



Sisällysluettelo

1. Anturitekniikan yleisperiaatteet
 - 1.1 Sähköiset viestit
 - 1.2 Digitaaliviestit
 - 1.3 A/D-muunnos
 - 1.4 Rinnakkaismuotoinen viesti
 2. Sovitukset
 3. Mittalaitteen suorituskyky
 - 3.1 Käsitteitä ja määritelmiä
 - 3.2 Mittalaitteen nopeus
 - 3.3 Anturien suojaluokitus
 4. Lämpötilan mittaus
 - 4.1 Vastusanturit
 - 4.2 Termoelementti eli termopari
 5. Siirtymäanturit
 - 5.1 Analogiset siirtymäanturit
 - 5.2 Digitaaliset siirtymäanturit
- Harjoitustehtävien ratkaisut
- Kotitehtävät

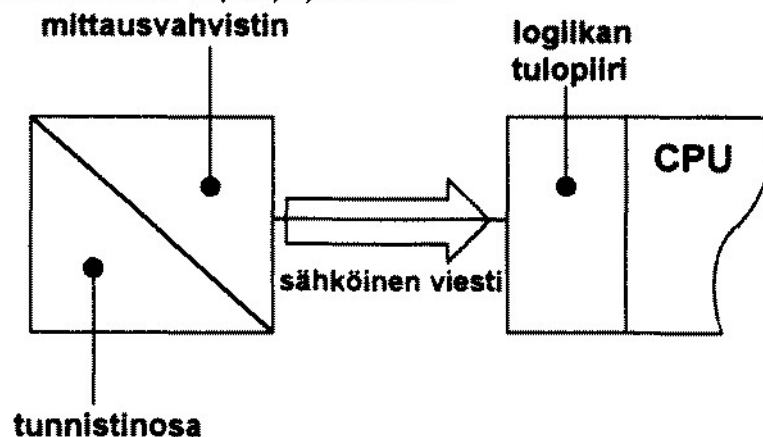


1. ANTURITEKNIIKAN YLEISPERIAATTEET (MITTAUS JA TUNNISTUS)

"Anturi on laite, joka muuntaa tietyn fysikaalisen suureen sähköisesti luettavaan muotoon".

Tämä fysikaalinen suure voi olla vaikka lämpötila, pH, paine, virtausnopeus, pituus, kulmanopeus, valon määrä, sähkönjohtavuus jne.

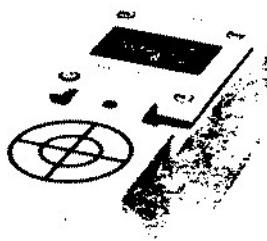
Anturin liittäminen ohjausjärjestelmään:



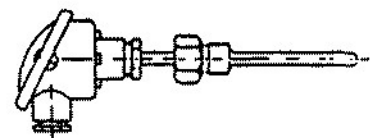
Anturista voidaan erottaa **tunnistinosa**, joka toimii yleensä välittömästi tunnistettavan kohteen vaikutuspiirissä ja voidaankin ajatella, että tähän sisältyykin juuri anturin fysikaalinen ominaisuus tunnistaa kohde.

Anturista saatava informaatio siirretään **sähköisenä viestinä** ohjausjärjestelmän tulopiirille. Haluttu sähköinen suure muodostetaan yleensä anturin yhteydessä olevassa mittausvahvistimessa.

Prosessiteollisuuden anturoinneissa on tyypillistä se, että anturin tunnistinosa sijoitetaan erilleen mittausvahvistimesta, kun taas esimerkiksi kappaletavara-automaatiossa anturit ovat melkein poikkeuksetta kompakteja rakenteeltaan ja samassa komponentissa on siis sekä tunnistinosa että vahvistinelektronikka.

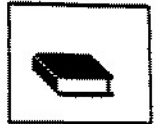


Induktiivinen anturi
(läheisyyden mittaus)



PT-100 anturi
(lämpötilan mittaus)

128
NAMOR-



1.1 Sähköiset viestit:

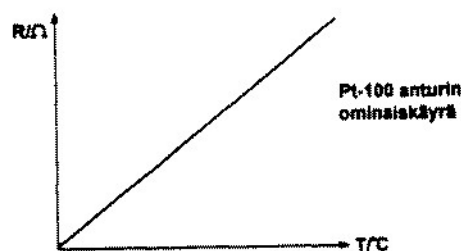
Antureilta saatavat sähköiset viestit voidaan jakaa neljään ryhmään riippumatta siitä minkälaisissa automaatiosovelluksissa niitä käytetään:

1. analogiasignaalit (-viestit)
2. digitaalisignaalit (-viestit)
3. rinnakkaisviestit
4. sarjamuotoiset viestit

Analogiaviestit

Näille antureille on tyypillistä se, että niiden muodostama sähköinen suure on yleensä **lineaarinen** mitattavaan fysikaaliseen suureeseen nähden.

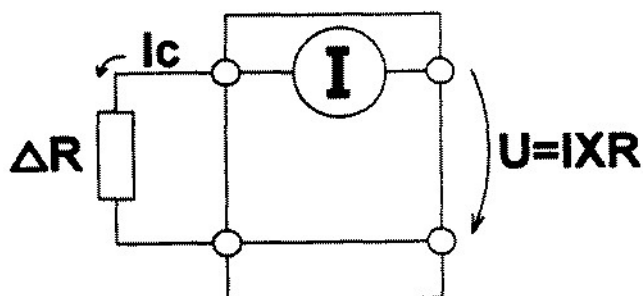
Esimerkiksi Pt-100 anturissa on platinalanka, jonka resistanssiarvo muuttuu lineaarisesti eli yhdenmukaisesti lämpötilan muutoksen kanssa.



Pt-100 anturi on tyypillinen prosessiteollisuuden käyttämä nesteiden, kaasujen ja muiden prosessissa esiintyvien aineiden lämpötilojen mitausanturi.

Esimerkiksi Pt-100 voi tuottaa ohjausjärjestelmän tarvitseman analogiasignaalin seuraavasti:

a)

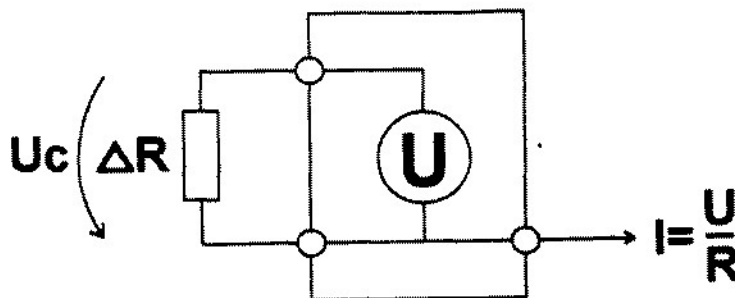


Oletetaan, että mittausvahvistimessa on vakiovirtageneraattori, joka tuottaa mittauspiirille virran I_c . Kun virta kulkee anturin lävitse, saadaan vastuksen napoihin jännite, joka on suoraan verrannollinen vastusarvon ja tätä kautta lämpötilan muutokseen.

Näin saadaan syntymään **jänniteviesti**, joka voi olla esimerkiksi tyyppiä 0...10 V, joka on yksi normioiduista jänniteviesteistä. 30..



b)



Oletetaan, että mittausvahvistimessa on vakiojännitelähde, joka tuottaa mittauspiirille vakiojännitteen U_c .

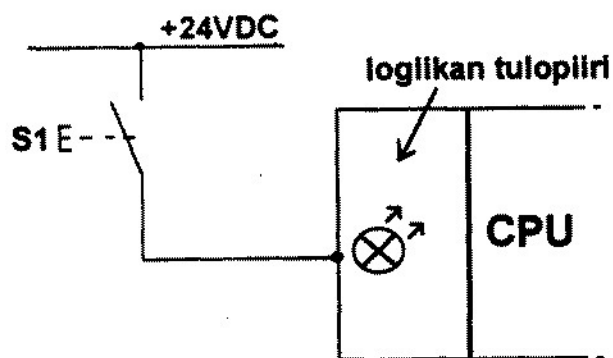
Kun jännite pidetään vakiona ja resistanssiarvo muuttuu, seuraa tästä luonnollisesti se, että virta-arvo muuttuu.

Näin saadaan syntymään standardimuotoinen **virtaviesti**, joka voi olla esimerkiksi 4 ... 20mA.

1.2 Digitaaliviestit

Digitaaliviesti-nimitys saattaa olla sikäli harhaanjohtava, että anturi ei suinkaan tuota esimerkiksi pulssimaista signaalijonoa, kuten nimitys ehkä saattaa antaa ymmärtää.

Digitaaliviesti tarkoittaa yksinkertaisimmillaan sitä, että anturin lähdessä joko on jännitettä tai sitä ei ole. Näin siis muodostetaan logiikan tarvitsema tieto, **onko rajakytkin esimerkiksi aktiivitilassa eli tulo "1"**.



Sulkemalla kytkin S1, logiikan tulopiiriin saadaan jännite:

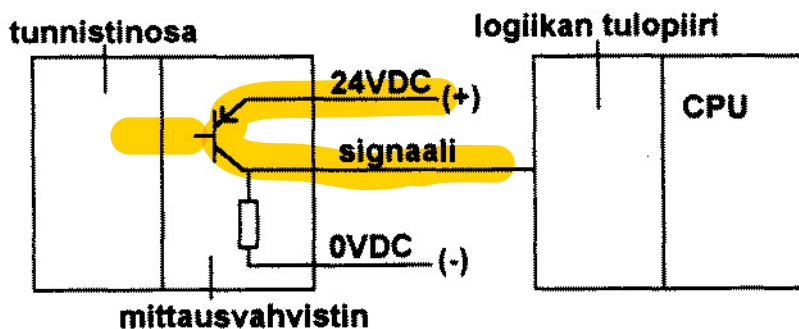
S1 on kiinni = tulopiirissä on looginen "1"-tila

S1 on auki = tulopiirissä on looginen "0"-tila

**Esimerkki:****PNP-tyyppisen induktiivisen anturin toimintaperiaate**

Kappaletavara-automaatioissa käytetään runsaasti lähestymiskytkimiä, jotka vastaavat toiminnaltaan perinteisiä raja- tai mikrokytkimiä. Ne antavat siis aktivoituessaan sulkeutuvan tai avautuvan kosketintiedon.

Nykyaikaiset anturit eivät tarvitse välttämättä fyysistä kosketusta itse kohteeseen, vaan kuten induktiivisessakin anturissa, tunnistus perustuu siihen, että jo pelkästään metallin läheisyys saa sen aktivoitumaan.

Periaatteellinen kytkentä:

Nähdään, että anturi tarvitsee toimiakseen sekä (+) että (-) potentiaalin ja kolmas johdin on itse signaalia varten. Kytkenästä käytetäänkin usein nimitystä **kolmijohdinjärjestelmä**.

Anturin tunnistusosa ohjaa kytkintransistorin kantavirtaa siten, että transistoria ohjataan yleensä joko täysin auki tai täysin kiinni.

Toisin sanoen, kun anturi tunnistaa metalliesineen, kytkintransistori menee johtavaan tilaan ja tämä tuottaa signaalihohtimeen (+)-jännitteen, joka sitten näkyy myös logiikan tulopiirissa.

Näin saatu kytkentä vastaa siis edellä esitettyä sulkeutuvaa kosketintointia ohjausjärjestelmän tulopiirin kannalta katsottuna.

Tästä PNP-anturin toiminnasta käytetään myös nimitystä **plussaakytkävä anturi**.



1. ANTURITEKNIIKAN YLEISPERIAATTEET (MITTAUS JA TUNNISTUS)

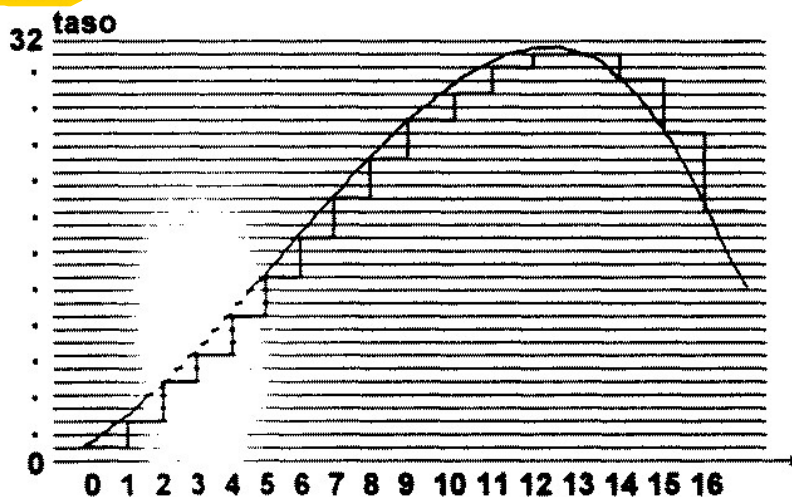
On myös huomattava, että kappaletavara-automaatio ei suinkaan yksin käytä antureita, jotka tuottavat digitaalisignaalin. Myös prosessinohjauksissa on lukuisia määriä kohteita, joissa riittää usein tieto että "onko paine kytketty" tai onko "lämpötila riittävän korkealla". Näissä käytetäänkin yleisesti ns. **raja-arvoreleitä**, eli ne toimivat esimerkiksi lämpötilamittauksen osalta kuten termostaatit.

Myös kappaletavaran käsittelyssä käytetään tänä päivänä runsaasti antureita, joissa ei pelkästään em. raja-arvotieto riitä. Kysymyksessä saattaa olla esimerkiksi liikeradan nopeuden mittaus tai vaikkapa kohteen pituudenmittaus pneumaattisella anturilla. Tällöin antureilta saatavan viestimuodon pitää olla analoginen.

1.3 A/D-muunnos

Analogisille antureille on siis ominaista, että mittavahvistimesta saatavan signaalin suuruus muuttuu lineaarisesti mitattavaan fysikaaliseen suureen nähden.

Analoginen signaali on kuitenkin muutettava digitaalseksi, jotta automaatiolaitte kykenisi käsittelemään kyseistä signaalia. Tämä tapahtuu siten, että analogiasignaalista otetaan määrävälein näyte. Tätä näytteenottojen välistä aikaa kutsutaan **näyteväliksi** ja nopeutta **näytteenotto-taajuudeksi**.



A/D-muunnoksessa analoginen signaali on jaettu eri tasoihin, joilla kullakin on oma **digitaalinen arvonsa** ja tämä arvo taltioituu ohjausjärjestelmän muistiin tietynä **binäärilukuna**.

5

desimaaliluku

=

0101

binääriluku



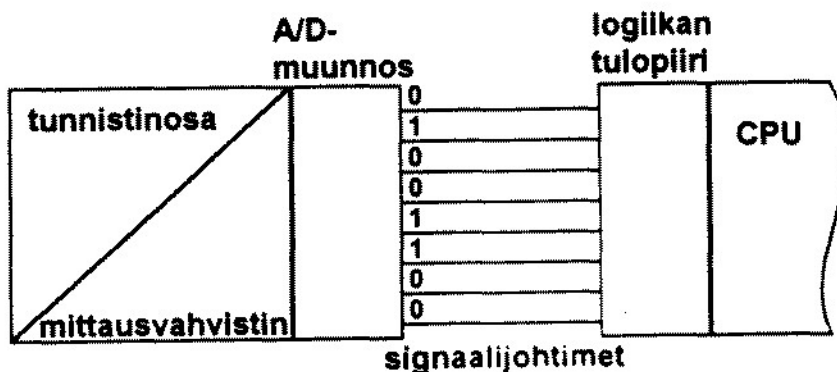
Nelibittisellä muunnoksella saadaan analoginen signaali jaettua (0...15) kuuteentoista eri tasoon. Kullakin tasolla on oma binäärinen lukuarvonsa. Esimerkiksi tasolla 5 se on 0101.

A/D-muunnos tapahtuu tällöin 4-bitin **resoluutiolla**. Tästä käytetään myös nimitystä **erottelutarkkuus** (= resoluutio). 8 bitin resoluutiolla näitä edellä mainittuja tasoja saadaan $2^8 = 256$ kpl eli voidaan sanoa, että mittaussignaalin erottelutarkkuudeksi tulee muunnoksen jälkeen 0,4 %.

1.4 Rinnakkaismuotoinen viesti

Kun analogiasignaalia tuottavan anturin kohdalla A/D-muunnos tehdään logiikan käyttöjärjestelmän ja ohjelman avulla, niin rinnakkaismuotoista signaalia tuottava anturi tekee jo itsessään tämän A/D-muunnoksen ja anturi tuottaa sen jälkeen muunnoksen tuloksena saadun binääriluvun logiikan tulopiireille.

Tällöin signalointi vastaa tavallisen digitaalisignaalin viestiä, ja erona on vain se, että nyt signaalijohtimia on erottelutarkkuudesta riippuen suurempi määrä.



Tällaisen anturissa tapahtuvan A/D-muunnoksen signaloinnin etu on siinä, että muunnostapahtuma ei kuormita ohjausjärjestelmän tietojenkäsittelykapasiteettia. Suurella resoluutiolla tapahtuva muunnos kun on aina kohtalaisen aikaavievää ja tietyissä tapauksissa anturissa tapahtuva muunnos voi olla nopeampi ja parempi ratkaisu.

Anturin tuottama rinnakkaismuotoinen signaali on usein myös koodattu **BCD-koodin** mukaiseksi bittijonoksi. Tästä kuitenkin tarkemmin antureita käsittelevässä jaksossa.



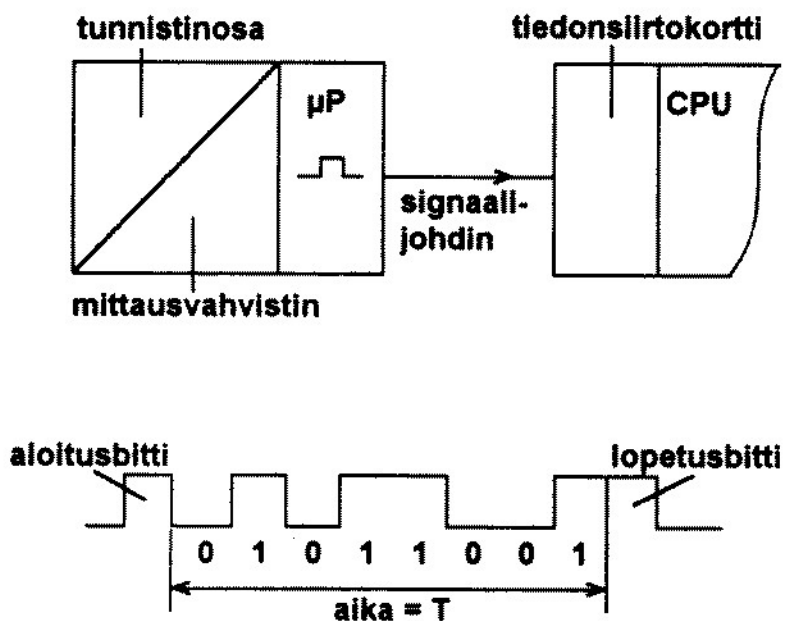
1. ANTURITEKNIIKAN YLEISPERIAATTEET (MITTAUS JA TUNNISTUS)

Sarjamuotoinen viesti

Kun rinnakkaismuotoisessa viestissä binääriluku tuotiin ohjausjärjestelmän tulopiirille siten, että jokainen signaalijohdin piti sisällään joko "0" tai "1"-tilatiedon, niin sarjamuotoisessa signaloinnissa bittijono tuodaankin yhden johtimen välityksellä ja tietyn aikajakson sisällä yhteen tulopiiriin osoitteeseen.

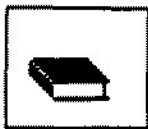
Tässä yhteydessä ei voida käyttää tavallisia digitaalituloja, vaan koko tiedonvälitys alku- ja loppumerkkeineen edellyttävät tiettyä **tiedonsiirto-protokollaa** eli säännöstöä siitä, millä merkeillä esimerkiksi sanoma aloitetaan ja millä taas lopetetaan.

Näitä säännöstöjä on useita, mutta yleisimmät näistä tunnetaan esimerkiksi RS-232 tai RS-485 sarjaliikenneväylinä.



Useat logiikkajärjestelmien valmistajat ovat kehittäneet omia väyläratkaisujaan, joilla on päästy standardiratkaisuja parempaan häiriönsietokykyyn sekä nopeampaan ja suurempaan tietojenkäsittelykapasiteettiin. Yleistä "tehdasväylä"-standardia on kuitenkin kehitetty jo kohta parikymmentä vuotta ilman selkeää ja kaupallista lopputulosta.

Näiden laitekohtaisten väyläratkaisujen yhtenä heikkoutena on kunnossapidon ja huollon kannalta ollut niiden sisältämän tiedonsiirto-protokollan sulkeutuneisuus, jolloin eri laitevalmistajien laitteiden yhteensopivuus on tullut hankalaksi ja monta kertaa jopa mahdottomaksi.

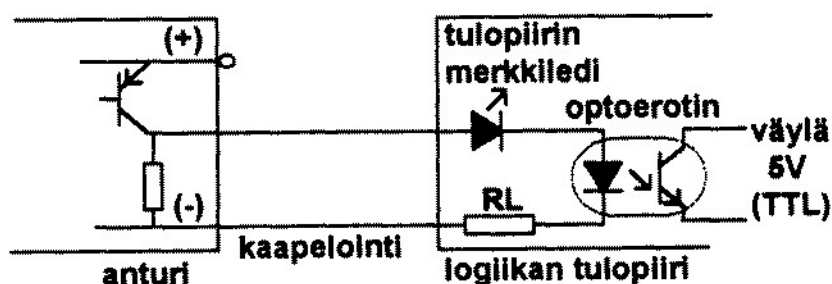


2. SOVITUKSET

Jännitteen sovitus ja galvaaninen erotus pyritään usein aikaansaamaan siten, että nämä toiminnot voitaisiin toteuttaa samalla komponentilla. Näissä käytettyjä komponentteja ovat:

- optoerottimet
- välireleet
- muuntajat

Tässä yhteydessä tutustumme tarkemmin **optoerotin** toimintaan:



Kun anturi aktivoituu, sen yhteydessä oleva kytkintransistori menee täysin johtavaan tilaan ja tuottaa signaalijohtimeen (+) signaalin, jolloin tulopiirin merkiledi syttyy. Samalla optoerotin **valoa emittoiva ledi** lähettää valoa, jonka **valoherkkä transistori** tunnistaa ja alkaa myös johtaa.

Tällä tavoin anturin muuttuva signaalitila on saatu välitettyä logiikan-sisäiselle I/O-väylälle CPU:n käyttämällä 5V:n jännitteellä.

Kuten huomataan, kenttäjännitteet ja väyläjännitteet eivät ole **galvaanisesti** yhteydessä toisiinsa.

Jännitteiden sovituksessa sekä galvaanisessa erotuksessa on pyritty käyttämään komponentteja, joiden **kytkentänopeus** on erittäin suuri, jotta liikkeen- tai prosessinohjauksessa ei tämän takia syntyisi haitallisia viiveitä säätötekniikan tai tuotantoaikojen takia.

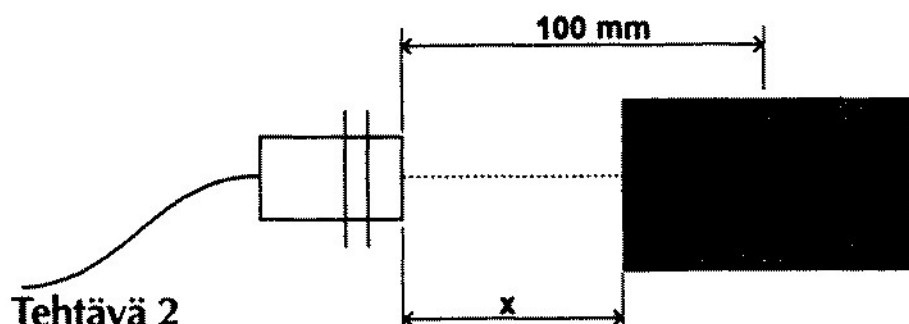
Teollisuusympäristössä syntyvät häiriöjännitteet taas ovat tyypillisesti kytkentäpiikkejä tai energiansiirtojärjestelmistä indusoituneita transientti-häiriöitä. Näiden ehkäisemiseen optoerotin kuitenkin soveltuu kohtalaiten huonosti, jonka vuoksi häiriösuojaus pyritäänkin toteuttamaan esimerkiksi RC-suodatuksella. Näillä pystytään tehokkaasti estämään tietyn taajuiset häiriösignaalit, mutta samalla tulopiirin toiminta myös hiukan hidastuu kasvattaen siten hiukan vasteaikaa.



HARJOITUSTEHTÄVIÄ

Tehtävä 1

Optisen anturin mittausalue on 100 mm, jolloin se antaa ohjausjärjestelmälle lineaarisen standardiviestin (esim. 4 ... 20 mA). Mikä mittaustarkeys saadaan A/D-muunnoksen tuloksena 4 bitin resoluutiolla?

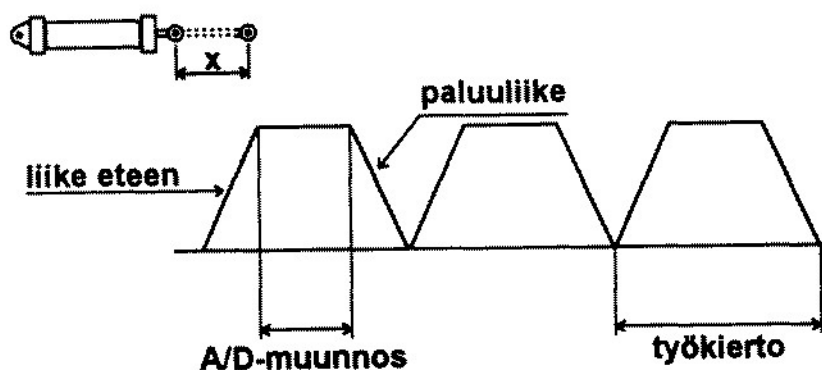


Tehtävä 2

Mikä mittaustarkeys edellisen tehtävän kohdalla saadaan A/D-muunnoksen jälkeen 12 bitin resoluutiolla?

Tehtävä 3

Mitä suurempi erottelutarkkuus niin sitä enemmän yleensä A/D-muunnos vie aikaa. Oletetaan, että 12 bitin resoluutio vie aikaa 360 ms. Työstökoneen sylinteri tekee työkierron aikana liikkeen eteen, joka kestää 1,87s ja paluuliike kestää 1,62s. Sylinterin liikettä mitataan anturilla, joka välittää analogiatiedon ohjausjärjestelmälle. Työnnön jälkeen paluuliike alkaa vasta, kun ohjausjärjestelmä on tulkinnut mittau tuloksen eli saanut muistiinsa A/D-muunnoksen tuloksen.



Kuinka monta kertaa tunnissa sylinteri tekee työliikkeen?

Tehtävä 4

Oletetaan, että jokaisen työkierron aikana syntyy uusi tuote. Kuinka paljon prosenteissa tuotantomäärä kasvaa, jos A/D-muunnos suoritetaan 8 bitin resoluutiolla, jossa käsittely- eli muunnosaika on vain 28 ms?

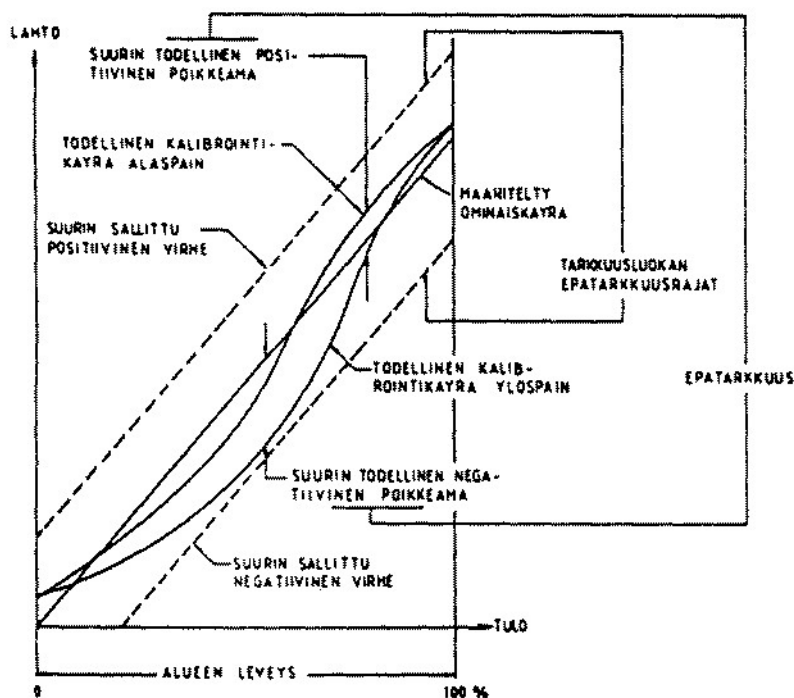


3. MITTALAITTEEN SUORITUSKYKY

3.1 Käsitteitä ja määritelmiä

Mittalaitteen mittausalueella tarkoitetaan mitattavan suureen kahden arvon välistä aluetta, jolla mittaukset voidaan tehdä määrätyllä tarkkuudella. Alueen pienintä arvoa sanotaan mittausalueen alarajaksi ja suurinta vastaavaksi mittausalueen ylärajaksi. Mittalaitteen viritysalueen alarajaksi (ylärajaksi) sanotaan pienintä (suurinta) mittaussuureen arvoa, jonka mittaamiseen määrätyllä tarkkuudella mittalaite voidaan kalibroida. Kalibroinnilla tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joilla mittalaitteen lähtösuurealue saadaan sovitettua vastaamaan haluttua mittaussuurealueutta.

Mittalaitteen (staattisella) ominaiskäyrällä yleisesti tarkoitetaan graafista esitystä, jossa mittalaitteen lähtösuureen arvot esitetään tulosuureen arvojen funktiona. Muiden mahdollisten tulosuureiden (häiriöiden) oletetaan olevan vakioita.



Kuva. Mittalaitteen kalibrointikäyrä ja ominaiskäyrä

Toisinaan ominaiskäyrä ei ole aivan lineaarinen, (ks. kuva). Kasvavalla mittaussuureella ja pienenevällä mittaussuureella mitatut ominaiskäyrät, joita sanotaan kalibrointikäyriksi, eivät välttämättä ole samat. Järjestelmässä on tällöin välystä. Silloin tämä kahdesta haarasta koostuva epälineaarinen ominaiskäyrä korvataan suoralla viivalla ja näin saatua ominaiskäyrää sanotaan määritellyksi ominaiskäyriksi.

Käsite lineaarisuus kuvaa sitä miten hyvin määritelty ominaiskäyrä kuvaa todellista kalibrointikäyrää. Lineaarisuus voidaan määritellä kolmella eri tavalla seuraavan kuvan mukaisesti. **Sitomaton lineaarisuus** tarkoittaa sitä tarkkuutta, jolla määritelty ominaiskäyrä kuvaa kalibrointikäyrää,

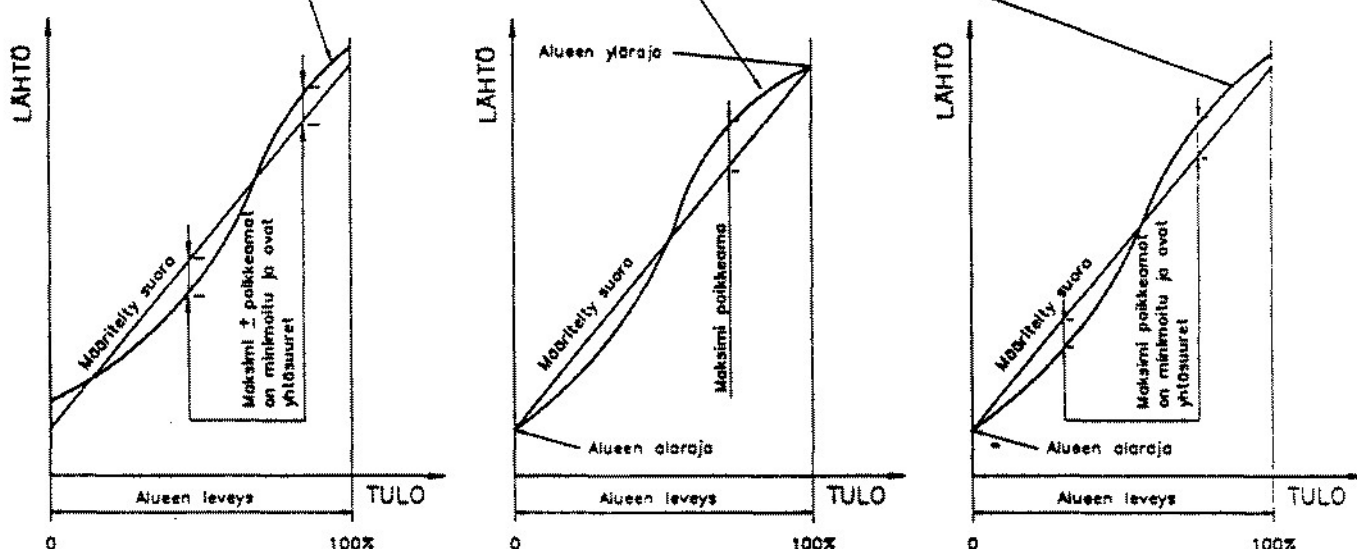


kun määritelty ominaiskäyrä on sijoitettu niin, että suurin poikkeama on minimoitu. **Päätepisteisiin sidottu lineaarisuus** tarkoittaa sitä tarkkuutta, jolla määritelty ominaiskäyrä kuvaa kalibrointikäyrää, kun määritelty ominaiskäyrä on sijoitettu niin, että sen päätepisteet yhtyvät kalibrointikäyrän päätepisteisiin. **Nollapisteseen sidottu lineaarisuus** tarkoittaa sitä tarkkuutta, jolla määritelty ominaiskäyrä on sijoitettu niin, että sen alkupiste yhtyy kalibrointikäyrän alkupisteeseen ja positiivinen ja negatiivinen poikkeama ovat yhtä suuret.

SFS-käsikirja 65:n (prosessiautomaation sanasto) mukaan lineaarisuus ilman tarkempaa määrittelyä tarkoittaa sitomatonta lineaarisuutta.

Epälineaarisuusvirhe tarkoittaa määritellyn ominaiskäyrän ja kalibrointikäyrän välisen suurimman poikkeaman absoluuttista arvoa. Ellei lineaarisuuden lajia ole määritelty, oletetaan, että kyseessä on sitomaton lineaarisuus.

Todellinen kalibrointikäyrä, keskiarvo ylös- ja alaspäin mentäessä saaduista lukemista



Kuva: Lineaarisuuden määrittelyt. a) Sitomaton lineaarisuus b) Päätepisteisiin sidottu lineaarisuus c) Nollapisteseen sidottu lineaarisuus

Hystereesillä tarkoitetaan sitä mittalaitteen ominaisuutta, että nousevalla mittaussuureella ja laskevalla mittaussuureella saadaan erilainen kalibrointikäyrä. **Hysteerivirhe** tarkoittaa näiden kalibrointikäyrien suurinta poikkeamaa.

Erottelukynnys tarkoittaa sitä mittaussuureen muutoksen suuruutta, joka ei vielä aiheuta havaittavaa muutosta lähtösuureessa.

Termiä **tarkkuus** käytetään yleisterminä silloin, kun esitys voi olla ylimalkainen. Sitä ei tule käyttää yksityiskohtaisessa esityksessä muutoin kuin puhuttaessa tarkkuusluokasta. **Tarkkuuden sijasta on parempi käyttää termiä virhe**, jolloin myös erittelemisen virheen komponenttien avulla



3. MITTALAITTEEN SUORITUSKYKY

voi tapahtua helposti. Mittausvirhe määritellään virheellisen ja virheettömän arvon erotuksena.

Epätarkkuudella tarkoitetaan kalibrointikäyrän suurinta positiivista ja negatiivista poikkeamaa määritellystä ominaiskäyrästä. Se ilmoitetaan usein prosentteina; vertailuarvo voi olla mittausalueen leveys, mittausalueen yläraja tai mittaussuureen hetkellisarvo. Vertailuarvo on aina ilmoitettava.

Jos mittalaitteelle on ilmoitettu tarkkuusluokitus, niin tarkkuusluokan epätarkkuusrajat tarkoittavat niitä rajoja, joiden sisäpuolella epätarkkuuden voidaan taata pysyvän. Tarkkuusluokan epätarkkuusrajat sisältävät lineaarisuusvirheen, hystereesivirheen, erotteluvirheen ja muut virheet. Esim. merkintä "luokka 0,5" tarkoittaa sitä, että epätarkkuusrajat ovat $\pm 0,5\%$. Jos tulossignaali kasvaa suuremmaksi kuin 100% , ei lähtösignaali enää välttämättä kasva ominaiskäyrän mukaisesti vaan lähtösignaalin kasvu hidastuu. Tällöin sanotaan, että lähettimen vahvistin kyllästyy. **Kyllästyminen** johtuu vahvistimen käyttöjännitteen (usein 24 VDC) alhaisuudesta. Tarkkuusluokan mukainen tarkkuus on voimassa vain tulossignaalin arvoilla $0 \dots 100\%$, mutta ei yli 100% arvoilla.

3.2 Mittalaitteen nopeus

Mittauslaitteen nopeudella on merkitystä silloin, kun laitetta käytetään säätöön tai mitataan nopeasti muuttuvia suureita. Mittalaitteen nopeus voidaan ilmoittaa askelvasteen tai taajuusvasteen avulla.

Laitteen askelvasteella tarkoitetaan lähtösuureen muutosta, kun tulosuure muuttuu äkillisesti määrällä, joka pysyy pitkän aikaa vakiona. Tällaista muutosta sanotaan askelmuotoiseksi muutokseksi ja sen aiheuttamaa muutosta laitteen lähtösuureessa sanotaan askelvasteeksi. Askelvasteesta mitattua suuretta nousuaika käytetään usein elektroniikassa kuvaamaan laitteen nopeutta.

Prosessimittaustekniikassa käytetään kuitenkin usein käsitettä **aikavakio** silloin, kun mittalaitteen voidaan katsoa olevan yksikapasiteettinen. Näin on tilanne useimpien mittausarvon lähettimien kohdalla.

Olkkoon yksikapasiteettinen lämpömittari aluksi pitkän aikaa ympäristössä, jonka lämpötila on a. Jos lämpömittari hetkellä 0 äkillisesti vietään ympäristöön, jonka lämpötila on b, niin mittarin lukema muuttuu seuraavasti:

$$T(t) = a + (b - a) (1 - e^{-t/\tau})$$

missä T = mittarin lukema

τ = mittarin aikavakio

Lauseke voidaan esittää graafisesti seuraavan kuvan osoittamalla tavalla.



4. LÄMPÖTILAN MITTAUS

4.1 Vastusanturit

Metallien ominaisvastukset riippuvat lämpötilasta säännönmukaisella, melko lineaarisella tavalla siten, että lämpötilan kohotessa johteen resistanssi kasvaa. Käyttämällä johteesta tehtyä vastusta anturina voidaan lämpötilan mittausta suorittaa resistanssinmittauksena. Tämä hallitaan elektroniikan keinoin hyvin.

Platinavastusanturi

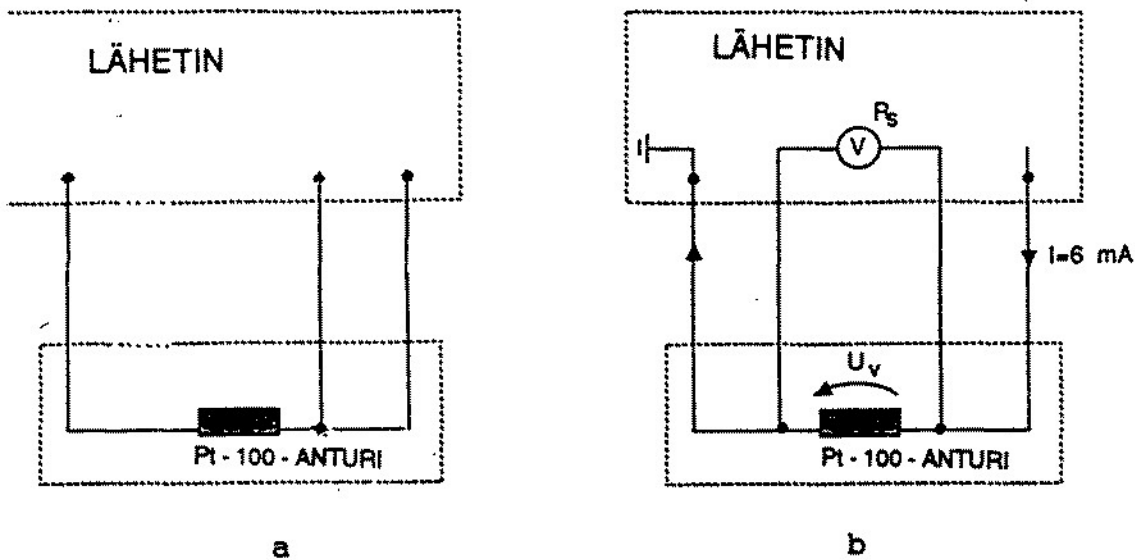
Platina on jalometalli, jolla on hyvät muokkautuvuusominaisuudet, joten siitä voidaan vetää ohuitakin lankoja. Samoin sen kemiallinen pysyvyys korkeissakin lämpötiloissa on hyvä. Platinasta tehdyn anturivastuksen, jonka vastus lämpötilassa 0°C on 100 ohmia, vastus muuttuu keskimäärin 4 ohmia/ 10°C lämpötilavälillä $0^{\circ}\dots+100^{\circ}\text{C}$. Tällaista anturia sanotaan Pt-100 -vastukseksi, jonka resistanssiarvot määritellään standardissa IEC 751.

Mekaaniselta rakenteeltaan anturi on yksinkertainen. Varsinainen vastuselementti muodostuu $\varnothing 0,05 \dots 0,2$ mm langasta, joka on kierretty lasista tai keraamisesta aineesta tehdyn rungon ympärille. Käämin suojaamiseksi se vielä peitetään eristemassalla.

Vastuselementti sijoitetaan ohuen suojaputken sisään ja kytketään sen päässä oleviin liitántäruuveihin. suojaputken tarkoituksena on estää elementin vaurioituminen kuljetuksen ja asennuksen aikana. Putken materiaali on yleensä ruostumaton teräs tai nikkelseos. Näin muodostunut varsinainen vastusanturi sijoitetaan asennettaessa useimmiten vielä suojataskun sisään. Suojatasku ottaa vastaan prosessiaineen paineen ja muut mekaaniset ja kemialliset rasitukset suojaten anturia.

Mittauskytkennät

Vastusanturia käyttäen lämpötilan mittausta muuttuu resistanssin mittaukseksi. Periaatteessa kaikki resistanssin mittausten menetelmät sopivat tähän. Yleisimmin käytössä ovat siltakytkennät, erityisesti Wheatstonen silta.



Kuva: Mittauskytkentöjä a) 3-johdinperiaate b) 4-johdinperiaate

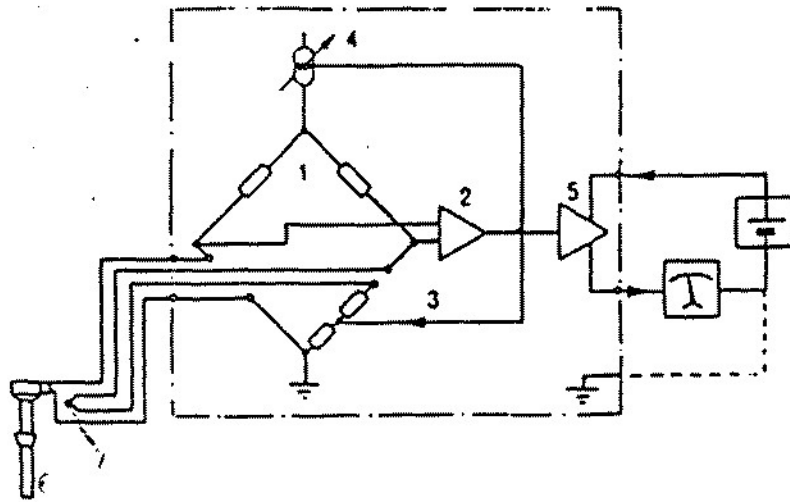
Mittaukseen liittyy kaksi virhelähdettä: mittausvirta lämmittää anturivastusta ja anturin sekä mittalaitteen väliset yhdysjohdot muuttavat mittaus tulosta. Nykyisillä mittauslähettimillä mittausvirta on yleensä 3 ... 10mA. Mittalaitteen valmistajat ilmoittavat tarvittaessa ns. omalämpenemisvirheen S ($^{\circ}\text{C}/\text{mW}$), joka ilmoittaa kuinka monta $^{\circ}\text{C}$ anturin lämpötila on mittauslämpötilaa korkeampi silloin, kun vastuksessa syntyy 1 mW tehohäviö. Yhdysjohtimen vastuksen muutoksista aiheutuva virhe voidaan kompensoida käyttämällä 3-johdin- tai 4-johdinkytkentää, ks. oheinen kuva.

3-johdinkytkennässä anturin virransyöttö on tuotu kolmannella johtimella mittausanturille saakka. Kahta anturilta mittaukseen vievää johdinta voidaan nyt verrata toisiinsa mittauskytkennässä ja täten kumota niiden oman vastuksen vaihtelut. Kolmijohdinkytkennässä kumoutuu johdinvastusten muutoksista aiheutuva virhe täysin edellyttäen, että muutokset ovat yhtä suuret molemmissa johtimissa ja johtimien muutkin ominaisuudet, ylimenovastukset, poikkipinnat jne. ovat samat.

Pyrittäessä poistamaan kaikki yhdysjohtimien virhevaikutukset käytetään 4-johdinkytkentää, jossa anturivirta syötetään erillisillä johtimilla. Anturijännite mitataan omilla johtimillaan, joissa ei kulje virtaa ja joiden resistanssin muutokset eivät siten vaikuta mittaukseen.



4. LÄMPÖTILAN MITTAUS



Kuva: Valmet Oy:n vastusanturilähetin TEMP-EL R 1) mittaussilta 2) erovahvistin 3) kompensointitakaisinkytkentä 4) virtageneraattori, linearisointi 5) viestivirtavahvistin 6) Pt-100-anturi 7) kompensointisilmukka

Nelijohdinkytkentänä voidaan siltamittauksissa käyttää kompensointisilmukkaa. Tässä kytkennässä mittaussillan anturihaaraan kytketyn mittaussilmukan lisäksi on vastakkaiseen haaraan liitetty kompensointisilmukka, joka vieään anturijohtimien kanssa anturille saakka. Kun molemmat silmukat ovat samassa kaapelissa, ovat niiden lämpötilamuutokset samansuuruisia ja näistä aiheutuvat virheet voidaan kumota mittauskytkennässä. Oheinen kuva esittää siltamittauksen periaatetta.

Harjoitustehtävä 7

Oletetaan, että kuvan "Mittauskytkentöjä" 4-johdinkytkennässä jännitemittarin sisäresistanssi $R_i = 10 \text{ k}\Omega$. Jokaisen mittausjohtimen vastus on $1,0 \Omega$. Mittaustilanteessa Pt-100 -anturin resistanssi on $138,0 \Omega$. Mikä on jännitemittarin lukema? Mikä olisi jännitemittarin lukema, jos mittarin sisäresistanssi R_i olisi äärettömän suuri?

Termistorianturi

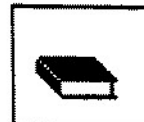
Termistori on metallioksidista sintraamalla tehty vastuselementti, jolla on eksponentiaalinen resistanssin lämpötilakerroin, tyypillisesti $-4 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 25°C :een lämpötilassa (NTC-vastus). Myös positiivisen lämpötilakerroimen omaavia (PTC-vastus) termistoreja valmistetaan.

Termistorit sopivat lämpötila-antureiksi alueella $-100^\circ \text{C} \dots +300^\circ \text{C}$.

Yleisin termistorielementin rakenne on $\varnothing 1 \dots 3 \text{ mm}$ helmi, joka yhdysjohtoineen on koteloitu anturisauvan kärkeen eristysaineella.

Termistorianturien yhteydessä käytettävät mittauskytkennät ovat periaatteessa samat kuin muillekin vastusantureille. Yleisimpiä ovat erilaiset





siltakytkennät. Mittauksissa tulee ottaa huomioon termistorin suuri epälineaarisuus ja eri yksilöiden välinen hajonta.

Termistorianturin etuja ovat nopeus, suuri lämpötilakerroin, halpa hinta ja se, ettei kompensointia tarvita. Haittoja ovat epälineaarisuus ja siitä johtuva sopimattomuus laajoille mittausalueille, heikohko stabiilisuus etenkin korkeissa lämpötiloissa sekä eräillä tyypeillä ominaisuuksien hajonta.

4.2 Termoelementti eli termopari

Termoelementti perustuu ns. Seebeckin ilmiöön: kahden eri metallista olevan johtimen liitoskohtiin syntyy jännite, jos liitoskohdat ovat eri lämpötiloissa, ja vastaavasti suljetussa piirissä alkaa kulkea sähkövirta.

Syntyvä jännite riippuu paitsi lämpötilaerosta myös elementin materiaaleista. Termoelementtien lämpötila/jänniteriippuvuus ja sallitut toleranssit on taulukoitu eri normeissa. Normien välillä on jonkin verran vaihte-luita. Taulukossa alla on esitetty DIN 43 710 mukaiset termojännitteet.

Taulukko: Yleisimpien termoelementtien lämpötila/jännitetaulukko.
Vertailulämpötila on 0 °C.

nimitys (+) -johdin (värikoodi)	Cu-Konst Cu (pun.)	Fe-Konst Fe (pun.)	NiCr-Ni NiCr(pun.)	PtRh-Pt PtRh (pun.)
(-) -johdin (värikoodi)	Ko (rusk.)	Ko (sin)	Ni (vih.)	Pt (valk.)
lämpötila °C	termojännite mV			
-200	-5,70	-8,15	0	0
0	0	0	0	0
+200	9,20	10,95	8,13	1,436
+400	21,00	22,16	16,40	3,251
+600	(34,31)	33,67	24,91	5,224
+800		(46,22)	33,30	7,329
+1000			41,31	9,570
+1200			(48,89)	11,935
+1400				(14,447)

Termoelementti on yleensä rakennettu helposti vaihdettavaksi anturi-yksiköksi, joka ulkonäöltään on usein samanlainen kuin Pt-100 -anturi-yksikkö. Termoelementin haarat on eristetty lämpötilan kestävällä keraa-



4. LÄMPÖTILAN MITTAUS

misilla helmillä tai eristeputkella. Varsinainen liitoskohta on tehty hitsaamalla. Näin muodostunut anturi sijoitetaan suojaputkeen ja kytketään sen yläpäässä oleviin liittimiin. Suojaputki on yleensä seosterästä.

Termoelementtipiiri muodostuu kahdesta liitoksesta: kuumasta eli varsinaisesta mittausliitoksesta sekä kylmästä eli vertailuliitoksesta. Termoelementtian turin jännite on aina verrannollinen näiden kahden liitoksen lämpötilaeroon.

Koska itse termoelementin johtimet ovat pitkän matkan signaali johtimiksi vähemmän sopivia ja kalliitakin, käytetään anturin kytkentään liitosrasiasta eteenpäin ns. kompensointijohtimia. Kompensointijohtimien haarojen lämpösähköiset ominaisuudet ovat ympäristölämpötilassa samanlaiset kuin termoelementin haarojen ominaisuudet, joten näiden välille ei muodostu vääristävää jännitettä. Kompensointijohto tulee kytkeä pareittain oikeaan anturijohtoon. Eri termoelementtityypeille on kullekin eri kompensatiojohtotyyppi, jonka erottaa värikoodista.

Säätötarkoituksiin ja muihin tärkeisiin mittauksiin käytetään mittauslähetintä, joka muuntaa termojännitesignaalin standardiviestiksi 4... 20 mA. Useissa ohjelmoitavissa logiikoissa on liitântäyksiköt termoelementeille, joten erillisiä lähettämiä ei välttämättä tarvita.



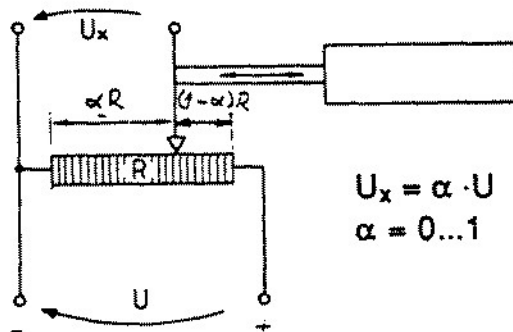
5. SIIRTYMÄANTURIT

5.1 Analogiset siirtymäanturit

Potentiometri

Potentiometrit ovat yleisimpiä servopiireissä käytettyjä asemanmittausantureita. Anturin muodostavat vastuselementti ja mittakärkeen kiinnitetty liukukosketin. Vastuselementti voidaan toteuttaa langasta käämimällä, hybriditekniikalla tai johtavasta muovista valmistamalla. Potentiometrianturia voidaan käyttää suoraviivaisen tai kulmaliikkeen mittaamiseen ja antureita valmistetaan joko suoraliikkeisinä tai kierrettävinä.

Seuraava kuva esittää potentiometriä, jossa vastuselementti on tehty johtavasta muovielementistä ja liukukosketin on kiinnitetty pyöreän profiilin sisällä liikkuvaan varteen. Kuvassa on myös potentiometrin sähköinen kytkentä.



Kuva: Potentiometri

Potentiometrejä käytetään sekä tasa- että vaihtojännitteellä ja ne voidaan liittää helposti muihin analogiakomponentteihin. Potentiometrin ulostulona on jännite, joka on verrannollinen liu'un siirtymään kuvan mukaisesti. Potentiometrin lähtöjännitettä ei ole syytä kuormittaa, koska se lisää mittauksen epälineaarisuutta. Yleensä potentiometrin ulostuloon kytketään vahvistin, jonka sisäänmenoimpedanssi on suuri. Potentiometrien vastusarvot ovat tavallisesti muutamasta kilo-ohmista muutamaankymmeneen kilo-ohmiin. Anturin erottelukyky, kitkavastus ja kohina riippuvat valmistustarkkuudesta ja rakenteesta. Metallikalvovastuksilla päästään hyvään erottelukykyyhin, mutta epäkohtana voi olla vastuspinnan ja liukukoskettimen oksidoituminen ja likaantuminen. Mittaus-epätarkkuus voi vaihdella $\pm 0,05 \dots \pm 0,5$ % mittausalueesta. Tyypilliset käyttölämpötilat ovat $-50 \dots +80^\circ \text{C}$.

Potentiometrin heikkous on mekaaninen kosketus vastuspinnan ja liukukoskettimen välillä, joka aiheuttaa kulumista ja rajoittaa käyttöikää. Liukukoskettimen huono kosketus vastuspinnalla aiheuttaa vaihtelevan ylimenovastuksen, lisää kohinaa ja saattaa aiheuttaa toimintakatkoksen.

Potentiometrit sopivat parhaiten kohteisiin, joissa liikenopeudet ovat pienet. Tarkkuutta voidaan parantaa käyttämällä välitystä, joka lisää



5. SIIRTYMÄANTURIT

liu'un liikettä. Käyttämällä vastuspintana muovielementtiä saadaan kitka pienemmäksi ja liukukoskettimen nopeutta voidaan lisätä. Asemanmittaukseen tarkoitetut kaupalliset potentiometrit ovat melko halpoja ja luotettavia. Oikein asennettuna ne kestävät hyvin vaikeissakin olosuhteissa.

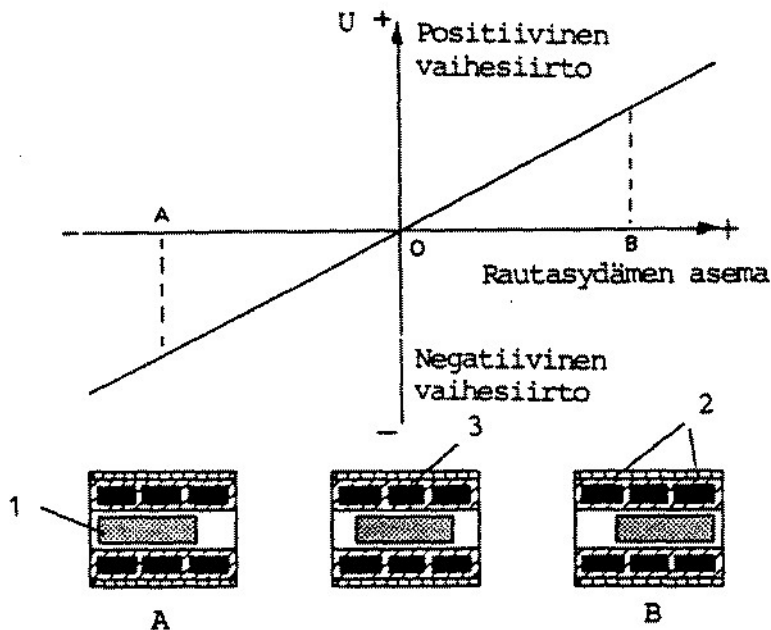
Kulmaliikkeen mittaukseen käytetään kierrettäviä potentiometrejä. Yksinkertaisimmat potentiometrit kiertyvät n. 300°. Tämä rakenne sopii hyvin esim. niveltyyppisiin kohteisiin. Kierrettävät potentiometrit voivat olla kooltaan hyvin pieniä ja ovat helpommin sijoitettavissa käyttökohteeseen kuin suoraliikkeiset anturit. Tarkkuuspottiometrejä on saatavana useampikierröksisinä. Potentiometrien vastus muuttuu yleensä lineaarisesti, mutta myös epälineaarisia potentiometrejä valmistetaan.

Induktiivinen liikeanturi, differentiaalimuuntaja, LVDT

Differentiaalimuuntajan toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Kirjallisuudessa siitä käytetään merkintää LVDT (Linear Variable Differential Transformer). Muuntajassa on ensiökäämi ja kaksi toisiokäämiä. Anturirunkoon on sijoitettu lieriömäiset käämit. Ensiökäämi on käämitty anturirungon keskelle ja molemmat toisiokäämit sen viereen anturin reunoille. Käämit on eristetty toisistaan epoksimassalla. Anturirungon sisäpinta on päällystetty lasikuitukalvolla lämpöstabiilisuuden parantamiseksi sekä estämään kosteuden pääsy käämeihin. Ensiökäämiin syötetään 50...10000 Hz:n taajuinen vaihtojännite. Toisiokäämit on kytketty vastakkain (vaihe-ero 180°) niin, että liikkuvan rautasydämen ollessa keskiasennossa ovat molempiin käämeihin indusoituneet jännitteet yhtä suuria. Toisiosarjakytkenästä johtuen summajännite on nolla. Rautasydämen siirtyessä pois keskiasennosta käämien induktiojännitetasapaino muuttuu ja lähtöjännitteen suuruus riippuu rautasydämen siirtymästä. Kuva ohessa esittää differentiaalimuuntajan rakennetta ja ominaiskäyrää.

Suurehkon differentiaalimuuntajan mitta-alue on ± 25 mm. Pituus ilman sydäntä on 120 mm ja halkaisija 12 mm. Rakentamalla anturi toisiinsa kytketyistä käämiryhmistä ja suorittamalla linearisointi elektroniikan avulla voidaan mittausalue laajentaa jopa 2500 mm:n. Tyypillisesti ensiökäämiin syötetään 3000 Hz:n taajuinen 1 voltin jännite. Suurin mittausepä-tarkkuus on noin 0,5...1,5 % mittausalueesta. Erottelukyky on luokkaa 10 μ m. Normaali-rakenteisten antureiden käyttölämpötila on -20...+80° C. Ulkona-oltään anturit muistuttavat suoraviivaista liikettä mittaavia potentiometrejä.

Differentiaalimuuntajia voidaan käyttää koneiden liikettä ja siirtymää mittaavina antureina, esim. servoventtiilin karan aseman mittaamiseen, laadun valvonnassa kappaleen mittojen tarkastukseen ja työstökoneiden mittaohjaukseen. Antureiden käyttöä rajoittaa melko lyhyt liikematka. Ulkoiset magneettikentät voivat aiheuttaa virhetoimintoja, niiden estämiseksi anturi asennetaan suojakuoren sisään. Iskumaiset rasitukset ja



Kuva: Induktiivisen lineaarianturin (differentiaalimuuntaja) rakenne ja ominaiskäyrä. 1) Rautasydän 2) Toisiokäämit 3) Ensikäämi

tärinä ovat toiminnan kannalta haitallisia, sillä anturi reagoi herkästi sydämen liikkeisiin ja rekisteröi ne. Anturin rakenne on yksinkertainen ja sen liikkuvaan osaan kohdistuva voima on erittäin pieni. Liikekitka on hyvin pieni ja anturilla on hyvä erottelukyky.

Differentiaalimuuntajan lisäksi järjestelmässä tarvitaan mittavahvistin, joka pystyy syöttämään differentiaalimuuntajan tarvitseman vaihtojännitteen. Lisäksi vahvistimeen tuodaan anturin ulostulojännite. Anturin ulostulojännite on hyvin pieni (millivolttien luokkaa) ja tämä pitää vahvistaa sopivalle tasolle näyttölaitetta tai rekisteröintilaitetta varten (usein $\pm 10V$).

Harjoitustehtävä 8

Differentiaalimuuntajan mittausalue on ± 25 mm. Mikä on mittauksen erottelukyky, kun muuntajan ulostuloon on kytketty 12-bittinen A/D-muunnin?

Magneettinen anturi

Magneettiset anturit on suunniteltu vaativiin teollisuusolosuhteisiin. Anturi sopii hyvin nopeiden liikkeiden mittaamiseen. Asematieto saadaan pulssimuodossa, jako on 0,05, 0,1 tai 1,0 mm. Sallitut liikenopeudet vaihtelevat 3...5 m/s. Anturin liikepituus yhdellä elementillä voi olla 3m. Liittämällä elementtejä peräkkäin saadaan mittausalueen leveyttä lisätyä.

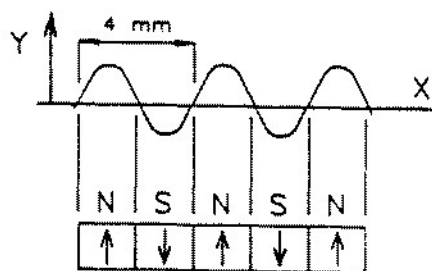




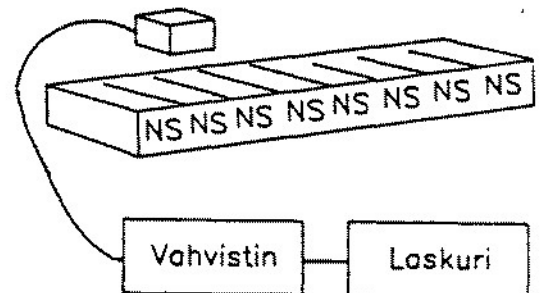
5. SIIRTYMÄANTURIT

Seuraava kuva esittää magneettiseen koneenosaan kiinnitettävää lineaarianturin (MACOME) toimintaperiaatetta ja rakennetta. Liikkuvaan magneettihilaan on kiinnitetty kumimainen hartsi-bariumferriittipulverikerros, joka on magnetoitu voimakkaasti samalla tavalla 4 mm:n välein. Rakenne voidaan valmistaa jäykäksi tai joustavaksi, jolloin se voidaan tarvittaessa taivuttaa haluttuun muotoon. Magneettihiloja valmistetaan myös pyöreäksi kiekoksi. Paikallaan oleva tunnistin sisältää kaksi lukupäätä, jotka ovat 90°:n vaihesiirrossa keskenään. Lukupäihin saadaan magneettien vaikutuksesta sini- ja kosinisignaalit ja nämä vahvistetaan amplitudi- ja vaiheilmaisimissa. Näin voidaan 4 mm:n alue mitata hyvin tarkasti (0,05...1,0 mm). Lukupään etäisyys magneettihilasta tulee olla $0,5 \pm 0,25$ mm. Rekisteröintilaitteena voidaan käyttää laskuria, joka laskee anturilta saatavat pulssit. Pyöreissä magneettikiekoissa on 50...125 kappaletta magneetteja ja anturista saadaan kierrosta kohti 2000...5000 pulssia.

Magneettiset lineaarianturit soveltuvat hyvin kappaleenkäsittelylaitteiden, työstökoneiden ja robottien liikkeiden mittaamiseen. Järjestelmään tarvitaan magneettihila, tunnistinpää, vahvistinlaite sekä laskuri.



a



b

Kuva: Magneettinen lineaarianturi a) Mitta-asteikon magnetointi b) Mittaushila

5.2 Digitaaliset siirtymäanturit

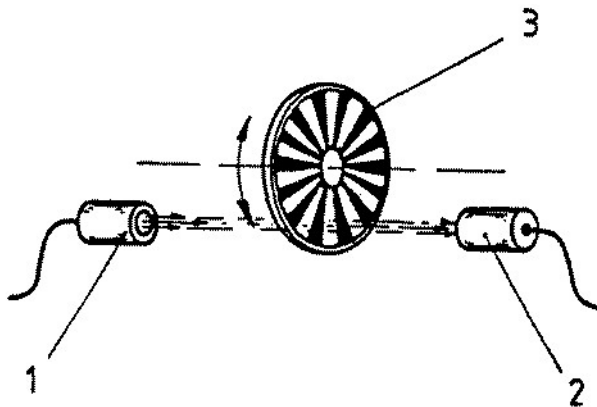
Digitaalisia siirtymäantureita käytetään lineaarisen ja kiertoliikkeen mittaamiseen. Teknologia on pitkälle kehittynyttä ja vakiokomponenttien valmistajia on lukuisia. Servotekniikassa ja robottitekniikassa käytetään usein kiertyvää optista pulssianturia nopeuden ja asennon mittauksessa. Inkrementaalisen anturin käytössä tarvitaan absoluuttisen aseman määrittystä varten laskuri, joka laskee anturin antamat pulssit.

Optinen pulssianturi

Oheinen kuva esittää yksinkertaista optista pulssianturia. Anturikiekoissa on määrävälein sekä valoa läpäiseviä että valoa läpäisemättömiä sekto-



reita. Kiekko on sijoitettu valonlähteen ja valokennon väliin. Riippuen sektoreiden lukumäärästä voidaan anturin kiertymää mitata eri tarkkuudella. Tyypillinen erottelukyky on 100...2500 pulssia/kierros. Yksinkertaisella pulssianturilla ei pysty tunnistamaan liikesuuntaa. Antureissa käytetään usein infrapunavaloa, koska nykyisin on saatavana edullisia infrapunaLED:jä (säteilylähteenä Gallium-Arsenidi). Valo on näkymätöntä ja monokromaattista. Tarvittaessa suurempia valotehoja voidaan käyttää hehkulamppua, elohopeakorkeapainelamppua, ksenon-salamalamppua tai laseria.



Kuva: Pyörivän optisen pulssianturin periaate 1) Valolähde 2) Valokenno 3) Hilakiekko

Pulssianturi voi tunnistaa myös pyörimissuunnan, kun anturissa käytetään kahta valokennoa peräkkäin tai kaksisektorikiekkoja ja kahta rinnakkaista valokennoa. Ulostulopulssit ovat 90° :n vaihesiirrossa toisiinsa nähden. Useissa optisissa pulssiantureissa on lisäksi kolmas valokenno, joka antaa ns. nollapulssin joka kierroksella. Nollapulssia voidaan käyttää pulssilaskennan nollakohdan määrittämiseen.

Kiertymän pulssianturit soveltuvat myös nopeuden mittaukseen, koska anturin pulssitaajuus on verrannollinen pyörimisnopeuteen. Useat anturit sisältävät elektroniikkaa ja ulostulona saadaan puhdasta suorakaideaaltoa. Järjestelmässä käytetään ylös/alas laskevaa laskuria ja näin voidaan ottaa liikesuunta huomioon.

Ulostulopulssien jännite on yleensä 5 V - 24 V DC ja suurimmat pulssitaajuudet kymmenien kilohertzien luokkaa. Hilakiekkon materiaali on muovia tai lasia. Tarkkuuden kasvaessa kasvaa hilakiekkon halkaisija. Käyttölämpötila-alueet ovat -20°C ... $+85^\circ\text{C}$. Anturin laakeroinnin kestävyys on 10^8 ... 10^{10} kierrosta riippuen kuormituksesta.

Lineaariseen muotoon rakennettua optista inkrementaalista pulssianturia voidaan käyttää esim. työstökoneen pöydän liikkeen ja aseman mittaamiseen. Lineaarisen pulssianturin toimintaperiaate on samanlainen kuin kiertyvän, mutta kiekko kuvitellaan levitetyn viivaimen muotoon. Viivatiheys voi olla esim. 10000 viivaa/tuuma. Mittaviivain kiinnitetään



5. SIIRTYMÄANTURIT

joko liikkuvaan luistiin tai runkoon. Mittaviivain voi olla myös heijastusperiaatteella toimiva, jolloin valolähde ja valokennot voivat olla samalla puolella. Lineaaristen antureiden tarkkuus on tyypillisesti $10\ \mu\text{m}$ ja maksiminopeus n. $5\ \text{m/s}$. Erottelukyky voi olla $0,5\ldots 10\ \mu\text{m}$. Pitkiä matkoja voidaan mitata liittämällä mittasauvoja peräkkäin, mutta usein on edullisempaa muuttaa lineaariliike kiertoliikkeeksi ja käyttää pyörivää pulssianturia. Antureissa tarvitaan hyvä kotelointi, jotta epäpuhtaudet eivät sotke hilaviivoja. Yleensä lineaariantureiden suojaus on hankalampaa kuin pyörivien antureiden.

Lineaaristen pulssiantureiden käyttösovelluksia ovat mm. tietokoneiden levymuistijärjestelmät, työstökoneet, koordinaattipiirturit ja tarkkuusmittalaitteet.

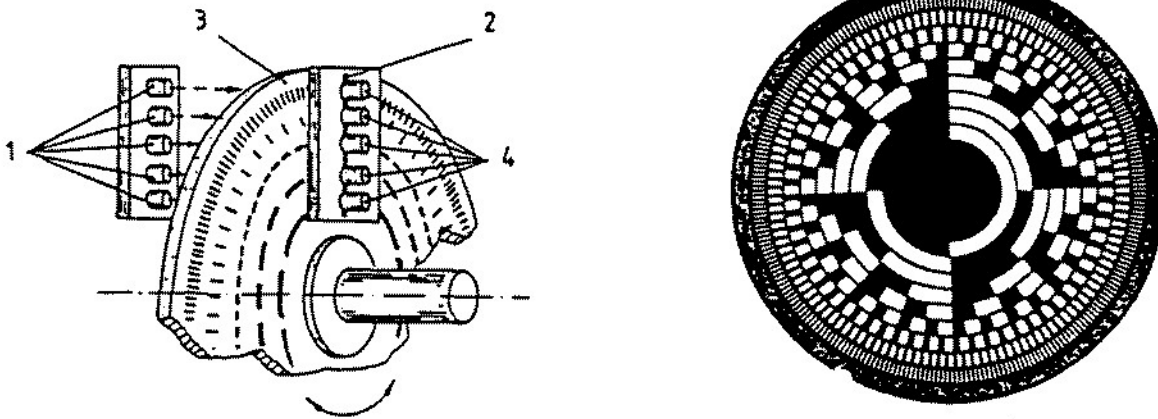
Koodianturi

Inkrementaalisten antureiden haittana on se, että järjestelmää käynnistettäessä on aina laskurille opetettava nollakohta, mistä pulssien laskenta alkaa. Jos joku pulsseista jää laskematta, tietää se pysyvää virhettä järjestelmään, ellei laskurin nolla-asemaa aina välillä tarkisteta. Näitä haittoja ei esiinny käytettäessä absoluuttisia koodiantureita. Antureilla voidaan mitata lineaarista siirtymää (koodiviivaimet) tai kiertymää (koodikiekot). Absoluuttiantureita käytetään robotiikassa ja NC-koneissa, kun luotettavuudelle asetetaan suuria vaatimuksia. Antureiden käyttöä rajoittaa korkea hinta.

Seuraava kuva esittää optista koodianturia kulman mittauksiin. Kiertymän absoluuttiantureissa käytetään litteää ympyrän muotoista koodikiekkoa. Esim. valoa läpäisevään kiekkoon on koodin mukaisesti varjos-tettu ruutuja. Koodilevyn toisella puolella olevasta valolähteestä tulee valoa optiselle lukupäälle vain läpinäkyvistä ruuduista. Valokennot antavat kiekon absoluuttista kiertymää vastaavan rinnakkaismuotoisen digitaalisanan. Digitaalisanan bittien lukumäärä määrää anturin erottelukyvyn. Esim. kymmenbittinen anturi pystyy erottelemaan 2^{10} ($=1024$) eri kulma-asentoa. Koodikiekossa ovat vähiten merkitsevät bitit ulkokehällä ja eniten merkitsevät bitit sisäkehällä.

Absoluuttiantureiden rakenne on lieriömäinen. Anturissa on akseli tai valmis reikä ulkopuolista akselia varten. Kotelo voi olla umpinainen tai puolisoljettu, jolloin anturissa on ainoastaan päätylaipat. Ulostulosignaaleista ovat tavallisimpia luonnollinen binääri-, GRAY- ja 8421-BCD koodit. Antureiden bittiluvut ovat normaalisti $10\ldots 13$. Halkaisijat vaihtelevat välillä $60\ldots 250\ \text{mm}$ ja akseleiden halkaisijat $5\ldots 15\ \text{mm}$. Suurimmissa antureissa on käytössä reikäakselit.

Koodianturit voidaan rakentaa myös lineaarisena.



Kuva: Optisen koodianturin rakenne ja sen binäärinen koodikieppo. 1) Valonlähteet (Ledit) 2) Rako 3) Hilakieppo 4) Valokennot

Antureiden käyttö

Lineaariantureiden pääkäyttöalueita ovat työstökoneet, numeeriset ohjaukset ja paikoitusnäyttölaitteet. Inkrementtiantureilla mittapituudella ei ole rajoituksia, mutta absoluuttiantureilla mittapituus ja tarkkuusvaatimus riippuvat toisistaan. Absoluuttiset lineaarianturit ovat kookkaampia ja kalliimpia kuin inkrementtaalliset anturit. Lineaariantureiden käyttö on lisääntymässä, vaikka useissa sovelluksissa voidaan käyttää välitystä ja pyörivää anturia suoraviivaisen liikkeen mittaamiseen. Yleensä lineaarianturit sopivat tarkkoihin mittauksiin.

Pyörivien antureiden käyttö on samantapaista kuin lineaariantureiden. Numeerisissa ohjauksissa pituuden ja kulman mittauslaitteina ovat pyörivät anturit vielä vallitsevia. Pyörivillä antureilla on monipuoliset asennusmahdollisuudet verrattuna lineaarisiin antureihin. Ruuvimutterivälityksissä voidaan pyörivä anturi sijoittaa käyttömoottorin akselille ja kun välitys on tiedossa, voidaan näin mitata lineaariliike. Toinen mahdollisuus on käyttää hammastankoa (hammashihnaa) ja hammaspyörää lineaarisen liikkeen muuttamiseksi pyöriväksi liikkeeksi. Pyörivällä anturilla voidaan mitata pitkiäkin matkoja laskemalla anturin kierrokset ja tarkempi paikanmääritys voidaan suorittaa viimeisen vajaan kierroksen alueella.



OPPIJAKSO 8. ANTURITEKNIikka

HARJOITUSTEHTÄVIEN RATKAISUT

Tehtävä 1

4 bitin resoluutiolla mittausalue jakaantuu $2^4 = 16$ jakoalueeseen. Mittaustarkkuudeksi tulee siis $100 \text{ mm}/16 = 6,25 \text{ mm}$.

Tehtävä 2

12 bitin resoluutiolla vastaava jakoalue on $2^{12} = 4096$ eli mittaustarkkuudeksi tulee $100 \text{ mm}/4096 = 0,024 \text{ mm}$.

Tehtävä 3

Työkierron kokonaisaika on

liike eteen	1,87 s
A/D-muunnos	0,36 s
paluuliike	<u>1,62 s</u>
Yhteensä	3,85 s

Ratkaisemme yhtälön:

$$\frac{x}{69 \times 60\text{s}} \cdot \frac{1}{3,85\text{s}} = 935 \text{ kertaa}$$

Tehtävä 4

Työkierron kokonaisaika on

liike eteen	1,87 s
A/D-muunnos	0,028 s
paluuliike	<u>1,62 s</u>
Yhteensä	3,4928 s

$$x = 3600\text{s}/3,4928\text{s} = 1030 \text{ kertaa}$$

Ero aikaisempaan työkiertomäärään on = 95 kertaa eli

$$\frac{1030 - 935}{935} \times 100\% = 10,2\% \text{ suurempi}$$

Tehtävä 5

Hetkellä τ muutosta on tapahtunut

$$a + (b-a)(1-e^{-1}) - a = 0,632(b-a)$$

eli suhteellinen muutos on

$$[0,632(b-a) / (b-a)] \cdot 100\% = 63,2\%$$



Tehtävä 6

Vain IP 67 sopii. IP 42 ei täytä roiskevesisuojausvaatimusta.

Tehtävä 7

Olkoon johtimen resistanssi R_t , Pt-100-vastuksen resistanssi R_s ja jännitemittarin sisäresistanssi R_v . Jännitemittarin kautta kulkevan virran voimakkuus on

$$I_{m\grave{a}} = 6 \text{ mA} \cdot R_v / (R_t + R_s + 2R_v), \text{ jolloin jännitemittarin lukema on } U_{m\grave{a}} = R_s \cdot I_{m\grave{a}}$$

sijoittamalla lukuarvot saadaan $U_{m\grave{a}} = 0,817 \text{ V}$.

Jos jännitemittarin sisäresistanssi olisi äärettömän suuri, olisi

$$U_{m\grave{a}} = 0,828 \text{ V}.$$

Tehtävä 8

Erottelukyky eli resoluutio

$$= 50 \text{ mm} / 2^{12} = 0,012 \text{ mm} = 12 \text{ }\mu\text{m}.$$



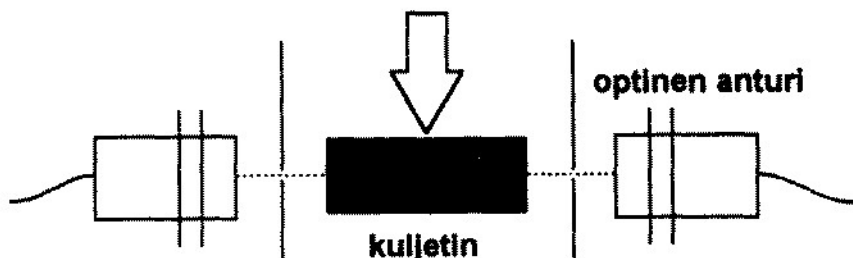
KOTITEHTÄVÄT

Lähetä alla esitettyjen tehtävien suoritukset Tietomieheen tarkastettavaksi. Merkitse jokaiseen lähettämääsi vastauslomakkeeseen aineen nimi (Automaatiotekniikka) ja oppijakson numero (8) sekä oma nimesi, oppilastunnuksesi ja osoitteesi.

Tehtävä 1

Tiiliskiven pituutta mitataan kahdella optisella anturilla. Molemmat anturit on varustettu analogisella lähdöllä ja kalibroitu antamaan analogiajännitteen 0 ... 10 V mitta-alueella 0 - 200 mm.

Mikä on kokonaismittaustarkkuus kahden anturin kohdalla, kun A/D-muunnoksessa käytetään 8 bitin resoluutiota?



Tehtävä 2

Millä resoluutiolla edellisen tehtävän A/D-muunnos pitäisi suorittaa, että kokonaistarkkuus olisi kahden anturin osalta vähintään 4 mm?

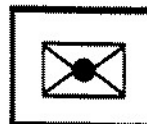
Tehtävä 3

Kun tehtävässä 1 käytetään 4 bitin resoluutiota, niin minkä kahden binaäriluvun välissä olisi mitta-arvo 42 mm ja mitkä olisivat nämä arvot binaärilukuina?

Tehtävä 4

8 bitin resoluutiolla A/D-muunnos vie logiikalta aikaa 58ms. Päätät kuitenkin valita analogiatulokortin, jonka erottelutarkkuus on 12 bittiä. Logiikan käyttämä aika A/D-muunnokselle on silloin 360ms.

Millä nopeudella tiiliskivi saa tulla enintään anturien ohitse, jotta logiikka vielä ehtii suorittamaan A/D-muunnoksen, kun kuljettimen nopeus on 0,6 m/s ja tiiliskiven koko on 60 x 280 mm eli mitatavan sivun pituus on 60 mm?

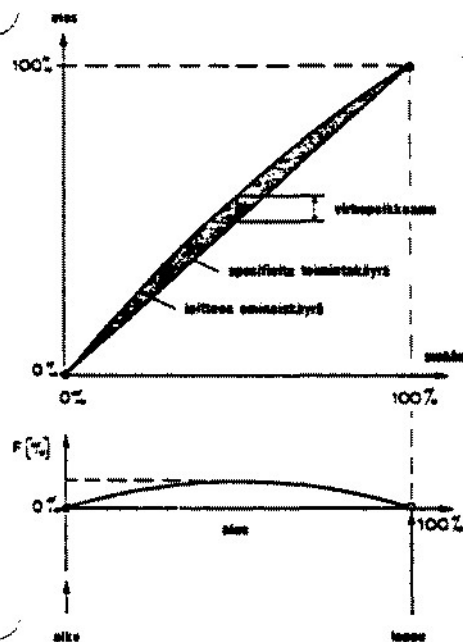


Tehtävä 5

Mikä olisi kuljettimen maksiminopeus, jos käyttäisitkin 8 bitin resoluutiota edellisen harjoituksen kohdalla?

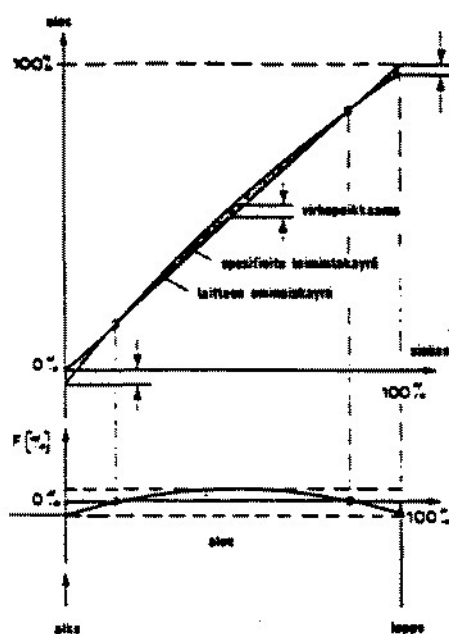
Tehtävä 6

Oheisissa kuvissa on esitetty mittalaitteen lineaarisuuden eri määrittelyt. Tunnista mikä kuvista esittää sitomatonta lineaarisuutta, mikä päätepis-teisiin sidottua lineaarisuutta ja mikä nollapisteeseen sidottua lineaarisuutta.



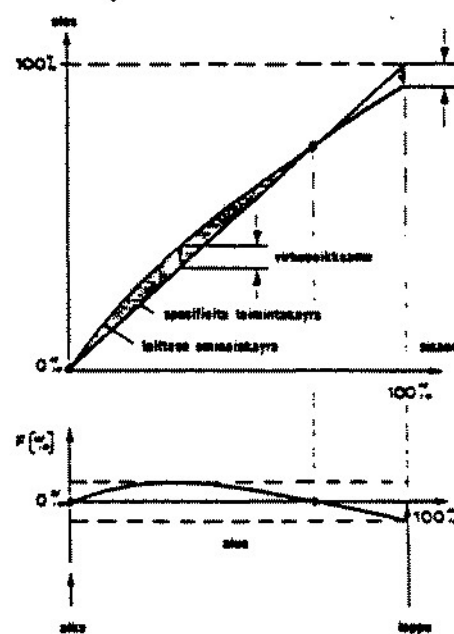
Ominaiskäyrä ja virhekäyrä "terminal based"

a



Ominaiskäyrä ja virhekäyrä "independent"

b



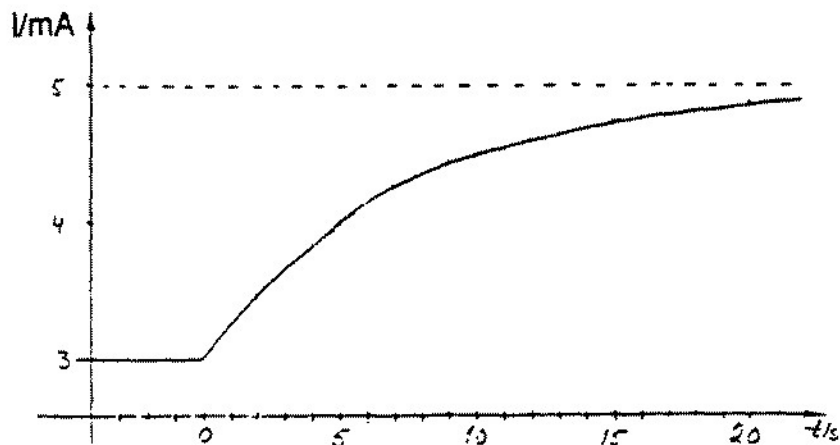
Ominaiskäyrä ja virhekäyrä "zero based"

c



Tehtävä 7

Kuva esittää erään mittalaitteen askelvastetta. Määritä kuvasta mittalaitteen aikavakion suuruus likimain.



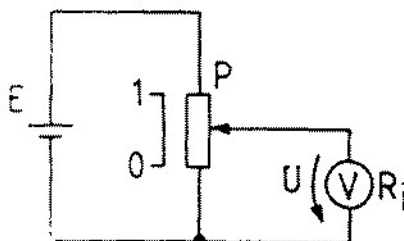
Tehtävä 8

Pt-100-anturin omalämpenemisvirheeksi on ilmoitettu $S = 0,15^\circ \text{C/mW}$. Eräessä mittaustilanteessa anturin resistanssi on 150Ω ja anturin kautta kulkevan virran voimakkuus on 15 mA . Kuinka suuri mittausvirhe ($^\circ\text{C}$) tässä tilanteessa syntyy?

Tehtävä 9

Kuvan mukaisen potentiometrin resistanssi on $10 \text{ k}\Omega$ ja volttimittarin sisäresistanssi $R_i = 100 \text{ k}\Omega$. Syöttöjännite $E = 10 \text{ V}$.

Mitä volttimittari näyttää, jos potentiometrin liuku on keski-kohdassa?



Tehtävä 10

Pystylieriön muotoisen vesisäiliön pohjaan on asennettu painekeytkin, jossa on kytkentärajan asetteluasteikko $0 \dots 500 \text{ mbar}$. Painekeytkimellä on tarkoitus antaa ylarajahälytys. Mihin arvoon mbar-asteikolla kytkentäraja on painekeytkimessä asetettava, jotta painekeytkin toimisi, kun pinnankorkeus on noussut arvoon $3,0 \text{ m}$?