

# Løsningsforslag til eksamen i

## TTK4125 Datastyring

7. juni 2014

### Oppgave 1 Transmisjonslinjer (16%)

- a) Hvilke kriterier må være oppfylt for at det ikke skal kunne forekomme signalrefleksjoner i systemet beskrevet ovenfor?

Svar:

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

$$Z_s = Z_l = Z_0$$

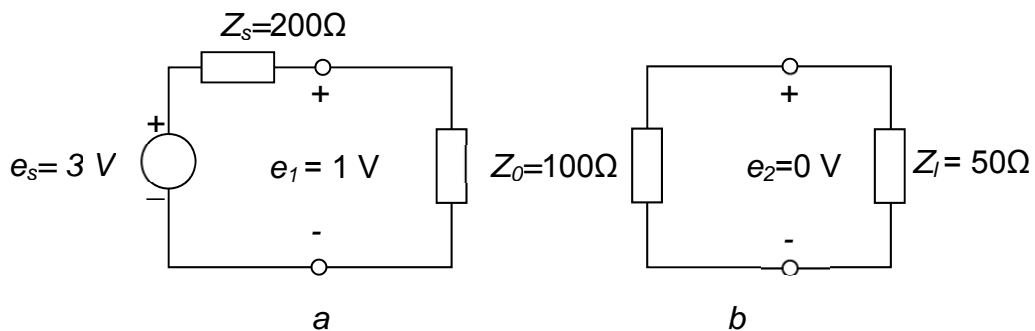
Kommentar: Siden signaler i denne oppgaven kun kan ha sin opprinnelse i signalkilden, er det strengt tatt nok at lastimpedansen er tilpasset linjen ( $Z_l = Z_0$ ); vi vil da ikke få refleksjon ved lasten, og dermed er det ikke noe bakovergående signal som kan reflekteres i signalkildens impedans. Dette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

- b) Umiddelbart etter spranget "ser" signalet en seriekopling av  $Z_s$  og  $Z_0$  (se Figur 1a). Triviell bruk av Ohms lov gir da

$$\begin{aligned} e_1 &= e_s Z_0 / (Z_s + Z_0) \\ &= 3 \text{ V} (100 \Omega / 300 \Omega) \\ &= \underline{1 \text{ V}} \end{aligned}$$

På mottakersiden vil forholdene være de samme som rett før spranget fordi signalet ikke har rukket å forplante seg til enden av linja. Her har vi følgelig

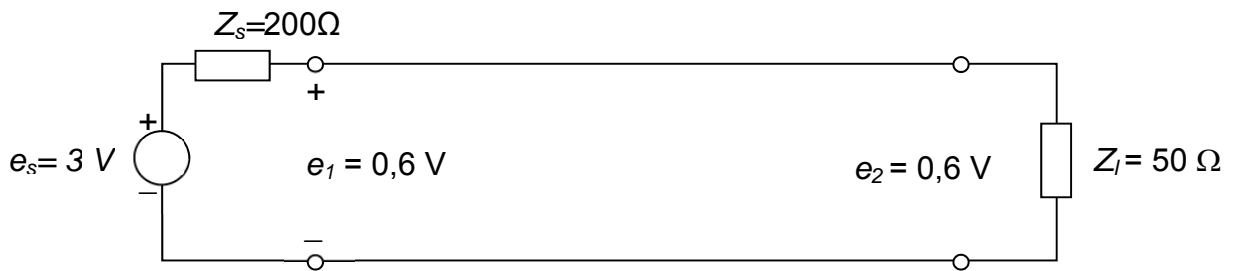
$$e_2 = \underline{0 \text{ V}}$$



Figur 1 Ekvivalentskjema for tidspunktet rett etter spenningspranget.

- c) Når alle transienter har dødd ut ( $t \rightarrow \infty$ ), spiller ikke lenger linjas karakteristiske impedans noen rolle, og vi kan bruke Ohms lov på tradisjonell måte. Figur 2 viser ekvivalentskjema for denne situasjonen. Ohms lov gir nå:

$$\begin{aligned}
 e_1 = e_2 &= e_s Z_l / (Z_s + Z_l) \\
 &= 3 \text{ V } (50 \Omega / 250 \Omega) \\
 &= \underline{0,6 \text{ V}}
 \end{aligned}$$



**Figur 2** Ekvivalentskjema i det stasjonære tilfellet.

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

Den karakteristiske impedansen blir da reell (dvs. den blir rent ohmsk).

Konsekvenser:

- 1) Ingen demping av signalet langs linja.
  - 2) Alle frekvenskomponenter har samme romlige hastighet (fasehastighet) langs linja. Dermed får vi ingen dispersjon, og dermed heller ingen forvrengning av signalet.
- Signalet holder seg med andre ord uendret langs hele transmisjonslinja.

## Oppgave 2      **Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) (16%)**

- a) Elektromagnetisk kompatibilitet er et sammenfattede begrep for alt som handler om elektromagnetisk støypåvirkning mellom og innad i systemer.

Systemer er elektromagnetisk compatible når de

- ikke blir forstyrret av hverandre (dvs. støyimmunitet/robusthet)
- ikke forstyrrer hverandre (dvs. begrenset støyemisjon)
- ikke forstyrrer seg selv (dvs. komponenter eller moduler innad i ett og samme system må være compatible).

- b) En *fysisk* skjerm er en elektrisk ledende metallkapsel/barriere som hindrer overføring av elektromagnetiske felter mellom ulike kretselementer eller delsystemer.

Skjermens hensikt er

- å dempe emisjon til omgivelsene
- å dempe innstråling fra omgivelsene

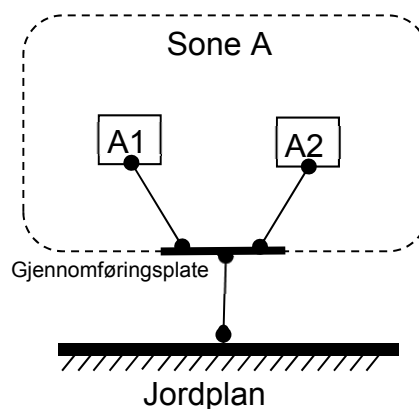
- c) Begrepet *generalisert skjerm* dekker alt som kan bidra til å redusere støypåvirkningen mellom inn- og utsiden av en sone.

Eksempler på faktorer som kan inngå i en generalisert skjerm:

- fysisk avstand
- elektrisk ledende armering i bygningskonstruksjoner
- chassis i et apparat
- ledende mekanisk konstruksjon
- ledende plategolv (datagolv)
- jordplan på et kretskort
- godt ledende jordsmonn

- d) Jording av A1 og A2 gjøres ved å kople skjermen (i sonegrensen) til jordplanet, og dernest kople A1 og A2 til skjermen i egen sone.

Ekstra tiltak: gjennomføringsplate for mindre impedans i jordbanen.

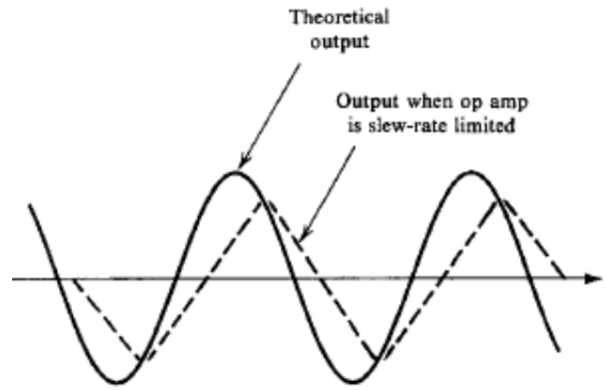


### Oppgave 3 Ikke-ideell operasjonsforsterker (12%)

- a) Slew rate er den raskeste spenningsendringen som forsterkeren klarer å produsere. Kravet som må stilles er at forsterkerens slew rate er minst like stor som maksimalverdien av signalets deriverte. Denne verdien er:

$$\begin{aligned} dv_o/dt_{\max} &= \omega A \\ &= 31\,416 \cdot 5 \text{ V/s} \\ &= 157\,080 \text{ V/s} \\ &= 0,157 \text{ V}/\mu\text{s} \end{aligned}$$

- b) Hvis forsterkerens slew rate er for lav, vil utgangssignalet bli forvrengt som vist av den stiplede grafen nedenfor.



- c) Forsyningsspenningen gir en absolutt ytre begrensning for forsterkerens metningsgrenser. Signalet  $s$  antar spenningsverdier i intervallet fra  $-4\text{ V}$  til  $+6\text{ V}$ , derfor må vi iallfall ha et så stort spenn i spenningsforsyningen.

Forsterkerutgangene kan imidlertid ikke svinge helt ut til forsyningsspenningens verdier, og vi må derfor velge en forsyning med endelige marginer i forhold til ønsket utgangsspenning.

Alternativet  $V_{POS} = +10\text{ V}$ ,  $V_{NEG} = -10\text{ V}$  er derfor det eneste som vil fungere i praksis.

## Oppgave 4 Informasjonsteori (10%)

- a) Symbolene «A» og «B» har størst informasjonsmengde.  
Tegnenes sannsynligheter er hhv.

$$P(A) = P(B) = 0,25$$

$$P(C) = 0,5$$

Informasjonsmengden er da som følger:

$$I(A) = I(B) = -\log_2(P(A)) = -\log_2(2^{-2}) = 2 \text{ [bit]}$$

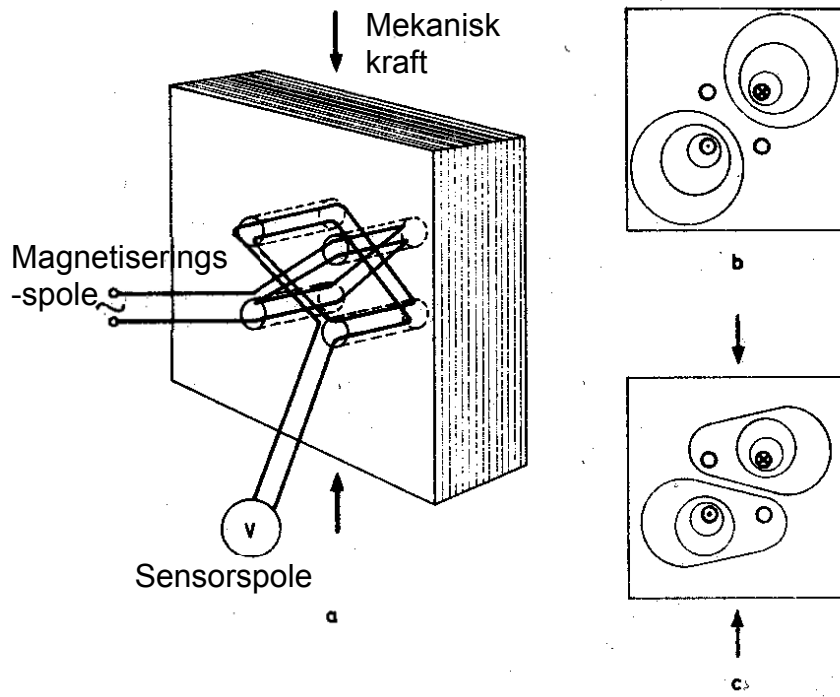
$$I(C) = -\log_2(P(C)) = -\log_2(2^{-1}) = 1 \text{ [bit]}$$

Her representerer  $\log_2$  den binære logaritmefunksjonen.

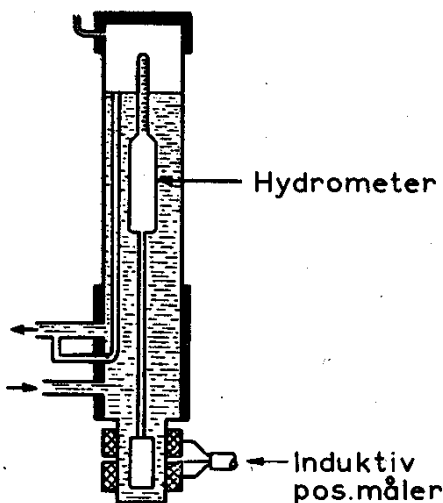
- b) En effektiv kode her kan være f.eks. «A»=00, «B»=01, «C»=1.

## Oppgave 5 Instrumentering (24%)

- a) **Pressduktor:** Mange metalls magnetiske permeabilitet endrer seg som funksjon av trykk- eller strekkrefter. Pressduktoren består av to spoler som er plassert ortogonalt på hverandre. Den ene spolen leder en vekselstrøm, men pga. ortogonaliteten induserer 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.



- b) **Hydrometeret** bygger 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 væskenivå. Ved å måle hvor høyt/dypt flottøren flyter, får vi derfor et uttrykk for væskens massetetthet (se figur nedenfor).



En alternativ løsning er å holde flottøren i en fast dybde, og måle oppdriftskraften den utsettes for. Denne kraften vil da være proporsjonal med væskens massetetthet.

- c) **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 (molekylerne) 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.

- d) Den internasjonale temperaturskalaen angir fysiske situasjoner som vi kan reproducere, og der vi da kjenner temperaturen nøyaktig.  
Dette brukes til kalibrering av temperaturfølere.

*Eksempel:* en føler settes ned i en vannbasert trippelpunktcelle og holdes der til cellen igjen er i likevekt. Følerens utgangssignal («skala») justeres deretter slik at det viser den temperaturen som vi vet at vi faktisk måler (her:  $0,01^{\circ}\text{C}$  iflg. ITS-90).

- e) Utfordringer ved temperaturmåling:

**Termisk påvirkning fra omgivelsene:**

**Termisk kopling/varmeledning:** Vi måler i praksis temperaturen i føleren, ikke i prosessmediet.

Føleren vil alltid være i termisk kontakt med omgivelsene via mekanisk innfesting, ledninger, beskyttelseskappe osv., og dette fører til at måleelementets temperatur ikke er det samme som mediets. Dermed får vi en målefeil.

Samme virkning får vi også via **varmestraling** fra omkringliggende strukturer. Spesielt gjelder dette ved måling i gasser, der vi har svak varmeledning mellom medium og måleelement.

Ved bruk av pyrometer er varmestraling selve koplingsveien mellom måleobjekt og sensor, og stråling fra omgivelse (f.eks. reflektert i måleobjektet) er en fundamental feilkilde. Måleobjektets egen emittans spiller også direkte inn.

**Tidskonstant:** den termiske massen (varmekapasiteten) til måleelementet og omkringliggende strukturer (se forrige punkt) kombinert med begrenset varmeledningsevne/varmeovergangstall, fører til at målesignalet vil ha begrenset båndbredde ift. prosessmediets faktiske temperatur.

**Selvoppvarming (gjelder primært resistive følere):** Målestrømmen som må gå gjennom føleren, fører til oppvarming. Føleren har derfor høyere temperatur enn mediet vi vil måle temperaturen i.

- f) (Her foreslås én løsning for hvert måleproblem, men flere teknikker kan brukes og alle relevante svar vil gi uttelling.)

**Fuktigheten** kan måles ved hjelp av et **psykrometer**. Det består av en termosøyle som måler temperaturforskjellen mellom prosessgassen og en fuktig veke som ligger i gasstrømmen. Tørrere gass gir større avdamping fra veke, og dermed lavere veketemperatur. Den målte temperaturforskjellen er derfor en funksjon av gassens fuktighet.

**Temperaturen** kan vi f.eks. måle med et Pt100-element. Det består av en tynn platinatråd, og trådens resistans er en funksjon av dens temperatur. Temperaturen måles ved å sende en liten, kjent strøm gjennom Pt100-elementet og måle spenningsfallet over tråden, og deretter bruke Ohms lov for å finne trådens resistans. Derfra kan vi så beregne temperaturen.

## Oppgave 6 Elektromagnetisme (12%)

- a) Avstand mellom lederne er  $r=0,5\text{m}$ . Bruker Ampères lov for å beregne feltintensiteten i avstand  $r$  fra lederen som fører 3A:

- Omkretsen blir  $O = 2 \cdot \pi \cdot r$   
 $= 2 \cdot \pi \cdot 0,5 \text{ m}$   
 $= \pi \text{ m}$
- $O \cdot H = i = 3\text{A} \Rightarrow H = 3/\pi \text{ A/m}$   
 $= 0,95 \text{ A/m}$

Dette gir  $B = \mu_0 \cdot H = (3/\pi) \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$   
 $= 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ T}$  der fluksen fra 3A-lederen treffer 8A-lederen.

- b) Kraften på 8A-lederen blir da (kryssproduktet blir til en vanlig multiplikasjon fordi  $I$ - og  $B$ -vektorene står normalt på hverandre langs 8A-lederen):

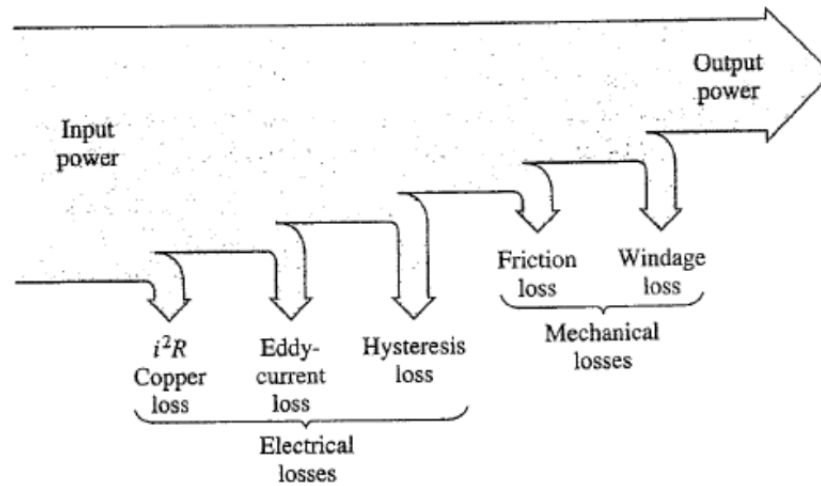
$$f = i \cdot l \cdot B = 8 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ N} = 9,6 \mu\text{N}$$

Bruk av høyrehåndsregelen to ganger (først for å finne retningen på feltet fra 3A-lederen ved 8A-lederen, deretter for å finne kraften forårsaket av dette feltet og 8A-lederen) viser at kraften er **frastøtende**.

- c) Former for effekttap i motorer:

- Koppertap**: varmeutviklingen i motorens kopperviklinger. Denne er en kvadratisk funksjon av strømmen og proporsjonal med resistansen:  $P = i^2 R$
- 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.

Figuren nedenfor illustrerer dette.



## Oppgave 7      **Motordrivere**

- a) En **lineær motordriver** regulerer motorpådraget ved å regulere driverens indre resistans slik at den gir det ønskede spenningsfall. Motoren «ser» kraftforsynings spenning minus driverens spenningsfall.

En **svitsjet motordriver** regulerer motorpådraget vha- pulsbreddemodulasjon e.l., der drivertransistorene alltid er enten helt «av» eller helt «på».

Fordeler/ulemp:

- Lineære motordrivere gir oftest **enklere kretsløsninger** enn svitsjede drivere.
- Lineære motordrivere gir oftest **lavere virkningsgrad** enn svitsjede drivere.
- Lineære motordrivere gir oftest **mindre utstrålt (høyfrekvent) støy** enn svitsjede drivere.

- b) Frekvensomformereren består av

- en **likeretter** som gjør om (én- eller trefaset) vekselspenning til likespenning,
- en **mellomkrets** (også kalt «glattekrets») som har til hensikt å **glatte** spenningen (evt. strømmen) i mellomkretsen, samt
- en **vekselretter** som "hakker opp" likespenningen til vekselspenning med ønsket amplitude og frekvens. Vekselretteren har typisk trefase-utganger, men kan i prinsippet også ha én fase.