

CZUJNIKI TEMPERATURY TERMIELEKTRYCZNE

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 TERMIELEMENTÓW

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%		

CHARAKTERYSTYKI TERMIELEKTRYCZNE TERMIELEMENTÓW (dane skrócone) /PN-EN 60584-1/

T [°C]	Napięcie termoelektryczne [mV]						
	T	J	K	N	S	R	B
-100	-3,379	-4,633	-3,554	-2,407			
-80	-2,788	-3,786	-2,920	-1,972			
-60	-2,153	-2,893	-2,243	-1,509			
-40	-1,475	-1,961	1,527	-1,023	-0,194	-0,188	
-20	-0,757	0,995	-0,778	-0,518	-0,103	-0,100	
0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,790	1,019	0,798	0,525	0,113	0,111	-0,003
40	1,612	2,059	1,612	1,065	0,235	0,232	0
60	2,468	3,116	2,436	1,619	0,365	0,363	0,006
80	3,358	4,187	3,267	2,189	0,502	0,501	0,017
100	4,279	5,269	4,096	2,774	0,646	0,647	0,033
120	5,228	6,360	4,920	3,374	0,795	0,800	0,053
140	6,206	7,459	5,735	3,989	0,950	0,959	0,078
160	7,209	8,562	6,540	4,618	1,110	1,124	0,107
180	8,237	9,669	7,340	5,259	1,273	1,294	0,141
200	9,288	10,779	8,138	5,913	1,441	1,469	0,178
220	10,362	11,889	8,940	6,579	1,612	1,648	0,220
240	11,458	13,000	9,747	7,255	1,786	1,831	0,267
260	12,574	14,110	10,561	7,941	1,962	2,017	0,317
280	13,709	15,219	11,382	8,637	2,141	2,207	0,372
300	14,862	16,327	12,209	9,341	2,323	2,401	0,431
320	16,032	17,434	13,040	10,054	2,507	2,597	0,494
340	17,219	18,538	13,874	10,774	2,692	2,796	0,561
360	18,422	19,642	14,713	11,501	2,880	2,997	0,632
380	19,641	20,745	15,596	12,234	3,069	3,201	0,707
400	20,872	21,848	16,439	12,974	3,259	3,408	0,787
420		22,952	17,243	13,719	3,451	3,616	0,870
440		24,057	18,091	14,469	3,645	3,827	0,957
460		25,164	18,941	15,255	3,840	4,040	1,048
480		26,276	19,792	15,984	4,036	4,255	1,143
500		27,393	20,644	16,748	4,233	4,471	1,242
520		28,516	21,497	17,515	4,432	4,690	1,344
540		29,647	22,350	18,286	4,632	4,910	1,451

CHARAKTERYSTYKI TERMIELEKTRYCZNE TERMIELEMENTÓW (dane skrócone) /PN-EN 60584-1/ - c.d.

T [°C]	Napięcie termoelektryczne [mV]						
	T	J	K	N	S	R	B
560		30,788	23,203	19,059	4,833	5,133	1,561
580		31,939	24,055	19,835	5,035	5,357	1,675
600		33,102	24,905	20,613	5,239	5,583	1,792
620		34,279	25,755	21,393	5,443	5,812	1,913
640		35,470	26,602	22,175	5,649	6,041	2,037
660		36,675	27,447	22,958	5,857	6,273	2,165
680		37,896	28,289	23,742	6,065	6,507	2,296
700		39,132	29,129	24,527	6,275	6,743	2,431
720		40,382	29,965	25,312	6,486	6,980	2,569
740		41,645	30,798	26,098	6,699	7,220	2,710
760		42,919	31,628	26,883	6,913	7,461	2,854
780		44,203	32,453	27,669	7,128	7,705	3,002
800		45,494	33,275	28,455	7,486	7,950	3,154
820		46,786	34,093	29,239	7,563	8,197	3,308
840		48,074	34,908	30,024	7,783	8,446	3,466
860		49,353	35,718	30,807	8,003	8,697	3,626
880		50,622	36,524	31,590	8,226	8,950	3,790
900		51,877	37,326	32,371	8,449	9,205	3,957
920		53,119	38,124	33,151	8,674	9,461	4,127
940		54,347	38,918	33,930	8,900	9,720	4,299
960		55,561	39,708	34,707	9,128	9,980	4,475
980		56,763	40,494	35,482	9,357	10,242	4,653
1000		57,953	41,276	36,256	9,587	10,506	4,834
1020		59,134	42,053	37,027	9,819	10,771	5,018
1040		60,307	42,826	37,795	10,051	11,039	5,205
1060		61,473	43,595	38,562	10,285	11,307	5,394
1080		62,634	44,397	39,326	10,520	11,578	5,585
1100		63,792	45,119	40,087	10,757	11,850	5,780
1120		64,948	45,873	40,845	10,994	12,123	5,976
1140		66,102	46,623	41,600	11,232	12,397	6,175
1160		67,255	47,367	42,352	11,471	12,673	6,377
1180		68,406	48,105	43,101	11,710	12,950	6,580
1200		69,553	48,838	43,846	11,951	13,228	6,786
1220			49,565	44,588	12,191	13,507	6,995
1240			50,286	45,326	12,433	13,786	7,205
1260			51,000	46,060	12,554	14,066	7,417
1280			51,708	46,789	12,917	14,347	7,632
1300			52,410	47,513	13,159	14,629	7,848
1320			53,106		13,402	14,911	8,066
1340			53,795		13,644	15,193	8,286
1360			54,479		13,887	15,475	8,508
1380					14,130	15,758	8,731
1400					14,373	16,040	8,956
1420					14,615	16,323	9,182
1440					14,857	16,605	9,410
1460					14,978	16,887	9,639
1480					15,341	17,169	9,868
1520					15,822	17,732	10,331
1540					16,062	18,012	10,563
1560					16,301	18,292	10,796
1580					16,539	18,571	11,029
1600					16,777	18,849	11,263
1620					17,013	19,126	11,497
1640					17,249	19,402	11,731
1660					17,483	19,667	11,965
1680					17,717	19,951	12,199
1700					17,947	20,222	12,433

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

TERMOELEMENTY PŁASZCZOWE

Termoelementy płaszczone posiadają osłony wykonane w postaci rurek ze stali niklowo-chromowej wewnątrz których znajdują się druty termoelektryczne oraz materiał izolacyjny w postaci silnie sprasowanego tlenku magnezu (MgO).

Materiał płaszcz zapewnia osłonę mechaniczną i chemiczną spoiny pomiarowej oraz dużą odporność w wielu środowiskach agresywnych.

Na jednym końcu termoelektrody są zaspawane tworząc spoinę pomiarową. Osłona zewnętrzna-płaszcz jest szczelnie zamknięta poprzez zaspawanie. Drugi koniec termoelementu jest podłączony do przewodu kompensacyjnego, złącza wtyk-gniazdo lub kostki zaciskowej w głowicy czujnikowej.

Dzięki silnie sprasowanej warstwie izolacji i odpowiedniej strukturze metalurgicznej termoelektrod i płaszcz, termoelementy są giętkie i mogą być wyginane z promieniem (minimalnym) trzy razy większym od ich średnicy zewnętrznej.

Główne zalety termoelementów płaszczonego to: małe średnice zewnętrzne, trwałość i giętkość umożliwiające ich wyginanie i skręcanie, duża odporność na drgania i wibracje oraz mała bezwładność cieplna.

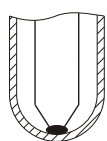
W tabeli poniżej wykaz najczęściej stosowanych materiałów z których wykonywane są płaszcze termoelementów.

Oznaczenie	Właściwości
INCONEL 600 (75%Ni, 16%Cr, 8%Fe)	<ul style="list-style-type: none"> • dobra ogólna odporność na korozję, • bardzo dobra odporność na utlenianie, • nie zalecany do atmosfery zawierającej CO₂ i siarkę, powyżej 550°C, • nie zalecany do atmosfery zawierającej sól, powyżej 750°C, • maksymalna temperatura pracy w powietrzu do 1150°C
PYROSIL (73%Ni, 22%Cr, 3%Mo, 1,4%Si)	<ul style="list-style-type: none"> • znakomita odporność na utlenianie, • maksymalna temperatura pracy w powietrzu do 1250°C, pozostałe parametry jak Inconel 600
PtRh10 (90%Pt, 10%Rh)	<ul style="list-style-type: none"> • bardzo dobra odporność na kolageny, kwasy octowe, roztwory Na-HCl, • wysoka odporność na utlenianie do 1300°C, • w atmosferze zawierającej siarkę i krzem odporny do 1200°C, • nie zalecany do atmosfery zawierającej fosfor, • maksymalna temperatura pracy do 1600°C.
TANTAL (Ta)	<ul style="list-style-type: none"> • bardzo wrażliwy na utlenianie powyżej 300°C • bardzo odporny na korozję, • odporność na działanie większości kwasów i zasad, • na zimno reaguje z fluorem i kwasem fluorowodorowym, • w wyższych temperaturach reaguje z chlorem, • bardzo wysoka odporność termiczna w próżni, środowisku neutralnym i redukującym, • maksymalna temperatura pracy do 2200°C
WOLFRAM (W)	<ul style="list-style-type: none"> • mało aktywny chemicznie, • duża wytrzymałość mechaniczna i twardość, • odporność na działanie kwasu siarkowego i solnego, • w wysokich temperaturach reaguje z tlenem, wodorem, azotem, węglem i parą wodną, • maksymalna temperatura pracy do 3300°C

WŁASNOŚCI DYNAMICZNE TERMEOLEMENTÓW PŁASZCZOWYCH

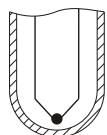
Czujniki termoelektryczne z termopary płaszczonej				
Średnica termoelementu	Stała czasowa [s]			
	woda 0,2m/s		powietrze 2,0m/s	
	T _{0,5}	T _{0,9}	T _{0,5}	T _{0,9}
spoina uziemiona (1a, 2a)				
0,25	0,01	0,06	0,9	2
0,5	0,03	0,10	1,8	6
1	0,06	0,18	3	10
1,5	0,13	0,40	8	25
3	0,22	0,75	23	80
4,5	0,45	1,60	33	110
6	0,55	2,60	55	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

SPOINY POMIAROWE TERMEOLEMENTÓW



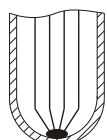
1a

Spoina pomiarowa pojedyncza (pojedynczy termoelement), połączona (uziemia) galwanicznie z osłoną czujnika (z płaszczem). Krótka stała czasowa. Spoina pomiarowa odizolowana od chemicznego i mechanicznego wpływu ośrodka. Stosowana w ośrodkach nie przewodzących.



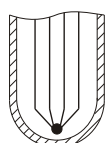
1b

Spoina pomiarowa pojedyncza, odizolowana galwanicznie od osłony czujnika (od płaszcza). Dłuższa stała czasowa. Stosowana w ośrodkach przewodzących lub gdy wymagane jest odizolowanie elektryczne układu pomiarowego.



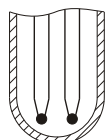
2a

Spoina pomiarowa podwójna (podwójny termoelement), połączona (uziemia) galwanicznie z osłoną czujnika (z płaszczem). Krótka stała czasowa. Spoina pomiarowa odizolowana od chemicznego i mechanicznego wpływu ośrodka. Stosowana w ośrodkach nie przewodzących. Może być stosowana w pomiarach wymagających zachowania ciągłości pomiaru temperatury procesu (uszkodzenie jednego obwodu pomiarowego nie przerywa pomiaru).



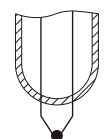
2ab

Spoina pomiarowa podwójna, odizolowana od osłony czujnika (od płaszcza) i zwarte pomiędzy sobą. Dłuższa stała czasowa. Stosowana w ośrodkach przewodzących lub gdy wymagane jest odizolowanie elektryczne układu pomiarowego.



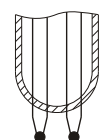
2b

Spoina pomiarowa podwójna, odizolowana od osłony czujnika (od płaszcza) i pomiędzy sobą. Dłuższa stała czasowa. Stosowana w ośrodkach przewodzących lub gdy wymagane jest odizolowanie elektryczne układu pomiarowego.



1c

Spoina pomiarowa pojedyncza nieosłonięta lub wyprowadzona poza osłonę czujnika, goła. Najkrótsza stała czasowa. Spoina pomiarowa narażona na urazy mechaniczne oraz nieodporna na wpływ atmosfery korozyjnej.



2c

Spoina pomiarowa podwójna nieosłonięta lub wyprowadzona poza osłonę czujnika, goła. Najkrótsza stała czasowa. Spoina narażona na urazy mechaniczne oraz nieodporna na wpływ atmosfery korozyjnej. Może być stosowana pomiarach wymagających zachowania ciągłości pomiaru temperatury procesu (uszkodzenie jednego obwodu pomiarowego nie przerywa pomiaru).