

Avsluttende Eksamen TTK4100

Kybernetikk Introduksjon

Tirsdag 23.mai 2011

Tid: 09:00 - 13:00

Kontaktperson: Professor Tommy Gravdahl
Tlf.: (735)94393 eller 90144212
Hjelpemidler: D-ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler er tillatt.
NTNU typegodkjent kalkulator med tomt minne er tillatt.
Språk: Norsk (Bokmål)
Antall sider: 8

Da tidligere vurdering i faget teller 20% av den endelige karakteren i faget, teller denne eksamen 80%.

Oppgave 1. (32%)

En dynamisk modell for en likestrømsmotor er gitt av

$$L_a \frac{d}{dt} i_a = -R_a i_a - K_E \omega_m + u_a \quad (1)$$

$$J_m \dot{\omega}_m = K_M i_a - M_L \quad (2)$$

$$\dot{\theta}_m = \omega_m, \quad (3)$$

der i_a er ankerstrømmen, ω_m er moterens vinkelhastighet, θ_m er motorvinkelen, K_M er motorens momentkonstant, K_E er motorens spenningskonstant, R_a er ankermotstanden, L_a er ankerinduktansen, J_m er motorens treghetsmoment, M_L er et konstant moment som virker på motoren fra lasten og u_a er ankerspenningen som er moterens pådrag.

- a) (2%) Hvilke balanselover er brukt for å komme frem til (1) og (2)?
- b) (2%) Er systemet (1)-(3) mono- eller multivariabelt? Gi en kort forklaring.
- c) (4%) Det er vanlig å bruke strømtilbakekobling i likestrømsmotorer. En mulig regulator er P-regulatoren

$$u_a = K_p(i_0 - i_a), \quad (4)$$

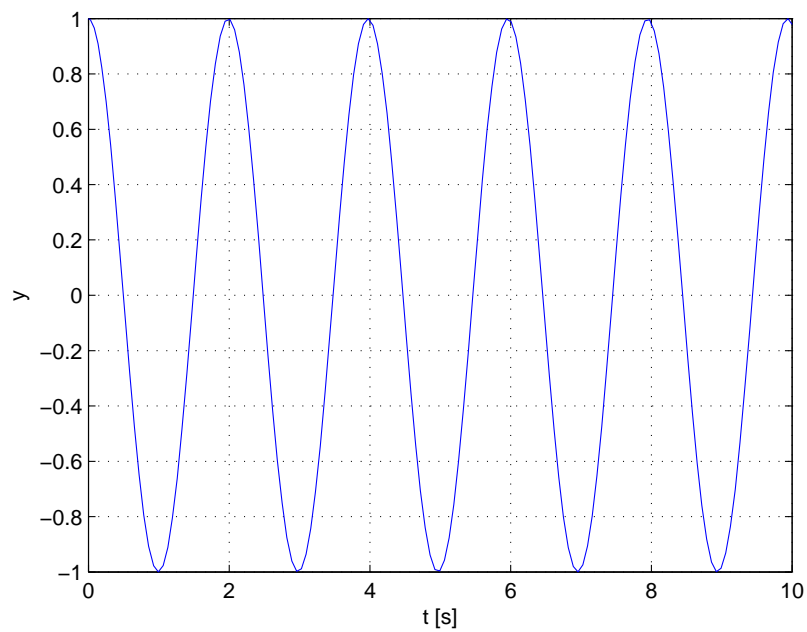
der K_p er regulatorforsterkningen og i_0 er referansen. Skriv de to førsteordens differensialligningene (1) og (2) med regulatoren (4) som én 2.ordens differensialligning.

- d) (5%) Finn udempet resonansfrekvens og relativ dempingsfaktor som funksjoner av de andre parameterene. (NB konstantledd i ligningen vil ikke påvirke udempet resonansfrekvens og relativ dempingsfaktor)
- e) (4%) Parameterene i modellen har verdier gitt av $L_a = 1$, $R_a = 10$, $K_E = K_M = 1$ og $J_m = 0.01$. Hvilken verdi må K_p ha for at systemet skal få kritisk demping?
- f) (5%) Tegn blokkdiagram for systemet (1)-(3) med regulatoren (4).
- g) (6%) Det viser seg at det er stor usikkerhet i modellparameterene og motoren skal nå styres med PID-regulatoren

$$u_a = K_p e + K_i \int e dt + K_d \dot{e}, \quad (5)$$

der e er reguleringsavviket. Regulatoren skal tunes ved hjelp av Ziegler-Nichols' lukket sløyfe metode, og ved å bruke kun P-regulator med en forsterkning på $K_{kp} = 20$ målte man signalet vist i figur 1 på utgangen. Bruk tabell 1 for å finne tall verdier for regulatorparameterne i (5)

- h) (4%) Signalet i figur 1 skal logges av en datamaskin. Med hvilken samplingsfrekvens må signalet samples for at det skal kunne gjenskapes?



Figur 1: Målt signal med $K_{pk} = 20$

Regulator	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{pk}$	∞	0
PI	$0.4K_{pk}$	$0.8T_k$	0
PID	$0.6K_{pk}$	$0.5T_k$	$0.125T_k$

Tabell 1: Ziegler-Nichols lukket sløyfe metode

Oppgave 2. (11%)

- a) (4%) Vis med en enkel figur at sampling medfører tidsforsinkelse. Hvor stor er denne tidsforsinkelsen?
- b) (4%) Vis at et lineært system når 63% av sin stasjonærverdi etter $t = T$
- c) (3%) Vil et ustablit likevektspunkt alltid medføre at løsningen går mot uendelig? Gi en kort forklaring.

Oppgave 3. (15%)

Gitt systemet

$$\dot{x} + k_1 x = k_2 u, \quad (6)$$

der $k_1 > 0$ og $k_2 > 0$ er konstanter.

a) (2%) Regn ut systemets tidskonstant og forsterkning.

b) (3%) Systemet skal reguleres med P-regulatoren

$$u = K_p(x_r - x), \quad (7)$$

der x_r er en konstant referanse. Regn ut systemets stasjonærverdi x_s .

c) (2%) Forklar kort hvorfor det vil være nødvendig med en høy verdi K_p i regulatoren og hvorfor dette ikke nødvendigvis vil være en god løsning i praksis.

d) (4%) P-regulatoren byttes nå ut med PI-regulatoren

$$u = K_p(x_r - x) + K_i \int_0^t (x_r - x(\tau)) d\tau. \quad (8)$$

Vis at vi nå ikke får noe stasjonært avvik.

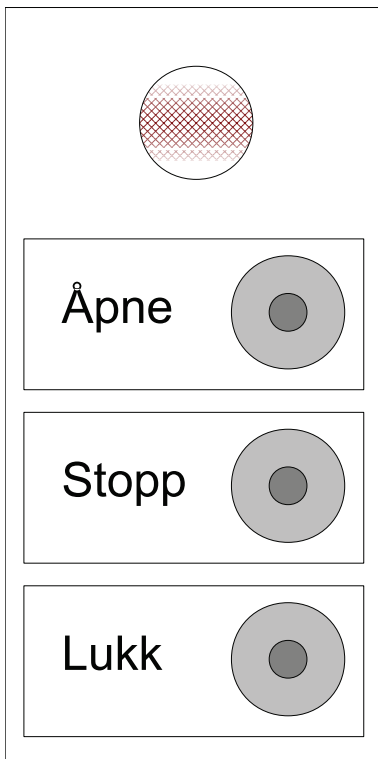
e) (4%) Vi skal nå ta hensyn til at systemet er utsatt for høyfrekvent målestøy $w(t)$ og en målbar forstyrrelse $v(t)$. Systemet er nå gitt av

$$\begin{aligned} \dot{x} + k_1 x + v(t) &= k_2 u \\ y &= x + w(t) \end{aligned} \quad (9)$$

med regulator

$$u = K_p(x_r - y) + u_f. \quad (10)$$

Finn et uttrykk for leddet u_f som skal motvirke forstyrrelsens innvirkning på regulerings-systemet. Tegn et blokkdiagram for systemet (9) med regulatoren (10) hvor virkemåten til leddet u_f fremkommer.



Figur 2: Garasjeportpanel bestående av tre brytere og en varsellampe

Oppgave 4. (22%)

Motoren til en garasjeport styres via et styrepanel bestående av tre brytere og en varsellampe, som vist i figur 2. Disse bryterne utgjør inngangssignaler til systemet og angir følgende inngangssignaler (**p**)

1. Gå opp (Åpne)
2. Gå ned (Lukk)
3. Stopp

I tillegg er systemet utstyrt med endebrytere i hver ende av portføringen som sikrer at motoren stanses når garasjeporten er helt åpen eller helt lukket. Endebryterne representeres ved to inngangssignaler

4. Øvre ende (helt åpen)
5. Nedre ende (helt lukket)

Tilstandene (**q**) som systemet kan befinne seg i er gitt ut fra en logisk kombinasjon av de fem inngangssignalene gitt ovenfor. Disse tilstandene er henholdsvis

1. I ro ved nedre ende
2. I ro ved øvre ende
3. I ro i mellomstilling
4. Underveis oppover
5. Underveis nedover

- a) (6%) En tilstandsmodell for dette systemet er gitt i figur 3 der hvert kvadrat representerer en tilstand \mathbf{q}_i og hver pil representerer et inngangssignal \mathbf{p}_i . Fyll inn for riktige tilstander og aksjoner i figur 3 og legg den ved som en del av besvarelsen. Benytt notasjonen \mathbf{q}_i og \mathbf{p}_j der $(i, j) \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$, for å angi henholdsvis tilstand i og inngang j .

Eksempel: Tilstand “2. I ro ved øvre ende” angis ved “ \mathbf{q}_2 ”, og inngang “3. Stopp” angis ved “ \mathbf{p}_3 ”.

- b) (12%) Sett opp en tilstandstabell (Huffman-tabell) for systemet beskrevet ovenfor gitt ved fem inngangssignaler (\mathbf{p}) og fem tilstander (\mathbf{q}). Element (i, j) i tabellen skal inneholde to komponenter: neste tilstand \mathbf{q}_s og utgang/aksjon \mathbf{w} , på formen \mathbf{q}_s/\mathbf{w} .

Følgende utganger/aksjoner \mathbf{w} er tilgjengelig

O : *Start retning oppover*

N : *Start retning nedover*

S : *Stopp motor*

$-$: *Ingen aksjon*

Funksjonalitet knyttet til varsellampen skal ikke inkluderes i denne tabellen.

- c) (4%) I tillegg til funksjonaliteten spesifisert ovenfor er heisen også utstyr med en sensor som detekterer om garasjeporten møter uforutsette hindringer under kjøring. Sensoren gir ut et signal kalt “Obstruksjon” og er sammen med begge endebryterne koblet til varsellampen på styrepanelet via en logisk krets. Varsellampen skal lyse (logisk verdi 1) hvis “Obstruksjon”-signalet er høyt (logisk verdi 1) og begge endebryter-signalene er lav (logisk verdi 0). Du trenger ikke å ta hensyn til de andre signalene (Åpne, Stopp, Lukk) i denne deloppgaven.

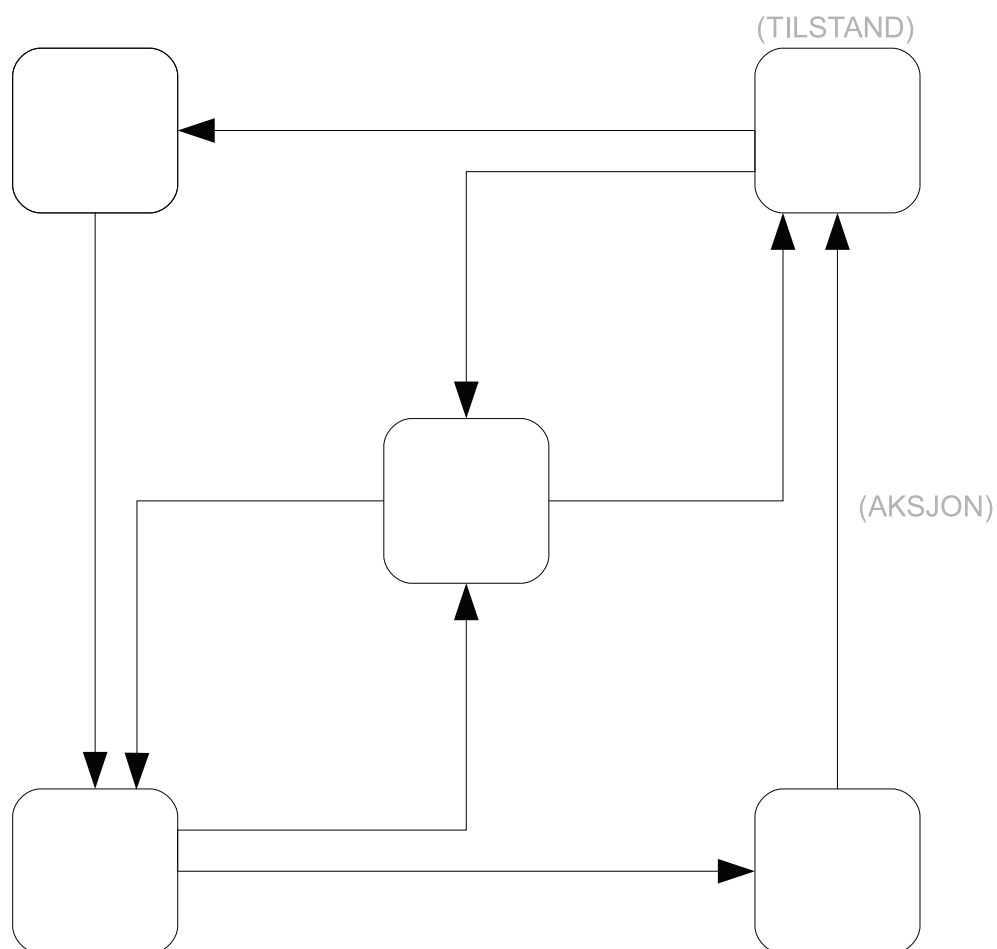
Design en logisk krets som oppfyller spesifikasjonen gitt ovenfor. Hva blir det boolske uttrykket?

Fagnr/emnekode _____

Kandidatnr. _____

Dato: _____

Side: _____ Antall ark: _____



Figur 3: Tilstandsdiagram. Kvadratene angir tilstander og piler angir aksjoner.