

Høgskolen i Buskerud

## Skriftlig eksamen i emnet EMAR2101 Reguleringssystemer 1

Dato: Mandag 8. desember 2008.

Obs: Dette oppgavesettet utgjør en del av det komplette eksamenssettet i emnet (den andre delen gjelder mikroprosessorprogrammering). Hele eksamen varer 4 timer. Foreliggende del er ment å utgjøre ca. halvparten av hele eksamen mht. tiden kandidatene bruker.

Hjelpemidler: Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler, men en formelsamling er gitt som vedlegg til oppgaven. Kalkulator ikke tillatt.

Hvis du mener at det i en oppgave mangler forutsetninger for løsning, skal du selv definere disse forutsetningene slik at du allikevel kan løse oppgaven.

---

1. (20%) I denne oppgaven skal du utvikle en matematisk modell for et skip. Vi betrakter i denne oppgaven kun krefter og bevegelser i skipets kursretning ("langskipsretningen"). Positiv retning er framover. Vinden påvirker skipet med kraften  $F_v$  [N]. Den hydrodynamiske dempekraften  $F_h$  [N] (kraften fra vannet på skipet) antas å være proporsjonal med kvadratet av hastigheten  $u$  i kursretningen, som er foroverretningen:

$$F_h = D|u - u_C|(u - u_C) \quad (1)$$

$D$  er en konstant.  $u$  [m/s] er skipets hastighet.  $u_C$  [m/s] er vannstrømhastigheten. Propellen påvirker skipet med kraften  $F_p$  [N]. Denne kraften er proporsjonal med styresignalet  $z$  [A], og proporsjonalitetskonstanten er  $K$  [N/A].

Sett opp en matematisk modell for båtens bevegelse. Modellen skal ha posisjonen  $x$  [m] som utgangsvariabel. Det er ikke krav om at du skriver modellen på noen spesiell form (f.eks. *trenger du ikke* skrive modellen som en tilstandsrommodell).

Generelt, hvilken nytte kan du ha av å sette opp en matematisk modell av et fysisk system? (List opp noen stikkord.)

2. (15%) Tegn et detaljert matematisk blokkdiagram for følgende differensiallikning:

$$T\dot{x}(t) + x(t) = Ku(t - \tau) \quad (2)$$

$T$ ,  $K$  og  $\tau$  er parametre.  $u$  er inngangsvariabel, og  $x$  er utgangsvariabel. Initialverdien av  $x$  er  $x_0$ .

Generelt, hvilken nytte kan du ha av å tegne et blokkdiagram av en matematisk modell?

3. (15%) Finn transferfunksjonen fra  $u$  til  $x$  i (2).
4. (15%) Forklar prinsippet for foroverkopling (bl.a. bør du tegne blokkdiagram for reguleringsystemet), og beskriv vha. ord og en tegning (f.eks. et teknisk flytskjema – TFS) et konkret eksempel på et reguleringsystem der det kan være fordelaktig å bruke foroverkopling. Det forventes ikke at du utleder noen matematisk modell for ditt valgte system, og du trenger heller ikke utlede noen foroverkopplingsfunksjon.
5. (20%) Beskriv kort Ziegler-Nichols' lukket-sløyfe-metode for innstilling av en PI-regulator. Gjengi formlene for regulatorparametrene for PI-regulatoren.
6. (15%) Gitt en tank med væskeinnstrømning og væskeutstrømning (via rør). Anta at nivået i tanken skal reguleres. Pådraget er styresignalet til en pumpe som står i utløpsrøret. Tegn et teknisk flytskjema for reguleringsystemet. Skal regulatoren ha direktevirkning eller reversvirkning? (Gi en kort begrunnelse for svaret. Det er ikke tilstrekkelig kun å skrive direktevirkning eller reversvirkning i svaret.)

## Vedlegg: Formelsamling

Du må selv velge hvilke(n) av formlene som er aktuelle i den enkelte oppgave.

$$\frac{dm(t)}{dt} = \sum_i w_i(t) \quad (3)$$

$$m\dot{v}(t) = m\ddot{x}(t) = ma(t) = \sum_i F_i(t) \quad (4)$$

$$x^{(n)} + a_{n-1}x^{(n-1)} + \cdots + a_1\dot{x} + a_0x = b_1u_1 + b_2u_2 \quad (5)$$

$$\dot{x}_1 = f_1() \quad (6)$$

$$\vdots$$

$$\dot{x}_n = f_n() \quad (7)$$

$$y_1 = g_1() \quad (8)$$

$$\vdots$$

$$y_m = g_m() \quad (9)$$

$$\dot{\underline{x}} = A\underline{x} + B\underline{u} \quad (10)$$

$$\underline{y} = C\underline{x} + D\underline{u} \quad (11)$$

$$y(s) = H(s)u(s) \quad (12)$$

$$h(s) = \frac{K(s-z_1)(s-z_2)\cdots(s-z_r)}{(s-p_1)(s-p_2)\cdots(s-p_n)} \quad (13)$$

$$\underbrace{\mathcal{L}\{u(t)\}}_{u(s)} = \int_0^\infty e^{-st}u(t)dt \quad (14)$$

$$y_s = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot y(s) \quad (15)$$

$$H_s \equiv \frac{y_s}{u_s} = \lim_{s \rightarrow 0} H(s) \quad (16)$$

$$y(t) = Ku(t) \iff y(s) = \underbrace{K}_{H(s)} \cdot u(s) \quad (17)$$

$$y(t) = K \int_0^t u d\tau \iff y(s) = \underbrace{\frac{K}{s}}_{H(s)} u(s) \quad (18)$$

$$y(s) = \underbrace{\frac{K}{Ts+1}}_{H(s)} u(s) \quad (19)$$

$$y(t) = u(t - \tau) \iff y(s) = \underbrace{e^{-\tau s}}_{H(s)} u(s) \quad (20)$$

$$k_1 F_1(s) + k_2 F_2(s) \iff k_1 f_1(t) + k_2 f_2(t) \quad (21)$$

$$F(s)e^{-\tau s} \iff f(t - \tau) \quad (22)$$

$$s^n F(s) \iff \overset{(n)}{f}(t) \quad (23)$$

$$\frac{k}{s} \iff k \quad (\text{sprang med høyde } k) \quad (24)$$

$$\frac{k}{s^2} \iff kt \quad (\text{rampe med stigningstall } k) \quad (25)$$

$$\frac{k}{Ts+1} \iff \frac{ke^{-t/T}}{T} \quad (26)$$

$$\frac{k}{(Ts+1)s} \iff k \left(1 - e^{-t/T}\right) \quad (27)$$

$$e = r - y \quad (28)$$

$$u = u_0 + \underbrace{K_p e}_{u_p} + \underbrace{\frac{K_p}{T_i} \int_0^t e \, d\tau}_{u_i} + \underbrace{K_p T_d \frac{de}{dt}}_{u_d} \quad (29)$$

$$P_B = \frac{100\%}{K_p} \quad (30)$$

|               | $K_p$        | $T_i$             | $T_d$                           |
|---------------|--------------|-------------------|---------------------------------|
| P-regulator   | $0,5K_{pk}$  | $\infty$          | 0                               |
| PI-regulator  | $0,45K_{pk}$ | $\frac{T_p}{1,2}$ | 0                               |
| PID-regulator | $0,6K_{pk}$  | $\frac{T_p}{2}$   | $\frac{T_p}{8} = \frac{T_i}{4}$ |