



**NTNU**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

**Institutt for teknisk kybernetikk**

Fakultet for informasjonsteknologi,  
matematikk og elektroteknikk

**Eksamen**  
**i**  
**TTK4125**  
**Datastyring, instrumentering og måleteknikk**  
**LØSNINGSFORSLAG**

**22. mai 2012**  
**kl. 09.00–13.00**

**Hjelpemiddelkode: C**  
**Følgende er tillatt:**

- Kernigan & Richie, The C programming language
- Fowler, UML Distilled, 3rd edition
- Typegodkjent kalkulator

**Faglig kontakt under eksamen:**

Kjell Malvig 95022899

Da tidligere vurdering i faget teller 30% av den endelige karakteren, teller denne eksamen 70%.

Vektingen for hver av oppgavene er angitt relativt til hele oppgavesettet, dvs. maks 100%.

Les oppgaveteksten nøye, og forsøk å besvare oppgavene kort og konsist.

Dersom det skulle være uklarheter i oppgaveteksten, gjør det klart og tydelig hvordan du forstår spørsmålsformuleringen og dens omfang.

Opgavesettet består av 14 sider inkludert denne.

**Lykke til!**

## Oppgave 1      **Instrumentering (20%)**

- a) **(4%)** På laben har dere målt temperatur med termoelement, motstandsføler av metall (PT-100) og motstandsføler av halvledermateriale (termistor).  
Sammenlign disse tre målemetodene. Angi fordeler og ulemper med hver metode.

**Termoelement:** (Litt) ulineært, lite følsomt (avhengig av type), billig (dvs. K-elementet m.m. er billig, f.eks. S-, B- og R-element som er laget av platina og rhodium er dyrt), lite/raskt, stort temperaturområde, dårlig repeterbarhet over tid.  
**Motstandsføler av metall (med utgangspunkt i PT-100):** Lineært, følsomt, dyrt (i forhold til alternativene), halvstort temperaturområde, repeterbart, stort/tregt (relativt termoelement).

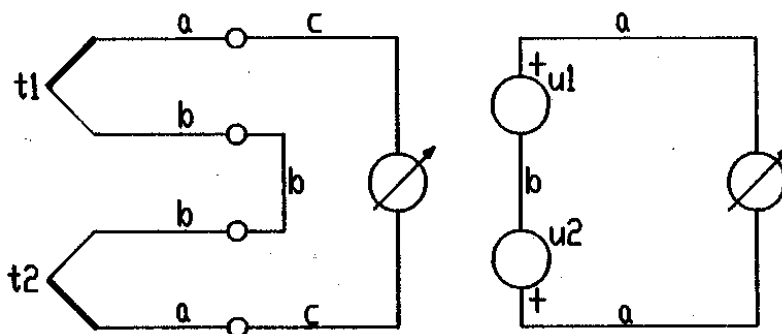
**Termistor:** Meget ulineært, følsom, billig, lite temperaturområde, (ganske) god repeterbarhet, kan lages liten/rask, stor forskjell fra termistor til termistor i av samme type (må kalibreres).

- b) **(4%)** Forklar virkemåten til et termoelement.

Tegn og forklar hvordan du ved hjelp av to termoelementer og et voltmeter kan måle temperaturforskjellen mellom to punkter.

En metalleder vil få generert en spenning over seg ved temperaturforskjell mellom endene. Hvor stor denne spenningen er avhenger av metallet/legeringen som er brukt. Ved å koble sammen to ledere av forskjellig legering i en ende og måle spenningen mellom dem i den andre, kan vi beregne temperaturforskjellen mellom "varm" og "kald" side.

**Måle temperaturforskjell mellom to punkter:**



Rett polaritet på koblingene er viktig.

- c) **(4%)** Både termoelement- og motstandsfølermålinger vil bli forstyrret av støy. For motstandselementer kan vi redusere støyens innvirkning på temperaturmålingen ved å øke målestrømmen. Anta et PT-100-element med sensitivitet på  $400\text{m}\Omega/\text{K}$  og et type K termoelement med sensitivitet på  $40\mu\text{V}/\text{K}$ . Anta at begge elementene er lineære og blir påvirket av den samme støyen (i volt).

Hvilken målestrøm må vi benytte på PT-100-elementet for at støyens innvirkning på temperaturmålingen skal være den samme som på termoelementet?

**Ohms lov:**

$$I_{\text{målestrøm}} = \frac{V_{\text{ønsket}}}{R_{\alpha}} = \frac{40\mu\text{V}}{400\text{m}\Omega} = 0.1\text{mA}$$

Hvilket problem oppstår når vi øker målestrømmen, og hvordan kan vi redusere dette problemet?

**Selvoppvarming, reduseres ved god termisk kobling.**

- d) **(4%)** En tank inneholder en væske med varierende tetthet. Du skal måle både nivået i tanken og tettheten til væsken.

Skisser to ulike instrumenteringsløsninger for dette.

Forklar kort virkemåtene til måleprinsippene du benytter.

**Der er her ment at tettheten i væsken varierer over tid og er uniform i hele tanken på et gitt tidspunkt, men oppgaven kan misforståes med at tettheten varierer på forskjellige steder i tanken. Løsninger som går på sjiktmåling e.l. kan gi uttelling.**

**Mange mulige løsninger, 2 boblerør er den klassiske løsningen.**

**Vektmåling/veiecelle kombinert med nivåmåling (radar/boblerør/ultral lyd/annet).**

**Hydrometer kombinert med vekt eller nivåmåling.**

- e) **(4%)** Du skal måle nivået i en tank med stein og grus.

Skisser to instrumenteringsløsninger som kan brukes i et slikt tilfelle.

Forklar kort virkemåtene til måleprinsippene du benytter.

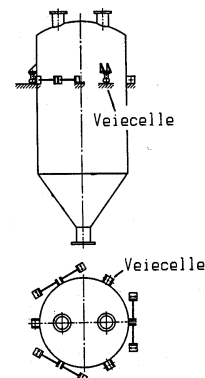
**Oppgaven var gitt på ordinær eksamen 2011, løsningforslag derfra:**

Et viktig moment er her at stein og grus ikke utgjør et “fluid”, men fast stoff, noe som utelukker nivåmåling via trykk eller oppdrift. Den ujevne overflaten utelukker tradisjonell lasermåling som angitt i figur 10.14 s. 210 i O. A. Olsens lærebok. Bruk av kapasitans og konduktans er tvilsomt, siden mediet i dette tilfellet trolig vil ødelgge måleutstyret – og siden vi ikke kjenner fuktigheten til mediet. De løsningene vi står igjen med, er da (NB: kun to av disse kreves):

#### Veieceller (figur 10.2 i OAO)

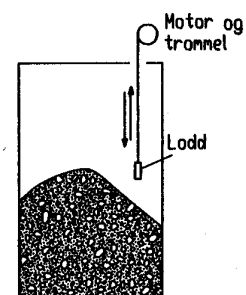
Nivåestimering via veiing krever at vi kjenner massetettheten til mediet, noe som er svært tvilsomt i dette tilfellet. Denne løsningen vil derfor ikke gi full uttelling med mindre studenten eksplisitt antar at tettheten er kjent. Virkemåte:

- Antar kjent massetetthet
- Antar også at vekten av siloen/tanken er kjent
- Veier tanken med innhold
- Beregner nivå ut fra disse størrelsene.



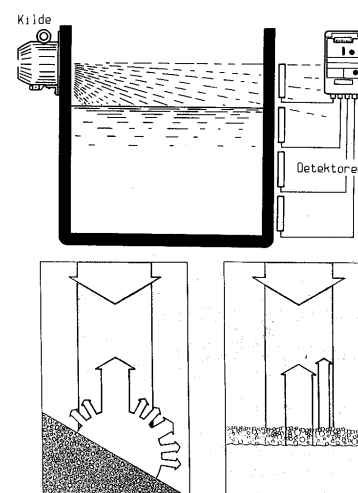
#### Loddsnor (figur 10.4 i OAO)

- Heiser loddet helt opp
- Heiser det ned igjen, detekterer når det når overflaten (reduksjon i snordrag)
- Nivået gitt av hvor langt loddet er senket idet det når overflaten.



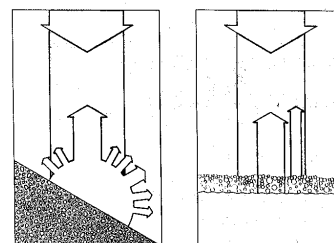
#### Radioaktivitet (figur 10.10 i OAO)

- Stråling sendes gjennom tanken fra et nivå over mediets overflate
- Strålingen dempes av mediet
- Detektorer på utsiden av tanken viser om de er over eller under mediets nivå



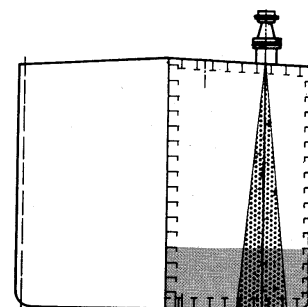
#### Ultralyd (figur 10.12 i OAO)

- Ultralydpulser sendes mot overflaten ovenfra
- En sensor registrerer ekkoet fra overflaten
- Nivået er gitt av lydhastigheten samt tide fra utsendt puls til mottatt ekko.



#### Mikrobølger (figur 10.13 i OAO)

- Mikrobølger sendes mot overflaten ovenfra
- Antennen registrerer deretter ekkoet fra overflaten
- Nivået er gitt av bølgehastigheten samt tiden fra utsendt puls til mottatt ekko. Alternativt kan en benytte frekvensrespons i kombinasjon med fouriertransform.

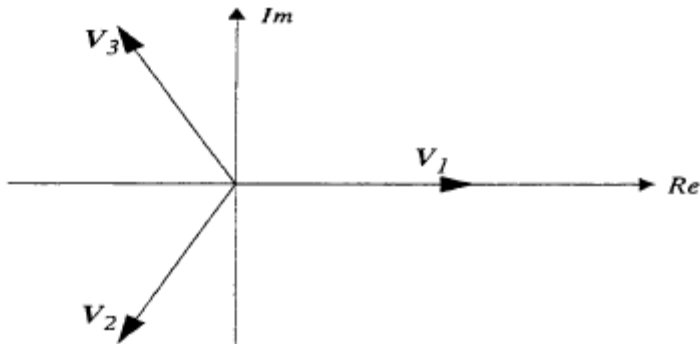


## Oppgave 2 Kraftforsyning (20%)

- a) (4%) Tegn et viserdiagram for 3-fasespenninger og definer begrepene fasespenning og linjespenning.

**For trekantkobling er fasespenning lik linjespenning.**

**For stjernekobling er linjespenning (vektor)differansen av 2 fasespenninger.**



- b) (4%) For symmetriske 3-fasesystemer kan man uttrykke aktiv effekt ved ligningen  
 $P(t) = 3V_f I_f \cos \varphi$

Hva innebærer faktoren  $\varphi$ ?

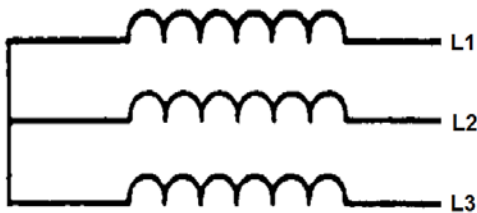
**Phi gir vinkelen/faseforskyvningen mellom spenning og strøm.**

**Dess større phi, dess mer induktiv er lasten.**

Oppgi formelen for den reaktive effekten.

$$Q(t) = 3V_f I_f \sin \varphi$$

- c) (12%) Lavspente fordelingsystemer systematiseres med en standardisering basert på skisser og bokstavbetegnelser. Bokstavene er T, I, N, S, C og PE.

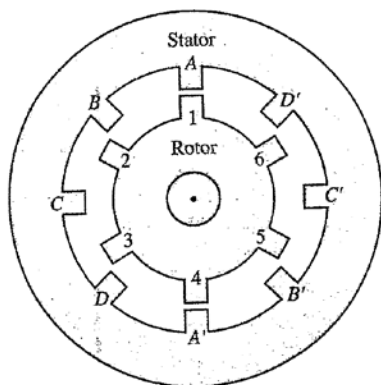


Skisser og beskriv de systemene som finnes.

**IT, TT, og TN må tegnes og forklares. Egne figurer for TN-C, TN-S og TN-C-S er ikke påkrevd, men forskjellene mellom dem bør beskrives for full uttelling. Systemene er beskrevet i elektronikkompndiet, kapittel 14.7.**

### Oppgave 3 Motorer (20%)

- a) (4%) Figuren under fremstiller en steppermotor.  
 A-A', B-B', C-C' og D-D' er elektriske polpar i stator.  
 1-4, 2-5 og 3-6 er polpar i rotor av permanente magneter.



Forklar den prinsipielle virkemåten, ved hjelp av 2 stepp (steg).

Den avbildede motoren er egentlig ikke en permanentmagnetmotor, men en "variable-reluctance"-motor. Det er fremdeles mulig å svare på oppgaven.

I utgangspunktet er A-A' spenningsatt, og tiltrekker 1-4.

1. stepp: A-A' slås av, og B-B' spenningsettes. B-B' vil tiltrekke seg 2-5, og motoren roterer 15°.

2. stepp: B-B' slås av, og C-C' spenningsettes. C-C' vil tiltrekke seg 3-6, og motoren roterer 15° til.

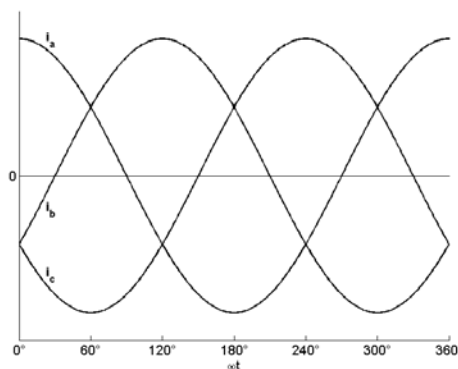
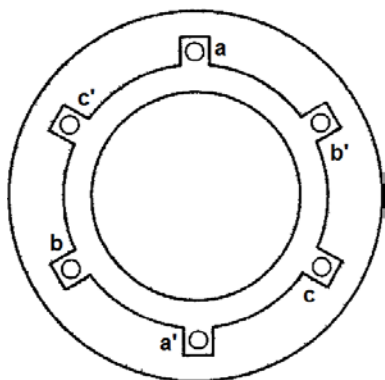
- b) (8%) I en 3-fase-motor vil feltet i stator rotere.

$$B_a = KI_a(t)\phi \cos \theta$$

$$I_a = I_m \cos \omega t$$

$\theta$  gir vinkelen mellom vektoren  $B_b$  og maks feltstyrke.

Lignende formler finnes for  $B_b$  og  $B_c$ .



Ta utgangspunkt i figuren av en 3-fasemotor over og tegn inn strømretning for viklingene a, a', b, b', c og c' ved  $\omega t = 0^\circ$  og  $\omega t = 60^\circ$ .

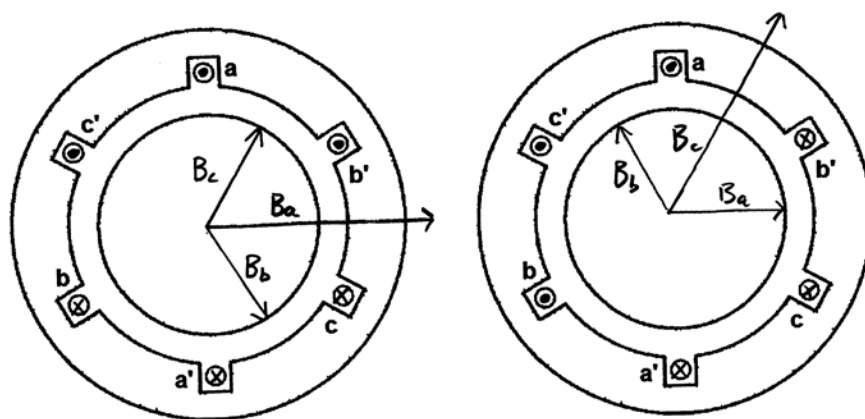
(Bruk  $\times$  og  $\cdot$  for å angi strømretningene.)

Tegn i begge tilfellene også inn  $B_a$ ,  $B_b$  og  $B_c$  som vektorer.

Bruk i hvert tilfelle den  $\theta$  som gir det sterkeste (positive) feltet.

Forklar ved hjelp av vektorene at feltet roterer.

Svar:



$\omega t = 0$  til venstre,  $\omega t = 60^\circ$  til høyre.

Strømretning kan velges motsatt vei, vektorene må da også tegnes andre veien.  $\times$  betegner strømretning ned i papiret, og  $\cdot$  opp fra papiret, men det gies ingen trekk om studentene har blandet  $\times$  og  $\cdot$  så lenge de skrevet hvilket symbol de bruker til hvilken strømretning.

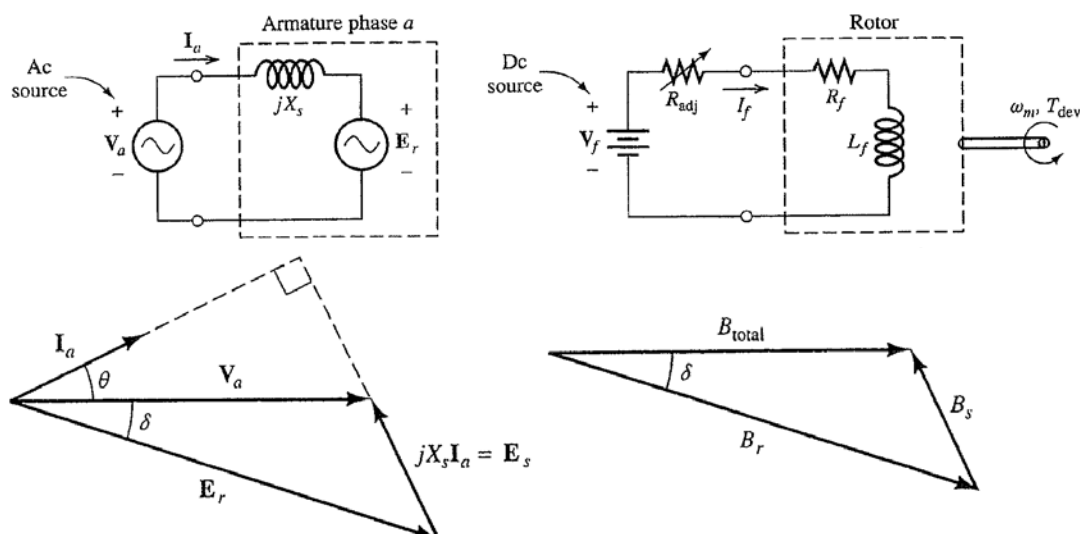
Lengdene på vektorene må være riktig i forhold til hverandre for full uttelling.

Vi ser at summen av alle tre vektorene roterer ( $60^\circ$ ) mot klokka.

c) (4%) Gitt følgende figurer og ligninger:

$$T_{dev} = K B_r B_{total} \sin \delta$$

$$P_{dev} = 3 V_a I_a \cos \theta$$

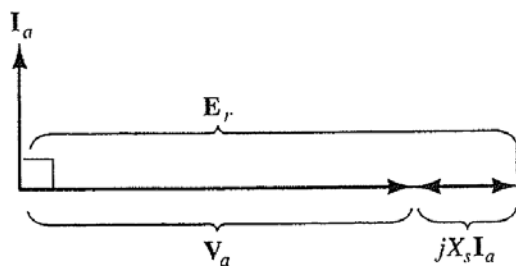


Hva er årsaken til  $E_r$  og  $E_s$ ?

Som det fremgår av figuren og indeksen til  $E_r$  må denne refereres til rotor.  $E_r$  er spenning i statorvikling, basert på feltet i rotor. ( $E_r = k B_r$ , see s775 i motorkompendiet.)

$E_s$  er indusert spenning i statorvikling, basert på det roterende feltet i stator. ( $E_s = j X_s I_a = k B_s$ )

d) (4%) Ved hjelp av såkalt over- og undereksitering kan  $E_{tot}$  styres. Vektordiagrammet under viser hvordan diagrammet klapper sammen ved null dreiemoment.



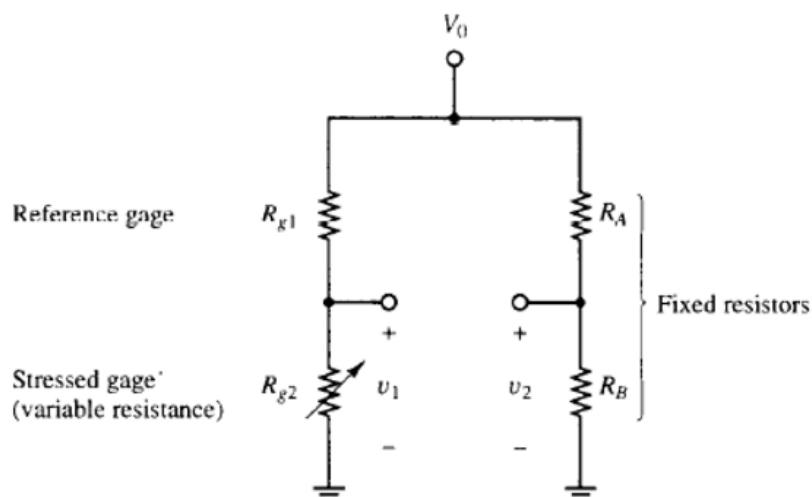
Hva oppnår vi og hva kan dette brukes til?

Av figurer og likning fremgår det at  $T_{dev} = 0$  når  $\delta = 0$ . Vektordiagrammet blir flatt, som vist. Avhengig av hvordan vi styrer  $R_{adj}$  vil vi få såkalt over- eller undereksitering. Dvs. størrelsen av  $E_r$  styres, og retningen til  $E_s$  kan styres. Ved  $\delta = 0$  vil dette føre til at  $I_a$  ligger enten  $90^\circ$  foran eller bak  $V_a$ . I figuren vises at  $I_a$  ligger  $90^\circ$  foran  $V_a$ , dvs. at synkronmotoren oppfører seg som en perfekt kondensator. Mao: En synkronmotor på tomgang kan ved hjelp av  $R_{adj}$  bli en perfekt kondensator. Dette brukes som en kompasasjon i nettet for å absorbere reaktiv effekt. "Kondensatorbatteri". Se side 777 i motorkompendiet.



## Oppgave 4      **Signalhåndtering (20%)**

Streklapper benyttes i større mengder for å overvåke endringer i konstruksjoner. Kretsskjema for en streklapp kan være en målebro som vist i figuren under.



Vi velger gjerne

$$R_A = R_B = R_{g1}$$

$$R_{g2} = R_{g1} + \Delta R_g$$

der

$$\Delta R_g = G R_{g1} \frac{\Delta l}{l}$$

a) **(4%)** Finn ett uttrykk for  $v_1$  og  $v_2$  og beregn et forenklet, tilnærmet uttrykk for  $v_1 - v_2$ .

$$v_1 = v_0 \frac{1 + G \frac{\Delta l}{l}}{2 + G \frac{\Delta l}{l}}$$

$$v_2 = \frac{v_0}{2}$$

$$v_1 - v_2 = v_0 \left( \frac{1 + G \frac{\Delta l}{l}}{2 + G \frac{\Delta l}{l}} - \frac{1}{2} \right) = v_0 \left( \frac{2 + 2G \frac{\Delta l}{l}}{4 + 2G \frac{\Delta l}{l}} - \frac{2 + G \frac{\Delta l}{l}}{4 + 2G \frac{\Delta l}{l} 2} \right) = v_0 \left( \frac{G \frac{\Delta l}{l}}{4 + 2G \frac{\Delta l}{l}} \right)$$

Ved å anta  $4 \gg 2G \frac{\Delta l}{l}$  får vi

$$v_1 - v_2 \approx v_0 \frac{G \Delta l}{4l} = k \Delta l$$

der

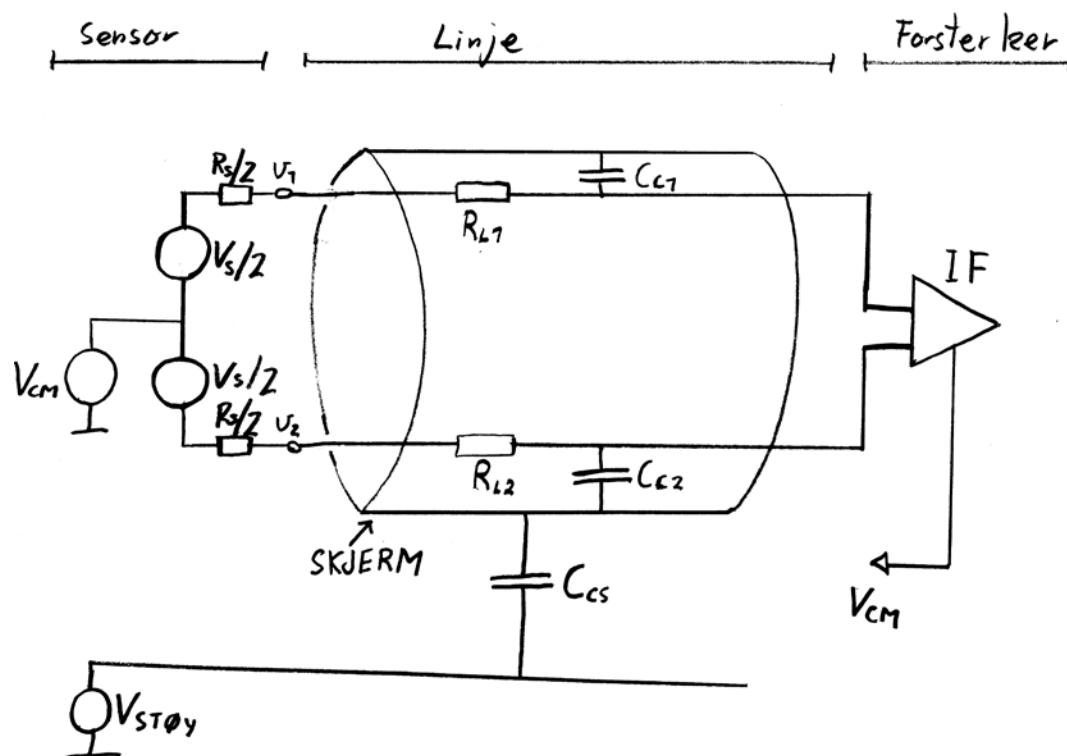
$$k = \frac{v_0 G}{4l}$$

Å forenkle uttrykket med  $k$  er ikke nødvendig, men det viser greit at vi har fått et lineært uttrykk.

b) (8%) Skisser hvordan du vil håndtere dette signalet frem til forbrukerstedet.

Beskriv i forhold til skissen hvilke problemstillinger som kan oppstå underveis, og hvordan vi kan takle dem.

**Sensor (strekklapp) vil normalt befinne seg langt fra instrumenteringsforsterkeren. Signalene  $v_1$  og  $v_2$  må overføres på en kabel. Denne kabelen "må" være med skjerm for å unngå støy.**



**Problemstillinger/tiltak:**

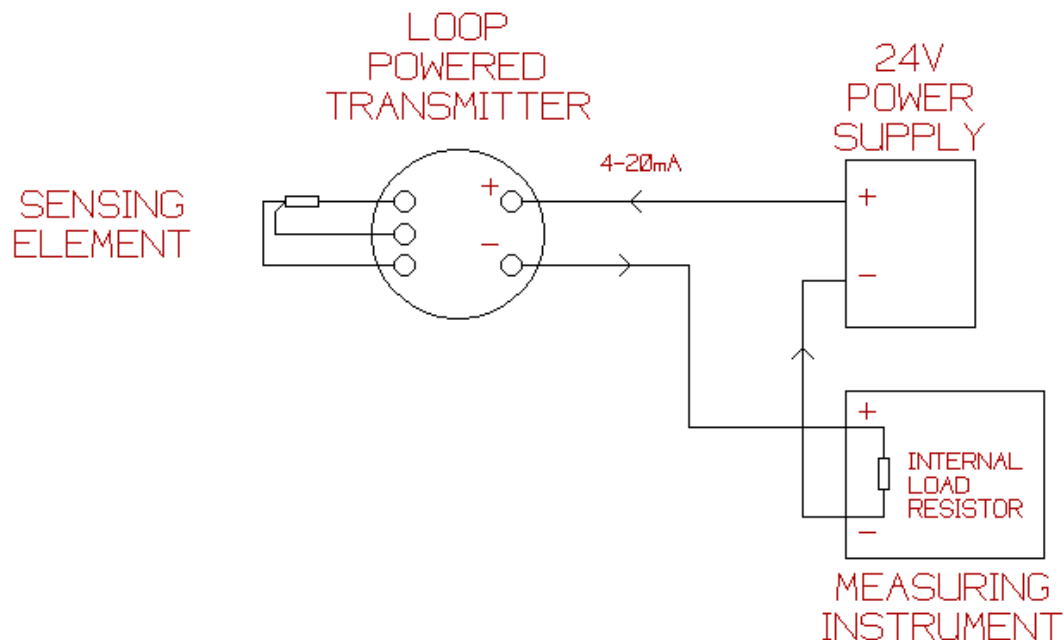
- Støy på  $V_{cm}$  er alvorlig.  $V_{cm}$  (som kommer av spenningen over målebroen,  $V_0$ ) føres frem i kabelen og utsettes for mye støy.
- Ledningsparet må være tvunnet.
- Kabelen må være skjermet.
- Kabelen må være balansert ( $R_{L1} = R_{L2}$  og  $C_{C1} = C_{C2}$ ).
- Øk avstand mellom kabel og støykilder (reduserer  $C_{CS}$ ).
- Koble  $V_{cm}$  (beregnet) fra instrumentforsterkeren tilbake til skjermen. (Å koble skjermen til jord er nest beste løsning.)
- Høy båndbredde på instrumentforsterkeren gir bedre undertrykking av støyen på  $V_{cm}$ .

c) **(8%)** Strømsløyfe med 4-20mA benyttes en god del i industrien.

Skisser en sløyfe matet med 24 volt, og vis elementene som inngår.

Angi spenningsfallene rundt sløyfa og beskriv hvor spenninga som "blir til overs" blir av.

**Figur fra kompendium:**



Det vil være et spenningsfall (på f.eks. 1-5V) over "internal load resistor" i "measuring instrument" og litt som tap i linjene. Resten vil være over "loop powered transmitter." En del av spenningsfallet over transmitter er forsyningen til elektronikken, mens en resterende (variabel) del er "spenningen som blir til overs."

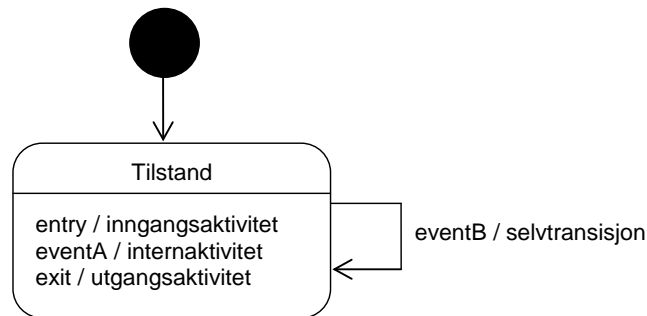
## Oppgave 5 UML, C og utviklingsmetodikk (20%)

- a) (4%) Hva er likhetene og/eller forskjellene på en *intern aktivitet* og en *selvtransisjon* ("transition-to-self") i et UML-tilstandsdiagram?

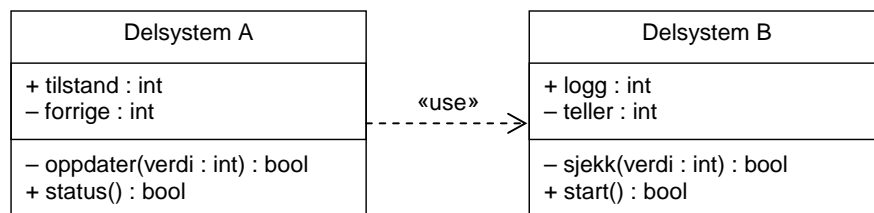
Tegn et enkelt UML-tilstandsdiagram som inneholder begge deler.

**Likhet:** Begge typene holder systemet i den samme tilstanden som før aktiviteten ble trigget.

**Forskjell:** En intern aktivitet trigger ikke entry- og exit-aktiviteter; det gjør selvtransisjonen.



- b) (4%) Beskriv hvilke funksjoner og variabler som skal være synlige fra hver av funksjonene i klassediagrammet nedenfor:



Hvilke mekanismer i programmeringsspråket C er godt egnet til å implementere modulariseringen (oppdelingen), avhengigheten og synligheten som dette klassediagrammet beskriver?

**Variablene og funksjonene merket "+" er synelig fra alle funksjoner, de merket "-" er kun synelig fra samme modul/"delsystem."** Besvarelse som lister opp spesifikt hva som er synelig fra hva er også riktig.

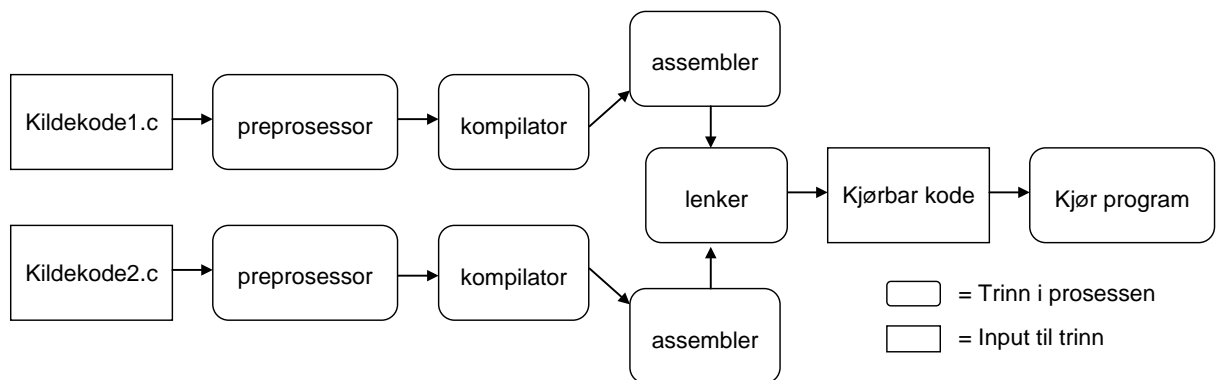
**Modulariseringen kan implementeres ved oppdeling i 2 kildekodefiler (delsystemA.c og delsystemB.c) som kompiles hver for seg.**

**Funksjoner og variabler som skal være synlige (+) utenfor modulen, bør deklarerer i en header-fil for modulen. «use»-avhengigheten implementeres da ved å inkludere delsystemB.h i delsystemA.c. Funksjoner og variabler som skal være usynlige (-) utenfor modulen, bør deklarerer med static i C-filen.**

c) **(4%)** Prosessen for å lage et program (fil med kjørbare kode) fra filer med kildekode kan deles i flere trinn med egne verktøy for hvert trinn. Verktøyene assembler, kompilator, lenker og preprosessor inngår i den klassiske verktøykjeden for programmeringsspråket C. Beskriv rekkefølgen verktøyene må kjøres for å gjennomføre hele prosessen, og hvilke verktøy som må kjøres én gang per fil med kildekode. Oppgaven kan besvares ved å tegne inn alle trinn i en figur tilsvarende den som er påbegynt nedenfor.

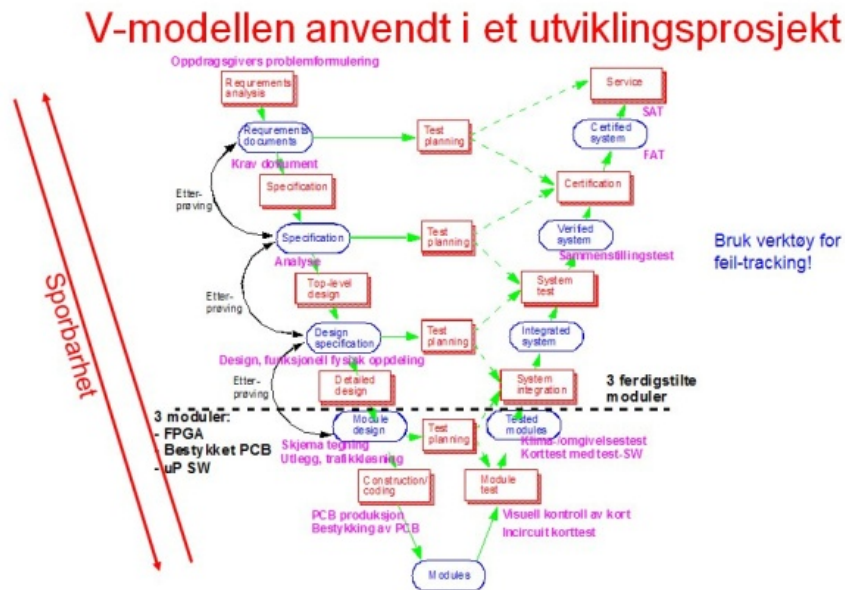


**Svar:**

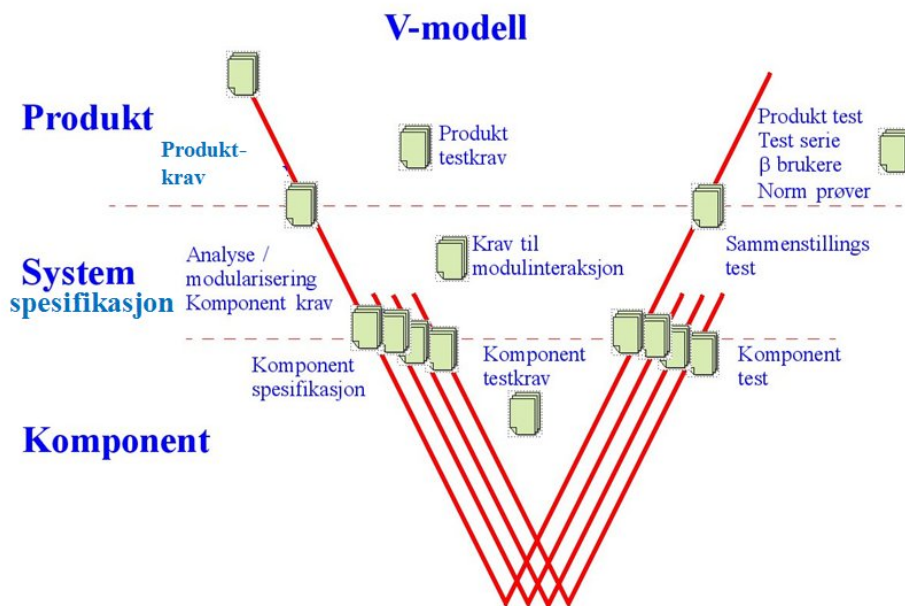


- d) **(8%)** Skisser V-modellen (eventuelt den "pragmatiske V-modellen") og gi en kort forklaring på den og de dokumenter som inngår.

## Hva gir V-modellen og hva er fordelene med den?



## Pragmatisk V-modell 1 av 2



## Hva gir V-modellen:

- Et verktøy for systematisk produktfremtaking
- En felles utviklingsmåte, noe som letter kommunikasjonen internt
- Produkter som er spesifisert i korte etterprøvbare punkter
- Avtalte, utvetydige akseptansekrav
- Metodikk for å sikre at kundens krav blir implementert
- En sporbarhet mellom arbeidsmoduler