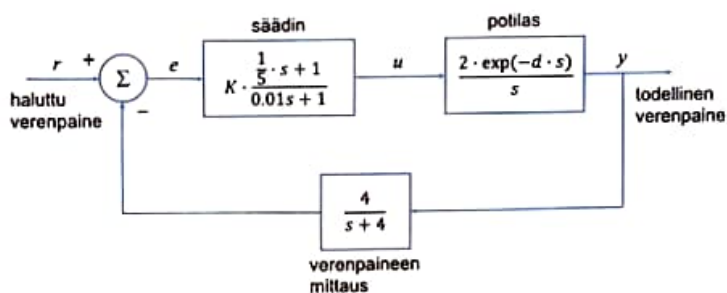


Ohjeet: Ei kirjallista materiaalia, eikä laskinta. Välikokeessa on viisi tehtävää ja 4 sivua. Kokeen maksimipistemäärä on 45 pistettä. Koeaika on kolme (3) tuntia. Kaavoja on liitteenä. Tsemppiä!

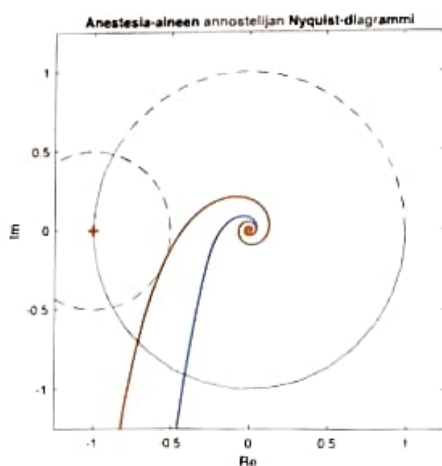
Tehtävä 1. Selitä alla olevat termit ja käsitteet maksimissaan kolmella virkkeellä (max 2,5 p. per termi/käsite).

- a) taajuusvaste b) asetumisaika c) DC-vahvistus d) BIBO-stabiilius

Tehtävä 2. Anestesiaa käytetään kivunpoistomenetelmänä lääketieteellisen toimenpiteen kuten leikkauksen aikana. Anestesiolla potilas voidaan esimerkiksi puuduttaa tai nukuttaa. Alla olevassa lohkokaaviossa on erään suonensisäisesti annosteltavan anestesia-aineen annostelun yksinkertaistettu säätöpiiri ja sen osajärjestelmät. Annostelu perustuu haluttuun verenpaineeseen ja sen mittaukseen. Säätimen vahvistus on K ja potilaan viive anestesia-aineelle on d .

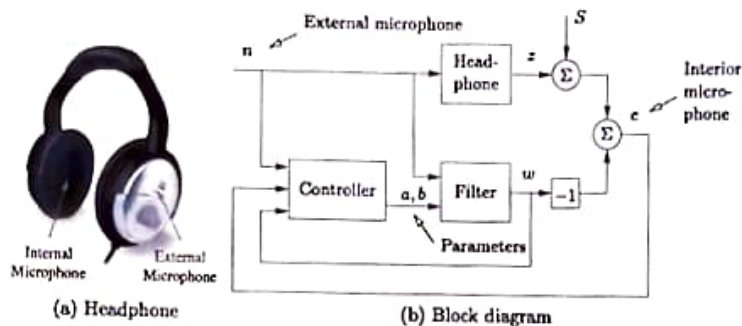


Yksi haaste anestesia-aineen automaattisessa annostelussa on, että potilaat reagoivat siihen eri tavoin, minkä lisäksi reagointi muuttuu operaation edetessä. Alla on anestesia-aineen annostelun avoimen järjestelmän kaksi Nyquist-diagrammia, kun potilaan viiveelle on annettu kokeellisen datan perusteella sen pienin ja suurin arvo.



- Määritä huonoin mahdollinen vaihevara, vahvistusvara ja stabiiliusvara. (3 p.)
- Miten järjestelmän nykyistä maksimiherkkyttä voidaan pienentää, kun ainoastaan K :n arvoon voidaan vaikuttaa? Perustele vastauksesi. (2 p.)
- Onko annostelusysteemin avoimen järjestelmän siirtofunktio vahvasti aito, aito vai epäaito, kun viive jätetään huomiotta? Perustele vastauksesi. (2 p.)
- Piirrä potilaan mallin askelvaste ja dokumentoi vasteeseen potilaan mallin parametrien arvot. (2 p.)
- Jos verenpaineen mittausjärjestelmän mallissa on pieni viive, niin miten mallin amplitudivahvistus ja vaihesiirto muuttuvat? (1 p.)

Tehtävä 3. Alla olevassa kuvassa a) on vastamelukuulokkeet, jossa on sisäinen (internal) ja ulkoinen (external) mikrofoni. Ulkoinen mikrofoni vastaanottaa ulkoisen melun tai kohinan n ja sisäinen mikrofoni signaalin e , joka koostuu halutun signaalin S ja kohinan kuulokkeet läpäisseen signaalin z summasta, ks. kuva b). Ulkoisen mikrofonin vastaanottama kohina n vaimennetaan suotimella (filter), jonka jälkeen se lähetetään kuulokkeisiin niin, että kuulokkeisiin sisään pääsevä z saadaan kumottua. Suotimen parametrit a ja b pystytään määrittämään automaattisesti säätimellä (controller) niin, että $e \approx S$. Tällöin käyttäjä kuulee lähes pelkästään halutun signaalin S .



Lähde: http://www.ods.caltech.edu/~murray/books/AM08/pdf/tps-public_24-Jul-2020.pdf

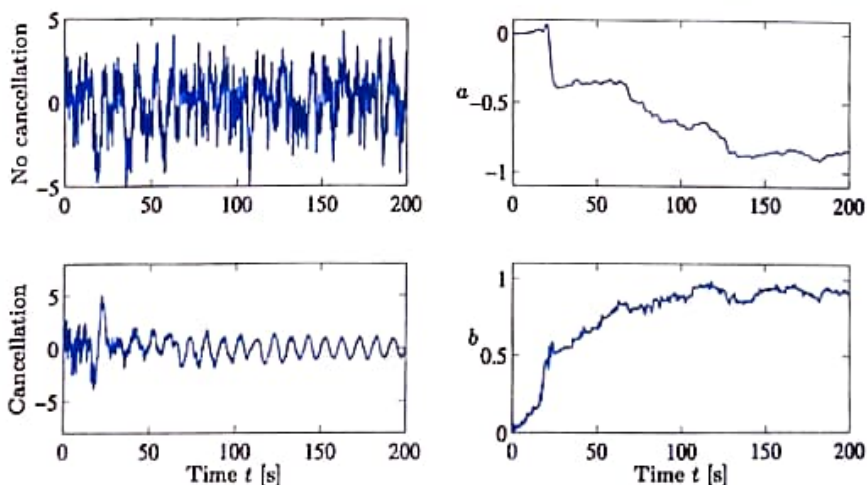
Oletetaan, että ulkoinen kohina n pääsee kuulokkeisiin sisään alla olevan mallin mukaisesti

$$\frac{dz(t)}{dt} = a_0 \cdot z(t) + b_0 \cdot n(t),$$

jossa parametrit $a_0 < 0$ ja b_0 ovat tuntemattomia. Oletetaan lisäksi, että suotimen dynaaminen malli on

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = a \cdot \omega(t) + b \cdot n(t),$$

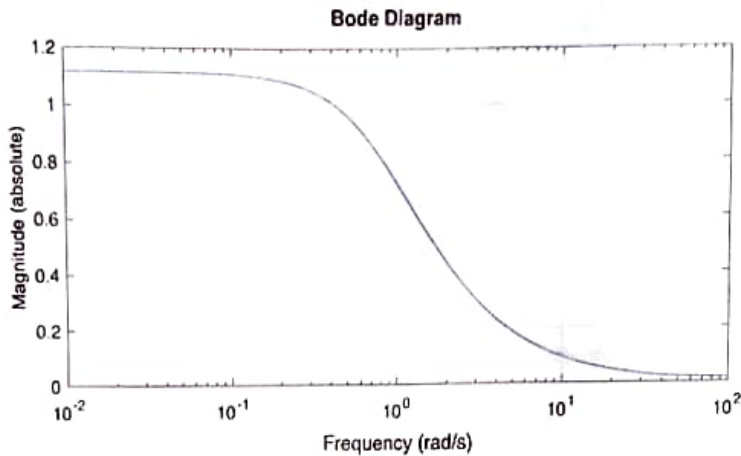
jossa parametrit a ja b ovat säädettävissä. Jos $a = a_0$ ja $b = b_0$, niin $e = S$. Tällöin vastamelutoiminto on täydellinen. Alla olevat kuvaajat havainnollistavat järjestelmän suorituskykyä erässä kokeessa.



Vasemmassa yläkulmassa on kuulokkeissa oleva signaali ilman vastamelutoimintoa, kun taas vasemmassa alakulmassa on kuulokkeiden signaali vastamelutoiminnolla. Suotimen parametrit säätävät automaattisesti ajan kuluessa arvoihin $a \approx -0.85$, $b \approx 0.95$. Tällöin suotimen siirtofunktioksi saadaan:

$$G(s) = \frac{b}{s - a} \approx \frac{0.95}{s + 0.85}$$

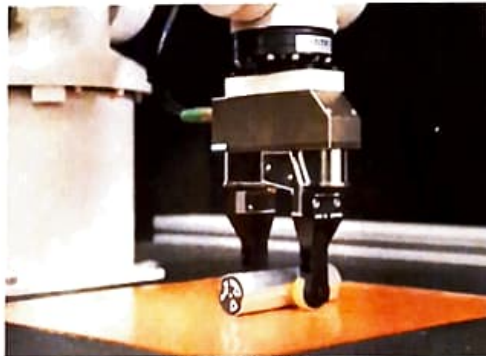
- a) Mallinnetaan vastamelutoiminnolla kuulokkeissa lopulta kuuluva signaali sinifunktiona. Määritä sen jaksonaika. (2 p.)
- b) Määritä suotimen napa. (1 p.)
- c) Suotimen amplitudivahvistuksen kuvaaja on alla. Olkoon vastamelukuulokkeissa lopulta kuuluvan signaalin amplitudi 1 ja jaksonaika kuten a)-kohdassa. Jos kyseinen signaali syötettäisiin suotimeen, niin kuinka suuri olisi sen amplitudi suotimen ulostulossa? Olkoon $\pi = 3$. (2 p.)



- d) Miten suodin vaikuttaa sille syötettyjen signaalien vakiokomponentteihin? (1 p.)
- e) Määritä matalin kulmataajuus, jonka suodin pystyy vaimentamaan 0.1-kertaiseksi. (1 p.)

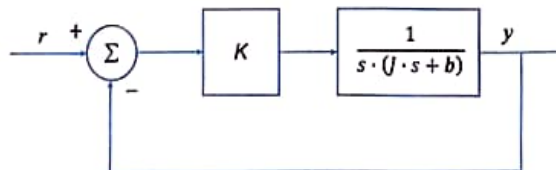
Huom. Tehtävän aikayksikkö on yksinkertaisuuden vuoksi oletettu sekunniksi. Sitä se ei todellisuudessa ole. Lisäksi todellisissa vastamelukuulokkeissa voi olla useita mikrofoneja, minkä lisäksi suotimien kertaluokat ovat korkeampia.

Tehtävä 4. Alla on kuva robotista, joka tarttuu, poimii, kääntelee ja siirtää erilaisia esineitä automaattisesti paikasta toiseen. Tarttujan pihtejä säädetään niitä ohjaavan moottorin jännitteellä.

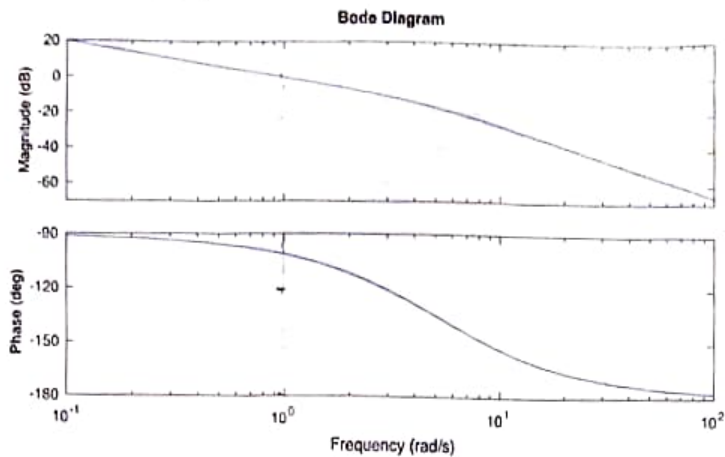


Kuva: MIT News.

Alla on tarttujan pihtien liikkeen yksinkertaistetun säätöpiirin lohkokaavio, jossa $J = 0.2$, $b = 1$ ja $K = 1$.



Tarttujan pihtien avoimen järjestelmän Bode-diagrammi on seuraavalla sivulla.



- Määritä vahvistukselle K uusi arvo, jolla säätöpiirin vaihevara on 60 astetta. (3 p.)
- Määritä uudella vahvistuksella saatava vahvistuksen ylimenokulmataajuus. (2 p.)
- Määritä uudella vahvistuksella saatavan piirin viivevara (2 p.)

Huom. Vaikka et osaisi ratkaista a)-kohdassa vahvistuksen K arvoa, niin pystyt silti ratkaisemaan b)- ja c)-kohdat.

- Millä K :n arvoilla säätöpiiri on stabiili? (2 p.)
- Olkoon $K = 5$. Määritä piirin vaimennussuhde ja luonnollinen kulmataajuus. (3 p.)

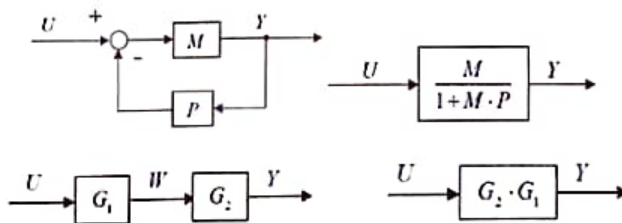
Tehtävä 5. Erään DC-moottorin datalehdissä on kerrottu, että moottorin malli ohjaujännitteestä kulmanopeuteen on

$$G(s) = \frac{\frac{1}{k_m}}{\frac{J_{eq} \cdot R_m}{k_t \cdot k_m} \cdot s + 1} = \frac{K}{T \cdot s + 1}, \text{ jossa } k_m, J_{eq}, R_m, k_t > 0.$$

DC-moottorin takaisinkytkettyyn säätöön on jostain syystä valittu P-säädin, jonka vahvistus $K_p = 10$.

- Säätöpiirin yksikköaskelvasteen loppuarvo on 0.995. Määritä DC-moottorin vahvistus K . (3 p.)
- Säätöpiirin yksikköaskelvasteen perusteella säätöpiirin aikavakioksi on saatu 0.001. Määritä DC-moottorin aikavakio. (3 p.)

LIITE.



$$R(r, c) = \frac{\begin{vmatrix} R(r-2, 1) & R(r-2, c+1) \\ R(r-1, 1) & R(r-1, c+1) \end{vmatrix}}{-R(r-1, 1)} \quad \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = a \cdot d - b \cdot c$$

$$G(s) = \frac{k\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n \cdot s + \omega_n^2} \quad \lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot F(s)$$