

Løsningsforslag til eksamensoppgave i TTK4235 Tilpassede datasystemer

Eksamensdato: 24. mai 2016

Ved poenggiving skal en belønne *forståelse*. De angitte poengene tilsvarer en fullgod besvarelse, ved manglende eller mangelfulle svar trekkes en forholdsvis andel.

NB: Løsningsforslaget gir en mest mulig komplett behandling av fagstoffet, og er i praksis mer omfattende og mer detaljrikt enn det som kreves for å få full uttelling til eksamen.

Oppgave 1 **Veiling/kraftmåling (20%)**

- a) Figuren t.h. viser en typisk strekkklapp. «Mønsteret» består av en metallfilm, som typisk er limt/laminert på et plastsubstrat.

Strekkklappen limes på et elastisk underlag (f.eks. en metallstruktur), slik at de parallelle lederne ligger i den retningen hvor kraften skal måles. Når materialet som strekkklappen er festet på, utsettes for en mekanisk kraft, vil dette materialet – og dermed også strekkklappen - bli deformert (forlenget eller forkortet). Forlengelse medfører lengre og tynnere ledere, hvilket betyr øking av resistansen, ved forkortelse skjer det motsatte. Resistansverdien er derfor et mål for den påtrykte kraften.



- b) To effekter som medfører temperaturavhengighet:

1. Alle ledende materialer har en resistans som varierer noe med temperaturen (resistansen har en endelig temperaturkoeffisient), dette gjelder også det ledende materialet i strekkklappen.

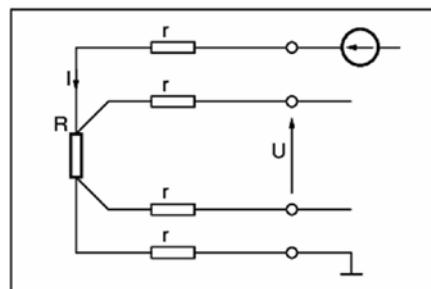
Mottiltak: vi bruker to identiske strekkklapper, der den ene er montert slik at den påvirkes av både strekk og temperatur. Den andre monteres slik at den kun påvirkes av temperaturen, f.eks. ved at den monteres på samme underlag som den første men ortogonalt på deformasjonsretningen. Ved å kople de to strekkklappene som en halvbro, evt. som en av grenene i en fullbro, får vi en utgangsspenning som i teorien ikke avhenger av temperatur, kun av strekk/forlengelse.

2. Materialet i underlaget som strekkappen er festet på, utvider eller trekker seg sammen seg når temperaturen varierer. Dette gir en lengdeendring og dermed en resistansendring i strekkappen.

Mottiltak: Strekkappens ledende materiale velges slik at det har samme temperaturutvidelseskoeffisient som materialet den er festet på.

- c) Firelederkoplingen er skissert t.h., strekkappen er markert med R i figuren. Den konstante drivstrømmen er markert med bokstaven I .

Firelederkoplingen brukes når det er lange ledninger eller uforutsigbar/variabel resistans r mellom det resistive måleelementet og kretsen som skal avlese målesignalet. Ved en «naiv» tolederkopling vil vi få spenningsfall over ledningens resistans, som gir feil i den avleste spenningen.



Ved i stedet å lese av spenningen U med et separat ledningspar der det går neglisjerbar strøm (og derfor er neglisjerbart spenningsfall), elimineres eller reduseres denne feilen.

- d) Et piezoelektrisk måleelement består av et materiale der påtrykkede eksterne krefter forskyver de elektriske ladningene i materialet. Metallelektroder på elementets overflate danner en kapasitans som lades opp av denne forskyvningen, og vi får en spenning mellom elektrodene som avhenger av den påtrykte kraften.

Måleprinsippet er lite egnet for å måle konstante eller langsomtvarierende krefter fordi ladningen etter hvert tapes (lades ut) på grunn av lekkasjestrømmer. Teknikken er derfor uegnet for måling av kroppsvekt.

Oppgave 2 Rotasjonshastighet, moment og effekt (20%)

- a) Oppgaven spør etter tre måleteknikker for rotasjonshastighet. Løsningsforslaget nevner her tre vilkårlige blant mange mulige riktige svar:
- 1) Inkrementell kodeskive (pulstachometer).
Skiva festes på akslingen, og har åpne spalter med jevne mellomrom rundt omkretsen. En lyskilde og en lysdetektor på hver sin side av skiva gir elektriske pulser hver gang en spalte passerer. Hastigheten er gitt av antall pulser per tidsenhet.
 - 2) Likespenningstachometer.
En permanentmagnet og en spole som roterer i forhold til hverandre. I varianten med børster ligger spolen i rotor, og en kommutator/børsteanordning likeretter den induserte vekselspenningen til en likespenning som er proporsjonal med rotasjonshastigheten.
Hvis spolen ligger i stator, brukes dioder til å likerette den induserte spenningen, med samme resultat («børsteløst likespenningstachometer»).
 - 3) Treghetsbasert måler (coriolisakselerasjon).
En masse settes i vibrasjoner radielt på rotasjonsbevegelsen. Ved rotasjon skaper coriolisakselerasjonen et utslag i tangentiell retning, amplituden på dette utslaget er et mål for rotasjonshastigheten.

b) For måling av rotasjonshastigheten på tredemøllen er alternativene 1) eller den børsteløse versjonen av alternativ 2) å foretrekke, fordi de «kontaktfrie», dvs. nesten helt uten mekanisk friksjon og slitedeler og uten behov for å tilføre elektrisk energi til roterende deler.

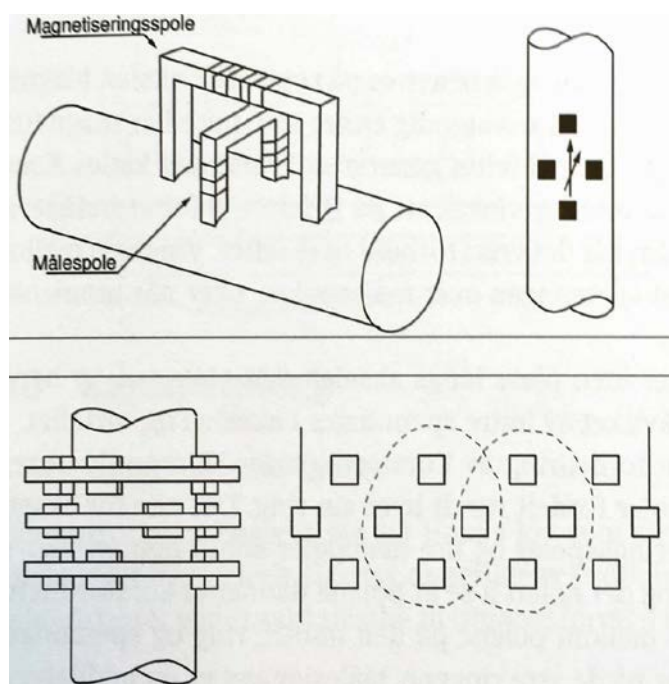
c) Korstorduktorens prinsipielle virkemåte:

To spoler er koplet magnetisk med den roterende akslingen via jernkjerner som *nesten* berører den (se figuren nedenfor). Spolene er ortogonale, så en vekselstrøm i magnetiseringsspolen skaper et felt som i utgangspunktet ikke inducerer noe spenning i målespolen.

Når akslingen overfører et moment, oppstår skjærspenninger i metallet, noe som medfører at metalllets magnetiske permeabilitet blir anisotrop (retningsavhengig) – dette kalles "magnetisk elastisitet" i læreboka. Dette forskyver feltet fra magnetiseringsspolen slik at det induseres en spenning i målespolen som er proporsjonal med momentet.

En ringtorduktor (nederst i figuren) består av flere polpar (spoler) fordelt langs ringer som ligger rundt akselen. I praksis utgjøre dette en rad med korstorduktorer.

Fordelen med dette er at målefeil grunnet indre spenninger i akselen m.m. midles ut og dermed reduseres.



d) Med en inkrementell kodeskive i hver ende av akslingen har vi alt vi trenger:

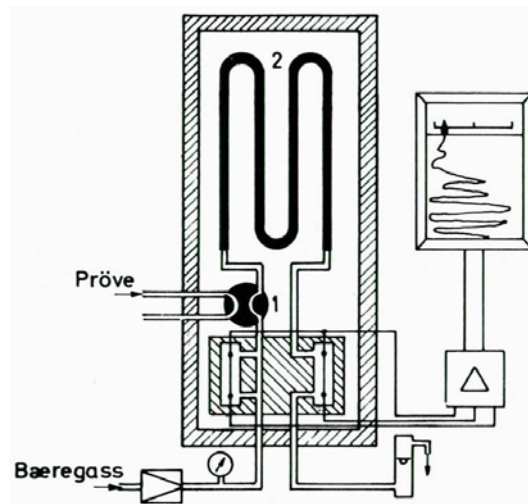
- Pulsraten fra kodeskivene gir rotasjonshastigheten, som er proporsjonal med løpebanens hastighet.
- Fasevinkelen mellom pulstogene fra de to kodeskivene er proporsjonal med vridningen av akslingen, som igjen er proporsjonal med det overførte momentet. Momentet er i sin tur proporsjonalt med kraften som testpersonen sparker fra med.
- Testpersonens ytelse (effekt) kan nå beregnes som produktet av rotasjonshastigheten og momentet.

Oppgave 3 Måling og analyse av pustegass (20%)

- a) I måle- og referansekamrene er det anbragt en varmetråd som inngår i en målebro. Så lenge gassen i kamrene er i ro, er resistansen i de to trådene like. Plasseres det et magnetfelt over det ene kammeret, trekkes noe av oksygenet i gassen inn i kammeret og fortrenger annen gass. Oksygenet varmes opp av hetetråden, susceptibiliteten synker, og det blir fortrent av kaldere oksygen fra målerøret. Det oppstår oksygenkonveksjon, magnetisk vind, inne i kammeret. Vinden avkjøler varmetråden. Resistansforskjellen mellom de to trådene er derfor et mål for oksygeninnholdet.

- b) (Første del gitt til eksamen i TTK4125 2014)
Kromatografi: dersom en blanding av ulike stoffer presses eller trekkes gjennom et porøst materiale ved hjelp av kapillæreffekten eller en trykkgradient, vil de ulike stoffene (molekylene) vekselvirke ulikt med materialet og derfor ha forskjellig transporthastighet. Blandingen vil derfor bli separert.

I gasskromatografen presses et prøvolum av en gassblanding ved hjelp av en "bæregass" gjennom en kolonne med et filtermateriale e.l., og ved utgangen av kolonnen vil da ulike gasser komme ut til ulik tid. Hver enkelt gass kan identifiseres ved transporttiden i kolonnen, mens konsentrasjonen kan måles indirekte via gassens varmeledningsevne/varmekapasitet.



På grunn av transporttiden gjennom kromatografen går det med en viss tid for å analysere hver prøve. Den egner seg derfor dårlig i det aktuelle tilfellet, der vi trenger en kontinuerlig måling av gassammensetningen.

- c) Måleskiva utgjør en innsnevring av tverrsnittet i røret der målingen skal foregå. Det kan vises (vha. bl.a. Bernoullis likning) at volumstrømmen gjennom røret er proporsjonalt med kvadratroten av trykkforskjellen før og etter måleskiva. Denne trykkforskjellen kan måles med en dP-celle (differensiell trykkmåler).

I det foreliggende tilfellet vil bl.a. pustegassens temperatur og luftfuktighet variere mellom inn- og utpust. I utpusten vil disse faktorene også avhenge av luftas oppholdstid i lungene. Derfor vil gassens massetetthet også variere, noe som vil påvirke trykkfallet over måleskiva.

Oppgave 4 Informasjonsteori (10%)

- a) *Kanalkapasitet* er et uttrykk for hvor mye informasjon en overføringskanal kan overføre per tidsenhet.

Kanalkapasiteten bestemmes i praksis av *kanalens båndbredde* og dens *signal-støyforhold*.

- b) For å analysere en kontinuerlig informasjonskilde, må vi først diskretisere den både i signalnivå- og tidsdimensjonen.

Kvantisering av signalnivå: Vi begrenser symbolsettets størrelse ved å spesifisere ønsket oppløsning. Vi deler måleområdet i et antall intervaller, hvert intervall tilordnes et symbol. Symbolet representerer alle måleverdier innen sitt måleverdiintervall.

Tidsdiskretisering: Vi tenker oss at det kontinuerlige signalet tastes med en tenkt tastefrekvens. Laveste grense for symbolhastighet er gitt av Shannons/Nyquists tasteteorem, som sier at et kontinuerlig signal må tastes med en frekvens som er minst to ganger signalets høyeste frekvenskomponent målt i Hz. Vi har ikke noe tilsvarende teorem for tastefrekvensens øvre grense, den må derfor velges med skjønn.

Oppgave 5 **Signalomsetning (20%)**

- a) Oppgavens hensikt er å finne ut om studenten er bevisst i forhold til marginer i endene av A/D-omsetterens arbeidsområde.

Her har vi en margin på 0,5 V i begge ender av arbeidsområdet, slik at vi f.eks. kan «se» forskjell på et målesignal på 0,5 V (som tilsvarer måleverdien 0 kg) og en eventuell kretsfeil som gir det ulovlige signalnivået 0 V (tilsvarende i øvre enden av arbeidsområdet). Ut fra dette er skaleringen valgt fornuftig.

- b) På grunn av de 0,5 V marginene i hver ende av arbeidsområdet, har A/D-omsetterens inngang et effektivt omfang på

$$\begin{aligned}O_{eff} &= \frac{12}{11} 200 \text{ kg} \\ &= 218 \text{ kg} .\end{aligned}$$

Vi ønsker $LSB < 0,01 \text{ kg}$ (kvantiseringsfeil +/- 5 g gir et kvantiseringsintervall på 10 g). Setter dette inn i formelen $LSB < O/2^N$, og får

$$\begin{aligned}2^N &> \frac{O}{LSB} \\ &= \frac{218 \text{ kg}}{0,01 \text{ kg}} \\ &= 21800\end{aligned}$$

som gir $N > 14,4$ (bit).

A/D-omsetteren må derfor ha minst 15 bit.

- c) Med 16 bits ADC vil sammenhengen mellom analog og digital signalverdi tilsvare

$$LSB = 12 \text{ V}/2^{16} = 0,18 \text{ mV}.$$

- d) Denne oppgaven kan løses på flere måter, vi velger her en litt annen innfallsvinkel enn kompendiet.

Vi har følgende sammenhenger mellom målt vekt m , analogt målesignal A og innlest digital verdi D (avrunder D -verdier til nærmest heltall):

$$\begin{aligned} m = 0 \text{ kg} &\Rightarrow A = 0,5 \text{ V} \Rightarrow D = 0,5 \text{ V} / 0,18 \text{ mV} = 4369 \\ m = 200 \text{ kg} &\Rightarrow A = 11,5 \text{ V} \Rightarrow D = 11,5 \text{ V} / 0,18 \text{ mV} = 62805 \end{aligned}$$

Vi skal finne skaleringsfunksjonen $\hat{m}(D) = aD + b$ som gir

$$\hat{m}(4369) = 0 \text{ kg}$$

$$\hat{m}(62805) = 200 \text{ kg}$$

Setter dette inn i uttrykket for \hat{m} , og løser likningssettet mhp. a og b . Dette gir:

$$\hat{m}(D) = aD + b$$

med

$$a = 0,00342 \text{ kg}$$

$$b = -14,95 \text{ kg}$$

Oppgave 6 Verktøykjeden i C (10%)

a)

