

Temperaturmätning

Temperaturmätning är den vanligaste mätningen i industrin. Temperatur mäts i de mest skiftande sammanhang. Några exempel: lödning, formning av plast, livsmedelsindustri, snabbbladdning av batterier, för att hitta överbelastade högspänningsdetaljer, olika former av processindustri o.s.v.

När man väljer mätmetod bör man fundera på syftet med mätningen.

- Inom vilket temperaturområde skall man mäta?
- Hur skall givaren vara utformad?
- Hur noggrant resultat behövs?
- Hur snabb skall mätningen vara?

Vilket är viktigast av följande punkter:

- Ett exakt siffrvärde.
- Skillnaden mellan flera mätpunkter.
- Skillnaden mellan återkommande mätningar på samma mätpunkt.

Här kommer några av de i industrin vanligaste temperaturmätmetoderna att beskrivas.

Resistansgivare

Givaren består av en inkapslad metalltråd vars resistans ökar när temperaturen ökar. Tråden kan bestå av platina, koppar eller nickel. Resistansen är ofta 100 ohm vid 0°C men även 10, 500 och 1000 ohm förekommer. **Pt 100** är den vanligaste av dem. Beteckningen står för platina, 100 ohm vid 0°C. Pt-givare kan tillverkas för mätning från -250 till +800°C.

Resistansändringen vid ändrad temperatur är relativt liten, runt 0,4 Ω/°C för Pt 100. För att inte få för stort mätfel måste man kompensera för resistansen i kabeln mellan givare och instrument. Med 4-trådskoppling kan mycket hög noggrannhet uppnås.

Resistansen i en Pt100-givare enligt EN 60751 (ITS 90) ska följa följande formler:

för -100°C < t < 0°C :

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

för 0°C < t < 850°C :

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

där

R_t är resistansen vid temperaturen t

R_0 är resistansen vid 0°C

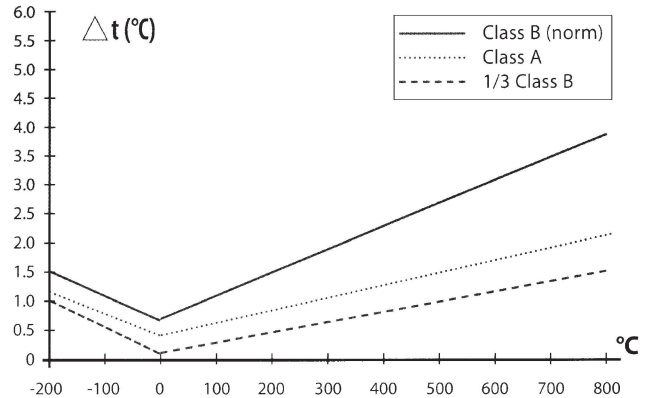
$A = 3,9083 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$

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

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

Några resistans- och temperaturvärden enligt denna formel finns i tabell "Utsignal från Pt100-givare och termoelement typ K".

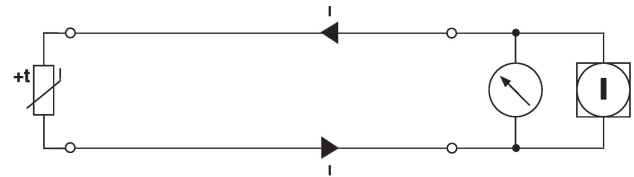
EN 60751 definierar tre klasser, A, B och 1/3 B, för hur mycket givaren får avvika från de normerade värdena. Se figur nedan.



Onoggrannhet hos Pt100-givare. Δt anger givarens tillåtna fel i °C för klass A, B och 1/3 B enligt EN 60751.

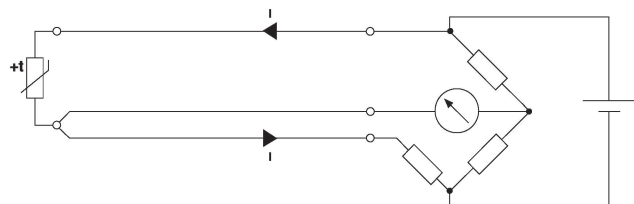
Inkoppling av resistansgivare

Ett exempel på **2-trådskoppling**. Resistansen i kabelns vardera ledare uppgår till 0,5 ohm. Totalt känner instrumentet givarens resistans plus 1 ohm. För Pt 100 motsvarar 1 ohm en temperaturändring på ca 3°C. Instrumentet kommer att visa ca 3°C för hög temperatur. 2-trådskoppling bör endast användas där givaren sitter nära instrumentet eller där hög noggrannhet ej krävs.



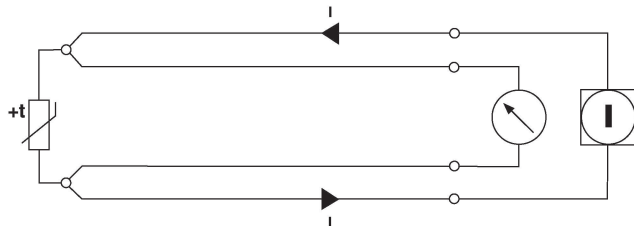
2-ledarkoppling. Mätströmmen leds i samma ledare som spänningen över motståndet mäts med. Spänningsfall i ledarna orsakar felvisning om ledarna är för långa.

3-trådskoppling. Lite förenklat kan man säga att den tredje tråden används för att mäta kabelns resistans för att instrumentet ska kunna kompensera för denna. De tre ledarna ska ha lika resistans. (2-ledare med en skärm som en tredje ledare rekommenderas inte). Om signalen ska ledas långa sträckor eller i störande miljö (nära starkströmskablar och stora elmaskiner) rekommenderas skärmad kabel. Pt 100 med 3-trådskoppling används ofta i industrin.



3-ledarkoppling. En Wheatstone-brygga kan på detta sätt kompensera för ledningsresistansen. Spänningen mäts högimpedivt.

Den mest noggranna varianten är **4-trådskoppling**. Den kan även kompensera för en eventuell skillnad i resistans mellan de fyra ledarna (jfr 3-trådskoppling). Det ger hög noggrannhet och används främst vid noggrann laboriemätning och kalibrering.



4-ledarkoppling. Mätströmmen leds i två ledare och spänningen mäts högimpedivt med de två andra ledarna. Hög mät noggrannhet kan uppnås.

Termoelement

Den här mätmetoden bygger på att olika metaller avger eller upptar olika mycket elektroner vid samma temperatur. Om man seriekopplar två olika metalliska ledare och mäter spänningen mellan dem, får man en spänning som varierar med temperaturen i den punkt där de två olika materialen möts. Denna spänning kallas termoelektrisk spänning. Spänningen är liten, ca $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (för typ K). Termoelement används i de flesta industriella temperaturmätningar.

Termoelement kan tillverkas av många olika metallkombinationer som har olika egenskaper, t.ex. för mätning av extremt höga temperaturer. För enkelhetens skull har man standardiserat några typer. En vanlig standard kallas **typ K**. För typ K finns många instrument och givare. De ger en noggrannhet som oftast är tillräckligt hög. (Typ K används ofta i industrin.)

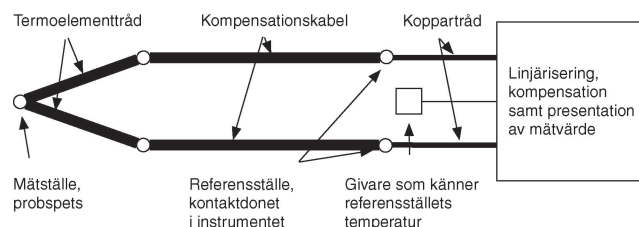
Utsignal från Pt100-givare och termoelement typ K.

Temperatur °C	Resistans Pt 100 Ω	Spänning Termoelement typ K μV
-50	80,31	-1889
-40	84,27	-1527
-30	88,22	-1156
-20	92,16	-778
-10	96,09	-392
0	100	0
10	103,90	397
20	107,79	798
30	111,67	1203
40	115,54	1612
50	119,40	2023
60	123,24	2436
70	127,08	2851
80	130,90	3267
90	134,71	3682
100	138,51	4096
110	142,29	4509
120	146,07	4920
130	149,83	5328
140	153,58	5735
150	157,33	6138

Inkoppling av termoelement

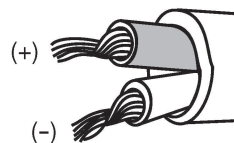
Eftersom principen bygger på att två olika metaller seriekopplats i givaren, måste kabeln mellan givare och instrument bestå av samma två metaller som givaren, eller metaller med samma termoelektriska egenskaper.

Denna typ av kabel kallas **kompensationskabel**. Även kontakt-don m.m. ska vara tillverkade av samma metaller. Annars kommer man att seriekoppla ett antal termoelement, ett i varje punkt där olika metaller möts. Man kommer då att mäta temperatur på flera punkter och få ett betydande mätfel. Man måste också observera polariteten på givare, kompensationskabel och kontakter.



Principskiss för inkoppling av termoelement.

Figuren nedan visar färgmärkning enligt DIN IEC 584 resp. DIN 43714 för kompensationsledning. Man bör tänka på att 200°C är max temperatur även om isolationsmaterialet tillåter högre värden. Detta beror på att de termoelektriska egenskaperna endast är garanterade upp till 200°C . Vid högre temperaturer måste termoelementtråd eller termotråd användas. En blandning av olika fabrikat kan innebära mätfel då aldrig exakt samma legeringar används av de olika tillverkarna. Vid skarvning av kompensationsledning bör ledarna vara i direkt kontakt med varandra. Tvinn ihop ledarna och kläm dem under samma skruv. Skydda sedan skarven mot oxidering.



DIN IEC 584

Vit minusledare,
plusledare
enligt nedan

T Brun	Cu - CuNi
E Lila	NiCr - CuNi
J Svart	Fe - CuNi
N Rosa	NiCrSi - NiSi
B Grå	Pt30Rh - Pt6Rh
K Grön	NiCr - NiAl
R Orange	Pt13Rh - Pt
S Orange	Pt10Rh - Pt

DIN 43714

Röd plusledare,
minusledare
enligt nedan

U Brun	Cu - CuNi
L Blå	Fe - CuNi
K Grön	NiCr - NiAl
S Vit	Pt13Rh - Pt
S Vit	Pt10rh - Pt

Färgmärkning för kompensationsledning enligt DIN IEC 584 resp. DIN 43714. Blanda ej typ J (Fe-CuNi) med typ L (Fe-CuNi). De har olika temperaturkoefficienter. Samma sak gäller för typ T (Cu-CuNi) och U (Cu-CuNi). Observera att angivna material avser termoelementen, medan kompensationsledningens kan variera.

Referensställe, eller **kallt lödställe**, kallas den punkt där kompensationskabeln övergår till vanlig koppartråd, oftast inuti instrumentet. Givaren eller proben kallas mätställe eller varmt lödställe.

Om referensstället och mätstället har samma temperatur, t.ex. $+20^\circ\text{C}$, är den elektriska spänning som instrumentet känner lika med noll. Men instrumentet skall inte visa noll om proben känner

temperaturen $+20^{\circ}\text{C}$. Därför måste man kompensera för den temperatur referensstället har, "kompensation för kalla lödstället". I varje instrument för termoelement sitter därför en temperaturgivare vid kontakten. Denna givares onoggrannhet kan ge upphov till mätfel om instrumentet är för varmt eller för kallt. Högsta mätnoggrannhet fås för de flesta instrument när instrumentet är i normal rumstemperatur.

Vissa standardtermoelement kan användas från -200°C och vissa mäter upp över $+1500^{\circ}\text{C}$.

Termistorer

Termistorer används som givare till en del instrument. Det finns två typer av termistorer: PTC (= positiv temperaturkoefficient, d.v.s. resistansen ökar när temperaturen ökar) samt NTC, negativ temperaturkoefficient.

Det är relativt lätt att konstruera den elektronik som krävs i instrumentet för att linjärisera signalen från givaren. Detta gör instrumentet billigt att tillverka.

Det har inte så hög noggrannhet, men den kan förbättras genom att man kalibrerar och trimmar instrumentet med en givare. Man kan också trimma instrumentet för att få en högre noggrannhet inom ett begränsat temperaturområde. Termistorer används vanligen inom området -50°C till $+150^{\circ}\text{C}$, maximalt några hundra grader. Exempel på användningsområden är "inne/ute"-termometrar samt febertermometrar.

Halvledargivare

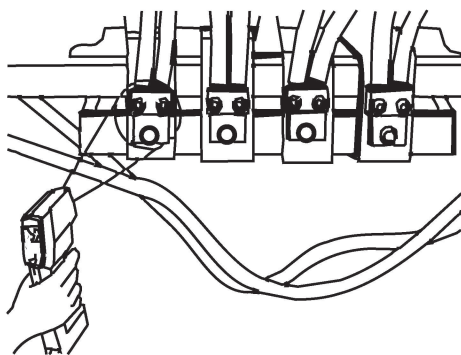
Halvledargivare finns i olika varianter, mer eller mindre intelligenta. En del har mV-utgång, andra har datoranpassad utgång i komponenten. De har lågt pris men litet temperaturområde, upp till ca $+150^{\circ}\text{C}$. Användaren får själv konstruera den kringelektronik som behövs.

Temperaturkänsliga indikatorer

Temperaturkänsliga indikatorer ser ut som en tejprens med ett eller flera fält med maxtemperatur angiven. När den angivna temperaturen överskrider ändras fältets färg. Förändringen kvarstår för att man senare ska kunna inspektera om objektet blivit utsatt för hög temperatur.

IR-mätning, pyrometrar

Alla föremål varmare än den absoluta nollpunkten (ca -273°C) avger värmestrålning i form av infrarött ljus, IR. Strålningen ökar med ökad temperatur. En pyrometer "ser" strålningen och representerar resultatet som temperatur.



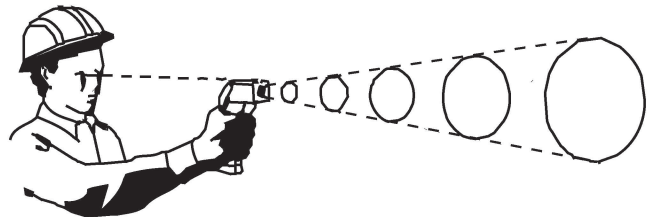
Kontaktlös temperaturmätning kan användas för felsökning i högspänningssystem under drift. Överhettade kontaktpunkter kan vara ett tecken på överbelastning eller dålig kontakt.

Vid mätning måste man ta hänsyn till vilket ytmaterial mätobjektet har. Olika ytmaterial har olika förmåga att avge strålning vid samma temperatur. **Emissionsfaktorn** ϵ beskriver denna egenskap. På många instrument kan man ställa denna faktor för att man ska kunna mäta rätt på olika ytor. Andra instrument har denna fast inställd på 0,9–1,0. Instrumentet visar då något för låg temperatur vid mätning på t.ex. blanka metallytor. Vissa ytor kan också fungera som spegel och reflektera värmestrålning från heta föremål i närheten. I dessa fall kan man måla ytan med mattsvart färg och/eller göra en kalibreringstabell.

Denna mätprincip har hög repeterbarhet, d.v.s. man får liten skillnad mellan mätresultaten varje gång man mäter likadant. Eftersom man mäter kontaktlöst kan man mäta på föremål som är omöjliga att mäta på med traditionella mätmetoder, t.ex. stora väggar, mycket heta föremål, roterande och andra rörliga föremål samt föremål som är högspänningssatta. Dessutom är mätningen mycket snabb eftersom det inte finns någon prob som har en massa som måste värmas upp av mätobjektet.

Observera dock att instrumentet kommer att visa ett medelvärde om givaren "ser" flera zoner med olika temperatur. Med zoner menas både tid och yta.

Pyrometri är den enda mätmetod som kan mäta temperatur över 2000°C .



Vid kontaktlös temperaturmätning blir mätytan större på längre avstånd.

Kalibrering

Kalibrering innebär att man kontrollerar instrumentets felvisning vid känd insignal. Felvisningen skrivs i en tabell och används om man behöver exakta mätresultat. Eventuellt kan instrumentet behöva justeras.

Man kan göra en enkel kalibrering själv. Proben eller givaren röres i en blandning av is och vatten. Resultatet ska ligga nära 0°C . Proben eller givaren sättes sedan i ånga från kokande vatten eller i det kokande vattnet utan att röra kokkärlens botten. Instrumentet ska då visa nära 100°C vid normalt lufttryck. Kalibrering med noggrannhet spårbar till internationella normaler kan utföras av landets ackrediterade mätplatser eller riksmätplatser.