

HET ELEKTRISCH OP AFSTAND METEN VAN TEMPERATUREN IN DE PRAKTIJK

Beschreven worden de in de praktijk voorkomende problemen bij het elektrisch meten van temperaturen. In het bijzonder wordt aandacht besteed aan de wijze van aansluiten van het meetinstrument aan de opnemer; de fouten die kunnen optreden en wenken om deze te voorkomen.

Het hieronderstaande artikel is eerder verschenen in het tijdschrift LABO van november 1977. De naam van de auteur is bij de redactie niet bekend.

Fundamentele punten

Het meten van temperaturen kan, afgezien van enkele bijzondere gevallen in de fysika, met behulp van de volgende methoden geschieden.-

- 1 Door bepaling van de volumeverandering van gassen of vloeistoffen (gasthermometer, alcohol- of kwikthermometer);
- 2 Door bepaling van de lengteverandering van vaste stoffen (bimetaalthermometer, dilatometrische instrumenten);
- 3 Door bepaling van de stralingsenergie, uitgaande van een warm lichaam (bijv. pyrometer, opto-elektronische stralingsontvanger, infrarooddetektoren);
- 4 Door bepaling van de veranderingen, die door moleculaire of andere effecten in vaste lichamen worden opgewekt bijv. door de bepaling van de verhouding $\Delta f/f$ van een kwartskristal dat wordt blootgesteld aan temperatuurveranderingen (Hewlett-Packard kwartsthermometer);
- 5 Door bepaling van de spanningen, die optreden in een thermo-elektrisch element;
- 6 Door bepaling van de weerstandsveranderingen, die onder invloed van temperatuurveranderingen plaatsvinden aan bepaalde metaallegeringen resp. non-ferro-metalen t.o.v. een vastgelegd referentiepunt van de temperatuur;
- 7 Door chemische effecten (omslaan van kleur, smelt- en kookpunten, enz.).

Voor de praktijk komen voor elektrische metingen van temperaturen slechts de methoden genoemd onder (2), (5) en (6) in aanmerking.

De probleemstelling bij temperatuurmetingen

Vóór de keuze van meetapparatuur en in ieder geval vóór het maken van de eigenlijke meetopstelling moeten nauwkeurig de volgende vragen worden bezien.-

1. Wat moet er worden gemeten? (plaats en schadelijke invloeden van buiten, die op de meetplaats inwerken, zoals bijv. een pijpleiding in een installatie, waarin naast agressieve dampen tevens sterke trillingen optreden);
2. Binnen welk temperatuurbereik moet worden gemeten?
3. Hoe snel moet er worden gemeten, d.w.z. hoe snel moeten temperatuurveranderingen worden gevolgd? De beantwoording van deze vraag is bijzonder belangrijk wanneer de gemeten temperatuurveranderingen gebruikt moeten worden voor stuur- en regelprocessen. Voor veiligheidsdoeleinden – het overschrijden van grenstemperaturen bij het 'uit de hand lopen' van een proces in een installatie en brandpreventie – kan er niet van worden afgezien om de ontdekking en melding van temperatuurveranderingen op de snelst mogelijke wijze te doen plaatsvinden.
4. Hoe nauwkeurig moet er worden gemeten? De praktijk toont aan, dat juist hier dikwijls absurde overdrijving wordt aangetroffen, waarop nog nader zal worden ingegaan;

5. Hoe kan het vereiste meetprobleem economisch worden opgelost? Hierbij moet er rekening worden gehouden, dat niet alleen de aanschaffings- en bouwkosten een rol spelen, maar ook de bedrijfskosten (elektrische energie) en de bedienings- resp. de onderhoudskosten. Wat kost bijv. het benodigde bedrijfsmateriaal (registreerpapier en -inkt, ijk- en beproevingsapparatuur)?
6. Hoe veilig moet er worden gemeten? Onder deze paragraaf vallen beschouwingen wat er kan gebeuren wanneer de temperatuurmeetinrichting uitvalt – waarbij onder 'inrichting' moet worden verstaan hetgeen er naar schrijver of aanwijzing of naar de stuur- of regeleenheid aan informatie werd doorgegeven; bij mijn weten bestaan er geen gegevens die betrekking hebben op de schadefrequentie van individuele bouwelementen in de meetkring. In de praktijk treedt, naar het schijnt, uitvallen gelijkmatig op over de gehele meetkring – waarbij het uitvallen van schrijvers naar verhouding veelvuldig optreedt.

Tevens vallen onder deze titel de overwegingen hoe en óf door een meer wijldopige opzet meer zekerheid kan worden verkregen – moet men in een actieve of passieve reserve voorzien? Er bestaat geen universeel recept. De ervaren praktijkman zal de op zichzelf staande punten tegen elkaar afwegen en proberen om de beste oplossing te vinden, die geschikt is om een temperatuurmeting binnen de gegeven grenzen te kunnen uitvoeren.

Thermokoppel of weerstand?

Deze vraag kan zelfs al tot ontstellende discussies voeren, wanneer we willen uitsluiten, dat om een of andere reden, die besloten ligt in de soorten van meetvoelers, reeds van tevoren de beslissing vóór of tégen thermo-element of weerstand valt: Bij voorbeeld de hoogst toelaatbare temperatuur voor Pt-100-weerstanden volgens DIN, schadelijke omgevingsinvloeden voor thermo-elementen, de onmogelijkheid om in een voertuig of vliegtuig een ijkpunt, dat ieder thermo-element van node heeft, op te bouwen of te bewaken en andere zaken meer. Fundamenteel kan worden verklaard, dat elk van de beide meetmethoden resp. -technieken heel typische eigenschappen hebben, die zonder meer in de praktijk niet te vergelijken zijn. Daarenboven wordt in het kader van deze beschouwing voorop gesteld, dat de lezer weet, hoe de meting bij beide systemen in principe plaats vindt.

Thermo-elementen hebben het voordeel, dat het meetcircuit eenvoudig is opgebouwd, geen referentiespanningen nodig heeft en eenvoudige meetinstrumenten (normale draaispoel spanningsmeters) vraagt. Nadelen zijn twee typische eigenschappen. Ten eerste de noodzaak om gebaseerd op het Seebeckeffect de referentiemeetplaats op een konstante lage temperatuur te houden. Zonder gebruik van extra elektrische energie gelukt dit slechts door de toepassing van ijs, dat aan bepaalde eisen dient te voldoen, indien men zeer nauwkeurig wenst te meten. Ten tweede zijn thermo-elementen op de meetplaats niet ongevoelig voor mechanische en chemische aantasting.

In de praktijk wordt het verpulveren en bros worden bijzonder gevreesd. Boven ongeveer 400 °C beginnen niet-edele thermoparen aan de lucht sterk te verpulveren. Zwavel veroorzaakt bij bepaalde gebruikelijke thermo-elementen het bros worden. Een zekere bescherming kan men bereiken door het inbouwen in een beschermingsbuis; desondanks kunnen bij een doorlopende inwerking van mechanische trillingen breuken optreden, wanneer bij edele thermoparen door vergroting van de kristallichamen de eigen sterkte wordt verminderd.

Tevens moet onder ogen worden gezien dat thermo-elementen in beschermbuizen een zekere traagheid vertonen door de warmteweerstand van deze buizen. Te vaak worden aan de aanwijzingen omtrent deze eigenschappen, die de fabrikant bij zijn produkten geeft, onvoldoende aandacht geschonken.

In principe behoren steeds twee thermo-elementen bij een meetcircuit. Een thermo-element kan niet met een willekeurig ander element worden verbonden. Steeds moeten gepaarde elementen worden gebruikt, die bovendien moeten overeenstemmen met het schaalverloop van het instrument (dus de ijking), omdat verschillende thermo-elementlegeringen ook verschillende thermospanningen opwekken.

Vaak bestaat er ook twijfel bij de gebruiker omtrent de leidingen tussen de aansluitingen van de thermo-elementen (meet- en referentie-elementen). Er treden geen foutieve meetresultaten op wanneer enkele grondregels worden gevolgd. Zo kunnen steeds willekeurige draadmaterialen worden gebruikt (beide leidingen bijv. uit koper, maar niet koper/aluminium). Er kunnen willekeurig veel schakelingen worden gemaakt wanneer er streng op wordt toegezien, dat alle verbindingplaatsen buiten de thermoparen een gelijke temperatuur hebben – en dat is juist nu in de praktijk niet te bereiken als het gaat om de verbinding van buitenliggende meetpunten met een centrale meetpost, bijv. in een olieraffinaderij.

Vindt de meting echter plaats in een besloten ruimte of in een gebouw, waarin gelijke temperaturen heersen dan kan men het optreden van bijkomende thermospanningen aan de verbindingplaatsen verwaarlozen.

Thermo-elementen hebben geen lange levensduur wanneer ze worden blootgesteld aan de hierboven beschreven aantastingen. Zelfs bij een gunstig gebruik moeten thermo-elementen om de paar jaar beproefd worden en worden nagemeten. Voor precisithermoparen, die op bijzondere wijze worden geijkt, geldt het ijkcertificaat slechts twee jaar.

Weerstandselementen worden meestal vervaardigd uit platina-draad (DIN 43 760) en in hoofdzaak opgewikkeld in glas ingesmolten. Zeer kleine afmetingen zijn mogelijk. Zij hebben volgens de norm bepaalde grondwaarden voor bepaalde temperaturen, bijv. bij -220 °C 10,41 Ohm, bij -100 °C 60,20 Ohm, bij ± 0 °C 100,00 Ohm en + 850 °C 390,38 Ohm.

De verandering van de weerstand van de draad vindt in het gehele bruikbare bereik niet absoluut lineair plaats, er treden kleine afwijkingen op, die echter, wanneer er geen sprake is van metingen onder klasse 1, kunnen worden verwaarloosd (klasse 1: fout < 1% van de eind-schaalwaarde).

De aansluiting van Pt-weerstandselementen is niet kritisch omdat in het meetcircuit slechts de verandering van de weerstand wordt gemeten. Thermospanningen hebben voor praktijkmetingen geen merkbare invloed op het meetresultaat. Men moet er zich in ieder geval rekenschap van geven, dat niet alleen de weerstand van het meetelement, maar ook die van de verbindingsledingen van invloed is op het meetresultaat.

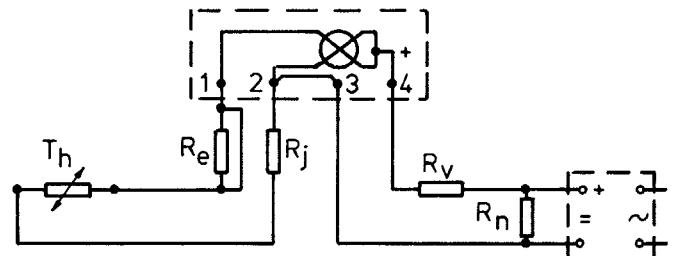
Bevindt zich tussen de meetplaats en het meetinstrument een leiding uit koper met een weerstand van slechts 1 Ohm, dan verandert het meetresultaat met een extra 3 °C (100 °C = 103 °C).

Om leidingweerstand te elimineren zijn de meeste aanwijsinstrumenten, die zijn uitgerust met een quotientenmeetwerk, voorzien van een voorschakelweerstand, die zó wordt ingesteld, dat de feitelijke leidingweerstand plus voorschakelweerstand juist 10 Ohm bedraagt.

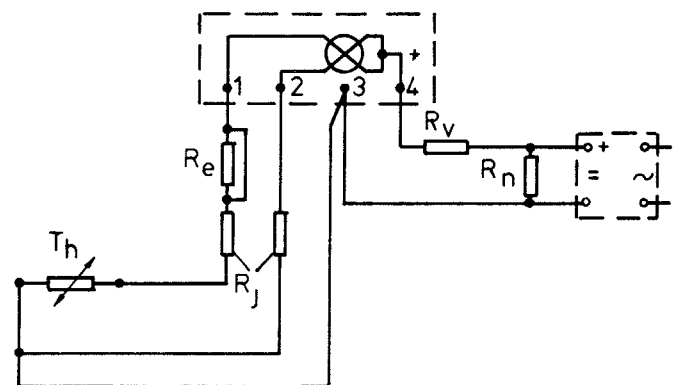
Ondanks dat treden er nog meetfouten op, wanneer de leidingweerstand tussen meetelement en meetinstrument verandert door een verandering van de omgevingstemperatuur. Dit is in het bijzonder het geval bij leidingen waarvan de omgevingstemperatuur zich naar het seizoen wijzigt.

Om deze veranderingen buiten te sluiten worden in deze gevallen drie- en vierleiderschakelingen toegepast, zoals hierna zal worden getoond.

Vooreerst de bedrijfsschakeling voor een tweeleidersysteem.



Een drieleidersysteem ziet er als volgt uit



Het is gemakkelijk in te zien, dat hier de negatieve spanning van de stroombron (die overigens zonder meer ook een batterij kan zijn) over het meetwerk direkt aan één 'been' van het Pt-weerstandselement wordt toegevoerd. Veranderingen van de leidingweerstand door uitwendige temperatuurveranderingen worden door de parallelschakeling naar aansluiting 1 en 2 van het meetwerk tegenover aansluiting 4 symmetrisch opgedeeld en komen daardoor door de brugschakeling niet in het meetresultaat tot uiting, daar de enige veranderingen, die de brugspanning bepalen, teweeggebracht worden door het meetelement (Th).

Vierleiderschakelingen worden op analoge wijze opgebouwd. In de praktijk worden ook nog lusschakelingen gebruikt waarbij de weerstandsverandering in een parallel gelege referentieleider wordt bepaald en in rekening gebracht wordt.

In de laatste tijd zijn elektronische meetapparaten op de markt gekomen die met een vierleiderschakeling zonder vervalsing van het meetresultaat leidingweerstand tot 500 Ohm toelaten en door een zeer kleine meetstroom de eigenverwarming van de Pt-100 meetvoeler zeer gering houdt. Uitgerust met digitaal-aanwijzing hebben zij een hoge meetnauwkeurigheid en kunnen volgens DIN 43 760 goedgekeurde Pt-100 of andere meetvoelers naar believen uitwisselbaar als meetelement gebruiken.

De niet-lineaire samenhang tussen de temperatuur en weerstandsverandering, die karakteristiek is voor de meetvoelers wordt bij een apparaat bij de analoog/digitaalomzetting door middel van een geoptrooieerde lineariseringsschakeling geëlimineerd. (Normatemp digitaal).

Evaluatie van de temperatuurmetingen

Dit punt zal hier niet uitvoerig worden behandeld omdat de meetproblemen te veelvuldig zijn: of er analoog, digitaal of registrerend wordt gemeten, of dat de meeschakeling wordt gebruikt voor sturen of regelen, is een kwestie van feitelijke toepassing. Wie zich nauwkeuriger op de hoogte wil stellen en zich allereerst in de theorie wil gaan verdiepen wordt verwezen naar de literatuur die hierover bestaat.

Wenken voor het meten en de opzet van meetsystemen

In de praktijk is een reeks van storingen opgetreden ten gevolge van draadbreek, die naar de ervaring leert, steeds dan optreden wanneer die het onaangenaamste zijn (zoals de bekende wet leert: wat gebeuren kan, zal gebeuren!).

Op grond daarvan is het aanbevelenswaardig in principe geleidingen in litze-uitvoering toe te passen, in het bijzonder dan wanneer de leidingen zijn blootgesteld aan trillingen of schokken.

De leidingen mogen nooit op trek belast worden. Deze grondregel geldt ook voor vierdraads- en drieraadsschakelingen bij Pt-100-systemen. Voor thermo-elementen geldt principieel, dat zij met voldoende 'loos' moeten worden aangelegd. Ook moet erop worden gelet, dat de aansluitklemmen overal steeds uit hetzelfde materiaal bestaan, dus niet: messingklemmen, verzinkte sluitplaatjes, stalen veren en koperen schroeven (en dan aluminiumdraad). Er bestaan genormeerde aansluitklemmen uit het zelfde materiaal – men moet er slechts maar aan denken.

In bepaalde gevallen kan het noodzakelijk worden de aansluitdozen van de genormeerde voelers in te gieten. Wanneer in plaats van hete paraffine silikonerubbers wordt gebruikt moet er nauwkeurig op worden gelet, dat die vrij zijn van azijnzuur, willen er geen onverwachte temperaturen door de thermo-elementen worden gemeten.

Bij de opbouw van een temperatuurmeetcircuit moet het probleem van de energieverzorging zeer nauwkeurig worden nagegaan. Wordt een thermo-elementketen gebruikt zonder meetversterker dan is er voor de meting zelf geen energie nodig (op de referentieplaats 0 °C na wanneer deze temperatuur elektronisch in de meting wordt geïntroduceerd). In een ander geval moet een gelijkspanning worden gebruikt, die bijzonder 'zuiver' moet zijn, dus zonder wisselstroomcomponenten uit de gelijkrichter (vaak in onsymmetrische vorm), ter vermijding van polarisatie-effecten.

Bij Pt-100-meetketens behoeven dergelijke hoge eisen niet te worden gesteld, als de aangesloten regelapparatuur niet bijzonder gevoelig is. In het bijzonder wordt hierbij verwezen naar de desbetreffende toepasselijke voorschriften voor installaties (veiligheidsstroomkringen, Zenerschakelingen).

Dat men bij het eerste afregelen van Pt-100-systemen zeer zorgvuldig tewerk dient te gaan, zal een ieder duidelijk zijn. In de regel zal het servicepersoneel van de fabrikant van de meetapparatuur de eerste niveauregeling uitvoeren. Later moet echter het eigen vakpersoneel in staat zijn periodiek (op zijn laatste eenmaal per jaar) het traject 'voeler-leiding-aansluitklem van het meetapparaat' zelf uit te meten.

De verkregen meetwaarde moet binnen 1% afwijking van de waarde van de eerste meting liggen, anders dient de oorzaak uiterst nauwkeurig te worden vastgesteld. Hier vertonen zich de eerste symptomen van toekomstige storingen door corrosie-effecten aan aansluitplaatsen en -punten. In dat geval moet met behulp van een Pt-100-simulator het meetapparaat zelf worden beproefd; dergelijke simulatoren zijn in de handel en kunnen een Pt-100-meetweerstand met inbegrip van de leidingweerstand simuleren. Meting van het meettraject en van het meetapparaat geeft eerst zekerheid, dat de temperatuurmeting in haar geheel juist is.

Bijzondere zorgvuldigheid dient te worden betracht bij het beproeven van thermo-elementen. In de regel is het onvermijdelijk het thermo-element te demonteren en over het meet-

temperatuurtraject met behulp van een oven te beproeven. Maar ook hier moeten bijzondere voorzorgsmaatregelen in acht worden genomen om daadwerkelijk de temperatuur op de gezamenlijke voelers te laten inwerken en niet alleen de zone waarin zich het thermo-element bevindt. De desbetreffende aanwijzingen van de fabrikant moet worden bezien en nogmaals de waarschuwing, steeds bij elkaar behorende paren te gebruiken en die niet kruisgewijze met andere uit te wisselen!

Het is zonder meer mogelijk om meerdere meetpunten aan een meetapparaat aan te sluiten. Hierbij leiden 'eigenbouwsels', zoals door synchroonmotoren aangedreven omschakelinrichtingen met mikroschakelaars steeds tot storingen, hoe goed zij ook op het moment van inbedrijfname mochten functioneren. Zeer in het bijzonder geldt dit voor omschakelapparaten voor thermo-elementen. Wie wel eens industrieel vervaardigde omschakelaars na jarenlang storingsvrij bedrijf heeft onderzocht, weet waarom deze dingen zo zwaar en robuust zijn opgezet (en dienovereenkomstig duur zijn). Zelfs experts op meetgebied hebben het gepresteerd slechts de meetleidingen bij een viergeleiderschakeling om te schakelen, en de spanningsleidingen doorgeschakeld te laten.

Wie geheel zeker van zijn zaak wil zijn beproeft, zover dit mogelijk is, Pt-100-thermometers eerst eens in een ijsbad tegen een geijkte Hg-thermometer met groot oplossend vermogen en het is duidelijk, dat ook deze Hg-thermometer elke twee jaar nageijkt moet worden of vervangen wordt. Kokend water is als 100 °C-normaal volslagen ongeschikt, ook wanneer men gedestilleerd water aan de kook brengt. Zelfs bij nauwkeurige meting van de luchtdruk en daarmee het te verwachten waterkookpunt is de temperatuurverdeling in de damp niet homogeen.

In tegenstelling tot Pt-100-meetvoelers, waarvan men in het algemeen kan zeggen, dat zij met toenemende ouderdom duurzamer worden, verouderen thermo-elementen verhoudingsgewijze snel. Wie hieromtrent nauwkeuriger gegevens wenst wende zich tot de fabrikant!

Beoefen (en dat is geen grap, maar wordt uit eigen ervaring aanbevolen) het lezen van gebruiksaanwijzingen. En dat niet eenmaal, maar eenmaal per jaar en voor de beproefing van de meetinstallatie. Dit geldt algemeen. Het helpt niet alleen om een installatie storingsvrij in bedrijf te houden, maar ook om storingen in een beginstadium te onderkennen en de oorzaak gemakkelijker vast te stellen. Iets wat praktijkmannen reeds lang in het bloed zit, wordt ter afsluiting nog vermeld:

- Gebruik alleen originele reservedelen en verwisselstukken. Dit begint bij de registreerinkt en eindigt bij het papier. Meetvoelers steeds van dezelfde fabrikant gebruiken en nooit combineren met andere. Leg voor elke voeler een aparte beproevings- en levensloopkaart aan en breng op de verpakking van bijbehorende voeler nogmaals het betreffende kenteken aan.
- Temperatuurmeetapparaten zijn gevoelige meetapparaten, die volgens eigen wetten functioneren en daarvoor werden gebouwd. Repareer nooit zelf om vermeend geld uit te sparen – het zou juist bij regel- en stuurinstallaties plotseling veel meer kosten kunnen meebrengen als er storingen optreden die uitval van produktie tot gevolg zou kunnen hebben.
- Laat slechts personeel het installatie- en onderhoudswerk aan meetleidingen verrichten dat special daarvoor werd opgeleid en dat weet wat het doet en welke gevolgen zijn doen en laten kan hebben. Huis-tuin-of-keuken hulpelektriciens hebben met temperatuurmeetinstallaties niets van doen. De praktijkman verwisselt ook het registreerpapier zelf . . .
- Temperatuurmetingen zijn in principe eenvoudig wanneer men de techniek beheerst. Hiervoor is enige inspanning noodzakelijk! Zonder inspanning zal het beste voornemen slechts voornemen blijven . . .