

Czujniki Rezystancyjne



Czujniki rezystancyjne są to przyrządy reagujące na zmianę temperatury zmianą rezystancji wbudowanego w nie rezystora.

Zasada działania czujników rezystancyjnych polega na wykorzystaniu zjawiska zmiany rezystancji metali wraz z temperaturą.

Ze wzrostem temperatury wzrasta amplituda drgań jąder atomów oraz prawdopodobieństwo zderzeń elektronów swobodnych i jonów, co ze względu na hamowanie ruchu elektronów powoduje wzrost rezystancji.

Platynowe termorezystory

Platynowe termorezystory są szeroko wykorzystywane w przemyśle ze względu na wysoką temperaturę topnienia, stałość własności fizycznych, ciągłość zależności rezystancji od temperatury bez wystąpienia histerezy.

Równania określające zależność między temperaturą a rezystancją są następujące:

- w zakresie od -200°C do 0°C

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)^3]$$

- w zakresie od 0°C do $+850^{\circ}\text{C}$

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

Dla platyny o jakości zwykle stosowanej w przemysłowych czujnikach rezystancyjnych

wartości stałych w tych równaniach są następujące:

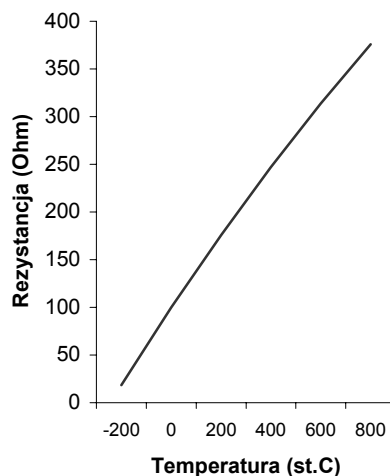
$$A = 3,9083 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,775 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2}$$

$$C = -4,183 \times 10^{-12} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-4}$$

Wg PN-EN 60751 przy temperaturze 0°C nominalna wartość rezystancji wynosi 100.000Ω .

Dostępne są również czujniki rezystancyjne o nominalnych wartościach 500Ω (Pt500) oraz 1000Ω (Pt1000) przy temperaturze 0°C . Charakteryzują się one znacznie większą dokładnością (większa rozdzielczość rezystancji w stosunku do temperatury).



Rys. 1. Charakterystyka Pt100

Tolerancje błędów

Dopuszczalne tolerancje błędów dla platynowych czujników rezystancyjnych zostały dokładnie opisane w normie PN-EN 60751:1997+A2. Norma ta rozróżnia dwie klasy dokładności: A i B.

Poniżej zostały podane wzory na obliczanie dopuszczalnej odchyłki.

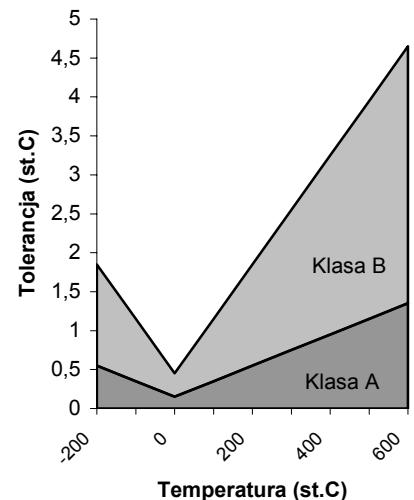
$$\text{Klasa A: } t = \pm (0.15 + 0.002 \times |t|)$$

$$\text{Klasa B: } t = \pm (0.30 + 0.005 \times |t|)$$

t = temperatura w $^{\circ}\text{C}$

Tolerancja klasy A dotyczy temperatur rzędu -200 do $+600^{\circ}\text{C}$.

Tolerancja klasy B dotyczy temperatur rzędu -200 do $+850^{\circ}\text{C}$.



Rys. 2. Tolerancje

Temperatura [°C]	Tolerancja			
	Klasa A		Klasa B	
	(± °C)	(± Ω)	(± °C)	(± Ω)
-200	0,55	0,24	1,3	0,56
-100	0,35	0,14	0,8	0,32
0	0,15	0,06	0,3	0,12
100	0,35	0,13	0,8	0,30
200	0,55	0,20	1,3	0,48
300	0,75	0,27	1,8	0,64
400	0,95	0,33	2,3	0,79
500	1,15	0,38	2,8	0,93
600	1,35	0,43	3,3	1,06
650	1,45	0,46	3,6	1,13
700	-	-	3,8	1,17
800	-	-	4,3	1,28
850	-	-	4,6	1,34

Tabela 1. Tolerancje dla czujników rezystancyjnych platynowych

Czujniki rezystancyjne z głowicą przyłączeniową

Wykonania czujników z głowicami przyłączeniowymi stanowią konstrukcję modułową co oznacza, że składają się z elementów, które można dobierać w zależności od potrzeb.

Czujniki te zbudowane są z wkładu pomiarowego, rury ochronnej, głowicy przyłączeniowej oraz kostki ceramicznej zamontowanej wewnątrz głowicy.

Wkład pomiarowy składa się z kostki ceramicznej oraz rurki ochronnej o średnicy od 3 mm do 8 mm, wykonanej najczęściej z materiału 1H18N9T (1.4541), w której znajduje się termorezystor.

Wkład pomiarowy stanowi element wymienny kompletnego czujnika, co umożliwi znaczne zredukowanie kosztów modernizacji aparatury pomiarowej na obiekcie.

Sprężynujące mocowanie kostki ceramicznej zapewnia idealny docisk wkładu pomiarowego do dna zewnętrznej rury ochronnej, krótki czas reakcji, kompensację w przypadku różnic wymiarów oraz zmniejszenie drgań własnych przez obustronne ustalenie w rurze ochronnej.

Dostępne są wykonania pojedyncze (1xPt100) oraz podwójne (2xPt100).

Wszystkie wymiary dotyczące wkładów pomiarowych są wykonane zgodnie z DIN 43 762.

Głowice przyłączeniowe

Istnieje wiele wykonań głowic przyłączeniowych czujnika, różnią się one formą (A, B wg DIN 43 729), materiałem (aluminium, żeliwo, plastik) oraz wymiarami.

Średnice otworów na rury ochronne są następujące:

Forma A: 22, 24, 32 mm, M24x1.5

Forma B: 15 mm, gwint M20x1.5

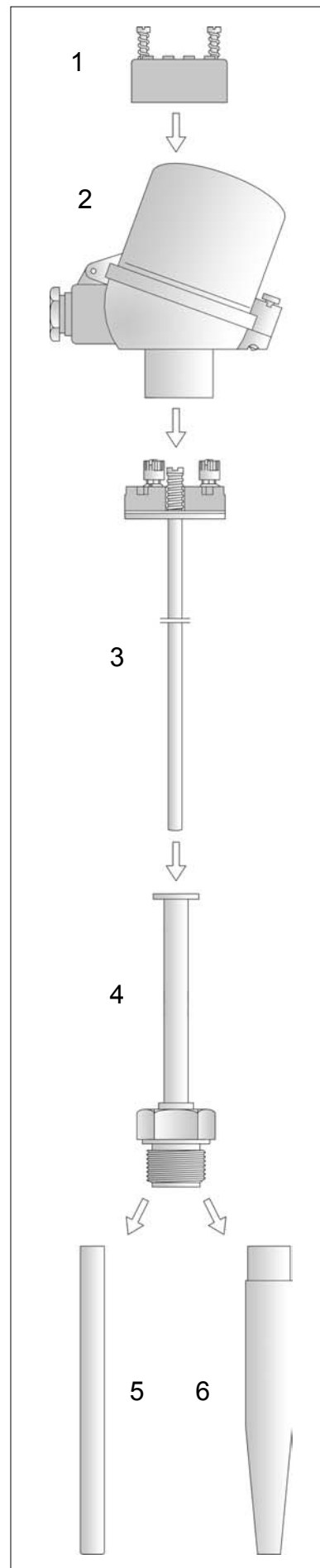
lub M24x1.5

Głowice z podwyższoną pokrywką (typ DANW) przeznaczone są do montażu przetwornika pomiarowego.

Układy pomiarowe

Najczęściej stosowanymi w praktyce układami czujnika rezystancyjnego są układy dwuprzewodowe, jednak przy dłuższych połączeniach pomiędzy czujnikiem a miernikiem powodują błędy pomiarowe. Błędy te można wyeliminować stosując układy trójprzewodowe.

Głowicowe czujniki rezystancyjne mają w głowicy trzy zaciski podłączeniowe.



Rys. 3. Schemat modułowy czujników głowicowych

Legenda do rysunku:

- 1) – Przetwornik pomiarowy
- 2) – Głowica przyłączeniowa
- 3) – Wkład pomiarowy
- 4) – Element dystansowy
- 5) – Rura ochronna
- 6) – Osłona ciśnieniowa

Wykonania przewodowych czujników rezystancyjnych

Czujniki przewodowe używane są do pomiaru temperatury części maszyn, elementów konstrukcyjnych w przemyśle maszynowym, obrabiarkowym, w energetyce oraz w procesach przetwórstwa tworzyw sztucznych i gumy.

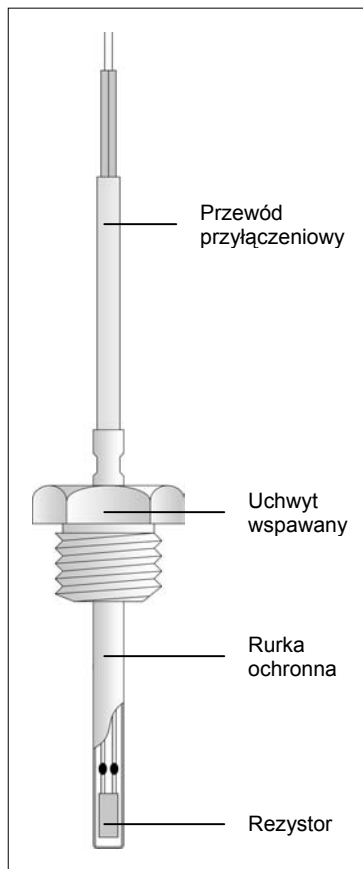
Oprócz nieograniczonej ilości specjalnych wykonania przewodowych czujników rezystancyjnych, istnieją standardowe wersje, które zostały przedstawione w tym katalogu.

Przewodowy czujnik rezystancyjny stanowią: przewód połączeniowy bezpośrednio połączony z rezystorem oraz rurka ochronna, w której znajduje się termorezystor. Wewnętrzna przestrzeń pomiędzy rezystorem a ścianką rurki ochronnej wypełniona jest specjalną masą silikonową, która zapewnia bardzo dobry transfer ciepła oraz wysoką odporność na wibracje. Maksymalna temperatura pracy krótkiego czujnika ograniczana jest poprzez rodzaj materiału izolacji przewodu przyłączeniowego.

Material	$t_{max}/^{\circ}C$
PVC	80
Silikon	180
Teflon PTFE	260

Podstawowe właściwości techniczne dla większości czujników:

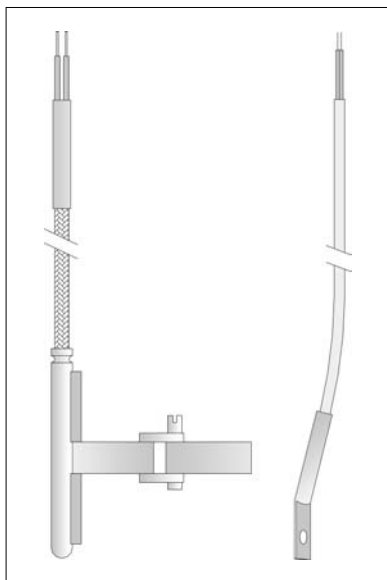
- średnica: 2-12 mm
- materiał rurki ochronnej: stal nierdzewna, kwasoodporna, mosiądz lub inny
- połączenie: 2, 3, 4-przew.
- uchwyt: zaciskowy, gwintowany zaciskowy lub spawany



Rys. 4. Budowa czujnika rezystancyjnego przewodowego

Czujniki rezystancyjne do pomiaru temperatury powierzchni płaskich i owalnych charakteryzują się łatwością instalacji oraz małą masą.

Czujniki do powierzchni owalnych składają się z opaski zaciskowej, której średnicę można dowolnie regulować i dopasowywać do średnicy, np. rurociągu.



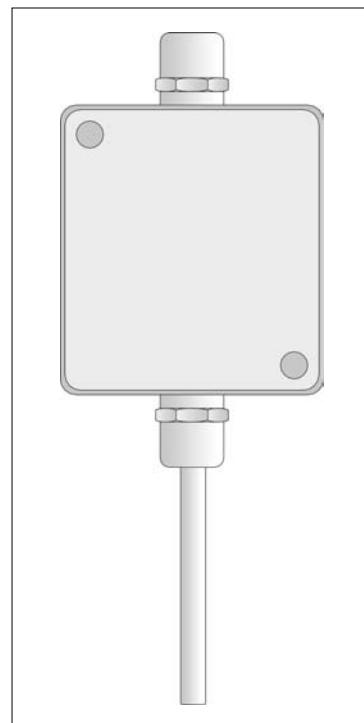
Rys. 5. Czujniki rezystancyjne do pomiaru temperatury powierzchni

Czujniki rezystancyjne do pomiaru temperatury otoczenia zbudowane są z estetycznej, plastikowej obudowy o stopniu ochrony IP 65 oraz końcówki pomiarowej (rurki ochronnej), w której znajduje się rezystor platynowy.

Istnieje możliwość montażu przetwornika pomiarowego wewnątrz obudowy plastikowej.

Podłączenie przewodu przyłączeniowego odbywa się poprzez dławik PG9.

Temperatura pracy czujników wynosi od $-30^{\circ}C$ do $+85^{\circ}C$.



Rys. 6. Czujnik rezystancyjny do pomiaru temperatury otoczenia

Połączenie czujników rezystancyjnych

W czujniku rezystancyjnym rezystancja elektryczna zmienia się z temperaturą. W celu określenia sygnału wyjściowego prąd o stałej wartości przepuszczany jest przez rezystor oraz mierzony jest spadek napięcia. Dla tego spadku napięcia prawo Ohma stwierdza:

$$V = R \times I$$

Prąd pomiarowy powinien być tak mały jak to możliwe w celu uniknięcia nagrzewania się rezystora. Można przyjąć, że prąd pomiarowy o wartości 1 mA nie wnosi istotnych błędów. Prąd ten daje spadek napięcia 0,1 V w Pt100 przy 0°C. Ten sygnał, przy minimalnych zmianach, musi być teraz przekazany do punktu wskazującego lub analizującego przewodami łączącymi.

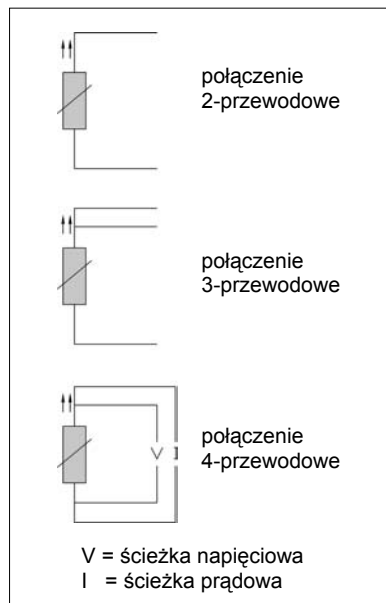
Do tego celu stosowane są trzy różne typy układu połączeń.

Układ 2-przewodowy

Łączenie czujnika z elektroniką przetwarzającą odbywa się za pomocą kabla 2-przewodowego. Tak jak każdy inny przewodnik elektryczny kabel ten ma rezystancję elektryczną połączoną szeregowo z czujnikiem temperatury. Tak więc dodawane są dwie rezystancje, zaś wynikiem jest systematycznie wyższe wskazanie temperatury. Na większych odległościach rezystancja doprowadzeń może wnosić wiele omów i wytwarzać istotne przesunięcie wartości pomiarowej. W celu uniknięcia tego błędu, rezystancja jest kompensowana elektrycznie.

Przyrząd jest przewidziany do tego, by zawsze dawać rezystancję doprowadzeń, przykładowo, 10Ω. Gdy przyłączony jest czujnik rezystancyjny, rezystancja kompensująca jest łączona z jednym z przewodów pomiarowych, zaś czujnik jest zastępowany początkowo rezystorem 100,00Ω. Następnie zmienia się rezystancję kompensującą aż do momentu, gdy na przyrządzie pojawia się odczyt 0°C.

Ze względu na to, że układ 2-przewodowy wymaga relatywnie dużego nakładu pracy oraz fakt, że nie uwzględnia się temperatury kabla pomiarowego, stosowanie takiego układu staje się co raz radsze.



Rys. 7. Schemat połączeń czujników rezystancyjnych

Układ 3-przewodowy

Wpływy rezystancji doprowadzeń oraz ich fluktuacji wraz z temperaturą są redukowane do minimum w układzie 3-przewodowym. W takim układzie dodatkowa końcówka jest doprowadzana do kontaktu z czujnikiem rezystancyjnym. Daje to efekt w postaci dwóch obwodów pomiarowych, z których jeden jest używany jako odniesienie.

Układ 3-przewodowy umożliwia kompensację zarówno wartości, jak i zależności temperaturowej rezystancji doprowadzeń. Ale wymaga się, by wszystkie trzy żyły miały identyczne właściwości i były w tej samej temperaturze. W większości przypadków jest to spełnione z wystarczającym stopniem dokładności, tak więc układ 3-przewodowy jest obecnie jednym z najczęściej stosowanych. Nie jest wymagana kompensacja doprowadzeń.

Układ 4-przewodowy

Optymalną formą połączenia dla czujników rezystancyjnych jest układ 4-przewodowy. Wynik pomiaru nie zależy ani od rezystancji doprowadzeń, ani od ich zmian temperaturowych. Nie wymaga się kompensacji doprowadzeń. Rezystor dostaje prąd pomiarowy I poprzez zaciski zasilania. Spadek napięcia V na rezystorze jest pobierany przez końcówki pomiarowe.

Jeśli rezystancja wejściowa elektroniki jest wielokrotnie większa niż rezystancja doprowadzeń, ta ostatnia może być pominięta. Spadek napięcia określany tą drogą jest niezależny od właściwości przewodów łączących.

W przypadku układu 3-przewodowego jak i 4-przewodowego należy pamiętać, że obwód nie zawsze jest takim właśnie aż do samego elementu czujnikowego. Połączenie między czujnikiem i głowicą zacisków w oprawie, tzw. połączenie wewnętrzne, często jest wykonywane jako układ 2-przewodowy. Daje to w efekcie podobne problemy jak te, dyskutowane dla układu 2-przewodowego, jakkolwiek w znacznie mniejszym stopniu. Łączna rezystancja, składająca się z sumy połączenia wewnętrznego i czujnika, jest definiowana przez DIN 16160 jako **oporność rezystora**.

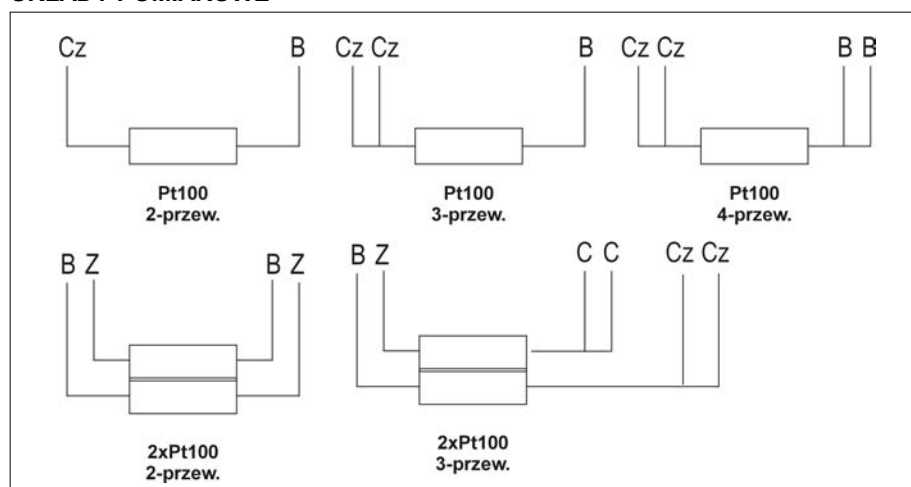
CHARAKTERYSTYKA TERMOMETRYCZNA REZYSTORÓW Pt100 wg PN-EN 60751+A2

Temperatura [°C]	Rezystancja [Ω]	Temperatura [°C]	Rezystancja [Ω]	Temperatura [°C]	Rezystancja [Ω]	Temperatura [°C]	Rezystancja [Ω]
-200	18,52	80	130,90	360	233,21	640	326,48
-190	22,83	90	134,71	370	236,70	650	329,64
-180	27,10	100	138,51	380	240,18	660	332,79
-170	31,34	110	142,29	390	243,64	670	335,93
-160	35,54	120	146,07	400	247,09	680	339,06
-150	39,72	130	149,83	410	250,53	690	342,18
-140	43,88	140	153,58	420	253,96	700	345,28
-130	48,00	150	157,33	430	257,38	710	348,38
-120	52,11	160	161,05	440	260,78	720	351,46
-110	56,19	170	164,77	450	264,18	730	354,53
-100	60,26	180	168,48	460	267,56	740	357,59
-90	64,30	190	172,17	470	270,93	750	360,64
-80	68,33	200	175,86	480	274,29	760	363,67
-70	72,33	210	179,53	490	277,64	770	366,70
-60	76,33	220	183,19	500	280,98	780	369,71
-50	80,31	230	186,84	510	284,30	790	372,71
-40	84,27	240	190,47	520	287,62	800	375,70
-30	88,22	250	194,10	530	290,92	810	378,68
-20	92,16	260	197,71	540	294,21	820	381,65
-10	96,09	270	201,31	550	297,49	830	384,60
0	100,00	280	204,90	560	300,75	840	387,55
10	103,90	290	208,48	570	304,01	850	390,48
20	107,79	300	212,05	580	307,25	-	-
30	111,67	310	215,61	590	310,49	-	-
40	115,54	320	219,15	600	313,71	-	-
50	119,40	330	222,68	610	316,92	-	-
60	123,24	340	226,21	620	320,12	-	-
70	127,08	350	229,72	630	323,30	-	-

Pt500 = 5xPt100

Pt1000 = 10xPt100

UKŁADY POMIAROWE



Legenda do rysunku:

Cz = Czerwony
 B = Biały
 Z = Zielony
 C = Czarny