

# Løsningsforslag

til eksamen i  
TTK4125 Datastyring, instrumentering og måleteknikk

16. mai 2009

Litteraturreferanser gjelder for pensum gitt i 2009.

## Oppgave 1: Systemutvikling og UML (10 %)

- a) Se lysark: "Fra ide til produkt – Utvikling i henhold til V-modellen", side 40-43.

Sporbarhet skal sørge for at de forskjellige delene av kravspesifikasjonen kan knyttes til forskjellige deler av implementeringen. Ethvert krav skal kunne spores til de delene av implementeringen som implementerer kravet, og enhver del av implementeringen skal kunne spores til et eller flere spesifikke krav.

En måte å oppnå sporbarhet på er å bruke et dokument, en sporbarhetsmatrise, som kopler krav til akseptkriterier, og akseptkriterier til spesifikasjoner og implementering.

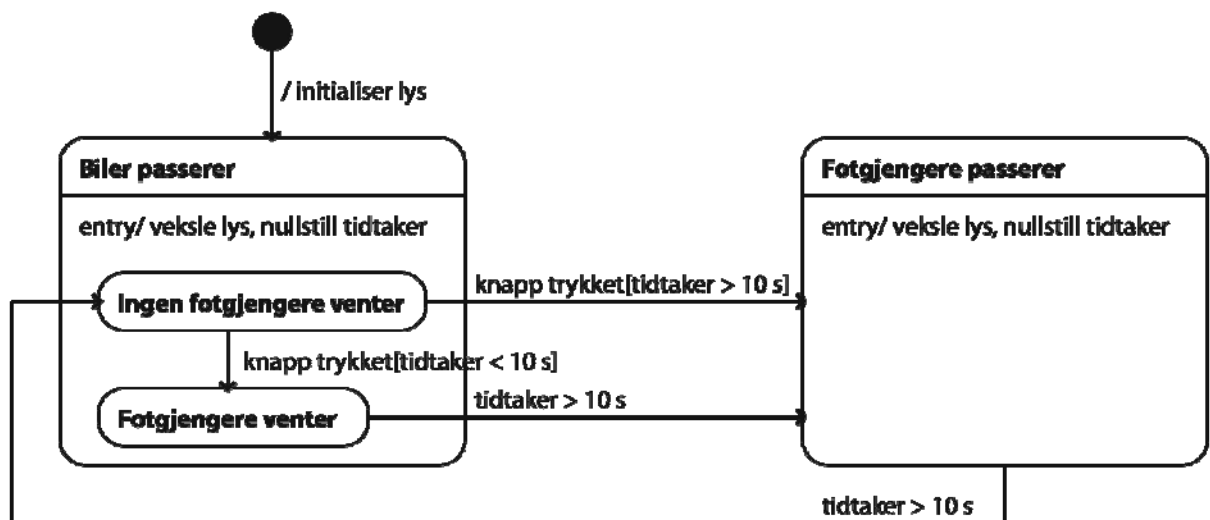
De viktigste grunnene til å gjøre dette er

- for å minimalisere kompleksitet (ikke implementere ting som ikke er etterspurt), og
- at man sikrer at kundens krav oppfylles.

- b) Se "UML Distilled", side 107.

Et tilstandsdiagram som modellerer det beskrevne systemet er vist i Figur 1. Hendelser er definert som at en knapp er trykket og at tidtaker utløper.

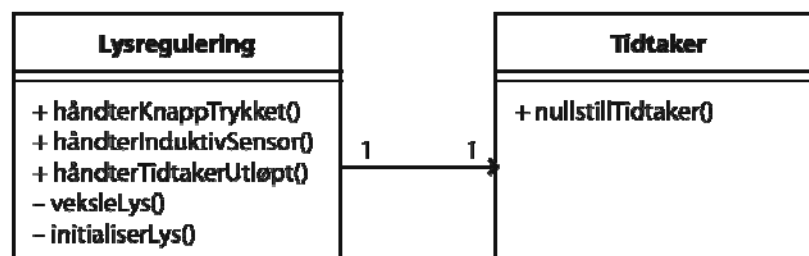
Aksjonen *initialiser lys* setter grønt for bilister og rødt for fotgjengere, mens *veksle lys* veksler lyset (dvs. fra rødt til grønt eller motsatt) samtidig for bilister og fotgjengere.



Figur 1 Tilstandsdiagram.

- c) Se "UML Distilled", side 35.

Klassediagrammet for implementeringen av tilstandsmaskinen deloppgave b) er vist i Figur 2. Vi har her valgt å modellere Tidtaker som en klasse utenfor Lysregulering, men en løsning der tidtakeren er en (implisitt eller eksplisitt) del av klassen Lysregulering er også akseptabel. I det siste tilfellet må nullstillTidtaker() være en privat metode i Lysregulering.



Figur 2 Klassediagram.

## Oppgave 2: Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) (15 %)

- a) Se kompendium: "Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)", side 1-3.

EMC betyr at komponenter skal passe sammen støymessig. Et system er elektromagnetisk kompatibelt med andre systemer dersom:

- det ikke forstyrrer de andre systemene, og
- det ikke er mottakelig for forstyringer fra de andre systemene.

Det er også et krav at systemet ikke forstyrrer seg selv.

NB: EMC betyr *ikke* at utstyr skal sende ut lite støy eller at utstyr skal tåle mye støy.

*Emisjonsgrense*: Det maksimalt tillatte emisjonsnivået (en ser altså her på systemet som en kilde som potensielt forstyrrer andre systemer).

*Kompatibilitetsnivå*: Det spesifiserte støynivået hvor det er akseptabel høy sannsynlighet for elektromagnetisk sameksistens eller kompatibilitet.

*Immunitetsgrense*: Støy med et nivå lavere enn systemets immunitetsgrense vil (høyst sannsynlig) ikke føre til redusert funksjonsevne.

*Susceptibilitetsnivå*: Støy på nivå med systemets susceptibilitetsnivå vil (høyst sannsynlig) føre til redusert funksjonsevne.

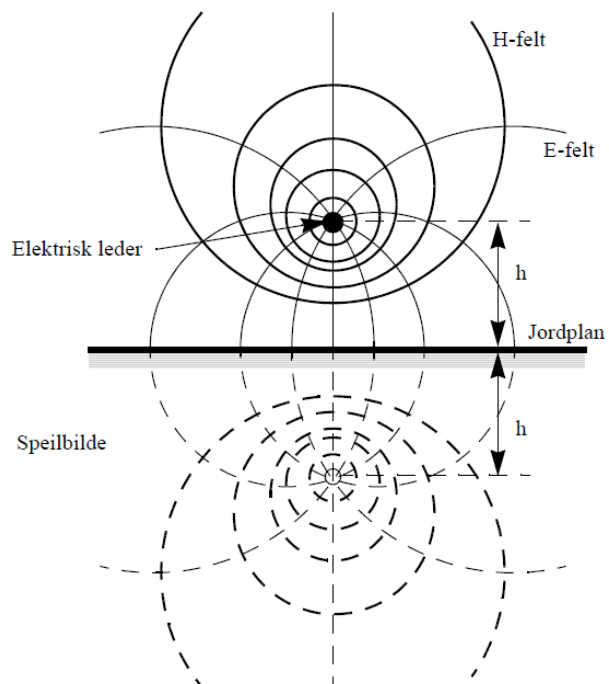
- b) Se kompendium: "Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)", avsnitt 2.1, side 7.

Krysstale er et fenomen hvor et signal i én leder skaper en uønsket forstyrrelse i en annen leder. Fenomenet forårsakes av induktiv og kapasitiv (evt. galvanisk) kobling mellom lederne.

- c) Se kompendium: "Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC)", side 37-39.

Et jordplan er en elektrisk ledende overflate (ideelt sett uendelig stort og tilstrekkelig tykt) som er koplet til lokale systemjord. En elektrisk leder vil "speiles" i et jordplan slik at de elektriske feltlinjene står vinkelrett på planet, og de magnetiske feltlinjene vil ikke skjære gjennom planet (se figur 3). Dette betyr i praksis at feltene blir konsentrert mellom lederen og jordplanet, og dermed blir svakere over og på siden av lederen (hvis vi antar at jordplanet ligger *under* lederen).

De elektromagnetiske feltene rundt en leder kan reduseres ved å redusere avstanden mellom leder og jordplan. Den gjensidige magnetiske (induktive) koblingen mellom to ledere reduseres ved å redusere avstanden mellom ledere og jordplan.



**Figur 3** "Speiling" av leder i jordplan.

### Oppgave 3: Transmisjonslinjer (15%)

- a) Signalkildens og lastens inngangsimpedanser må begge være lik transmisjonslinjens karakteristiske impedans:

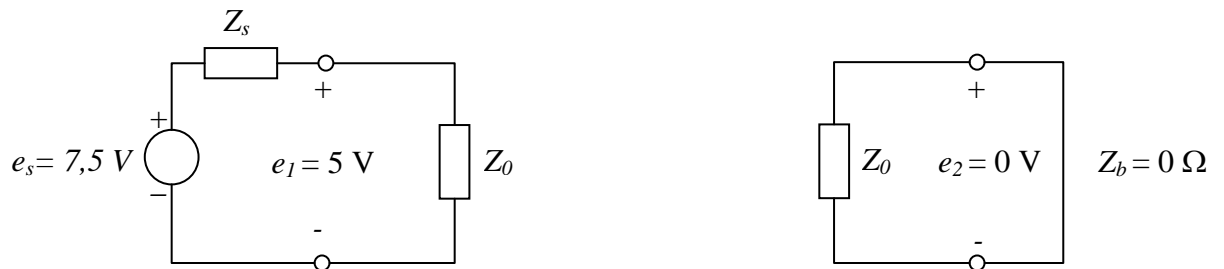
$$Z_s = Z_b = Z_0$$

Kommentar: Siden signaler i denne oppgaven kun kan ha sin opprinnelse i signalkilden, er det strengt tatt nok at lastimpedansen er tilpasset linjen ( $Z_b = Z_0$ ); vi vil da ikke få refleksjon ved lasten, og dermed er det ikke noe bakovergående signal som kan reflekteres i signalkildens impedans. Dette bør imidlertid begrunnes som her for å oppnå full poengsum.

- b) Umiddelbart etter spranget "ser" signalet en seriekopling av  $Z_s$  og  $Z_0$ , mens lasten er en kortslutning som står i parallell med linjens impedans (se Figur 4). Triviell bruk av Ohms lov gir da

$$\begin{aligned} e_1 &= e_s Z_0 / (Z_s + Z_0) \\ &= 7,5 \text{ V} (100 \Omega / 150 \Omega) \\ &= \underline{\underline{5 \text{ V}}} \end{aligned}$$

$$e_2 = \underline{\underline{0 \text{ V}}}$$

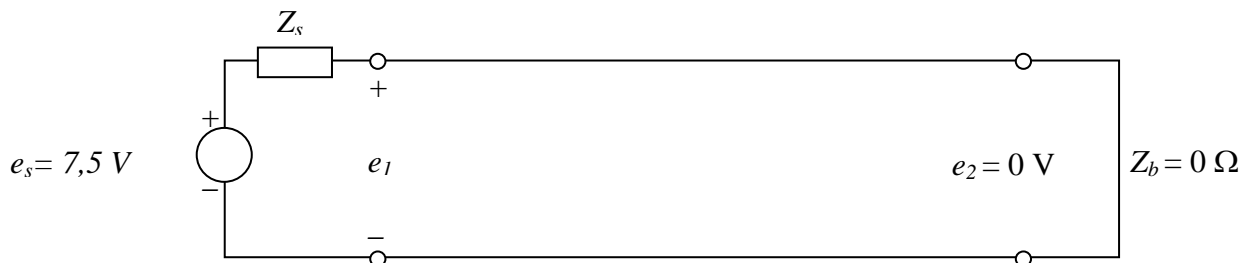


**Figur 4** Ekvivalentskjema for tidspunktet rett etter spenningspranget.

- c) Når alle transienter har dødd ut, spiller ikke lenger linjens impedans noen rolle, og vi kan bruke Ohms lov på "godt, gammeldags vis". Figur 5 viser ekvivalentskjema for denne situasjonen. Vi får da trivielt følgende løsning:

$$e_1 = \underline{\underline{0 \text{ V}}}$$

$$e_2 = \underline{\underline{0 \text{ V}}}$$



**Figur 5** Ekvivalentskjema i det stasjonære tilfellet.

- d) En ideell transmisjonslinje har intet Ohmsk tap, verken i form av seriemotstand eller parallellkonduktans. Det tilsvarer følgende parameterverdier (jfr. notasjon i kompendiet):  $r = 0 \Omega$  og  $g = 0 \text{ S}$ .

Konsekvenser:

- 1) Ingen demping av signalet langs linja.
  - 2) Alle frekvenser har samme romlige hastighet langs linja. Dermed får vi ingen dispersjon, og dermed heller ingen forvrengning av signalet.
- Signalet holder seg med andre ord *uendret* langs hele transmisjonslinja.  
(Merk at transmisjonshastigheten fortsatt er *endelig*!)

## Oppgave 4: Faselåst sløyfe og spenningsregulatorer (20%)

- a) Se kompendium: "Funksjonsenheter", side 16-18.

**Faselåst sløyfe:** En faselåst sløyfe er en regulator som genererer et utgangssignal som har samme frekvens som (dvs. konstant fase i forhold til) et referansesignal.

For å oppnå dette bruker man typisk en fasedetektor (XOR-funksjon) som har et utgangssignal proporsjonalt med differansen i fase mellom to signaler, altså et feilsignal. Feilsignal midles i et lavpassfilter, og det midlede signalet driver en spenningsstyrt oscillator (VCO).

Hvis utgangsfrekvensen avviker fra referansefrekvensen, får man et feilsignal som vil drive utgangsfrekvensen i en retning som reduserer feilen. Stasjonært har vi konstant fasevinkel mellom inngangssignalet og det syntetiserte signalet, mao. samme frekvens.

- b) Se kompendium: "Funksjonsenheter", side 18-19:

For å løse oppgaven bruker vi en faselåst sløyfe, og desimerer frekvensen i det syntetiserte signalet med en faktor på 2 (noe vi kan oppnå ved å bruke en modulo-2-teller) før det koples tilbake. Stasjonært får vi da samme frekvens mellom dette neddelte signalet og inngangssignalet, mao.  $f_2 = 2 f_1$ .

- c) Se kompendium: "Rectifiers and Power Supplies", side 11-21.

**Parallellregulator/shunt-regulator.** Består av en motstand i serie med spenningskilden, og en komponent som alltid holder samme spenning over sine terminaler, uansett hvor mye strøm som går (eks.: zener-diode eller skreddiode), i parallell med spenningskilden. Hvis man bruker en zener-diode, er det den innebygde spenningsregulerende egenskapen til denne komponenten som gir ønsket spenning på utgangen. "Overskytende" strøm til går til jord via zener-dioden. Seriemotstanden bestemmer både zener-strømmen og laststrømmen.

Fordeler: Enkel, genererer svært lite støy.

Ulemper: Dårlig virkningsgrad pga. at en del strøm ledes rett til jord.

**Serieregulator.** I praksis en styrt impedans i serie med kilden, styres slik at spenningsnivået etter regulatoren er på ønsket nivå.

Fordeler fremfor parallellregulatoren: Bedre virkningsgrad (men fortsatt går en del energi til spille som varme). Genererer svært lite støy

**Switch-mode-regulator.** En bryter (transistor) slår av og på spenningen til en glattespole (evt. transformator) med høy frekvens. Strømmen gjennom (sekundær-)spolen ledes inn på en glattekondensator.

Fordel: Svitsjingen kan utføres bare akkurat slik at den nødvendige ladningen slipper inn på kondensatoren, dermed går det svært liten effekt til spille. Vi kan også regulere spenningen både opp og ned.

Ulempe: Høyfrekvent svitsjestøy. Mer kompleks enn de andre typene.  
Spoler/transformatorer er "store", tunge og dyre.

## Oppgave 5: Gassanalyse (20%)

- a) Se "Instrumenteringsteknikk", side 260.

Magnetisme: Gasser kan være para- og diamagnetiske, som betyr at de hhv. tiltrekkes eller frastøtes av magnetfelt. Oksygen er sterkt paramagnetisk sammenliknet med andre gasser, og denne egenskapen kan utnyttes i to prinsipper for å måle oksygeninnhold.

Det første baserer seg på å måle den elektriske motstanden i varmetråder spent opp i to kamre. I det ene kammeret vil det være et magnetisk felt, som fører til en magnetindusert konveksjon som igjen vil føre til en avkjøling av varmetråden i dette kammeret. Temperaturforskjellen i de to varmetrådene kan måles som en forskjell i elektrisk motstand, som igjen vil være et uttrykk for oksygeninnholdet.

Det andre prinsippet baserer på bruk av kompensasjonsprinsippet på en dreievekt, spent opp i et magnetisk felt. På grunn av magnetindusert konveksjon vil vekten skyves ut av likevekt. Vinkelen måles og ved hjelp av en vikling på vekten kan det genereres et dreiemoment ved å påtrykke en strøm i denne viklingen. Ved å bruke en regulator for å regulere vinkelen til det opprinnelige likevektspunktet, vil den påtrykte strømmen være et uttrykk for oksygeninnholdet.

- b) Se "Instrumenteringsteknikk", side 261.

Varmeledningsevne: Utnytter variasjon i gassers varmeledningsevne. Har to kamre, et referansekammer med en referansegass, og et målekammer med målegass. I hvert kammer er det en varmetråd. I målekammeret vil varmetråden avkjøles mere når gassens varmeledningsevne øker, og vice versa. Kjølningen måles via motstanden i tråden. (Krever at vi måler temperaturen i gassen, evt. temperaturregulert gass.)

- c) Se "Instrumenteringsteknikk", side 262.

Varmetoning: Varmetoning er en metode for å måle hvor mye brennbart stoff det er i en gass. Bruker et referansekammer med luft, og et målekammer med gassen som skal måles iblandet luft. I hvert kammer er det en glødetråd. I målekammeret vil den brennbare gassen antennes av glødetråden, og temperaturen i tråden øker. Temperaturøkningen avhenger av strømmen av brennbare stoffer. Temperaturforskjellen mellom referanse- og målekammer måles som forskjell i elektrisk motstand i de to glødetrådene, og sier noe om mengden brennbar gass i blandingen som måles.

- d) Se "Instrumenteringsteknikk", side 263-264.

Infrarød lysabsorpsjon: Forskjellige gassmolekyler absorberes lys ved forskjellige bølgelengder. Absorpsjonsspekteret til en gassblanding avhenger derfor av komponentenes partielltrykk (trykket en gass ville hatt om det okkuperte et gitt volum alene). *Hvis vi vet at gasskomponentene vi ønsker å måle mengden av absorberer i det infrarøde området, trenger vi ikke å benytte stråling med andre bølgelengder.*

Et måleprinsipp som utnytter denne egenskapen baserer seg på å sende infrarødt lys gjennom to kamre, et fylt med en referansegass og et fylt med målegassen. Under disse kamrene befinner det seg adskilte mottagerkamre fylt med gassen som skal måles. På grunn av forskjellig absorpsjon i måle- og referansekammer, vil strålingen

som når mottagerkamrene ha forskjellig intensitet og føre til forskjellig oppvarming av gassen i mottagerkamrene. Temperaturforskjellen fører til konveksjon, som gir en massestrøm som kan måles, og strømningshastigheten vil være et uttrykk for gassmengde.

Alternativt kan absorpsjonen i prinsippet måles med en hvilken som helst termisk sensorteknologi.

## Oppgave 6: Elektrisitetsfordeling (X%)

- a) Se kompendium: "Trefasesystemer", side 10, 11 og 13.

System 1: IT

System 2: TT

Utsatte deler er deler som er elektrisk ledende og som normalt ikke er spenningsførende, men som kan bli det på grunn av isolasjonsfeil.

- b) Se kompendium: "Trefasesystemer", side 11.

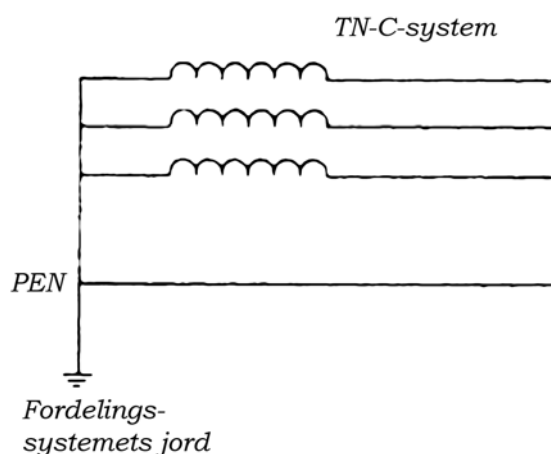
En *jordfeil* har vi når vi av en eller annen grunn får strømgjennomgang fra en (eller flere) av fasene til jord.

- c) Se kompendium: "Trefasesystemer", side 11.

IT-nettet tillates drevet med enkel jordfeil fordi den eneste returveien for jordstrømmen går via strøkapasitansene mellom fasene og jord. Dermed blir jordstrømmene oftest svært små.

- d) Se kompendium: "Trefasesystemer", side 10-14.

Et TN-C-system er skissert i Figur 6.



Figur 6 TN-C-system.

Et TN-C-system har en jordet trafo (nøytralpunktet), og kombinert leder for nøytralleder og sikkerhetsjord. Et TN-S-system vil i motsetning til et TN-C-system ha separate ledere for nøytralleder og sikkerhetsjord.

Et TN-C-S-system er en kombinasjon av et TN-C- og TN-S-system, altså vil man ha separate ledere for nøytralleder og sikkerhetsjord i deler av nettet (oftest nærmest forbruker).

- e) Se f.eks. kompendium: "Likestrømsmaskiner" (Hambley).

En måte å forklare dette på er å se på energibalansen i systemet – siden spenningen holdes konstant må strømmen øke for å levere nok effekt til å drive lastmomentet.

En mer pragmatisk betraktning er å si at lastmomentet fører til en lavere hastighet, slik at den motinduserte spenningen reduseres. Dette fører igjen til en høyere netto drivende spenning i kretsen, slik at strømmen går opp.