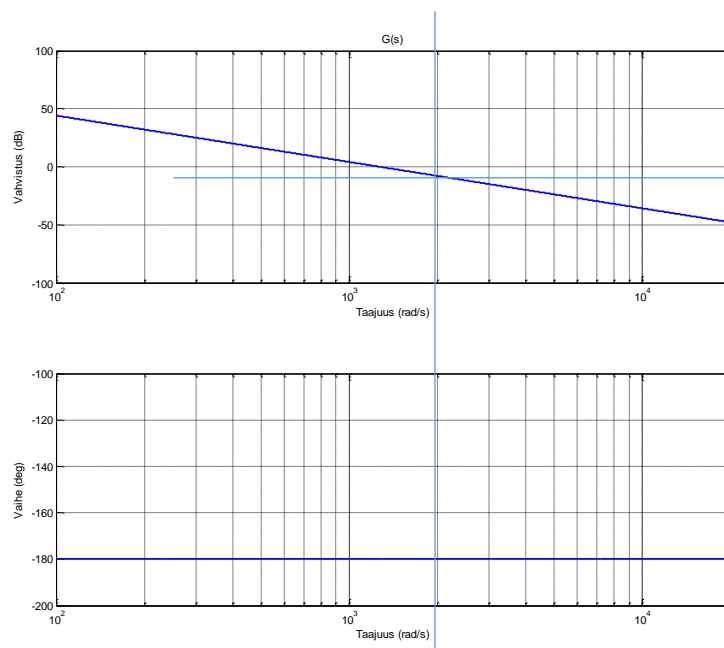


**Tämä välikoe on tarkoitus tehdä yksin. Ryhmätyö on kaikissa muodoissaan kielletty.** Välikokeessa saa käyttää mitä tahansa laskinta ja kirjallista materiaalia saa käyttää vapaasti. Kirjoita vastauksesi välivaiheineen joko tähän dokumenttiin tai erilliselle paperille kynällä ja muilla välineillä. Mikäli käytät erillistä paperia ja kynää, niin sinun tulee palauttaa vastaukset valokuvatiedostolla joko Moodlen palautusalueelle tai sähköpostilla Veli-Pekka Pyrhöselle määräaikaan mennessä. Voit myös liittää valokuvat docx-dokumenttiin ja palauttaa sen Moodleen. **Huom!** Sinun pitää itse huolehtia, että valokuvat ovat selkeitä ja luettavia. Tärähtänyt tai muuten epäselvä kuva tuottaa 0 pistettä. Lisäksi käsialan pitää olla siistiä ja helposti luettavaa. Välikokeessa 2 on 5 tehtävää ja sen maksimipistemäärä on **50 pistettä**. Välikoe alkaa klo 17 ja päättyy klo 20.

**NIMI:** ##### **Opnum:** #####

**Tehtävä 1.** Kuvassa 1 erään prosessin taajuusvaste. Olet valinnut vaiheenjohtopiirin prosessin takaisinkytkettyyn säätöön ja mitoitit viritysparametrille  $\alpha$  arvon 14.



**Kuva 1.** Prosessin taajuusvaste.

a) Mille kulmataajuudelle laitat vaiheenjohtopiirin keskitajuuden eli vaiheenjohdon maksimikohdan. (2p)

Valitaan  $\omega = -10 \log_{10}(\alpha) = -11.46$  ks kuvan viiva

$\omega =$  noin 2000 rad/s

b) Perustele, miksi valitsit a)-kohdan kulmataajuuden. (2p)

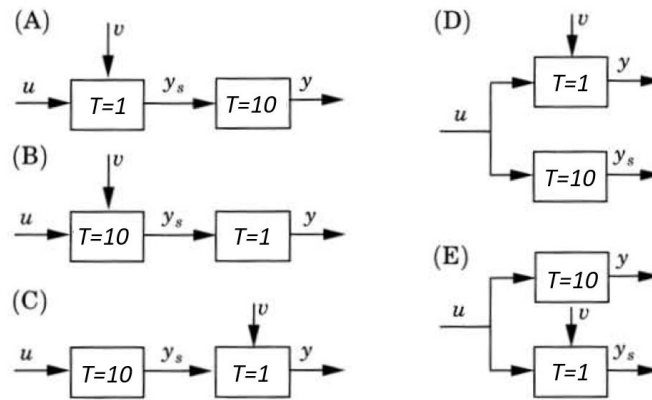
Vaiheenjohtopiiri vahvistaa 11dB joten se täytyy kumota prosessin negatiivisella vahvistuksella.

c) Mikä on lopullisen avoimen järjestelmän vaihevara? Perustele. (3p)

$pm_{yhteensä} = pm_{prosessi} + pm_{johto}$  //vaihevara on prosessin vaihevara +  
//suunnittelutajuuden PM\_johtopiiri

$= 0 \text{ deg} + \arctan((a-1) / (a+1)) = 60.07 \text{ deg}$

**Tehtävä 2.** Alla olevassa kuvassa on esitetty viisi (A) ... (E) erilasta kahdesta osaprosessista koostuvaa järjestelmää, joissa osaprosessien aikavakiot ovat 10 s ja 1 s. Järjestelmien säädettävänä suureina ovat signaalit  $y$ , joita ohjataan signaaleilla  $u$ . Järjestelmien toimintaan vaikuttaa häiriö  $v$ . Järjestelmiin on mahdollista kytkeä lisämittaus  $y_s$ .



- a) Missä tapauksissa (A) ... (E) häiriöiden  $v$  vaikutusten eliminoinnissa säädettävistä suureista  $y$  olisi saatavissa merkittävää parannusta rakentamalla lisämittaus  $y_s$  hyödyntävä kaskadisäättöpiiri? Perustele tapauskohtaisesti (A) ... (E), miksi kaskadista olisi merkittävää hyötyä tai miksi ei olisi. (4 p)

A: hyötyä. Tämä siksi koska prosessi hidaskäyttäytyminen mutta häiriön prosessi nopea  
 B: ei hyötyä. Koska häiriö hidaskäyttäytyminen ja prosessi nopea, joten häiriö kytkeytyy takaisinkytkennän kautta pois nopeasti (edellinen kohta kääntäen)  
 C: ei hyötyä. Mittaus mittaa signaalia ennen häiriön vaikutuspistettä  
 D: ei hyötyä. Sillä häiriötä ei kyetä mittaamaan. Oli häiriö mitä tahansa niin  $y_s$  muuttumaton ja  $y$  muuttuu häiriön mukaan  
 E: ei hyötyä. Häiriö vaikuttaa mittaukseen mutta häiriö ei vaikuta tavoitesuureeseen  $y$  (ellei ole prosesseilla ristikkäisvaikutuksia, mikä kuvasta ei selviä)

- b) Jos häiriö  $v$  olisi mitattavissa, niin missä tapauksissa (A) ... (E) häiriöiden  $v$  vaikutusten eliminoinnissa säädettävistä suureista  $y$  olisi myötäkytkennällä saavutettavissa merkittävää parannusta säädön suorituskykyyn? Perustele tapauskohtaisesti, miksi myötäkytkennästä olisi merkittävää hyötyä tai miksi ei olisi. (4 p)

A-tapauksessa vain. Sisempi säätöluoppi reagoi nopeasti häiriöön  $v$ , normaalitilassa häiriö ehdittäisiin havaita koko prosessin läpi vasta oikeassa ulostulosuureessa.

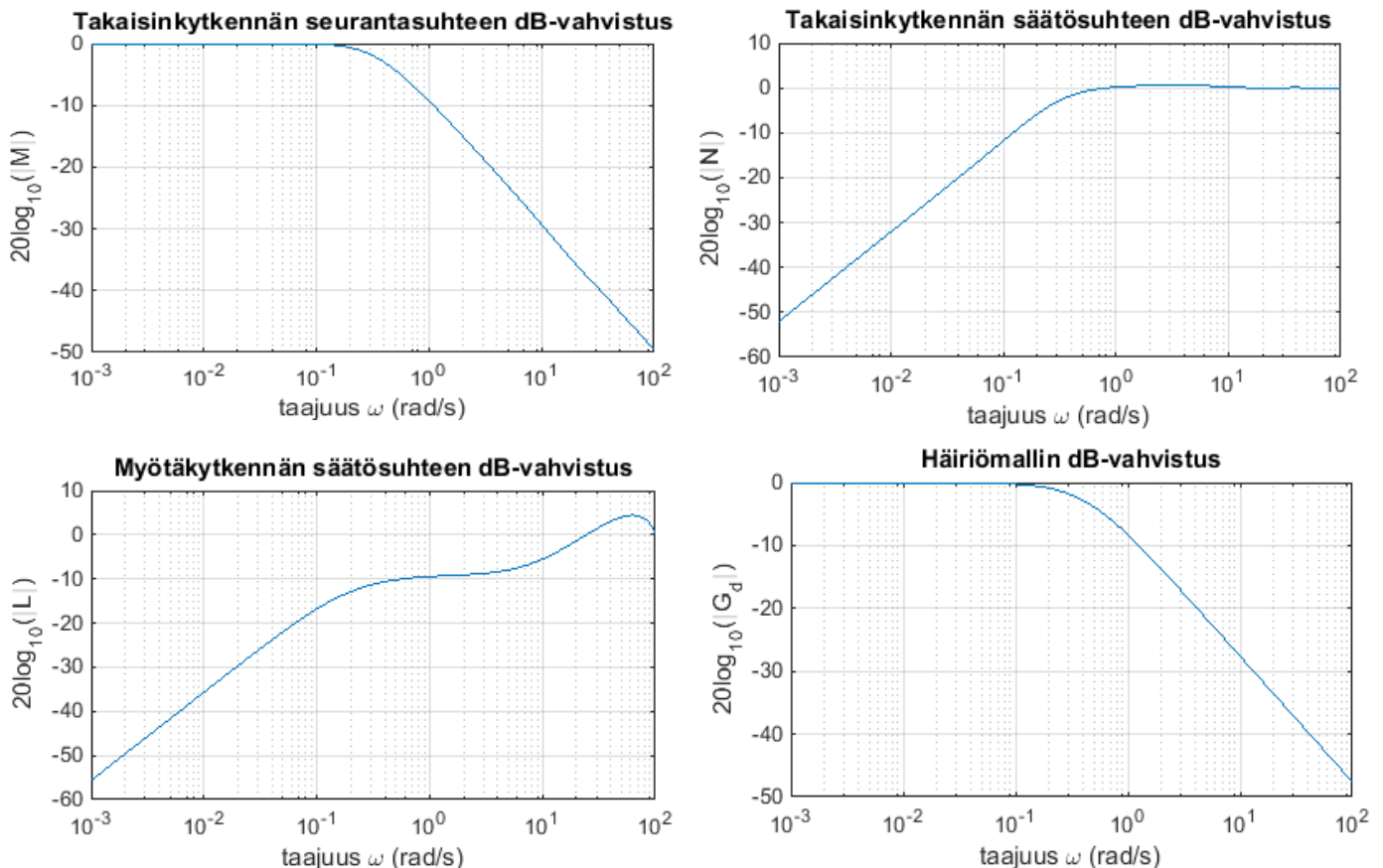
**Tehtävä 3.** Tarkastellaan yhdistettyä takaisin- ja myötäkytkettyä säätöä. Säättöpiirin ulostulon Laplace-muunnos on

$$Y(s) = M(s) \cdot R(s) + N(s) \cdot L(s) \cdot G_d(s) \cdot D(s),$$

jossa  $M(s)$  on takaisinkytketyn säätöpiirin siirtofunktio eli seurantasuhte,  $N(s)$  on takaisinkytketyn piirin säätösuhde,  $L(s)$  on myötäkytkennän säätösuhde ja  $G_d(s)$  kuvaa kuormitushäiriön  $d$  dynamiikkaa säädettävään suureeseen  $y$ . Seurantasuhteen ja säätösuhteen siirtofunktiot ovat:

$$M(s) = \frac{G_a(s)}{1 + G_a(s)}, \quad N(s) = \frac{1}{1 + G_a(s)},$$

joissa  $G_a(s)$  on avoimen järjestelmän siirtofunktio. Yllä lueteltujen siirtofunktioiden taajuusvasteiden desibelivahvistusten kuvaajat ovat alla.



- a) Millä kulmataajuusvälillä takaisinkytkentä ei juurikaan kykene vaimentamaan kuormitushäiriöitä? (2 p)

Häiriömallin dB-vahvistuksen kuvaajasta. Välillä 0.001 rad/s:sta 0.4 rad/s asti (-3dB noin) häiriö pysyy likimain 0 dB:ssä eli muuttumattomana. Tämän jälkeen häiriö alkaa vaimenemaan isommilla taajuuksilla

- b) Miten myötäkytkentä vaikuttaa kuormitushäiriöihin a)-kohdan kulmataajuusvälillä? (3 p)

Vaimentaa -50dB:stä -10dB:seen. Korkeilla taajuuksilla myötäkytkentä jopa vahvistaa mutta tällöin myös takaisinkytkentä on jo alkanut vaimentamaan paljon.

- c) Jos myötäkytkentä jätetään toteuttamatta, niin säätöpiirin ulostulon Laplace-muunnos on

$$Y(s) = M(s) \cdot R(s) + N(s) \cdot G_d(s) \cdot D(s).$$

Piirin asetusarvo  $r = \sin(0.1 \cdot t)$  ja häiriö  $d = \sin(1 \cdot t)$ . Kuvaile sanoin, millainen on säätöpiirin ulostulo. (3 p)

Asetusarvosignaali on nopea, häiriö hidas signaali. Häiriö vaimenee hiukan (yli 0.4 rad/s ks edellinen kohta) ja asetusarvosignaali pääsee läpi liki muuttumattomana. Häiriö vaimenee -10dB:seen eli 30%:iin alkuperäisestä. Ulostulo on erotettavissa olevan asetusarvosignaali mutta siinä on mukana paljon roskaa.

- c) Oletetaan, että prosessimallin DC-vahvistus = 1, viive = 0.2 ja aikavakio = 5. Mikä on ideaalisen myötäkytkentäkompensoattorin siirtofunktio, kun häiriömallin  $G_d(s)$  viive on 0.3? (3 p)

$$\text{prosessi} = 1 / (5s+1) * \exp(-0.2s)$$

$$\text{häiriömalli} = \exp(-0.3s)$$

→ häiriömalli\*v + komp\*prosessi\*v = 0 //reitit molemmat "kumoaa toisensa"

$$\rightarrow \text{komp} = -\text{häiriömalli} / \text{prosessi}$$

$$\rightarrow \text{Komp} = -\frac{\exp(-0.3s)}{\frac{1}{5s+1} \exp(-0.2s)} = -(5s + 1) \exp(0.1s)$$

**Tehtävä 4.** Alla on Harjoitus 12 Tehtävän 4 johdantotekstiä.

Tarkastellaan kaskadisäädön anti-windup-rakennetta, kun molemmat säätäjät ovat integroivia. Tässä tehtävässä hyödynnetään back-calculation menetelmää ja siihen perustuvaa ulkoisen signaalin seurantoimintoa (Tracking mode). Mikäli pääsäättäjän ohjaus saturoituu, niin se hoidetaan back-calculation anti-windup-toiminnolla. Lisäksi poikkeustilanteiden hallintaan tarvitaan kytkentälogiikka, jonka vaatimusmäärittelyt ovat alla:

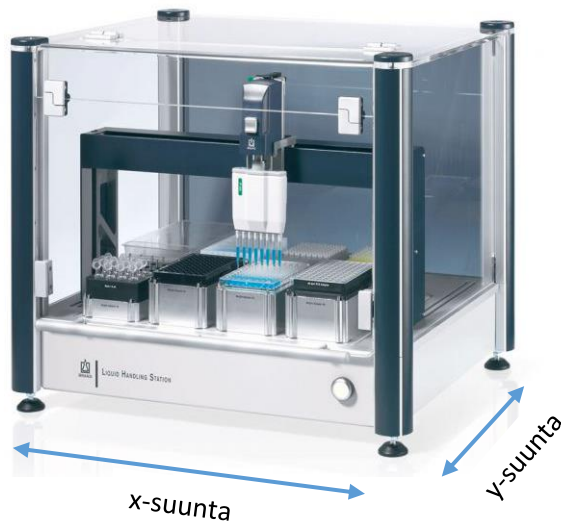
- 1) Jos sekundäärisäätäjän lähtö kasvaa (pienenee) max (min) -arvoonsa, niin pääsäättäjän on seurattava (track) sekundäärisäätäjän mittausarvoa. Kun sekundääripiiri siirtyy takaisin lineaariselle toiminta-alueelleen, on seuranta kytkettävä pois päältä. Toisin sanoen, kaskadirakenteen seuranta ei saa jäädä päälle.  
Ei saa jäädä päälle koska integrointihaaraan kertyy muuten roskaa silloin kun sekundäärisäätäjä on lineaarisella alueellaan
- 2) Jos sekundäärisäätäjän paikallinen asetusarvo aktivoidaan, niin pääsäättäjän on seurattava (track) tätä paikallista asetusarvoa.  
Jos sekundäärisäädin ajautuu rajalle niin pääsäättimen integrointihaaraan saattaa tulla roskaa.
- 3) Jos sekundäärisäätäjä kytketään manuaaliohjaukselle, niin pääsäättäjän on seurattava (track) sekundäärisäätäjän mittausarvoa.

----

Selosta kohta kohdalta, miksi kohtien 1)–3) kytkentälogiikat pitää toteuttaa kuvausten mukaisesti. (8 p)

**Tehtävä 5.** Nesteenkäsittelyrobotteja hyödynnetään laboratorioissa, ja ne pystyvät esimerkiksi täyttämään koeputkia automaattisesti. Alla olevassa kuvassa on esimerkki eräästä nesteenkäsittelyrobotista, jossa täyttöpäät on asennettu kiskorakenteeseen. Robotin täyttöpäitä voidaan

siirtää laatikon sisällä kiskoja pitkin x-suunnassa, minkä lisäksi kiskoja pystytään liikuttamaan y-suunnassa.



Tässä tehtävässä tarkastellaan nesteenkäsittelyrobotin kiskojen paikkasäätöä eli y-suuntaista liikettä. Kiskojen ja kiskoja liikuttavan jänniteohjatun moottorin yksinkertaistettu siirtofunktio on

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{6s+1},$$

jossa  $Y(s)$  on kiskojen paikan L-muunnos ja  $U(s)$  on ohjausjännitteen L-muunnos.

a) Muodosta siirtofunktiosta tilamalli. (4 p)

$$G(s) = \frac{1/6}{s^2 + 1/6s + 0}, \quad b_1=0 \text{ ja } b_2=1/6 \text{ ja } a_1 = 1/6 \text{ ja } a_2=0$$

havaittavuus

$$\begin{cases} x_{pilkku} = \begin{pmatrix} -1/6 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} * x + \begin{pmatrix} 0 \\ 1/6 \end{pmatrix} * u \\ y = [1 \ 0]x + 0 * u \end{cases}$$

Ohjattavuus

$$\begin{cases} x_{pilkku} = \begin{pmatrix} -1/6 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} * x + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} * u \\ y = [0 \ 1/6]x + 0 * u \end{cases}$$

b) Suunnittele kiskojen paikkasäätöön tilatakaisinkytkentä olettaen, että systeemin koko tila on tilasäätäjälle saatavissa. **Vaatimusmäärittelyt:** prosentuaalinen ylitys = 0 % ja asettumisaika 0.01. Määritä myös kalibrointiparametrin  $R_s$  arvo. (12 p)

Ohjattavuuskanonisesta karak. yht.:

$$\det \left( \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -\frac{1}{6} & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} + \frac{1}{0} * [k1 \ k2] \right)$$

$$\det \left( \begin{bmatrix} s + \frac{1}{6} + k1 & k2 \\ -1 & s \end{bmatrix} \right) = 0$$

$$s^2 + \left( \frac{1}{6} + k1 \right) s + k2 = 0$$

Ei PO:ta → ei värähtelyä askelvasteeseen →  $\zeta = 1$  = vaimennusvakio,  $T_s = 0.01$

$$T_s = 4/(\zeta * \omega) \rightarrow \omega = 0.0025$$

$$2 * \zeta * \omega = 1/6 + k1 \rightarrow k1 = -0.162$$

$$k2 = \omega^2 \rightarrow k2 = 2.27 * 10^{-16}$$

**Huom.** Pisteet tulevat välivaiheista ja analyttisistä ratkaisuksista. Pelkät vastaukset ilman välivaiheita 0 p.