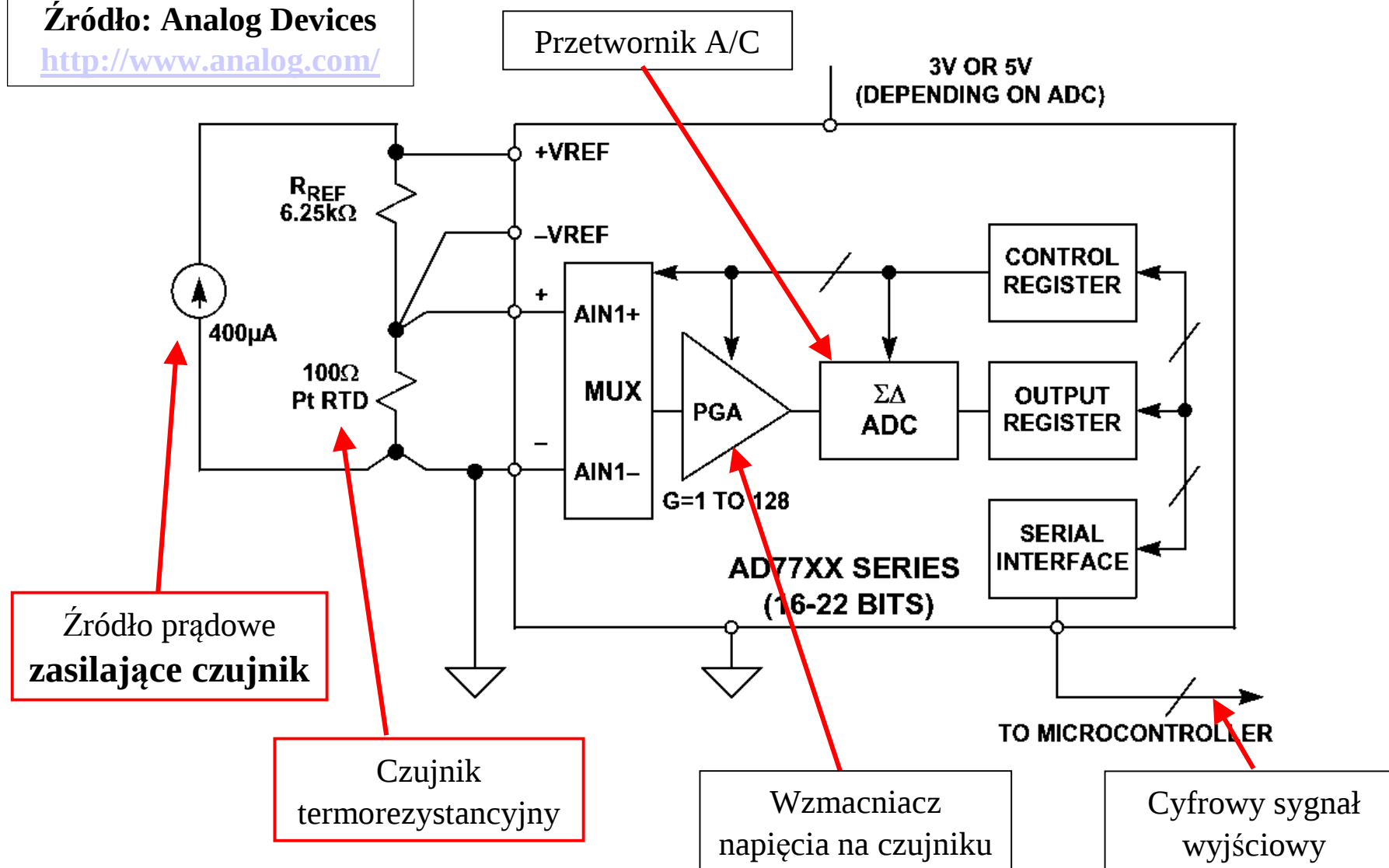


Układy mostkowe 2 i 3 przewodowe

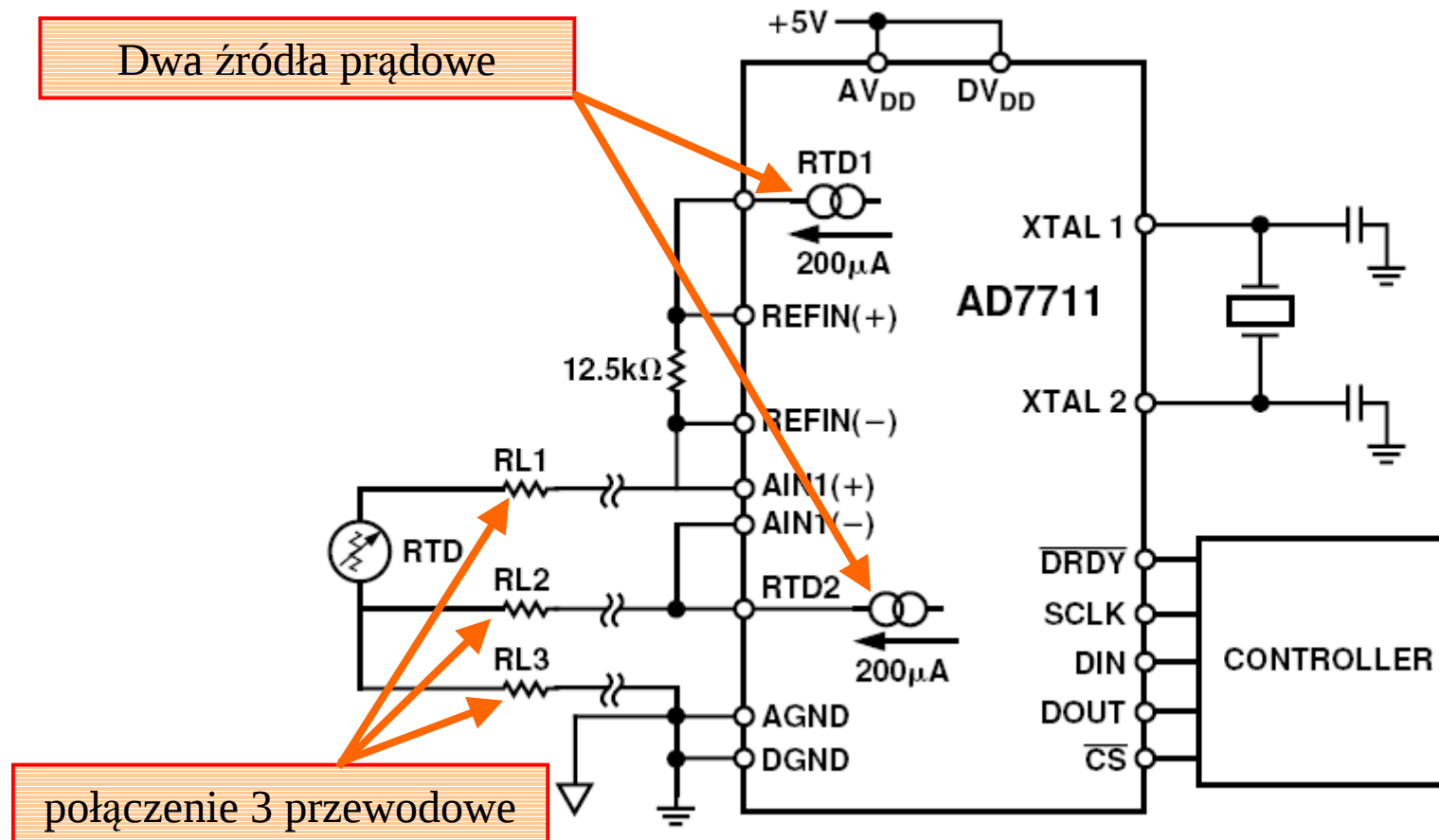
Układy pracy czujnika Pt100 - czteroprzewodowy

Źródło: Analog Devices

<http://www.analog.com/>

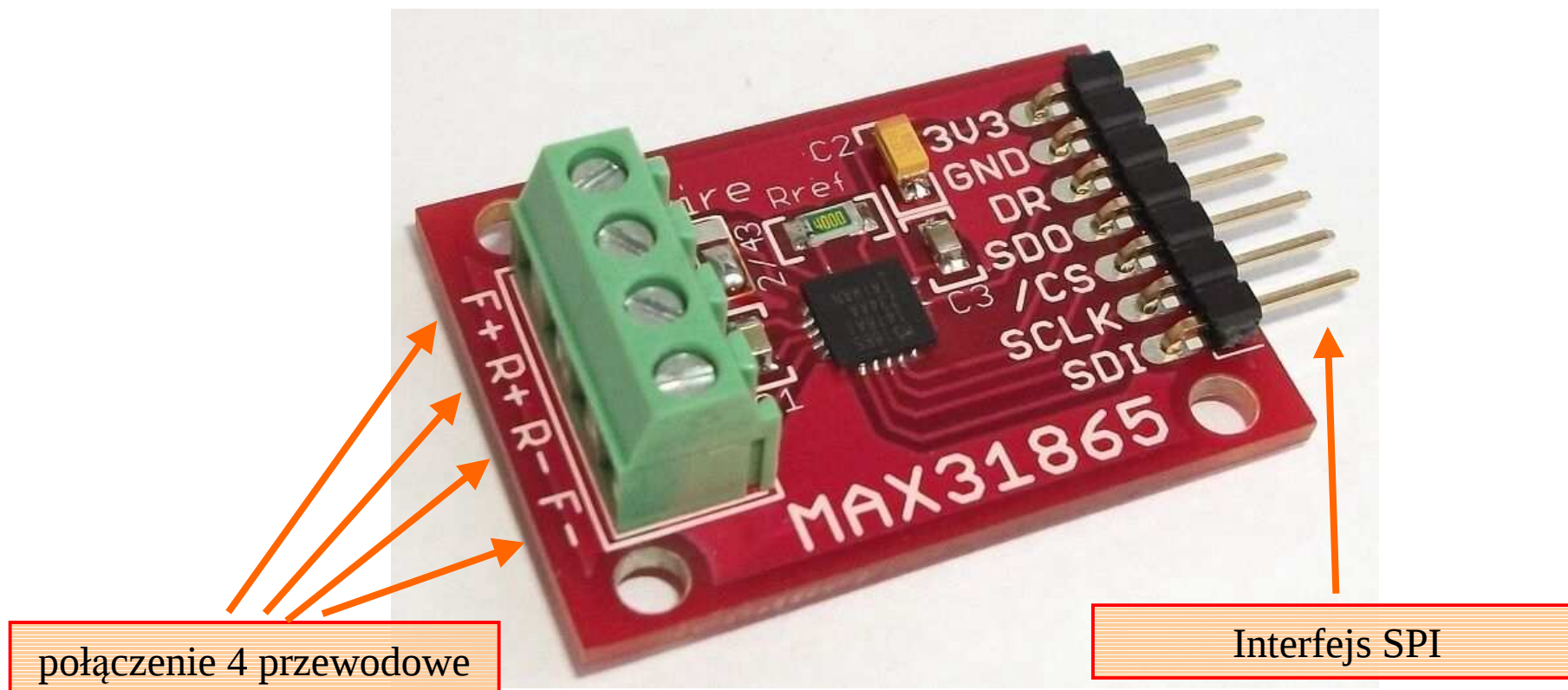


Układ pracy czujnika termorezystancyjnego 3-przewodowy



Kompensacja wpływu rezystancji linii RL w układzie 3-przewodowym

MAX31865 RTD-to-Digital Converter



Parametry Pt100 - podsumowanie

-zakres temperatur pracy od -200°C do $+850^{\circ}\text{C}$

-błędy pomiaru temperatury $0,15^{\circ}\text{C} + 0,2\%$ dla klasy A czujników

-czas odpowiedzi podobne jak dla termopary (takie same obudowy)

Sygnał wyjściowy ok. $0,385 \Omega / ^{\circ}\text{C}$ w zakresie od 0°C do 100°C , charakterystyka nieliniowa aproksymowana wielomianem trzeciego (dla $t < 0^{\circ}\text{C}$) lub drugiego (dla $t > 0^{\circ}\text{C}$) rzędu

Półprzewodnikowe czujniki temperatury

1. Czujniki temperatury bezzłączowe - termistory:

Termistory NTC (Negative Temperature Coefficient)

Termistory PTC (Positive Temperature Coefficient)

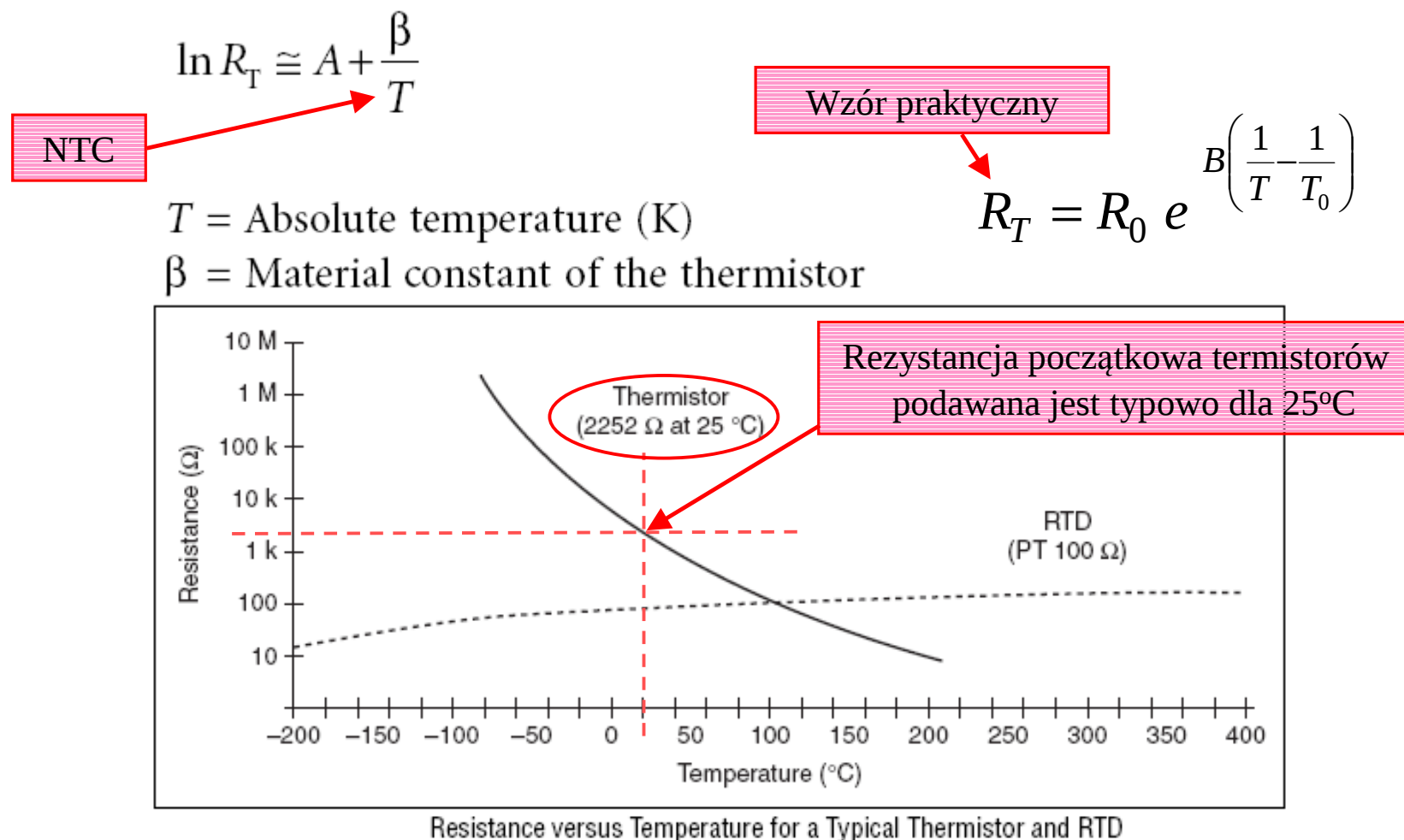
Termistory CTR (Critical Temperature Resistor) – do zabezpieczeń, tzw. bezpieczniki polimerowe

2. Czujniki temperatury złączowe:

Czujniki jednozłączowe

Czujniki dwuzłączowe

Czujnik termistorowy NTC - charakterystyka



Charakterystyka NTC – duża czułość, silna nieliniowość



Czujniki termistorowe NTC *muRata*

Resistance vs. Temperature

Basic Characteristics

1. Zero-power Resistance of Thermistor: R

$$R = R_0 \exp B (1/T - 1/T_0) \quad (1)$$

R: Resistance in ambient temperature T (K)

(K: absolute temperature)

R₀: Resistance in ambient temperature T₀ (K)

B: B-Constant of Thermistor

2. B-Constant

as (1) formula

$$B = \frac{\ln(R/R_0)}{(1/T - 1/T_0)} \quad (2)$$

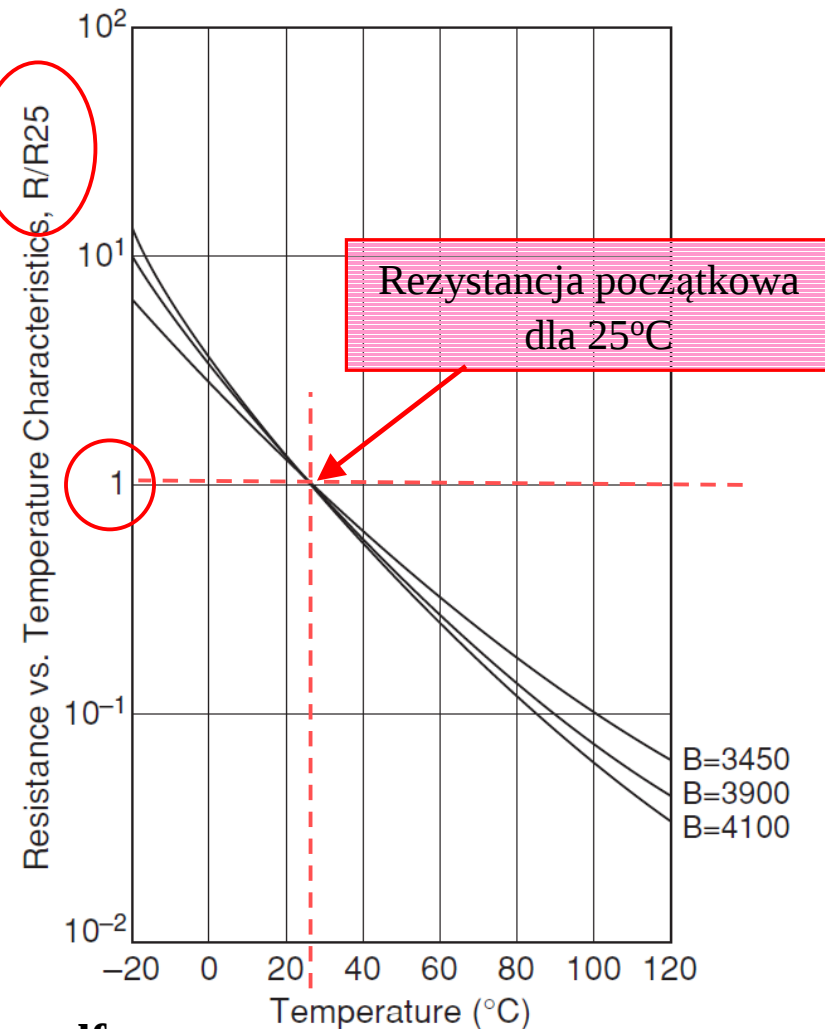
3. Thermal Dissipation Constant

When electric power P (mW) is spent in ambient temperature T₁ and thermistor temperature rises T₂, there is a formula as follows

$$P = C (T_2 - T_1) \quad (3)$$

C: Thermal dissipation constant (mW/°C)

Thermal dissipation constant is varied with dimensions, measurement conditions, etc.



<http://www.murata.com/products/catalog/pdf/r44e.pdf>

Parametry czujników termistorowych NTC



Rezystancja początkowa dla 25°C

Part Number	Resistance (25°C) (ohm)	B-Constant (25-50°C) (K)	B-Constant (25-80°C) (Reference Value) (K)	B-Constant (25-85°C) (Reference Value) (K)	B-Constant (25-100°C) (Reference Value) (K)	Permissible Operating Current (25°C) (mA)	Rated Electric Power (25°C) (mW)	Typical Dissipation Constant (25°C) (mW/°C)
NCP03XM102□05RL	1.0k	3500 ±1%	3539	3545	3560	1.00	100	1
NCP03XM152□05RL	1.5k	3500 ±1%	3539	3545	3560	0.81	100	1
NCP03XM222□05RL	2.2k	3500 ±1%	3539	3545	3560	0.67	100	1
NCP03XM332□05RL	3.3k	3500 ±1%	3539	3545	3560	0.55	100	1
NCP03XM472□05RL	4.7k	3500 ±1%	3539	3545	3560	0.46	100	1
NCP03XH682□05RL	6.8k	3380 ±1%	3428	3434	3455	0.38	100	1
NCP03XH103F05RL	10k ±1%	3380 ±1%	3428	3434	3455	0.31	100	1
NCP03XH103□05RL	10k	3380 ±1%	3428	3434	3455	0.31	100	1
NCP03XV103□05RL	10k	3900 ±1%	3930	3934	3944	0.31	100	1
NCP03XH153□05RL	15k	3380 ±1%	3428	3434	3455	0.25	100	1
NCP03XH223□05RL	22k	3380 ±1%	3428	3434	3455	0.21	100	1
NCP03WF333□05RL	33k	4250 ±1%	4303	4311	4334	0.17	100	1
NCP03WB473□05RL	47k	4050 ±3%	4101	4108	4131	0.14	100	1
NCP03WL473□05RL	47k	4485 ±1%	4537	4543	4557	0.14	100	1
NCP03WF683□05RL	68k	4250 ±1%	4303	4311	4334	0.12	100	1
NCP03WL683□05RL	68k	4485 ±1%	4537	4543	4557	0.12	100	1
NCP03WF104F05RL	100k ±1%	4250 ±1%	4303	4311	4334	0.10	100	1
NCP03WF104□05RL	100k	4250 ±1%	4303	4311	4334	0.10	100	1
NCP03WL104□05RL	100k	4485 ±1%	4537	4543	4557	0.10	100	1
NCP03WL154□05RL	150k	4485 ±1%	4537	4543	4557	0.08	100	1
NCP03WL224□05RL	220k	4485 ±1%	4537	4543	4557	0.06	100	1

Wniosek: brak znormalizowanej charakterystyki, zupełnie inna sytuacja w stosunku do Pt100

□ is filled with resistance tolerance codes (E: ±3%, J: ±5%).

Rated Electric Power shows the required electric power that causes Thermistor's temperature to rise to 125°C by self heating, at ambient temperature of 25 °C.

Operating Temperature Range: -40°C to +125°C

Czujniki termistorowe PTC serii KTY produkcji NXP

Rezystancja początkowa termistorów podawana jest typowo dla 25°C



Overview of product - key characteristics

FAMILY TYPE	R_{25} (Ω)	AVAILABLE TOLERANCE (ΔR)	T_{oper} RANGE (°C)	PACKAGE
KTY81-1	1000	$\pm 1\%$ up to $\pm 5\%$	-55 to 150	SOD70
KTY81-2	2000	$\pm 1\%$ up to $\pm 5\%$	-55 to 150	SOD70
KTY82-1	1000	$\pm 1\%$ up to $\pm 5\%$	-55 to 150	SOT23
KTY82-2	2000	$\pm 1\%$ up to $\pm 5\%$	-55 to 150	SOT23
KTY83-1	1000	$\pm 1\%$ up to $\pm 5\%$	-55 to 175	SOD68 (DO-34)
KTY84-1	1000 (R_{100})	$\pm 3\%$ up to $\pm 5\%$	-40 to 300	SOD68 (DO-34)
KTY85-1	1000	$\pm 1\%$ up to $\pm 5\%$	-40 to 125	SOD80

Znacznie mniejszy zakres temperatur od Pt100

Obudowy

SOD 70

SOD 68

SOT 23

Funkcja kwadratowa

Czujniki termistorowe PTC serii KTY wzory

For the KTY83/85

$$R_T = R_{ref} [1 + A (T - T_{ref}) + B (T - T_{ref})^2]$$

where:

R_T is resistance at temperature T

R_{ref} is the nominal resistance at the reference temperature (T_{ref})

T_{ref} is reference temperature (100 °C for the KTY84, 25 °C for all other types)

A , B are type-dependent coefficients.

For the KTY81/82/84

$$R_T = R_{ref} [1 + A (T - T_{ref}) + B (T - T_{ref})^2 - C (T - T_I)^D]$$

where:

T_I is temperature above which the slope of the characteristic curve starts to decrease (point of inflection).

C , D are type-dependent coefficients.

C is 0 for $T < T_I$.

SENSOR TYPE	A (K ⁻¹)	B (K ⁻²)	C ⁽¹⁾ (K ^{-D})	D	T _I (°C)
KTY81-1	7.874×10^{-3}	1.874×10^{-5}	3.42×10^{-8}	3.7	100
KTY81-2	7.874×10^{-3}	1.874×10^{-5}	1.096×10^{-6}	3.0	100
KTY82-1	7.874×10^{-3}	1.874×10^{-5}	3.42×10^{-8}	3.7	100
KTY82-2	7.874×10^{-3}	1.874×10^{-5}	1.096×10^{-6}	3.0	100
KTY83	7.635×10^{-3}	1.731×10^{-5}	—	—	—
KTY84	6.12×10^{-3}	1.1×10^{-5}	3.14×10^{-8}	3.6	250
KTY85	7.635×10^{-3}	1.731×10^{-5}	—	—	—

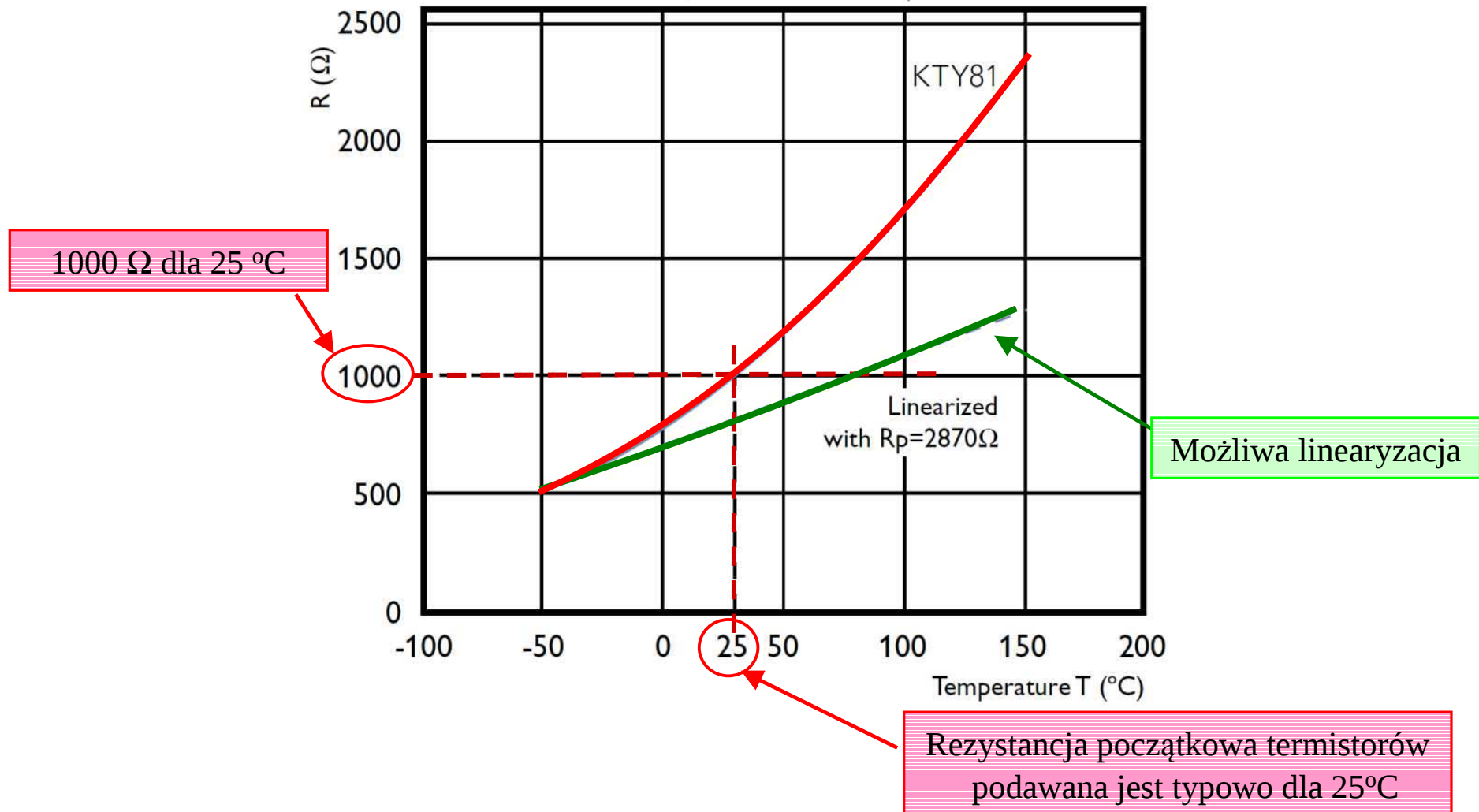
Czułość około 2x większa od Pt100

Niewielka nieliniowość podobnie jak dla Pt100

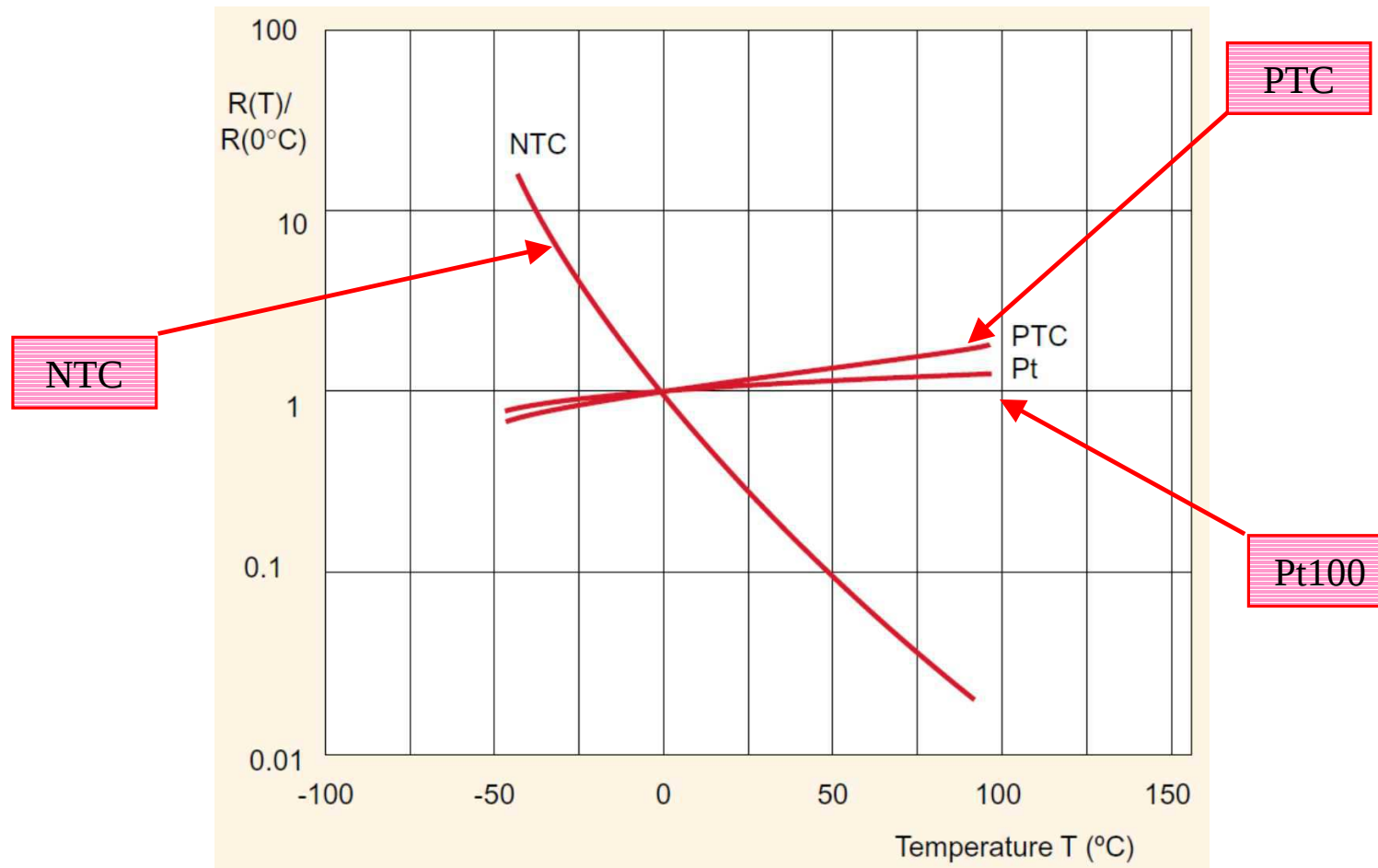
Czujnik termistorowy PTC - charakterystyka

Charakterystyka PTC – duża czułość, dobra liniowość

RT curve of KTY81, linearized with parallel resistor

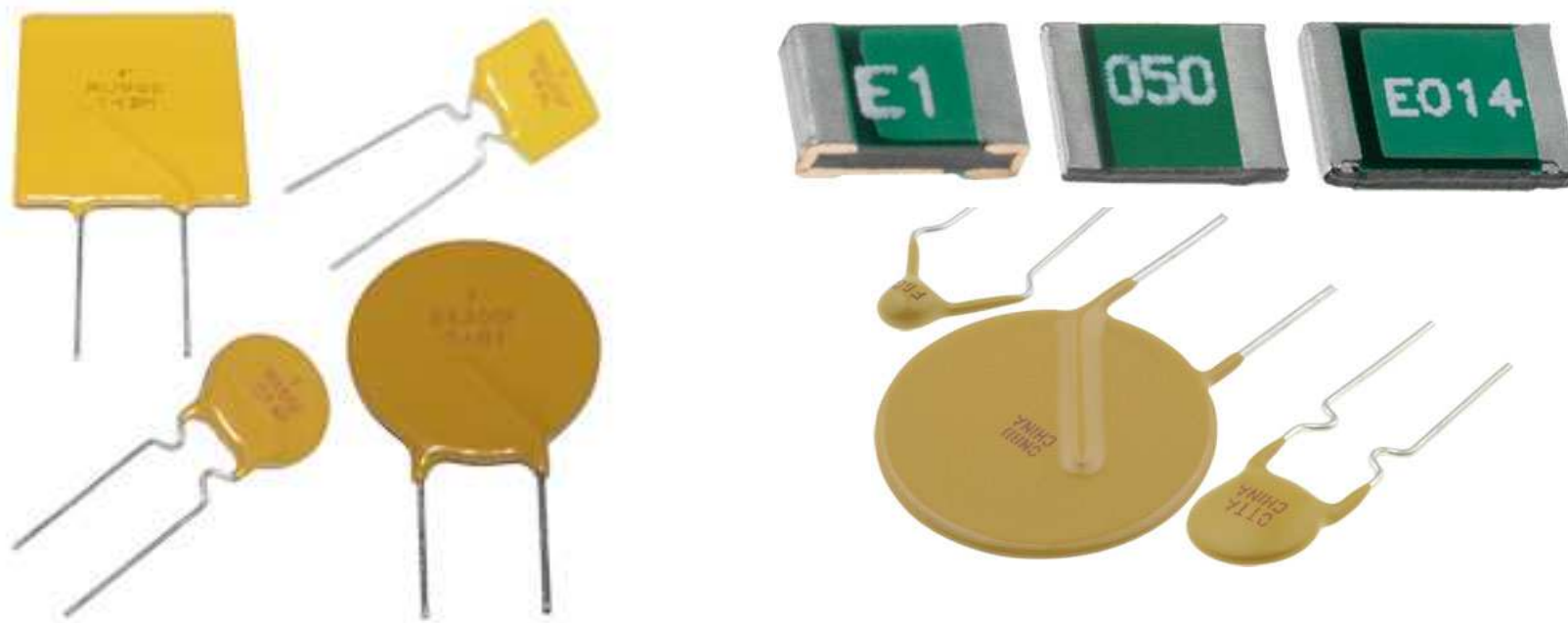


Pt100 – NTC - PTC – porównanie charakterystyk



Termistory CTR – bezpieczniki polimerowe

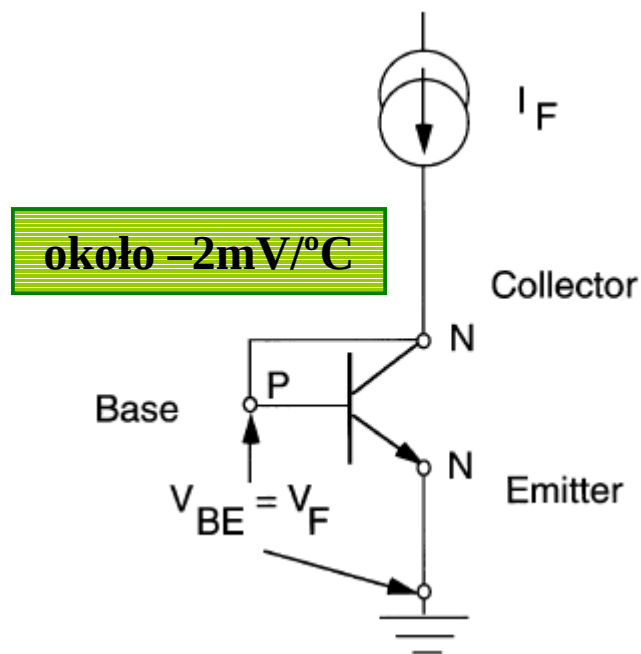
Termistory CTR o skokowej zmianie rezystancji stosowane jako bezpieczniki wielokrotnego użycia w układach elektronicznych,
nie nadają się do pomiarów temperatury !



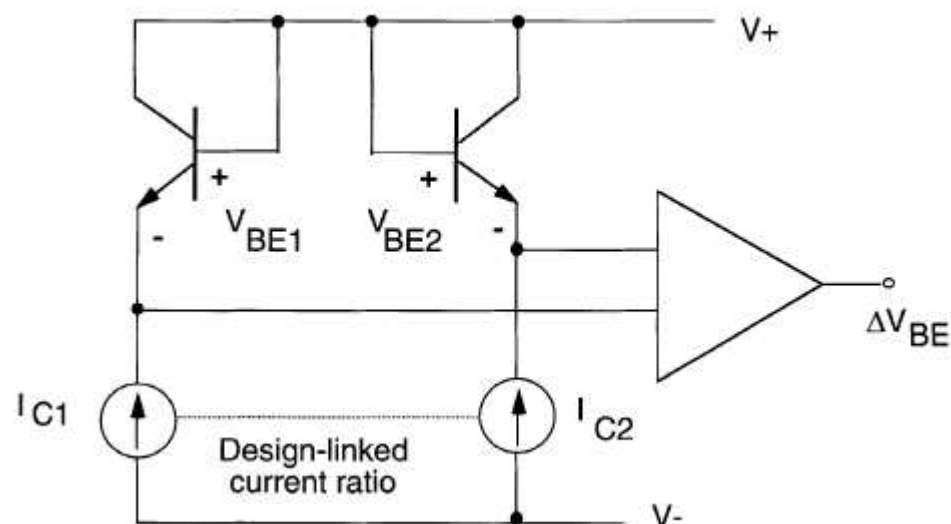
Bardziej znani producenci:

Bourns, Raychem, ECE, LITTELFUSE, TE Connectivity itp.

Czujniki półprzewodnikowe jedno- i dwu- złączowe



$$V_F = V_{be} = \left(\frac{kT}{q} \right) \ln \left(I_F / I_S \right)$$



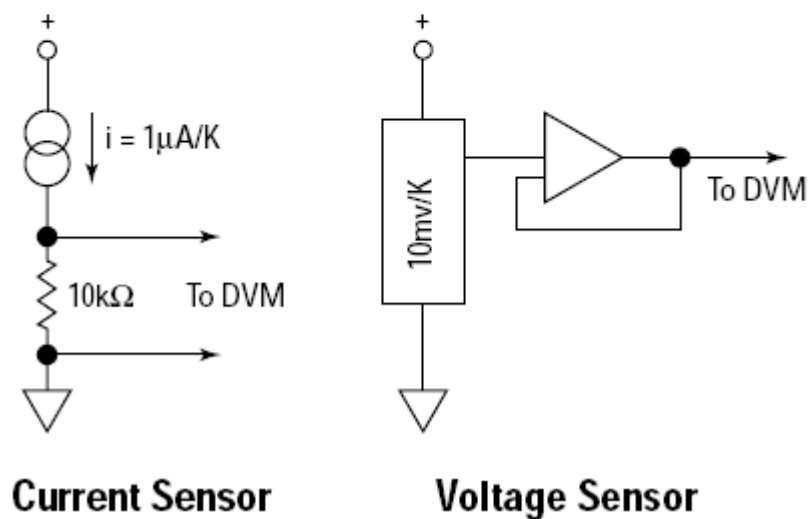
$$V_{be1} - V_{be2} = \Delta V_{be} = \left(\frac{kT}{q} \right) \ln \left(\left(I_1 / A_1 \right) / \left(I_2 / A_2 \right) \right)$$

Układy pracy czujników jedno- i dwu- złączowych

Czujniki półprzewodnikowe złączowe analogowe

MONOLITHIC LINEAR TEMPERATURE SENSOR

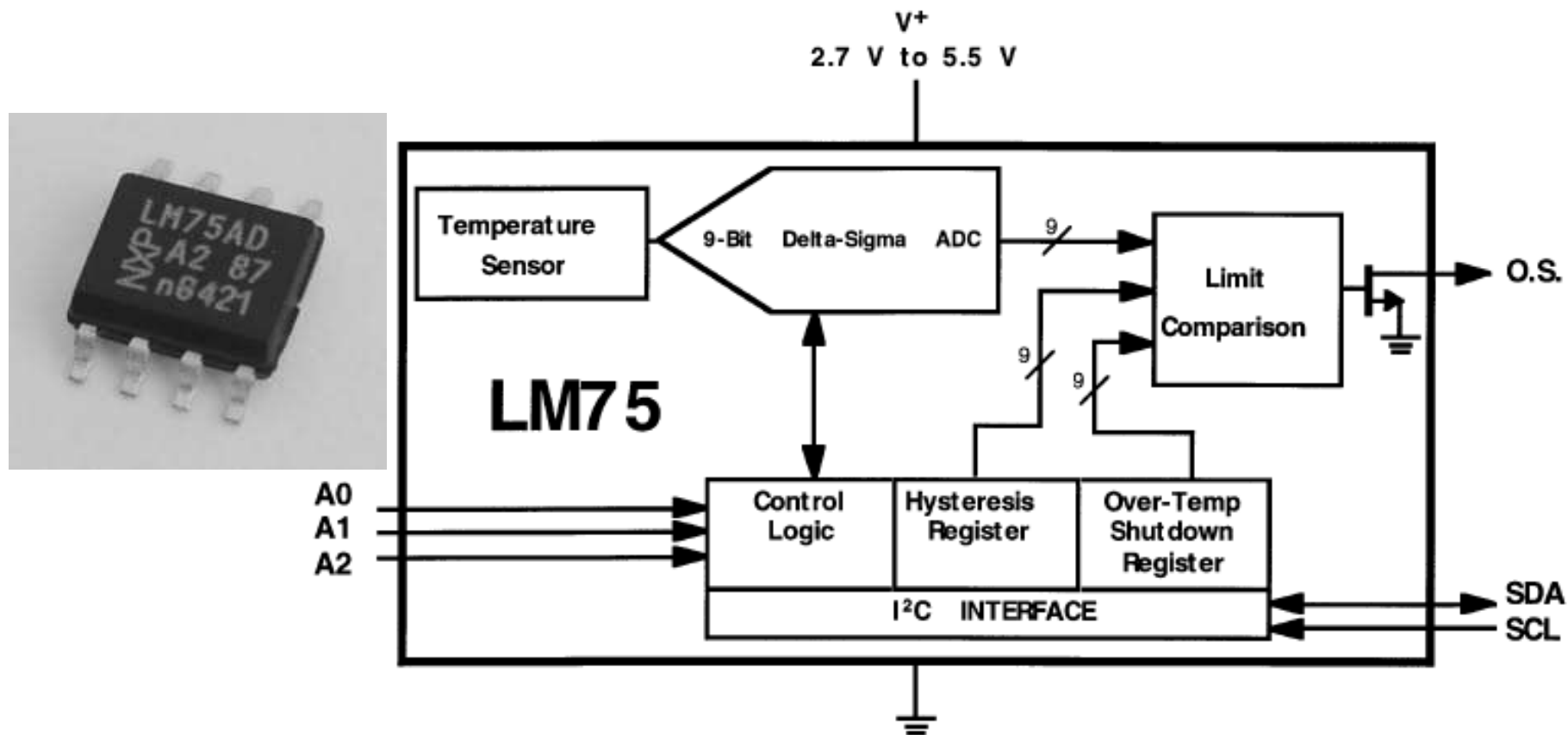
Figure 45



Układy pracy czujników złączowych

Czujnik półprzewodnikowe złączowy LM75 cyfrowy

National Semiconductor, NXP, Texas Instruments, MAXIM,



Schemat blokowy scalonego czujnika złączowego LM75

Czujnik Dallas (MAXIM) 18B20 z interfejsem 1-Wire

Dołączanie czujników Dallas 18B20 do magistrali jednoprzewodowej 1-Wire

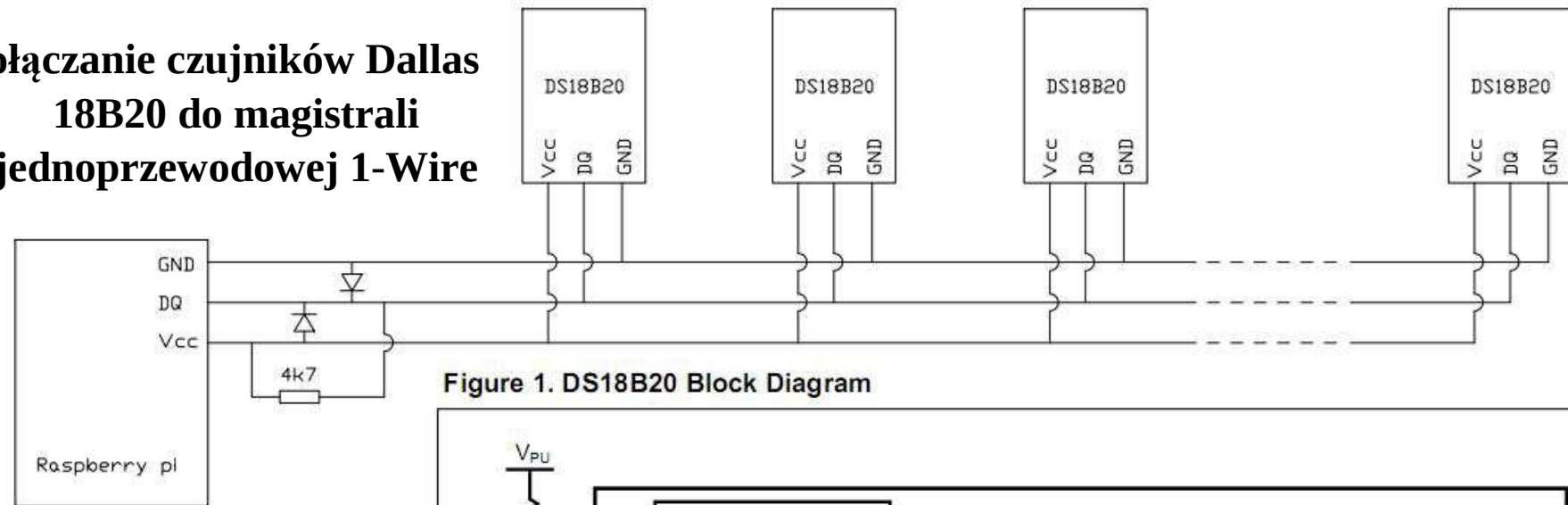
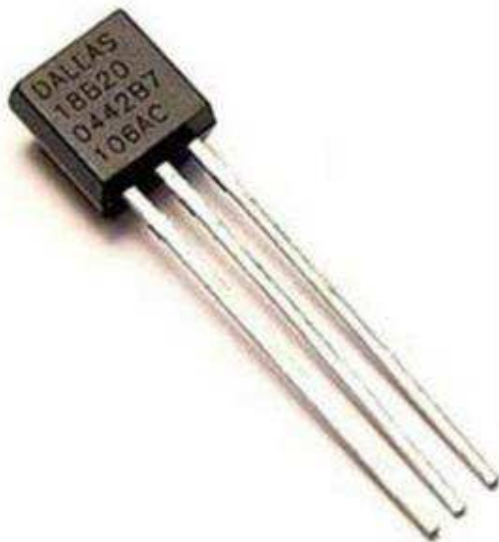
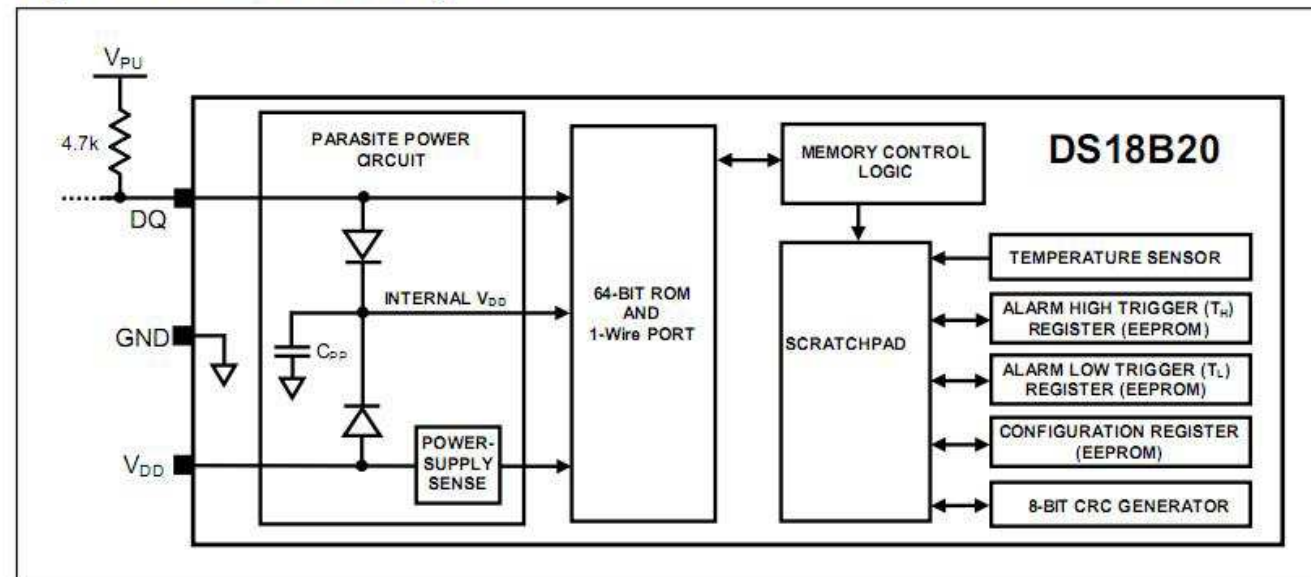


Figure 1. DS18B20 Block Diagram



Podsumowanie

	RTD	Thermistor	IC sensor	Thermocouple
Measurement type	Absolute			Relative
Advantages	- Most stable - Most accurate - More linear than thermocouples	- High sensitivity - Fast - Two-wire measurement	- Most linear - Highest output - Inexpensive	- Self-powered - Rugged - Inexpensive - Wide variety of physical forms - Wide temperature range
Disadvantages	- Expensive - Slow - Current source required - Small resistance change - 4-wire measurement - Self-heating	- Nonlinear - Limited temperature range - Fragile - Current source required - Self-heating	- Limited to 250°C - Power supply required - Slow - Self-heating - Limited configurations - Large mass	- Nonlinear - Low voltage - Reference required - Least stable - Least sensitive

