

7a. Kuinka systeemin mahdollinen marginaalinen stabiilius voidaan tunnistaa systeemin navoista? 1p.

7b. Erään systeemin siirtofunktio on alla. Johda systeemin BIBO-stabiiliusehdot Routh-testillä ja esitä ne kootusti epäyhtälökokoelmana. Ole huolellinen ja harkitseva ehtoja muokatessasi, ja esitä ehdot helposti tulkittavassa muodossa 3p.

$$G(s) = \frac{kT \cdot s + k}{T \cdot s^3 + (1+T) \cdot s^2 + s + k}$$

8. Systeemin siirtofunktio  $G$  on alla. Johda amplitudivahvistusfunktion ja vaihesiirtofunktion lausekkeet. 4p.

$$G(s) = \frac{K \cdot \exp(-d \cdot s)}{T \cdot s + 1}, \quad T > 0$$

9a. Mikä/millainen on räjähdysvaarallisen tilan varoitusmerkki? Kuva + tarvittaessa lyhyt täsmennys! 1 p.

9b. Taajuusmuuttajan avulla ohjattua moottoria käytetään mm. pumpuissa. Minkä edun saavuttamiseksi? 1 p.

9c. ZN-menetelmä ehdottaa P-säätimen vahvistuksen arvoksi kriittisen arvon puolikasta. Kuinka monen desibelin vahvistusvara sillä saavutetaan? 1 p.

9d. Säättöpiirin säätimen tai mittaussysteemin outputin riittävä ylimääräinen viivästäminen saa piirin signaalit värähtelemään vakioamplitudilla. Kerro, kuinka tuollaisen kokeen datasta saa selville alkuperäisen piirin vaihevaran. 2 p.

10a. Mikä on funktion  $f(x) = \ln(x)$  herkkyysfunktio? 1 p.

10b. Erään pinnankorkeuden mittaussysteemin siirtofunktio on alla. Mittaussysteemillä mitataan pinnan korkeus, joka kasvaa lineaarisesti alkuarvosta nolla kulmakertoimella 2. Päättele pätevällä metodilla mittausvirheen raja-arvo ajan kasvaessa rajatta. 2 p.

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + s + 1}$$

10c. Valvomotilojen suunnittelussa huomioitavat seikat ... ranskalaisin viivoin. 2 p.

11a. Systeemin output siirtyy tasapainoarvosta 3 tasapainoarvoon 8 inputin hetkellä nolla tapahtuneen askelmuutoksen johdosta. Mikä on outputin arvo asettumisajan suuruusella hetkellä? 1 p.

11b. Systeemin, jonka siirtofunktio on alla, askelvaste halutaan mahdollisimman nopeaksi sallimatta ylitystä. Millä parametrin  $a$  arvolla tämä onnistuu? 1 p.

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + a \cdot s + 1}$$

11c. Säättöpiirin herkkyys prosessin suhteen ja sen yhteydet säättöpiirin muihin keskeisiin ominaisuuksiin. Kirjoita lyhyt ja ytimekäs essee. 2 p.

12a. Selosta ytimekkäästi digitaalista P-säätöä analogisen säädön perusteellisesti tuntevalle henkilölle, jolla ei ole perustietoja digitaalisesta säädöstä. Vastaukseen kaivataan lohkokaaevio, funktioiden graafisia esityksiä, kaavoja, jotain tärkeää subjektiivisista valinnoista, sekä algoritmien/proseduraalinen kuvaus, jonka avulla säädön toimintaperiaate on kunnolla ymmärrettävissä. 2.5p.

12b. HART-väylän keskeiset piirteet ja suomat edut. 2.5p.

**Automaatiotekniikan perusteet Pitkän tentin A-osa / A- testi / Pikkukokeet 01-06 08.12.2009**

1. Esitä OK-talon sisälämpötilan modernin hallinnan hyvin dokumentoitu lohkokaavio. 4p.
- 2a. Hihnakuljettimen matemaattinen malli: oletukset, laskelma, malliyhtälön tavanomainen esitysmuoto. 2p.
- 2b. Alla on erään *jousi-massa-vaimennin* -systeemin dynaaminen malli, jossa  $r$  on ulkoinen voima,  $y$  on kappaleen paikkakoordinaatti ja  $v$  on kappaleen nopeus. Piirrä systeemille alkeislohkokaavio. 2p.

$$\frac{d}{dt}(m \cdot v) = r - (k \cdot y + b \cdot v)$$

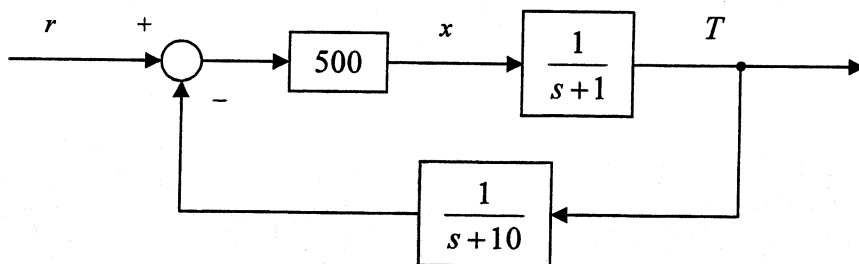
- 3a. Erään säiliön nestetilavuus  $V$  riippuu tulotilavuusvirtauksesta  $u$  alla annetun mallin mukaisesti. Tilavuuden toimintapistearvo on  $\bar{V}$ , joka on myös erään tasapainotilan arvo. Johda lineaarinen malli, jonka avulla voimme arvioida tilavuuden vaihtelua mainitun arvon ympäristössä.

$$\frac{dV}{dt} = u - k \cdot V^{0.5} \quad \text{2 p.}$$

- 3b. Moottorin kulmanopeuden  $\omega$  riippuvuutta moottorin saamasta jännitteestä  $V$  kuvataan alla annetulla vakiokertoimisella mallilla, jossa  $i$  on moottorin erään virtapiirin virta, ja  $T$  on virran tuottama vääntömomentti. Esitä malli matriisinotaatiota käyttävänä tilaesitysmallina, jonka output on  $\omega$ .

$$\frac{di}{dt} + a \cdot i = b \cdot V, \quad T = k \cdot i, \quad \frac{d\omega}{dt} + c \cdot \omega = d \cdot T \quad \text{2 p.}$$

- 4a. Johda yksikköaskelfunktion Laplace-muunnos. Apukaava:  $a \neq 0 \Rightarrow \int e^{at} = \frac{e^{at}}{a}$  2 p.
- 4b. Mikä on SCADA ja mikä on sen merkitys ja tarkoitus PLC-asiayhteydessä? 1 p.
- 4c. Salin sisälämpötilan mittaussarvoa pitäisi kuvata virtaviestin avulla. Kerro *lyhyesti* aiheesta! 1 p.
- 4d. Mitä tarkoittaa salin ilmastoinnin instrumentointikaavion erään piirrosmerkin kirjainlyhenne PIC? 1 p.
- 5a. Mikä siirtofunktio kuvaa yhden minuutin viivästystä, jos aikayksikkö on sekunti? 1 p.
- 5b. Mikä on integraattorin siirtofunktio? 1 p.
- 5c. Salin erästä ilmastointikojetta ohjaavan säätimen vakiokertoiminen malli inputista  $e$  säätimen outputiin  $u$  saattaisi olla  $\dot{u} + a \cdot u = b \cdot \dot{e} + c \cdot e$ . Johda säätimelle siirtofunktio. 2 p.
- 5d. ACE:ssa jalkapalloileva *Teemu Teekkari* nosti viime talvena omatoimista treeniä 10% edelliseen talveen nähden ja tekikin viime kesänä 20% enemmän maaleja kuin edellisenä kesänä. Mikä oli *Teemun* tehokkuuden herkkyys treenin määrän suhteen? 1p.
- 6a. Laske alla olevan lohkokaaavion esittämän systeemin navat. 2p.
- 6b. Laske alla olevan lohkokaaavion systeemille siirtofunktio inputista  $r$  funktion  $x$ . 2p.
- 6c. Piirrä alla olevaa lohkokaaaviota vastaava *signaalivirtauskaavio*. 1p.



$f(x)$	$\sin(x)$	$\cos(x)$	$\exp(x)$	$\ln( x )$	$x^p$	$a \cdot b$	$\frac{n}{d}$	$h(g(x))$
$f'(x)$	$\cos(x)$	$-\sin(x)$	$\exp(x)$	$\frac{1}{x}$	$p \cdot x^{p-1}$	$a' \cdot b + b' \cdot a$	$\frac{d \cdot n' - n \cdot d'}{d^2}$	$h'(g(x)) \cdot g'(x)$

$$f(a) = g(a) = 0 \quad \& \quad g'(a) \neq 0 \Rightarrow \lim_{x \rightarrow a} \frac{f(x)}{g(x)} = \frac{f'(a)}{g'(a)} \quad \text{!Hospital}$$

$$f(x+h) = f(x) + f'(x) \cdot h + \frac{1}{2} \cdot f''(x) \cdot h^2 + \sum_{k=3}^{\infty} \frac{f^{(k)}(x)}{k!} h^k, \quad f^{(k)} = \frac{d^k f}{dx^k} \quad \text{Taylor}$$

$$f(\bar{x}_1 + \Delta x_1, \dots, \bar{x}_n + \Delta x_n) \approx f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) + \frac{\partial f}{\partial x_1}(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) \cdot \Delta x_1 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n}(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) \cdot \Delta x_n \quad \text{Taylor1_umf}$$

$$\sin(-x) = -\sin(x) \quad \sin(a+b) = \sin(a) \cdot \cos(b) + \cos(a) \cdot \sin(b) \quad \sin(x) = \cos(\pi/2 - x)$$

$$\cos(-x) = \cos(x) \quad \cos(a+b) = \cos(a) \cdot \cos(b) - \sin(a) \cdot \sin(b) \quad \cos(x) = \sin(\pi/2 - x)$$

$$\cos^2(x) + \sin^2(x) = 1 \quad \cos(2x) = 2 \cdot \cos^2(x) - 1 = 1 - 2 \sin^2(x) \quad \sin(2x) = 2 \cdot \sin(x) \cdot \cos(x)$$

$$a \neq 0 \Rightarrow a \cdot \sin(x) + b \cdot \cos(x) = \sqrt{a^2 + b^2} \cdot \sin(x + \arctan(b/a)) \quad (\text{reaaliluvulle})$$

$$\exp(j \cdot p) = \cos(p) + j \cdot \sin(p) \quad \exp(-j \cdot p) = \cos(p) - j \cdot \sin(p) \quad |\exp(c)| = \exp(\operatorname{Re}[c])$$

$$\cos(p) = \frac{\exp(j \cdot p) + \exp(-j \cdot p)}{2} \quad \sin(p) = \frac{\exp(j \cdot p) - \exp(-j \cdot p)}{2j} \quad \operatorname{conj}(c) \cdot c = |c|^2$$

$$|c \cdot w| = |c| \cdot |w| \quad \arg[c \cdot w] = \arg[c] + \arg[w] \quad \operatorname{conj}(c \cdot w) = \operatorname{conj}(c) \cdot \operatorname{conj}(w)$$

$$\left| \frac{n}{d} \right| = \frac{|n|}{|d|} \quad \arg\left[\frac{n}{d}\right] = \arg[n] - \arg[d] \quad \operatorname{conj}\left(\frac{n}{d}\right) = \frac{\operatorname{conj}(n)}{\operatorname{conj}(d)}$$

$$c = |c| \cdot \exp(j \cdot \arg[c]) \quad \ln(c) = \ln|c| + j \cdot \arg[c] \quad \frac{1}{c} = \frac{\operatorname{conj}(c)}{|c|^2}$$

$$\text{Juuria: } \alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \delta = 0, \quad \alpha \neq 0 \Rightarrow x = \frac{-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \delta}}{2 \cdot \alpha} = \frac{\pm 2 \cdot \delta}{\sqrt{\beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \delta} \mp \beta}$$

#### Kaksipuoleisen Fourier-muunnoksen kaavoja

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (\text{Fourier})$$

#### Matriisinotaatiota käyttäviä kaavoja

$$\dot{x}(t) = A \cdot x(t) + f(t) \Rightarrow x(t) = e^{A(t-h)} \cdot x(h) + \int_0^{t-h} e^{Ap} \cdot f(t-p) \cdot dp$$

1-puoleisen Laplace-muunnoksen muunnospareja

$f(t)$ , $t \geq 0$	$F(s)$
1	$\frac{1}{s}$
$t$	$\frac{1}{s^2}$
$t^n$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
$\exp(a \cdot t)$	$\frac{1}{s - a}$
$\sin(b \cdot t)$	$\frac{b}{s^2 + b^2}$
$\cos(b \cdot t)$	$\frac{s}{s^2 + b^2}$
$\exp(a \cdot t) \cdot \sin(b \cdot t)$	$\frac{b}{(s - a)^2 + b^2}$
$\exp(a \cdot t) \cdot \cos(b \cdot t)$	$\frac{s - a}{(s - a)^2 + b^2}$
$\exp(a \cdot t) \cdot t$	$\frac{1}{(s - a)^2}$

1-puoleisen Laplace-muunnoksen muunnossääntöjä

$f(t)$	$F(s)$
$x_1(t) + x_2(t)$	$X_1(s) + X_2(s)$
$a \cdot x(t)$	$a \cdot X(s)$
$\begin{cases} x(t - a), & t \geq a \\ 0, & t < a \end{cases}$	$\exp(-a \cdot s) \cdot X(s)$
$\dot{x}(t)$	$s \cdot X(s) - x(0^-)$
$\ddot{x}(t)$	$s^2 \cdot X(s) - s \cdot x(0^-) - \dot{x}(0^-)$
$\int_0^t x_1(t - p) \cdot x_2(p) \cdot dp$	$X_1(s) \cdot X_2(s)$
$\exp(a \cdot t) \cdot x(t)$	$X(s - a)$
$t \cdot x(t)$	$-\frac{dX(s)}{ds}$
$\frac{\partial x(t, a)}{\partial a}$	$\frac{\partial X(s, a)}{\partial a}$

determinantti\*:  $\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = a \cdot d - b \cdot c$

inverssi\*:  $\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{a \cdot d - b \cdot c} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$

(\* elementit skalaareja)

Cramer:  $\exists A^{-1} \Rightarrow (A^{-1} \cdot w)_k = \frac{\det(A_k)}{\det(A)}$ , missä  $A_k$  saadaan  $A$ :sta korvaamalla  $k$ :s sarake  $w$ :lla

Routh\*:  $R(r, c) = \frac{\begin{vmatrix} R(r-2, 1) & R(r-2, c+1) \\ R(r-1, 1) & R(r-1, c+1) \end{vmatrix}}{-R(r-1, 1)}$  (\*elementit skalaareja)