

# Teollisuusmittaukset

Johdanto

# Miksi mitataan?

- Suureen arvon selvittäminen
- Mittauksen kohde – järjestelmä eli systeemi



# Miksi mitataan?

- Halutaan selvittää järjestelmän tila, esim säähän liittyvät mittaukset
- Halutaan tutkia järjestelmän ominaisuuksia
  - Annetaan tulosuure ja mitataan lähtösuure
  - Järjestelmän dynaamiset ominaisuudet
    - Askelvaste ja taajuusvaste
- Halutaan säätää järjestelmän käyttäytymistä
  - Takaisinkytkentä



# Mittauslaitteiden rakenne

- Perinteinen rakenne ja kuvaus:
  - Anturi ja lähetin selkeästi erilliset
    - Anturi sisältää tuntoelimen ja muuttaa mitattavan suureen toiseen, helposti mitattavaan muotoon
    - Lähetin muodostaa muunnetusta suureesta standardiviestin (U, I tai p) ja lähettää sen
- Modernimpi kuvaus:
  - Anturi ja lähetin integroitu samaan kokonaisuuteen esim samalle mikropiirille :
    - Anturi sisältää tuntoelimen
    - Tarvittaessa mitattavan suureen muokkaus toiseen, mittauskelpoiseen muotoon
    - mittaviestin muokkaustoimintoja (suodatus, muunnos jne)
    - Käytetään joko standardiviestiä tai digitaalista viestiä (väyläliitäntä)

# Standardiviestit

- Mitattavan suureen suurin ja pienin arvo merkitään 0 % ja 100%
  - 4...20 mA (DC), 4 mA on "elävä nolla"
  - 0...20mA (ei suositella)
  - +1...+5 V
  - 0...+5V
  - 0...+10V
  - -10...+10V
  - 20...100 kPa
- Digitaalisten automaatiojärjestelmien yleistyessä digitaalinen tiedonsiirto yleistyy:
  - kuparikaapeli,
  - Valokuitu
  - myös langattomia sovelluksia

# Muunnos standardiviestiksi

- Lineaarinen muunnos
  - viesti suoraan verrannollinen mittauksen arvoon
  - Voidaan soveltaa myös yksikkömuunnoksissa, esim F -> C, bar -> psi
  - Kun merkitään mittarin lukema M ja viesti V

=>

$$V = \frac{(M - M_0)}{(M_{100} - M_0)} * (V_{100} - V_0) + V_0$$

- Neliöllinen muunnos
  - viesti riippuu neliöllisesti mittauksen arvosta

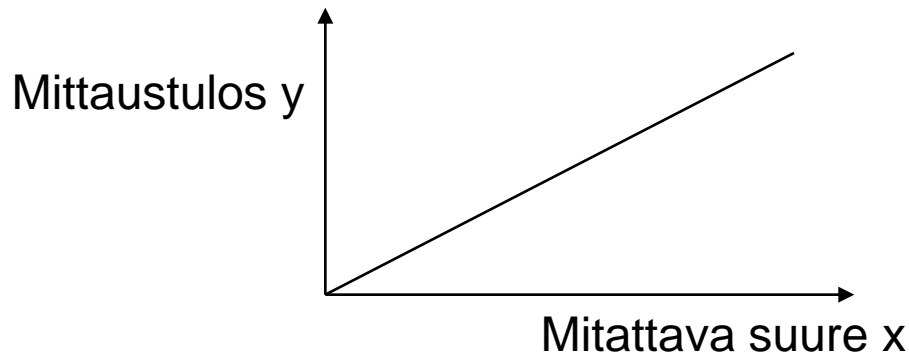
$$V = \frac{(M - M_0)^2}{(M_{100} - M_0)^2} * (V_{100} - V_0) + V_0$$

# Mittauslaitteiden suorituskyky

- Herkkyys
  - on suhdeluku :  
Lähtösuureen (y) muutos/ Tulosuureen (x) muutos eli  $dy / dx$   
Tavoitteena useimmiten lineaarisuus, jolloin  $dy / dx$  on vakio
- Tarkkuus
  - Yhtäpitävyys oikean arvon kanssa
    - Virheen aiheuttajien tunnistaminen
    - Tavoitteena virheen minimointi

# Mittalaitteen staattiset ominaisuudet

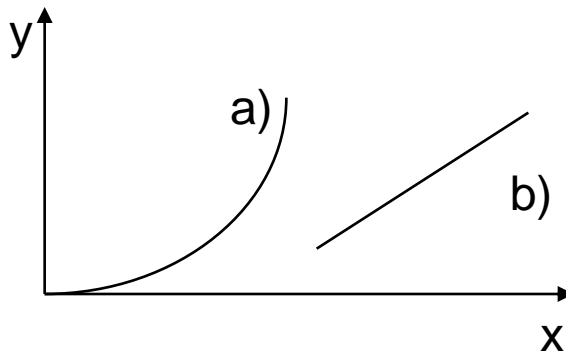
- Mittalaitteen tulosuure: mitattava suure  $x$
- Lähtösuure: mittarin osoitus l. mittaustulos  $y$



**Lineaarinen ominaiskäyrä** (suora)

$$y = k \cdot x$$

Herkyys  $k$  on ominaiskäyrän kulmakerroin, lin. järjestelmissä  $k$  on vakio



Esimerkkejä **epälineaarista ominaiskäyristä**. B-tapaus muuttuu lineaariseksi origon siirrolla.



# Lineaarisuuden tyypit

- Ominaiskäyrän poikkeaminen suorasta kuvaa mittalaitteen epälineaarisuutta
- Lineaarisuuden tyypit:
  - Sitomaton lineaarisuus
  - Päätepisteisiin sidottu lineaarisuus
  - Nollapisteeseen sidottu lineaarisuus
- Epälineaarisuusvirhe ilmoitetaan yleensä prosentteina lähtösuureen alueen leveydestä
- Testauksessa ja **kalibroinnissa** käytetään usein päätepisteisiin sidottua lineaarisuutta: asetetaan nollakohta (Zero) paikalleen, jonka jälkeen asetetaan lähtöviestin vaihtelualueen leveys vastaamaan mittausalueen leveyttä (Span)
- Uusissa mittalaitteissa tuntoelimen epälineaarisuus voidaan korjata mittasignaalin käsittelyn yhteydessä lähettimen sisällä.

# Ominaiskäyrän poikkeamia lineaarisuudesta

- Hystereesi
  - Lähtösuure saa eri arvoja tulosuureen kasvaessa ja pienentyessä
- Erottelukynnys
  - pienin tulosuureen muutos, joka havaitaan lähdössä
- Kyllästyminen
  - lähtösuureen kasvu lakkaa, vaikka tulosuure kasvaa
- Toistokkykyvirhe
  - Mittaussarjan suurimman ja pienimmän mittaustuloksen erotus samalla tulosuureella
- Nollakohdan virhe
- Ryömintä
  - mittalaitteen ominaisuuksien hidas muuttuminen esim. mittarin vanhetessa

# Ominaiskäyrän poikkeamia lineaarisuudesta

- Virheen lajit:
  - Absoluuttinen virhe  $F = \text{mittaustuloksen } x \text{ ja oikean arvon } x_0 \text{ erotus}$
  - Suhteellinen virhe  $F_s = F / x_0$
  - Valmistaja ilm. yleensä max virheprosentin
  - Kokonaisvirheen määrittäminen eri tekijöiden perusteella  $F = \sqrt{(F_1^2 + F_2^2 + \dots + F_5^2)}$ 
    - $F_1 \dots F_5$  ovat:
      - epälineaarisuusvirhe
      - hystereesivirhe
      - Nollapistevirhe
      - Toistokykyvirhe
      - Erotteluvirhe
  - Menetelmä antaa n 70% todennäköisyydellä odotettavissa olevan kokonaisvirheen ylärajan

# Dynaamiset ominaisuudet

- Askelvaste:
  - Kuvaa järjestelmän käyttäytymistä muutostilanteessa
  - Kun tulosignaaliin tehdään askelmainen muutos, saadaan lähtösignaalina askelvaste
- Askelvasteesta voidaan määritellä
  - Nousuaika = Aika, jonka kuluessa askelvaste on kasvaa 10% arvosta 90% arvoon
  - Aikavakio = Aika, jonka kuluessa askelvaste on kasvanut 63,2% loppuarvostaan. Eksponenttikäyrällä  $\text{Nousuaika} / \text{Aikavakio} = 2,2$
  - Ylitys
  - Viivästymä eli kuollut aika
  - Viipymä
  - Asettumisaika
  - Vasteaika eli askelvasteaika

# Taajuusvaste

- Tulosuurena on sinimuotoinen signaali. Lähtösuureesta mitataan amplitudi ja vaihe.
- Lineaarinen järjestelmässä lineaarinen tulosignaali voi tuottaa vain lineaarisen vasteen, jonka amplitudi ja vaihe riippuvat taajuudesta.
- Mittaus toistetaan eritaajuisilla signaaleilla, ja tuloksista piirretään vahvistus ja amplitudikäyrät
- Käyriä kutsutaan taajuusvastekäyriksi tai Bode-käyriksi
- Niistä voidaan lukea **vahvistus ja vaihesiirto**
- Vahvistuskäyrä esitetään yleensä **desibeleinä**
  - $A / \text{dB} = 20 \lg (U_2 / U_1)$
- Ylärajataajuus  $f_y$  ja nousuaika kuvaavat järjestelmän nopeutta
- Niiden välinen yhteys:  $\text{Nousuaika} = 0,35 / f_y$ 
  - (kerroin voi vaihdella välillä 0,35...0,45 riippuen järjestelmästä)

# Harjoituksia

1. Järjestelmänä on DC-moottori, jonka pyörimisnopeutta muutetaan ankkurijännitettä muuttamalla.
  - Kun  $U = 2,5 \text{ V}$ , moottori lähtee pyörimään
  - Kun  $U = 5\text{V}$ , niin  $n = 1000 \text{ r/min}$
  - Kun  $U = 10\text{V}$ , niin  $n = 3000 \text{ r/min}$
  - Kun  $U = 15\text{V}$ , niin  $n = 5000 \text{ r/min}$
  - a) Piirrä ominaiskäyrä eli  $n = f(U)$
  - b) Onko järjestelmä lineaarinen?
  - c) Moottorin aikavakioksi on mitattu  $0,55 \text{ s}$ . Mitä tämä tarkoittaa. Miten mittaisit aikavakion?
2. Lämpötila-anturin vasteajaksi ilmoitetaan  $t_{0,5} = 1 \text{ min}$ . Anturi on huoneenlämpötilassa  $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Piirrä anturin lähtösignaali, kun se upotetaan äkisti hauteeseen, jonka  $T_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$
3. Pneumaattisen pinnankorkeuslähettimen mittausalue on  $1 \dots 6 \text{ m}$ . Mikä on lähettimen standardiviestin suuruus, kun pinnan korkeus on
  - a)  $2\text{m}$
  - b)  $5\text{m}$

# Harjoituksia

4. Muuta laskennallisesti 0...20 mA virtaviesti 4...20 mA virtaviestiksi.
5. Pneumaattinen standardi-viesti muutetaan sähköiseksi std-viestiksi P/I-muuntimessa. Mikä on sähköisen viestin suuruus, kun pneumaattinen viesti on
  - a) 0,2 bar,
  - b) 0,5 bar,
  - c) 0,8 bar tai
  - d) 1,0 bar?
6. Muunna
  - a) 100 F Celsius-asteiksi
  - b) 100 C Fahrenheit-asteiksi
7. Muunna paineen yksikkö psi eli lb/in<sup>2</sup>, paunaa per neliötuuma SI-järjestelmän yksiköksi (Pascal) sekä bareiksi
8. Onko puolijohdediodi lineaarinen vai epälineaarinen komponentti? Mitä suureita voidaan pitää tulo- ja lähtösuureina?
9. Lämpötilälähettimen mittausalue on 400...600 C. Mikä on lähettimen standardiviestin suuruus, kun mitattava lämpötila on 400, 500, ja 580 C, kun standardiviesti on
  - a) 4...20 mA
  - b) 0...10 V

# Lämpötilan mittaaminen

- Yleisin mittaus prosessiteollisuudessa
- Asteikot
- SI-yksikkö on kelvin (K)
- celsiusaste ( $^{\circ}\text{C}$ ) on säilynyt yleisessä käytössä.
- myös Fahrenheit-astetta käytetään edelleen.



# Lämpötilan mittaaminen

- Nestepatsasantureita käytetään teollisuudessa paikallisina mittareina ja kalibroinneissa vertailumittareina
- Bi-metallimittareita käytetään pääsääntöisesti kytkiminä (esimerkiksi lämpöreleet ja termostaatit)
- Yleisimmin instrumentoinnissa käytetään **vastus- ja termoelementtejä** lämpötilan mittaamiseen
- Kvartsikiteeseen perustuva mittaus on erittäin tarkka
  - kapea mittausalue rajoittaa käyttöä
- Säteilystä perustuva mittaus käytetään liikkuvissa ja erittäin kuumissa kohteissa

# Paineen mittaaminen

- Paineen mittaus on lämpötilan mittauksen jälkeen yleisin mittaus prosessiteollisuudessa
- Painetta tarkkaillaan, sitä säädetään ja sen avulla voidaan epäsuorasti mitata pinnan korkeutta, virtausta, tiheyttä jne.
- **Paineen SI-yksikkö** on pascal,  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ .
- Yleensä paine mitataan ns. suhteellisena mittauksen, joilla tarkoitetaan kyseisen tilan paineen mittaamista suhteessa ilmanpaineeseen
- Toisin sanoen mittaus on paine-eron mittaamista, jossa **vertailupaine on ilmanpaine**

# Paineen mittaaminen

- Paine voidaan mitata myös **absoluuttisesti**, jolloin vertailussa on **tyhjiö**
- Kolmas tapa mitata painetta on verrata sitä johonkin toiseen paineeseen, joka poikkeaa tyhjiöstä tai ilmanpaineesta. Tällöin puhutaan **paine-eron** mittaamisesta
- Yleisesti paineanturi tuottaa pienen **siirtymän**, joka on eri tavoin muutettavissa sähköiseksi signaaliksi
- Voimien mittaukset palautuvat usein paineenmittauksiin

# Virtauksen mittaaminen

- Prosesseissa **aineet siirretään useimmiten virtauksina**
- Myös **energiaa** siirretään tavallisesti ainevirtauksen avulla (joko polttoaine tai virtaavan aineen lämmitys).
- Virtausmittaukset ovat siksi teollisuusprosessien mittausten joukossa hyvin keskeistä.
- Virtausmittauksista puhuttaessa kohdesuureena voi olla tilavuusvirta, massavirta, virtausnopeus tai virtausmäärä. Se, mitä suuretta mitataan, määrää usein myös käytettävän anturityypin.
- Yleisin mitattava suure on **virtausnopeus**, josta saadaan **tilavuusvirta**, kun tunnetaan **virtauspinta-ala**.

# Virtauksen mittaaminen

- Erilaisia mittausmenetelmiä on useita
- Yleisin mittaustapojen jaottelutapa:
  - virtausta häiritsemättömät
  - virtausta häiritsevät mittaustavat
- Toinen jaottelutapa:
  - avokanavamittaukset
  - putkistomittaukset
- Virtauksen **kuristukseen** tai **induktiiviseen mittaukseen** perustuvat menetelmät ovat tavallisia
- Lisäksi monia muita menetelmiä

# Pinnankorkeuden mittaaminen

- Pinnankorkeuden mittaaminen erilaisissa säiliössä on yksi tärkeimmistä ja yleisimmistä mittauskohteista teollisuudessa. Useimpien prosessien säätöön liittyy pinnankorkeuden säätö ja siis myös mittaus.
- Pinnankorkeusmittaus voidaan jakaa mittauskohteen mukaan kahteen pääryhmään:
  - nesteiden pinnankorkeuden mittaus
  - kiintoaineiden pinnankorkeuden mittaus

# Muita mittauksia

- **Voiman mittaaminen**
  - Voiman yksikkö: Newton [N]
  - Vääntömomentin yksikkö: Newtonmetri [Nm]
- **Analyysimittauksia**, esimerkiksi
  - happamuus, emäksisyys (pH)
  - pitoisuus
  - säteily
  - viskositeetti
  - ym.