

# Løsningsforslag

til eksamen i  
TTK4125 Datastyring, instrumentering og måleteknikk

3. juni 2008

*Dette er et forslag til løsning, men det nedenstående er ikke nødvendigvis den eneste "korrekte" måten å besvare oppgavene på.  
Til eksamen kan det derfor ha blitt gitt uttelling også for besvarelser som avviker fra dette dokumentet.*

## Oppgave 1: Systemutvikling (5 %)

a) Livsfaser:



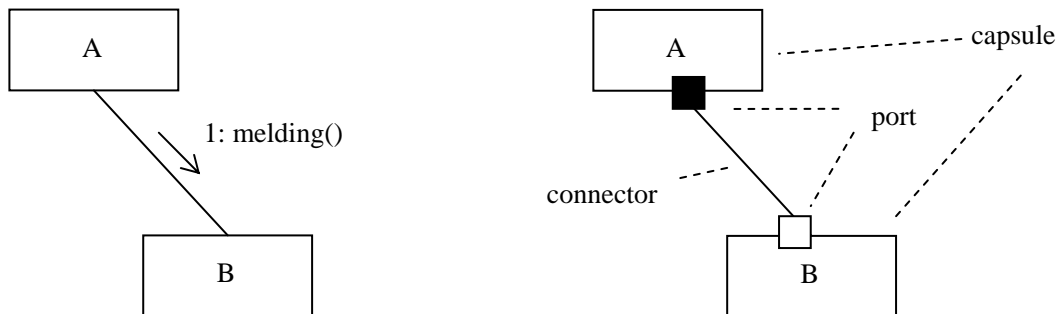
Alternativt:



- b) I fasen "Produktets utvikling" (eventuelt "Spesifikasjon-utvikling").
- c) Etter spesifikasjon (dvs. i fasen "Produktets utvikling") vet en hva en skal lage og kan ta stilling til kostnader og marked. På dette tidspunkt bør en ta stilling til om produktet skal utvikles eller ikke.  
(Produktet kan evt. stanses allerede etter en markedsundersøkelse i fasen "Produktets ideunnnfangelse" dersom det ikke finnes noe marked.)

## Oppgave 2:UML (15 %)

- a) Et *use case* er en “bruksmodus”, dvs. en delmengde av systemets funksjonalitet som gjerne brukes samtidig, men mer eller mindre separat fra andre deler av funksjonaliteten.  
Alle use case til sammen (inkludert alle spesialtilfeller) omfatter hele systemets funksjonalitet.  
Use case-modellering brukes under analysen av et (del)system for å skaffe oversikt over den nødvendige funksjonaliteten. Use case-perspektivet representerer en strukturert innfallsvinkel til dekomponering av systemets funksjonalitet med fokus på brukerne (aktørene), deres “behov” og begrepsapparat.
- b) Kommunikasjonsdiagram (t.v.) og strukturdiagram (t.h.).  
Kommunikasjonsdiagrammet viser et konkret enkeltscenario, mens strukturdiagrammet



viser en generell kommunikasjonsstruktur der alle scenarioer er (implisitt) representert. Vi kan derfor si strukturdiagrammet representerer et supersett av alle relevante kommunikasjonsdiagrammer, eller tilsvarende at kommunikasjonsdiagrammet viser en delmengde av det som ligger implisitt i strukturdiagrammet.

### Oppgave 3: Portabilitet av C (15 %)

- a) `int`-variabelen `i` kan legges i minnet på ulike måter (mest brukt er gjerne little endian og big endian). `getAByte(int i)` kan derfor returnere forskjellig byte (første eller siste i forhold til hhv. big endian og little endian, eller noe annet hvis f.eks. middle eller mixed endian er brukt) på forskjellige plattformer. Endianness er det samme som byterekkefølge.  
I tillegg er den generelle oppførselen til en `union` når en tilordner en verdi til ett felt som en type og Leser ut verdien som en annen type, kompilatoravhengig.
- b) Minneutlegget av `struct`-en, på grunn av endianness og padding, varierer mellom ulike plattformer. I forhold padding så vil det som skrives til filen ikke nødvendigvis være innholdet av hele `struct`-en (den kan være lengre enn 5 byte). I forhold til endianness vil formatet på verdiene som skrives til filen ikke kunne leses på samme måte på plattformer med forskjellig endianness. Antar man det gitte formatet for filen, vil filen ikke være portabel.  
(For kompletthets skyld: Typen `UINT32` er ikke en del av standardbiblioteket, og er derfor ikke heller ikke portabel uten at den er gitt som en `typedef` eller via en `#define` blokk, men det kan vi anta at den er i denne oppgaven.)
- c) I linja `a[i] = b[i++];` vet vi ikke om verdien til `i` brukt i `a[i]` er den nye eller gamle verdien. På grunn av operatorpresedens vil uttrykket `i++` evalueres før tilordningen (`=`), men på grunn av plattformspekifikke hensyn, kan verdien `i` brukt i `a[i]` være den nye eller gamle alt etter hva som er mest effektivt på den gitte plattformen, og oppførselen er derfor kompilatoravhengig.
- d) Ordlengthen for heltallet `i` kan være lenger enn to byte. I så fall vil de andre bitene også settes til 0.
- e) På noen plattformer vil multiplikasjonen gi overflyt, siden vi behøver en ordlengthe på mer enn 2 byte (16 bit) for å representere tallet 100 000.

## Oppgave 4: Ikke-ideell operasjonsforsterker (12 %)

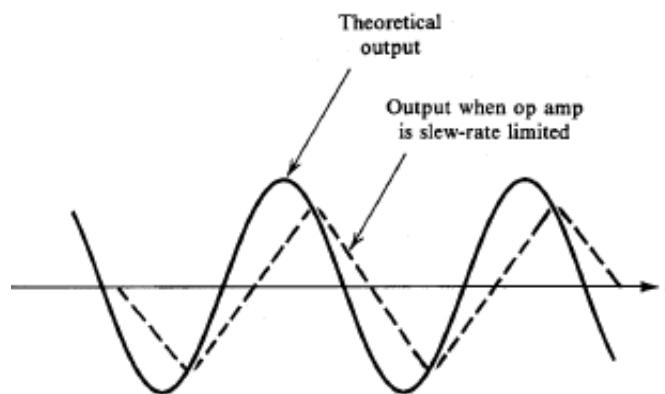
- a) Metningsgrensene er bestemt av **forsyningsspenningen**. I praksis vil metningsgrensene være **litt snevrere** enn forsyningsspenningen på grunn av **spenningsfall i forsterkerens indre komponenter**.
- b) *Slew rate* angir **den raskeste mulige endringen av forsterkerens utgangsspenning**.

10 V/ms tilsvarer  $10^4$  V/s.

En sinusbølge med amplitude 1 V kan uttrykkes som  $u = \sin(\omega t) \cdot 1 \text{ V}$ .

Vi deriverer mhp. tid og finner  $\frac{du}{dt} = \omega \cos(\omega t) \text{ V/s}$ . Siden cosinusfunksjonen maksimalt kan ha verdien  $\pm 1$ , er maksimalverdien av den tidsderivate er gitt av faktoren  $\omega$ , og vi får  $\omega_{\max} = 10^4 \text{ s}^{-1}$ , dvs. en maksimal frekvens på **10 k rad/s**.

Ved høyere frekvenser forvrenges signalet som vist i figuren nedenfor.



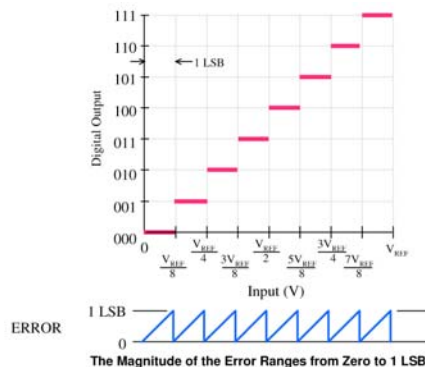
- c) Begrepsdefinisjoner:

- **Input offset voltage** er den spenningen vi i praksis må ha mellom inngangene på en OPA for at utgangen skal være lik 0 V.
- **Output offset voltage** er den spenningen vi får på utgangen når vi setter 0 V mellom inngangene (dvs. kopler dem sammen). Denne spenningen tilsvarer **Input offset voltage multiplisert med OPA-ens åpen sløyfe-forsterkning**.
- **Input bias current** er strømmen som i praksis går i inngangsterminalene til en OPA under normal drift.
- **Input offset current** er forskjellen i **Input bias current** i de to inngangsterminalene (og henger dermed sammen med sistnevnte).

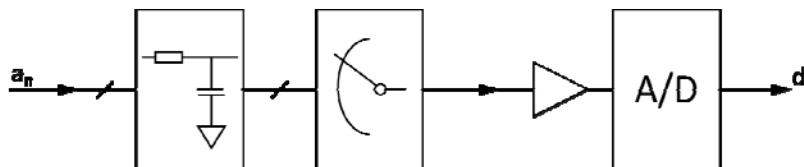
## Oppgave 5: A/D-omsettere (13 %)

- a) Under digitalisering vil en kontinuerlig (analog) verdi i et gitt intervall tilordnes til én av et endelig antall diskrete verdier. Differansen mellom den tilordnede verdien og den egentlige verdien kalles *kvantiseringsfeil*.

Problemet kan minimaliseres ved å øke oppløsningen til A/D-omsetteren (evt. kan dette også gjøres ved å overtaste signalet, dvs. bruke en høyre tastefrekvens enn Nyquist-frekvensen, og så bruke et digitalt filter for å begrense båndbredden, eller ved å bruke en såkalt "dithering"-teknikk).



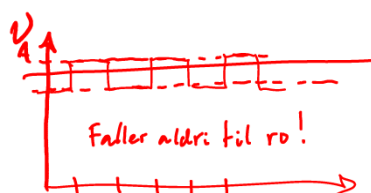
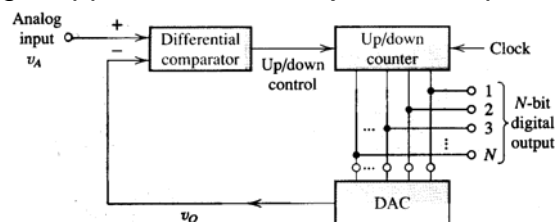
- b) Inngangen består av et sett med analoge signallinjer. For hver linje har man et anti-aliasfilter. Den linjen man ønsker å taste velges med en multiplexer som mater signalet til en A/D omsetter.



Alt til venstre for multiplexeren må dupliseres iht. antall linjer.

- c) Servo-omsetteren består av en komparator, en teller og en D/A-omsetter. Så lenge D/A-omsetterens utgang er høyere enn signalet som skal A/D-omsettes, teller telleren ned, og vice versa.

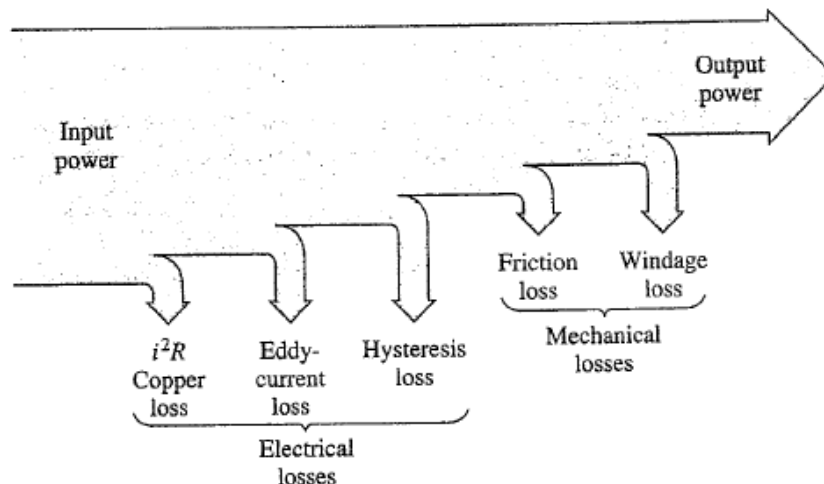
Sprangresponsen vil gi trappetrinn. Den stasjonære responsen vil være alternerende.



## Oppgave 6: Elektromagnetisme og motorer (15 %)

a) Former for effekttap i motorer:

- **Koppertap:** varmeutviklingen i motorens kopperviklinger. Denne er en kvadratisk funksjon av strømmen og proporsjonal med resistansen:  $P = i^2R$
- **Virvelstrømstap:** varierende magnetfluks skaper virvelstrømmer i rotor og stator. Pga. resistansen i jernet gir dette effekttap.
- **Hysteresetap:** Magnetiseringen av jernet (flukstettheten  $B$ ) har en negativ fasevinkel ift. feltintensiteten  $H$  pga. hysteres i jernets magnetiseringskurve. Siden  $H$  er proporsjonal med magnetiseringsstrømmen i motoren, betyr dette at vi ikke har fullt fluksutbytte av strømmen. Dette representerer derfor et tap.
- **Friksjonstap:** friksjon i motorens lagre og evt. slepekontakter/kommutator.
- **Vindtap:** luftmotstand i rotor og evt. vifte.

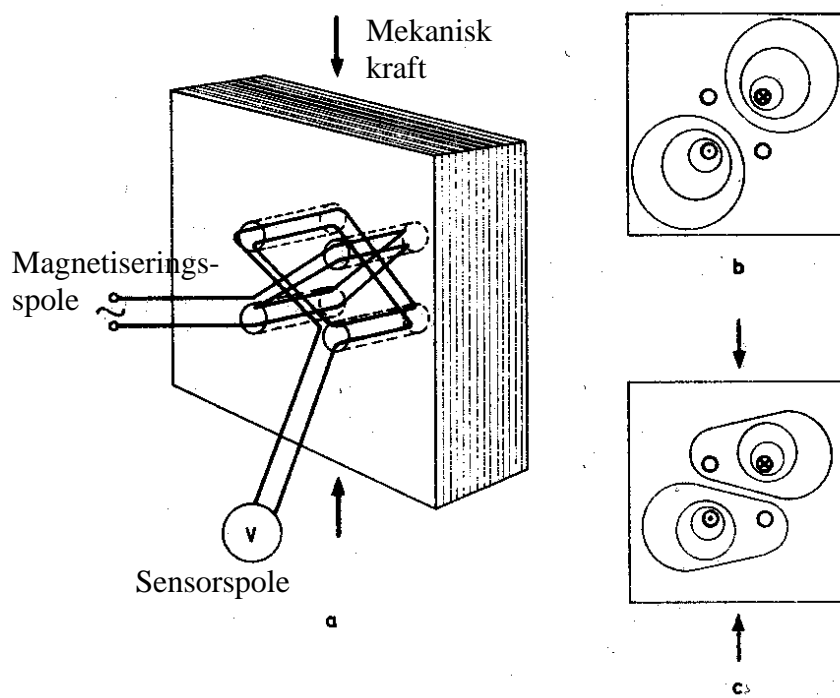


b)

- **Seriemotor:** anker- og feltviklingene er koplet i serie, slik at den samme strømmen går gjennom begge. Dette gir en "automatgireffekt": større hastighet gir større motindusert spenning, redusert strøm, redusert fluks og dermed redusert motindusert spenning. Motoren har derfor et svært høyt startmoment og teoretisk uendelig topphastighet. Seriemotoren fungerer både med DC og AC spenningsforsyning ("universalmotor").
- **Parallellmotor:** anker- og feltviklingen er koplet i parallell, slik at feltstrømmen ikke påvirkes av motorens hastighet. Dette gir en lineær moment-hastighetskarakteristikk.
- **Permanentmagnetisert motor:** feltet settes opp av en permanentmagnet, mens rotoren er nøyaktig som i de to foregående motorene. Moment-hastighetskarakteristikken er lineær. Den har noe større effektivitet enn de øvrige fordi det ikke går med noe energi til magnetisering, men arbeidsområdet er noe mindre. PM-motoren fungerer kun med DC forsyning.

## Oppgave 7: Instrumentering (25 %)

- a) Kompensasjonsprinsippet går ut på at en vha. tilbakekopling kompenserer for variasjoner i den størrelsen som skal måles slik at **måleelementet alltid (dvs. stasjonært) alltid gir samme utgangssignalverdi**. Eksempelvis vil en kompensert kraftmåler sette opp en motkraft slik at nettokraften på sensorelementet er konstant. Selve kraftmålingen foregår ved at en måler den motkraften som settes opp av den tilbakekoblede sløyfen.  
Fordel: **ulineariteter i sensorelementet kanselleres**.
- b) Mange metalls magnetiske permeabilitet endrer seg som funksjon av trykk- eller strekkrefter. Pressduktoren består av to spoler som er plassert ortogonalt på/utenpå hverandre. Den ene spolen leder en vekselstrøm, men pga. ortogonaliteten inducerer dette ingen spenning i den andre spolen (sensorspolen). Hvis metallet som omgir viklingene påtrykkes mekaniske krefter, vil feltlinjene bli deformert pga. den anisotrope (retningsavhengige) permeabiliteten som da oppstår, og det induseres en spenning i sensorspolen som varierer med den påtrykte kraften.

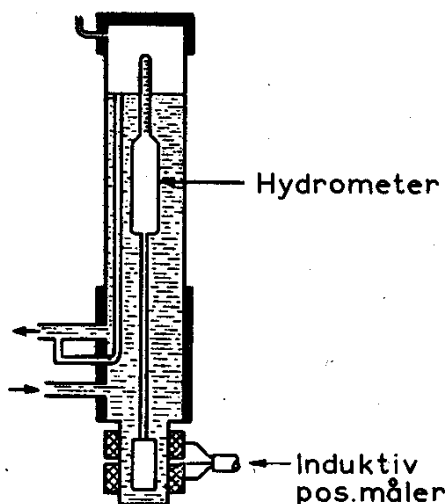


- c) Måling av fuktighet i luft (oppgaven spør etter *tre* av følgende metoder):
- **Psykrometer:** måler temperatur i gassen direkte og i en sensor innpakket i en fuktig veke. Fordampingen fra veken kjøler denne, og temperaturforskjellen avhenger av luftfuktigheten. Fuktigheten kan derfor beregnes ut fra temperaturdifferansen.
  - **Duggpunktsmåling:** Et legeme i kontakt med gassen kjøles gradvis ned, og duggpunktet er nådd når det oppstår kondens på legemet. Med kjent temperatur og trykk kan da den relative luftfuktigheten beregnes.
  - **Litiumkloridmålere:** LiCl trekker til seg vann fra gassen, og det dannes en elektrolytt som leder strøm. I et LiCl-basert måleelement ligger to metalltråder i LiCl, og trådene spenningssettes. Når saltet blir fuktig, begynner det å gå strøm mellom trådene, noe som varmer saltet slik at vannet fordampes. Dette fører igjen til en reduksjon av strømmen. Temperaturen i saltet stiller seg inn på den såkalte

*forvandlingstemperaturen*, der fordampning og opptak av vann er i likevekt. Denne temperaturen er et uttrykk for duggpunktet. Ved å måle lufttemperaturen i tillegg, kan relativ fuktighet beregnes.

- **Resistans:** Porøse materialers resistans avtar med økende fuktighet, og denne fuktigheten er statisk sett i likevekt med luftfuktigheten rundt materialet. Ved å måle resistansen i et porøst materiale som er i kontakt med luften, finner vi derfor et uttrykk for luftfuktigheten.
- **Kapasitans:** Vann har høy dielektrisitetskonstant, derfor vil kapasitansen mellom to kondensatorelektroder variere hvis luftfuktigheten, evt. fuktigheten i et porøst materiale, mellom platene varierer. Relativ luftfuktighet kan derfor beregnes ut fra den målte kapasitansen.

- d) **Hydrometeret** bygget på Arkimedes' lov: et legeme som flyter i en væske fortrenger en væskemengde med samme vekt som legemet selv. Hvis tettheten i væsken øker, vil derfor legemet flyte høyere slik at det fortrenger et mindre volum, men med samme vekt. Hydrometeret har derfor en flottør som flyter i et kammer med konstant væsknivå. Ved å måle hvor høyt/dypt flottøren flyter, får vi derfor et uttrykk for væskens massetetthet.



- e) **Gasskromatografen** bygger på 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 prøvevolum 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. Metoden innebærer en tidsforsinkelse som ofte kan være betydelig, og kromatografen er derfor lite egnet som sensorelement i en tilbakekoplet sløyfe.