

## Løsningsforslag til eksamensoppgave i TTK4125 Datastyring

Eksamensdato: 16. mai 2015

---

### Oppgave 1      **Elektromagnetisk kompatibilitet – EMC (16%)**

a) Begrepsdefinisjoner og forklaringer:

**Emisjon** betyr *utsendelse*, og representerer i EMC-sammenheng at en utstyrsenhet genererer elektromagnetisk støy som kan påvirke omgivelsene.

**Immunitet** kan oversettes *uimottakelighet*, og representerer et utstyrs evne til ikke å bli påvirket av elektromagnetisk støy.

**Immunitetsgrense** er det minimalt påkrevde immunitetsnivået, dvs. et minstemål for hvor mye støy et utstyr må tåle (i et gitt system eller en gitt anvendelse) uten å slutte å fungere i henhold til sine spesifikasjoner.

**Emisjonsgrense** angir det maksimalt tillatte emisjonsnivået (i et gitt system eller en gitt anvendelse) fra en forstyrrende kilde.

**Kompatibilitetsmargin** (i et gitt system eller en gitt anvendelse) er avstanden mellom immunitetsgrensen og emisjonsgrensen.

b) Koplingsveier for elektromagnetisk støyforplantning:

**Galvanisk kopling:** Systemene står i direkte galvanisk kontakt slik at strøm kan flyte direkte fra støykilde til støymottaker gjennom ledninger og andre ledende strukturer.

**Kapasitiv kopling:** Kapasitansen mellom ledere i de to systemene har en endelig verdi, og vil derfor skape en strøm mellom de to systemene når spenningsforskjellen mellom de koblede lederne endrer seg.

**Induktiv kopling:** Induktansen mellom ledere i de to systemene har en endelig verdi, og endringer av strømmen i (og dermed magnetfeltet rundt) ledere i støykilden vil derfor indusere spenninger i lederne hos støymottaker.

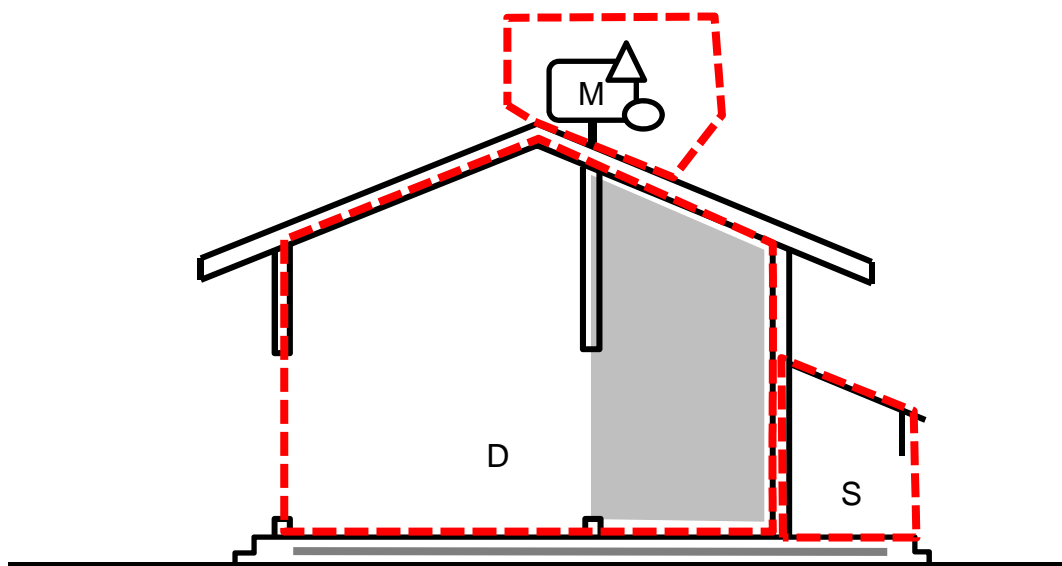
**Høyfrekvent stråling:** Ledende strukturer i støykilden/støymottakeren virker som antenner og hhv. utstråler/tar inn høyfrekvent støy.

c) *Denne oppgaven har ikke en entydig løsning. Det viktige er at kandidaten gjennom sin besvarelse viser forståelse for begrepene sonegrenser/generalisert skjerm, og betydningen av fysisk adskillelse (avstand) som tiltak mot støyforplantning osv.. Ved bedømmelsen fokuseres det på denne forståelsen.*

Foreslåtte sonegrenser er tegnet med stiplede linjer, og utstyrs plassering er angitt med bokstavene «S» for strømaggregatet og «D» for datainnsamlingsenheten. En «forbudt sone» er markert med grå farge.

Begrunnelse for løsningen:

- Bygget gir liten eller ingen skjermingseffekt siden det består av tre. Vi må derfor etablere en «generalisert skjerm» som består av *størst mulig avstand* mellom støykilden (strømaggregatet) og resten av utstyret. Dette oppnår vi ved å plassere S og D langt fra hverandre, og etablere en «forbudt sone» i rommet imellom dem der hverken D eller S kan plasseres. Hele denne forbudte sonen er i prinsippet en «fortykket» del av sonegrensen rundt sone D.



Andre fullgode løsninger og detaljer:

- Etablere et «forbudt område» rundt sone D også langs tak og venstre vegg, og på denne måten spesifisere at utstyr D skal plasseres omtrent midt i rommet.
  - La sonen for datainnsamlingsenheten også omfatte det takmonterte måleutstyret M, slik at vi kun har to soner.
- d) Et ytterligere tiltak kan være å jorde armeringen i gulvet, dvs. kople den til «moder jord» med en kraftig kobberleder. Dette vil skape et effektivt jordplan som i praksis vil skjerme utstyr som plasseres i nærheten av gulvet. Jordlederen bør ideelt sett koples til armeringen i grensen mellom sone S og sone D, slik at jordstrømmer fra én sone ledes rett til jord og ikke fører til forstyrrelser i den andre sonen. Jordplanet vil da fungere som greiner i et «jordtre».

Alternative ekstratiltak kan omfatte ett eller flere av følgende:

- Montere det følsomme utstyret D i et metallskap som jordes.
- Bruke metallplater som takmateriale og jorde dette, slik at det danner en skjerm i grensen mellom sonene M og S.
- Tilsvarende tiltak (metallskjerm) i grensen rundt sone S for å hindre emisjon.
- Osv. osv.

## Oppgave 2 Elektromagnetisme (16%)

- a) Den induserte spenningen i en leder med lengde  $l$  og hastighet  $u$  relativt et magnetfelt med flukstetthet  $B$  er gitt ved den oppgitte formelen

$$e = Blu.$$

Maksimal spenning får vi da når  $B$  er på sitt sterkeste, dvs.  $B = B_{max}$ . Hastigheten  $u$  er gitt av rotorens vinkelhastighet og radius som  $u = r\omega$ . Når vi setter inn tallverdier i formelen ovenfor, må vi også substituere  $l \rightarrow 2l$  fordi det induseres spenning i begge de langsgående lederne i viklingen (på hhv. over- og undersiden av rotoren i oppgavens figur 2). Dette gir:

$$\begin{aligned} e_{N=1} &= 2B_{max}lr\omega = 2 \cdot 0,1 \text{ T} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 0,05 \text{ m} \cdot \omega \\ &= 1,5 \cdot 10^{-3} \omega \text{ [V]}. \end{aligned}$$

- b) Med  $N = 100$  tørn får vi

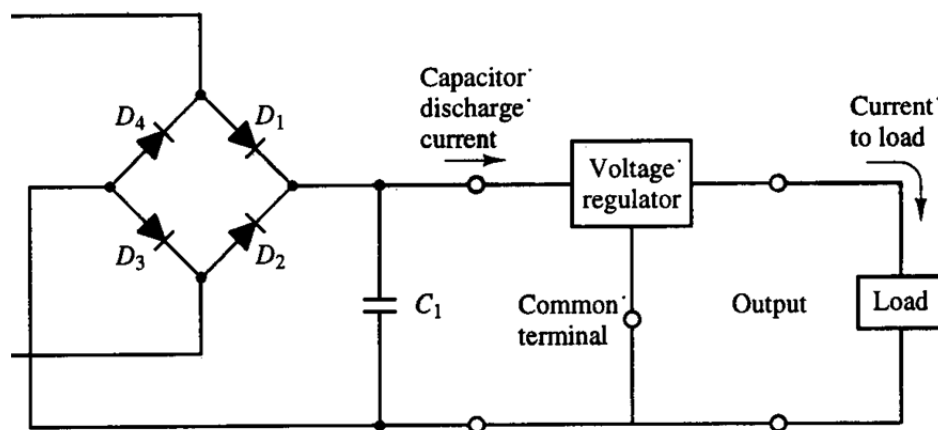
$$e_{N=100} = 100 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \omega = 0,15 \omega \text{ [V]}.$$

Med  $e_{N=100} \geq 15 \text{ V}$  må vi da ha

$$\omega \geq 100 \text{ rad/s}.$$

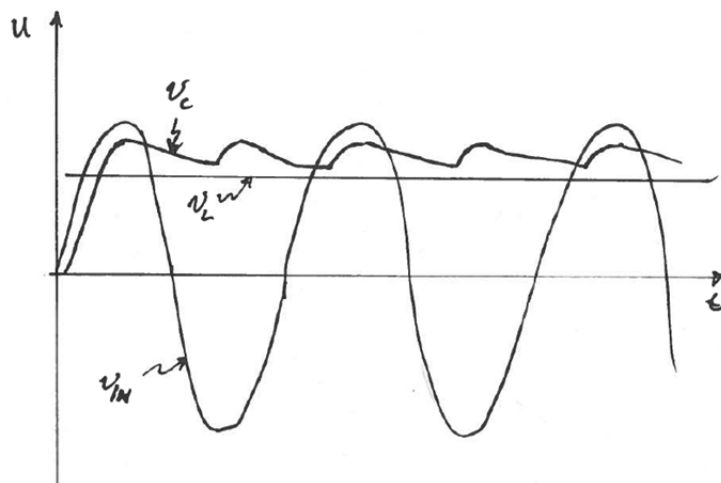
## Oppgave 3 Kraftforsyninger (20%)

- a) Kraftforsyning basert på en helbølgerikterter, glattekondensator og serieregulator:



- b) Kvalitative spenningsforløp er vist i figuren nedenfor;  $v_{IN}$  er likeretterbroens inngangssignal,  $v_C$  er spenningen over glattekondensatoren, og  $v_L$  er lastspenningen. De viktige detaljene her er som følger:

- $v_C$  ligger alltid lavere enn  $v_{IN}$  (på grunn av spenningsfallet i diodene),
- $v_C$  har en rippel på grunn av utladning av periodevis kondensatoren,
- $v_L$  ligger alltid lavere enn  $v_C$  på grunn av spenningsfall i serieregulatoren.



- c) Siden vi har en fullbølgelikeretter, vil en 16 Hz forsyningsspenning gi en rippelfrekvens på 32 Hz og dermed en rippelperiode på  $(32 \text{ Hz})^{-1} \approx 31 \text{ ms}$ . Vi antar at kondensatorspenningen stiger raskt når den lades opp, slik at det meste av rippleperioden består av utladning. For en kondensator gjelder sammenhengen

$$i_c = C \frac{du_c}{dt}$$

der  $i_c$  er strøm,  $u_c$  er spenning og  $C$  er kapasitans. Med  $i_c = 750 \text{ mA}$  og  $C = 10 \text{ mF}$  får vi

$$\frac{du_c}{dt} = \frac{i_c}{C} = \frac{750 \text{ mA}}{10 \text{ mF}} = 75 \text{ V/s}.$$

I løpet av en periode på  $\Delta t = 31 \text{ ms}$  vil spenningen da synke med

$$\Delta u_c = \frac{du_c}{dt} \Delta t = 75 \text{ V/s} \cdot 31 \text{ ms} = 2,3 \text{ V}.$$

Rippelen har følgelig en peak-to-peak-verdi på ca. 2,3 V.

## Oppgave 4 Instrumentering (16%)

- a) Differansetrykket  $dP$  gir en kraft  $F$  på flaten  $A$  slik at den vertikale delen av metallrammen beveger seg horisontalt (den stive strukturen "vipper" om den tynne metallplata). Dette detekteres med posisjonsmåleren, og vha. strømforsterkeren endres strømmen  $i$  gjennom spolen slik at det settes opp en kraft mellom denne spolen og permanentmagneten som balanserer kraften på flaten  $A$ . (Ref. Olsen (1984) kap. 8.5.7).

Kompensasjonsprinsippet: Prinsippet med å lage en motkraft mot bevegelsen gjør at fysiske bevegelser i sensoren blir små og ideelt lik null (slik at lineariteten blir god). Målesignalet er i dette tilfellet strømpådraget  $i$ , som ved stasjonære forhold viser hvor stor den ukjente kraften  $F$  er.

- b) Fordeler og ulemper fremgår av følgende lysark fra forelesning:

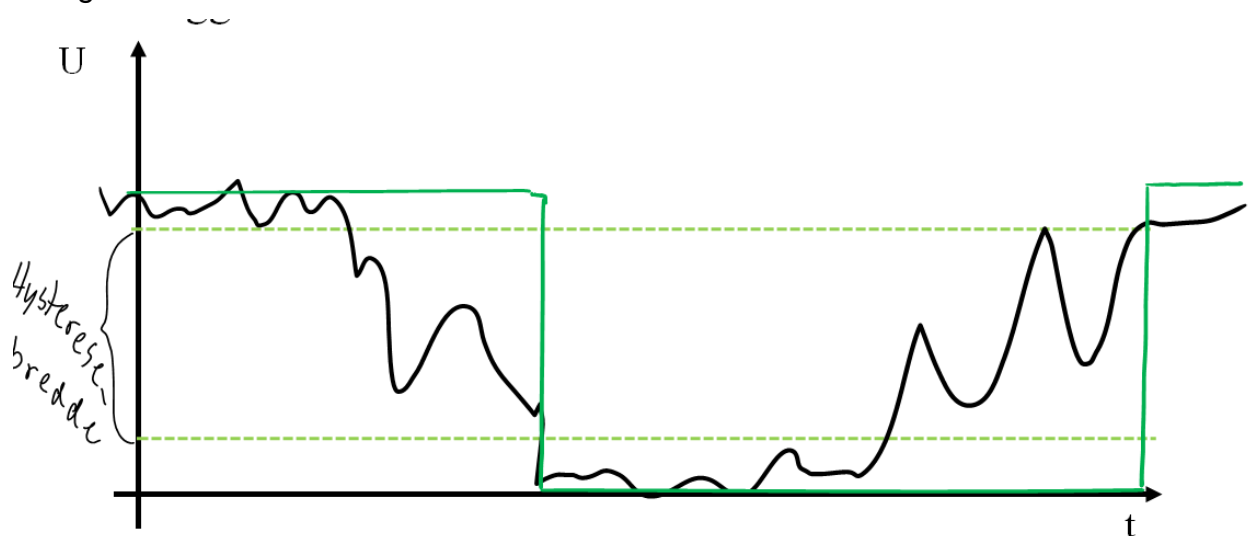
THERMOCOUP	RTD	THERMISTOR
<b>ADVANTAGES</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• SELF POWERED</li> <li>• FAST</li> <li>• SIMPLE</li> <li>• RUGGED</li> <li>• INEXPENSIVE</li> <li>• WIDE TEMPERATURE RANGE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MOST STABLE</li> <li>• MOST ACCURATE</li> <li>• LINEARITY</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HIGH OUTPUT</li> <li>• FAST RESPONSE</li> <li>• INEXPENSIVE</li> </ul>
<b>DISADVANTAGES</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• NON LINEAR</li> <li>• LOW OUTPUT</li> <li>• TEMPERATURE REFERENCE REQUIRED</li> <li>• LEAST SENSITIVE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EXPENSIVE</li> <li>• CURRENT SOURCE REQUIRED</li> <li>• SELF-HEATING</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NON LINEAR</li> <li>• SMALL TEMPERATURE RANGE</li> <li>• FRAGILE</li> <li>• SELF-HEATING</li> </ul>

c) Vindretning/Vinkelmåler

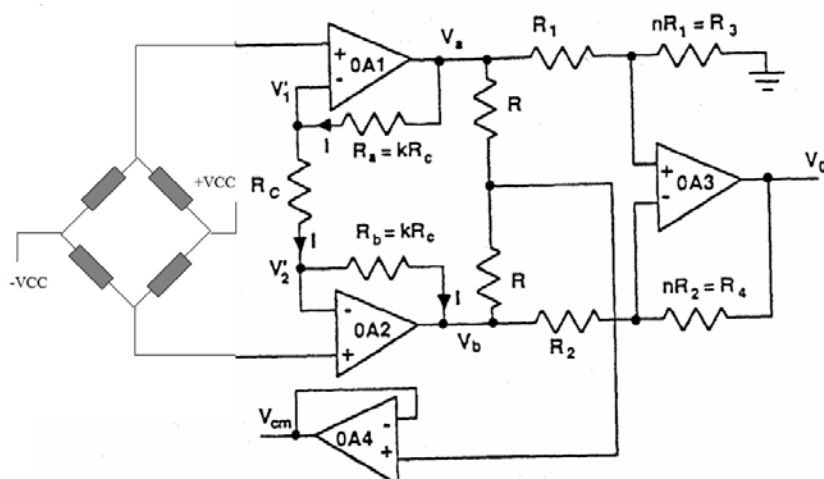
Ref. vinkelmålingslab. En absolutt vinkelmåler i form av en kodeskive vil være en god løsning. Alternativ løsning kan være magnetkompass. Gyrokompass er et akseptabelt svar men unødig kostbart. En kan også lage en mekanisk overføring slik at et vertikalmontert hjul dreier og man kan benytte akselerometer. Gyro (type MEMS) er rimelige, men gir bare rotasjonshastighet og sannsynligvis dårlig nøyaktighet og dette krever nullpunktdeleksjon eller lignende for å finne absolutt vinkel.

- d) Mange alternativer finnes, for eksempel veiecelle, flottør med posisjonsmåling, kapasitiv, boblerør osv..
- e) En Schmitttrigger kan realiseres vha. en operasjonsforsterker. Tilbakekoblingen av operasjonsforsterkeren er gjort slik at man får en komparator med hysteres. Utgangen vil da endre tilstand ved to ulike grenser: det kreves et relativt høyt inngangssignal for at utgangen skal skifte fra lav til høy, mens det kreves et relativt lavt inngangssignal for at utgangssignalet skal skifte fra høy til lav. Utgangen vil derfor ikke skifte tilstand ved små (støy-)ripler på signalet, så kun de «ekte» signalflankene vil slippe gjennom.

En figur som illustrerer virkemåten:



## Oppgave 5 Instrumenteringsforsterker (16%)



b) Common mode støy fra strekkklapp-målebroen: Dersom signallinjene har ulik impedans, vil common mode-spenning fra målebroen føre til en differensiell spenning på forsterkerens innganger som er proporsjonal med denne impedans-ubalansen og med strømmen inn på forsterkerinngangene. Forsterkeren har derfor meget høy inngangsimpedans, så det går praktisk talt ingen strøm inn på inngangene. Dermed forblir støyen *liketaksstøy*, og den fjernes i det differensielle utgangstrinnet.

Ekstern støy kan påvirke målebroen og signalledningene. Mye av denne støyen vil være common mode støy og undertrykkes som beskrevet ovenfor. Imidlertid kan støyens kopling mot de to linjene være ubalansert (ulik), dette vil føre til ulik støyspenning (dvs. differensiell støy) på linjene.

Hvis en skjerm omslutter kablen mellom målebroen og instrumenteringsforsterkeren, vil skjermens potensial påvirkes av ekstern støy. Kapasitansen mellom skjermen og lederne kan imidlertid også være ubalansert. Guard-signalet fra forsterkeren representerer common mode signalet. Ved å koble dette til skjermen, vil ikke lenger common mode-støy føre til strøm i koplingskapasitansene mellom skjerm og ledere, og det vil derfor heller ikke skapes differensielle støyspenninger i lederne.

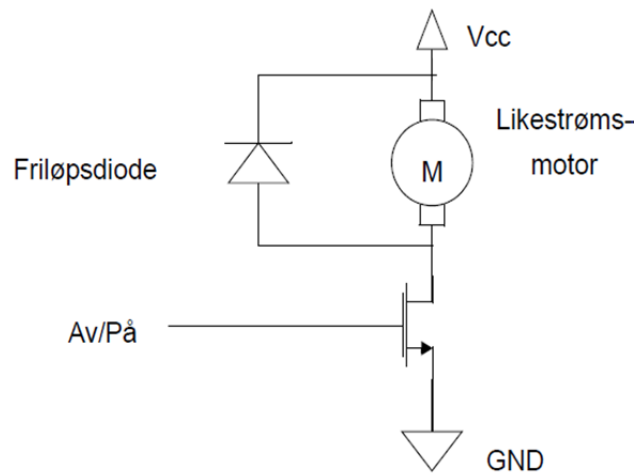
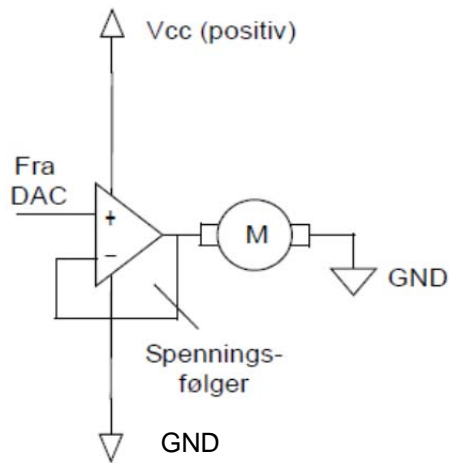
Metoden vil bare undertrykke støy som ligger innenfor forsterkerens båndbredde.

## Oppgave 6 Motordrivere og diverse (16%)

- Uendelig inngangsimpedans (null inngangsstrøm)
  - Null utgangsimpedans
  - Uendelig forsterkning
  - Dersom den ikke er i metning er inngangssignalene tilnærmet like
  - Metningsgrenser lik spenningsforsyningen
- Negativ tilbakekobling  $\Rightarrow V_- = V_+ = V_{in}$ 

$$V_- = V_{out} * R_1 / (R_1 + R_2)$$

$$A = V_{out} / V_{in} = V_{out} / V_- = (R_1 + R_2) / R_1 = 1 + R_2/R_1$$
- Figuren nedenfor viser en lineær (t.v.) og en svitsjet (t.h.) motordriver.



Fordeler og ulemper:

Lineær driver genererer lite høyfrekvent støy, men har lav virkningsgrad. Den svitsjede driveren har motsatte egenskaper.

- d) Duty cycle  $d$  angir den andelen av svitsjeperioden et PWM-signal er logisk «1». Denne parameteren er informasjonsbæreren i PWM-signalet, og signalets middelvei er proporsjonalt med  $d$ .