

Yleistä vastusantureista

Vastuselementeillä tapahtuva lämpötilamittaus perustuu siihen vastusmetallin ominaisuuteen, että sille ominainen vastusarvo muuttuu eri lämpötiloja vastaavasti. Platina on tavallisimmin käytetty metalli mittausalueilla $-200^{\circ}\text{C} \dots +850^{\circ}\text{C}$, mutta tietyissä tapauksissa sitä käytetään jopa $+1000^{\circ}\text{C}$:een saakka. Platinasta valmistettava vastuselementti tehdään siten, että 0°C :ssa sen vastusarvo on 100 ohm, mistä johtuu nimitys Pt100. Saatavana on myös muita vaihtoehtoja kuten platinavastukset Pt250, Pt500 ja Pt1000. Muita tavallisesti käytettyjä metalleja ovat nikkeli ja kupari. Platinainen vastuselementti valmistetaan kiertämällä lanka keraamisen rungon ympärille tai yhä useammin höyryttämällä platina ohueksi kalvoksi esimerkiksi keramiikan pintaan. Euroopassa käytettävät platinaiset vastuselementit ovat normin IEC 60751 mukaisia joka määrittelee niiden sekä vastus-/lämpötilasuhteen, että toleranssirajat. Koska tavanomainen luokan B mukainen toleranssitaso ei useinkaan ole riittävä teollisuuden mittauksissa käytetään tiukemmat toleranssivaatimukset täyttäviä luokkaa A, 1/3 DIN tai 1/10 DIN tai INORin Premium luokkaa. Vastuselementin toleranssi on kuitenkin vaikea saavuttaa vastuselementin koko mittausalueella $-200^{\circ}\text{C} \dots +1000^{\circ}\text{C}$, minkä vuoksi se ilmoitetaan tietyille lämpötilapisteelle tai mittausalueelle. Katso taulukkoa sivulta 128. Nikkelistä valmistetaan vastuselementtejä, joiden vastusarvo 0°C :ssa on 100 ohm. Niiden nimitys on Ni100 ja ne ovat normin DIN 43760 mukaisia.

Vastus-/lämpötilasuhte Pt100 ja Ni100 –vastuselementeillä

Voimassa olevan lämpötila-asteikon ITS-90 mukainen Pt100:n vastus-/lämpötilakäyrä perustuu alla oleviin yhtälöihin A ja B, ks. taulukko sivulta 128 lähtien.

Pt100 alueella - 200°C ... 0°C :

Yhtälö A:

$$R_t = 100 \cdot [1 + 3,9083 \cdot 10^{-3}t - 5,775 \cdot 10^{-7}t^2 - 4,183 \cdot 10^{-12}(t - 100)t^3]$$

Pt100 alueella 0°C... +850°C:

Yhtälö B :

$$R_t = 100 \cdot (1 + 3,9083 \cdot 10^{-3}t - 5,775 \cdot 10^{-7}t^2)$$

Saadaan kolme toleranssiluokkaa IEC 60751 mukaan

Luokka AA: $\pm(0,1^{\circ}\text{C} + 0,017|t|)$ $-50^{\circ}\text{C} \dots +250^{\circ}\text{C}$

Luokka A: $\pm(0,15^{\circ}\text{C} + 0,002|t|)$ $-100^{\circ}\text{C} \dots +450^{\circ}\text{C}$

Luokka B: $\pm(0,3^{\circ}\text{C} + 0,005|t|)$ $-196^{\circ}\text{C} \dots +600^{\circ}\text{C}$

jossa $|t|$ = kyseisen lämpötilan absoluuttinen arvo.

Ni100:n vastus-/lämpötilakäyrä on alla olevan yhtälön C mukainen, ks. taulukko sivulla 128:

Ni100 alueella -60°C +250°C:

Yhtälö C :

$$R_t = 100 + 0,5485 t + 0,665 \cdot 10^{-3} t^2 + 2,805 \cdot 10^{-9} t^4 - 2 \cdot 10^{-15} t^6$$

Saadaan kaksi toleranssiluokkaa

Alueella $0^{\circ}\text{C} +250^{\circ}\text{C}$: $\pm(0,4^{\circ}\text{C} + 0,007|t|)$

Alueella $-60^{\circ}\text{C} 0^{\circ}\text{C}$: $\pm(0,4^{\circ}\text{C} + 0,028|t|)$

jossa $|t|$ = kyseisen lämpötilan absoluuttinen arvo

Mittausepätaarkkuus ja mittauspoikkeamat

Kaikissa lämpötilamittauksissa syntyy väistämättä mittausvirheitä. Niiden minimoiseksi on tärkeä tuntea tekijät, jotka vaikuttavat vastusantureilla tehtäviin mittauksiin. Niitä ovat:

1. Viive*
2. Upotussyvyys
3. Ohjeiden mukaisesta asennuksesta poikkeaminen
4. Itselämpeneminen
5. Tärinä ja muut mekaaniset rasitukset *
6. Ympäristölämpötila/ Lämmön johtuminen *
7. Mittauselementissä perusarvojen suhteen ilmenevät erot
8. Kemialliset reaktiot *
9. Ionisoiva säteily
10. Anturin sisäinen eristysvastus
11. Indusoidut (aiheutuneet) lämpöjännitykset
12. Sähköiset ja magneettiset häiriökentät
13. Lämpörasitus *

* Ks. tarkempi kuvaus seuraavilla sivuilla

Kuten nähdään tekijöitä jotka saattavat vääristää oikean lämpötila-arvon on runsaasti. Siksi on tärkeää ennen jokaista yksittäistä mittausta tutkia tarkkaan vallitsevat olosuhteet.

KROHNE INORin asiantuntijoilla on pitkä kokemus. He ovat valmiit antamaan käytännön neuvontaa niin yksinkertaisissa kuin monimutkaisissakin mittauksissa.

Mekaanisen rasituksen virhevaikutus

Paine, tärinä ja taipuminen ovat tavallisimmat mekaaniset rasitukset, jotka kohdistuvat lämpötila-anturiin. Paineelle tai taipumiselle altistuvien mittausvastusten vastusarvo muuttuu enemmän tai vähemmän

rakenteesta riippuen. Muutos on sitä suurempi, mitä lujempi vastusmetallin ja rungon välinen liitos on. Siksi lämpötila-anturi täytyy valmistaa siten, etteivät rasitukset siirry mittausvastukseen.

Voimakas värinä johtaakin usein sisäisten mittausjoh-
tojen katkeamiseen, mikä tekee laitteesta toiminta-
kelvottoman. Siksi värinänkestävien vastusantureiden
sisäisten mittausjoh-
tojen tulee voida liikkua mah-
dollisimman vähän. Paine- ja taipumisrasituksille
altistuvien lämpötila-anturien tulee sitä vastoin antaa
mahdollisimman hyvä liikkuvuus, jotta estetään rasi-
tuksen siirtyminen.

Kemiallisista reaktioista johtuvat virheet

Anturin suojaputken korrosionkestävyydellä on tärkeä
merkitys kemiallisen vaikutuksen yhteydessä. Siksi
on ratkaisevan tärkeää, että suojaputki valmistetaan
materiaalista, joka soveltuu toisaalta prosessisäiliöön
ja toisaalta prosessiväliaineelle ja myös korkeimmal-
le esiintyvälle väliainelämpötilalle. Anturivalmistajan
tulee huolehtia siitä, että mittausauva suljetaan niin,
ettei kosteus pääse tunkeutumaan sen sisään.
Korkeassa lämpötilassa voi suuri hapenpuute
vastuksessa lisäksi saada aikaan vastuksen rungossa
reaktion, minkä metallit diffusoituvat
mittauslankoihin. Tämän seurauksena sähköiset
ominaisuudet muuttuvat.

Lämpörasituksen vaikutus

Pt100 ei varsinaisesti ole altis hapettumaan. Si-
tävastoin sähköiset arvot saattavat ajelehtia mm.
riippuen mittausvastuksen rakenteesta sekä siitä,
miten lähellä lämpötilaraja on. Muutokset aiheutuvat
useimmiten metallin ja ympärillä olevien eristysma-
teriaalien epäpuhtauksista. Sen lisäksi lämpörasitus
voi pienentää eristysvastusta, mikä voi vaikuttaa
mittaustulokseen huomattavasti.

Termiset viiveet

Viive on aika, jonka anturi tarvitsee muuttuneen
ulostuloviestin antamiseen, sen jälkeen kun lämpö-
tilamuutos on kohdistunut siihen. Tässä kirjassa
ilmoitetaan viiveet T0,5 ja T0,9 – toisin sanoen aika,
joka kuluu, kunnes anturi näyttää 50% tai 90% muu-
toksen lopullisesta arvosta. Lämpötila-anturiin sisäl-
tyvillä osilla on eri vasteaikoja. Ne riippuvat

eristysmateriaaleista, ilmaväleistä, käytetyistä
eristysmateriaaleista jne. Koska vasteaikojen laske-
miseen on hyvin vaikea laatia matemaattisia kaavoja
(vaikka teorioita onkin lukuisia), on parasta suorittaa
käytännön mittauksia. Tavallisesti mittaukset tehdään
ilmasta ja vedestä. Tässä kirjassa viive on ilmoitettu
useimmille antureille ja siksi niitä on helppo vertailla
keskenään. Mitattaessa viivettä ilmasta tulee alku-
lämpötilan olla 15 ..30 °C.

Lämpötilamuutos saa olla enintään 20 °C. Lisäksi
anturin upotussyvyyden tulee olla vähintään lämpö-
herkän vastuselementin pituus + 15 x anturin halkai-
sija. Samalla tulee huolehtia siitä, että ilma pääsee
vapaasti kiertämään anturin ympärillä. Normien
mukaan ilman virtausnopeuden tulee olla 1 m/s.
Mitattaessa viivettä vedestä tulee alkulämpötilan olla
15... 25°C. Lämpötilamuutos saa olla enintään 10 °C.
Anturin upotussyvyyden tulla olla n vähintään lämpö-
herkän vastuselementin pituus + 5 x anturin halkai-
sija. Normien mukaan veden virtausnopeuden tulee
tällöin olla 0,4 m/s. Viivemittausten oikeaoppinen
suorittaminen vaatii erityismittauslaitteiston, jonka
avulla pystytään varmistamaan lämpötilastabiilisuus
ja väliaineen virtausnopeus. Inor Process AB:llä on
tällainen laitteisto ja siellä näitä mittauksia suoriteta-
aan myös toimeksiannosta.

Lämmön johtumisesta aiheutuvat virheet

Lämpötilamittaus kosketusanturilla edellyttää, että
anturi saa suoran kosketuksen väliaineeseen. Anturi
joko upotetaan väliaineeseen, joka tällöin ympäröi
lämpöherkän osan kokonaan, tai se asetetaan vä-
liaineen pintaa vasten. Kummassakin tapauksessa
vallitseva lämpövirtaus häiriintyy anturin siirtäessä
energiaa väliaineesta ympäristöön. Erityisesti pin-
talämpötilamittauksessa lämmön johtumisesta ai-
heutuva virhe on huomattava. Pinnan lämpösäteily ja
siten myös lämpötilaprofiili muuttuu mittauspiste-
en ympärillä.

Mittaustarkkuus paranee huomattavasti, jos:

- anturin massa ja tilavuus on pieni
- anturilla on hyvä lämpökosketus
- anturin lämmönjohtokyky ympäristöön on pieni

Mittamuuntimet

Mittamuuntimia käytetään vastusanturin vastusarvon muuttamiseen prosessiin yhteensopivaksi mittausviestiksi. Anturi voidaan kytkeä muuntimeen kolmella eri tavalla, 2-,3- ja 4-johdinkytkennällä. Kaikilla kytkentätavoilla muunnin lähettää tietyn suuruisen vakiovirran vastuksen läpi, jonka yli tapahtunut jännitteen lasku sitten mitataan. Itselämpenemisen minimoimiseksi on tärkeää pitää mittausvirta pienenä. Hyvä muunnin pystyy antamaan niinkin alhaisen mittausvirran kuin 1mA. Muuntimet valmistetaan 2- tai 4-johtimisina (mitä ei pidä sekoittaa anturien 2- ja 4-johdinkytkentöihin). 4-johdinmuuntimille syötetään virtaa kahdella erillisellä johtimella (mistä johtuu käsite erillinen virransyöttö), jotka on erotettu ulostulon kahdesta johtimesta. 2-johdinmallissa virta tulee muuntimelle ulostulon kahden johtimen kautta, jotka näin suorittavat molemmat toiminnot. Siitä seuraa automaattisesti, ettei 2-johdinmuuntimen viesti voi omakulutuksen vuoksi laskea 0:aan, vaan sen alin arvo on 4 mA. Vakioalue (prosessinormi) on näin ollen 4-20 mA. Sitä vastoin 4-johdinmuuntimen lähtöviesteille voidaan ohjelmoida mitä tahansa prosessisignaalien arvoja.

Anturikatkos

Suuret rasitukset, joille lämpötila-anturit altistuvat, aiheuttavat usein myös vaaran, että anturin sisällä syntyy sähköinen katkos. Katkos voi tapahtua mittausjohdoissa taikka myös mittausvastus voi vahingoittua. Kaikista näistä vioista käytetään nimitystä anturikatkos. Anturikatkoksen tavallisin syy on tärinä kriittisessä taajuudessa tai sen ympärillä. Nykyaikainen muunnin antaa anturikatkoksesta hälytyksen. Se tapahtuu siten, että ulostuloviesti siirtyy tiettyyn, ennalta määritellyn arvoon, joka on tavallisesti hiukan yli 20 mA. Johdonmukaisella anturikatkosuojalla tarkoitetaan sitä, että muunnin antaa hälytyksen, ts. ulostuloviesti siirtyä ennalta määritellyn arvoon, riippumatta siitä missä johtimessa katkos on tapahtunut (tärkeä tietää 3-tai 4-johdinkytkennässä). Inorin muuntimien käyttäjä määrittelee itse ulostuloviestin arvon anturikatkoksen yhteydessä.

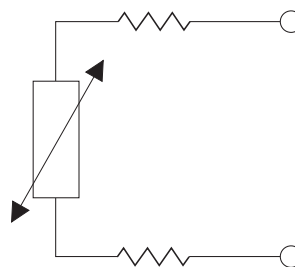
HUOM! Kun anturin eristysvastus laskee tietyn tason alle voi sattua, että muunnin tulkitsee alhaisen eristysvastuksen mittausarvoksi, eikä vastusarvoksi, johon mittausvastus asettuu. Tästä on seurauksena, että mittamuunnin erehtyy luulemaan, että mittausketju on kunnossa, silloinkin kun katkos on tapahtunut. Suurimmassa osassa Inorin lähettämiä tämä ongelma on ratkaistu SmartSence-toiminnolla, joka valvoo jatkuvasti lämpötila-anturin eristysvastusta ja

antaa viestin kun se on liian matala.

Linearisointi

Lämpötilalinearisoinnilla tarkoitetaan sitä, että muunnin antaa aina saman lähtöviestimuutoksen tietystä tulolämpötilamuutoksesta, riippumatta siitä missä kohden mittausaluetta tämä muutos tapahtuu. Sen tähden lämpötilan ja ulostuloviestin suhteen kuvaajaksi saadaan suora linja. Vastuslineaarilla muuntimilla sitävastoin on siirtymä lämpötilan suhteen epälineaarinen, mikä aiheuttaa ulostulosignaaliin eri suuruisia muutoksia mittausalueen eri osissa. Digitaalisissa muuntimissa on vastus- ja lämpötilalinearisuutta helppo vaihtaa.

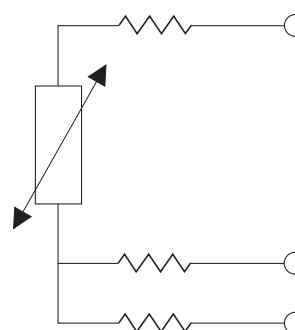
Kaksi liitäntäjohtinta



Kuva. 2-johdinkytkentä

Tässä liitännässä liitäntäjohtimien vastus ja mittausvastus ovat sarjassa. Siksi muutokset mittausjohdoissa vaikuttavat suoraan mittaustulokseen. Näiden ilmiöiden haittapuolien takia tätä tapaa käytetään harvoin. Mikäli siihen kaikesta huolimatta päädytään, tulee se toteuttaa suurta huolellisuutta noudattaen.

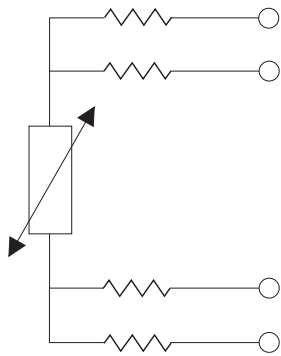
Kolme liitäntäjohtinta



Kuva.3-johdinkytkentä

Tämä on kaikkein yleisin liitäntätapa. Tavallisesti se suurin piirtein eliminoi mittausjohdoissa ilmenevien muutosten vaikutuksen silloin, kun muutokset ovat samat kaikissa kolmessa johtimessa (IPAQ-perheessä tämä vaikutus on kokonaan eliminoitu). Kun

lähetin asennetaan anturi kytkentäkoppaan, 3-johdinkytkeä on tavallisimmin käytetty tapa. Koska ne usein sijoitetaan pois ulottuvilta, on niiden pitkäaikaisstabiilisuus tärkeä tekijä, joka saattaa ratkaista toimittajan valinnan.



Kuva. 4-johdinkytkeä

Neljä liitäntäjohdinta

Käytetään tarkoissa mittauksissa. Mittausvirta johdetaan kahden johtimen kautta ja jännitehäviö mitataan loppuilla kahdella johtimella. Näin eliminoidaan kaikki vastusmuutokset mittausjohdoissa silloinkin, kun ne eroavat toisistaan.

Mittamuunnin vaihtoehdot

Lämpötilamittaukseen on suunniteltu muuntimia asennettavaksi niin anturin kytkentäkoppaan kuin sen ulkopuolellekin seinälle, kiskolle tai kaappiin. KROHNE INOR tarjoaa laajan valikoiman mittamuuntimia kaikkiin vaihtoehtoihin. Näistä lukija voi pyytämällä saada seikkaperäistä tietoa. Tässä yhteydessä mainitakoon anturiin asennettavat muuntimet nk. koppaan asennettavat muuntimet.

Koppaan asennettavat muuntimet

Nämä muuntimet ovat aina 2-johdinlähettäjiä. Koska ne joutuvat alttiiksi suurille ympäristön rasituksille, niiden täytyy kestää korkeaa ympäristölämpötilaa, suuria lämpötilavaihteluja, tärinää, kemiallista syöpymistä sekä saasteita. Nykyisten muuntimien tulee lisäksi olla EMC – häiriösuojattuja ts. olla kaikissa suhteissa häiriöttömiä samoin kuin olla häiritsemättä ympäristöään.