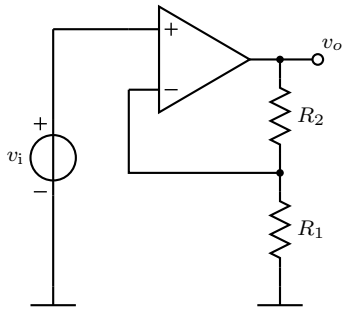
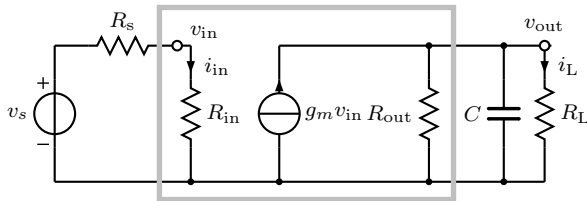


1.



- a) Laske kuvan operaatiovahvistinkytkennän vahvistus, kun operaatiovahvistin oletetaan ideaaliseksi.
- b) Laske kuvan operaatiovahvistinkytkennän vahvistus, kun avoimen silmukan vahvistus ei ole ääretön vaan oletetaan yksinapainen approksimaatio $A_0(s) = \omega_t/s$.
- c) Hahmottele Boden diagrammi (amplitudi ja vaihe) b-kohdan tuloksesta.

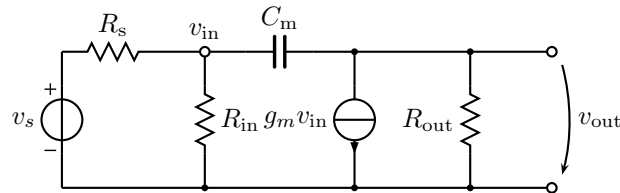
2.



- a) Muunna kuvan siirtokonduktanssivahvistin jännitevahvistimeksi. (Harmaa laatikko on piirretty kuvaan vinkiksi.)
- b) Laske siirtofunktio.
- c) Hahmottele Boden diagrammi (amplitudi ja vaihe).

3.

Tarkastellaan luentokalvoissa käsiteltyä ja kuvassa esitettyä invertoivaa siirtokonduktanssivahvistinta ja Miller-efektiä.



Piirin siirtofunktio on

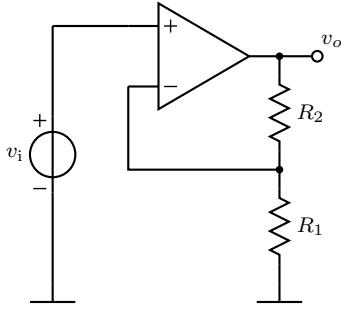
$$H(s) = \frac{-g_m R_{in} R_{out} R_L}{(R_{in} + R_s)(R_{out} + R_L)} \cdot \frac{1 - s \frac{C_m}{g_m}}{s(C_m(\frac{g_m R_{out} R_L}{R_{out} + R_L} + 1) \frac{R_{in} R_s}{R_{in} + R_s} + C_m \frac{R_{out} R_L}{R_{out} + R_L}) + 1}$$

Jos oletetaan vahvistuksen olevan suuri, siirtofunktio voidaan yksinkertaistaa muotoon

$$H(s) \approx \frac{-g_m R_{in} R_{out} R_L}{(R_{in} + R_s)(R_{out} + R_L)} \cdot \frac{1 - s \frac{C_m}{g_m}}{s(C_m(\frac{g_m R_{out} R_L}{R_{out} + R_L}) \frac{R_{in} R_s}{R_{in} + R_s}) + 1}$$

- a) Hahmottele Boden kuvaajan amplitudivaste, kun C_m/g_m on yli 10 kertaa suurempi kuin dominoiva napa.
- b) Mikä aiheuttaa dominoivan navan?
- c) Jos tasa-jännitevahvistusta kasvatetaan säätämällä g_m :n arvoa, mitä tapahtuu kaistanleveydelle?
- d) Mitä voit sanoa vahvistin-kaistanleveydestä?

0.1



- a) Laske kuvan operaatiovahvistinkytkennän vahvistus, kun operaatiovahvistin oletetaan ideaaliseksi.
 b) Laske kuvan operaatiovahvistinkytkennän vahvistus, kun avoimen silmukan vahvistus ei ole ääretön vaan oletetaan yksinapainen approksimaatio $A_0(s) = \omega_t/s$.
 c) Hahmottele Boden diagrammi (amplitudi ja vaihe) b-kohdan tuloksesta.

a) Ideaalisen operaatiovahvistimen napoihin ei mene virtaa ja $v_i = v^+ = v^- = \frac{R_1}{R_1+R_2}v_o$, joten

$$A = \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

b) Operaatiovahvistimen lähtöjännite $V_o = A_0(s)(V_+ - V_-)$ ja nyt siis $A_0(s) = \frac{\omega_t}{s}$. Sijoitetaan operaatiovahvistimen tulojännitteet lähtöjännitteen v_o lausekkeeseen:

$$V_o = A_0(s)(V_+ - V_-) = A_0(s) \left(V_i - V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

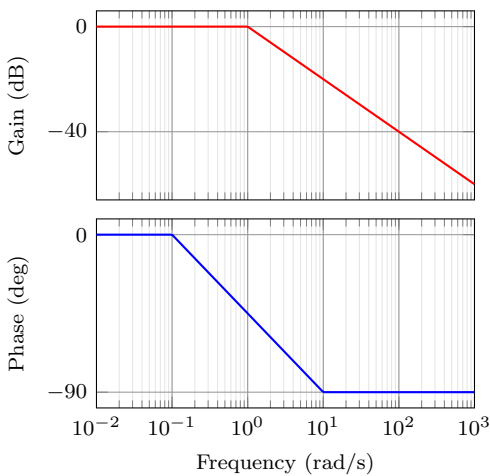
ja ryhmitellään termit ratkaisemista varten

$$V_o \left(1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} A_0(s) \right) = A_0(s) V_i.$$

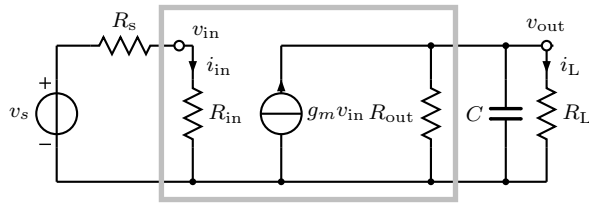
Suljetun silmukan vahvistukseksi saadaan

$$A_{CL}(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A_0(s)}{1 + \frac{R_1}{R_1+R_2} A_0(s)} = \frac{\frac{\omega_t}{s}}{1 + \frac{R_1}{R_1+R_2} \frac{\omega_t}{s}} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{\frac{s}{\omega_t} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + 1}.$$

c) Tässä on periaatteellinen kuva Boden diagrammista satunnaisilla lukuarvoilla. Kyseessä on siis yksinapaisen järjestelmän alipäästötyyppinen vaste. Napa aiheuttaa amplitudivasteen putoamisen 20 dB/dekadi ja vaihe pienenee 90 astetta.

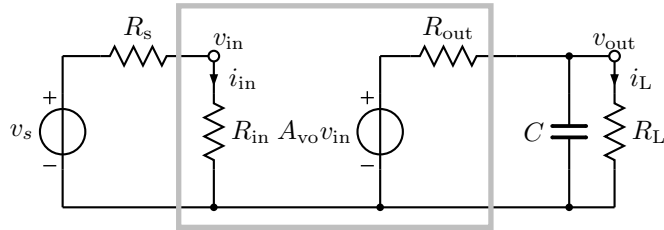


0.2



- a) Muunna kuvan siirtokonduktanssivahvistin jännitevahvistimeksi. (Harmaa laatikko on piirretty kuvaan vinkiksi.)
 b) Laske siirtofunktio.
 c) Hahmottele Boden diagrammi (amplitudi ja vaihe).

a) Jännitevahvistin on jänniteohjattu jännitelähde.



Koska jännitevahvistimen piirin pitää olla ekvivalentti siirtokonduktanssivahvistimen kanssa, voidaan tehdä lähdeuunnos ja muuntaa virtalähde $g_m v_{in}$ jännitelähteeksi. Näin saadun jännitelähteen arvon pitää vastata jännitevahvistimen jännitelähdettä $A_{vo} v_{in}$. Lähdeuunnoksen perusteella $A_{vo} v_{in} = g_m v_{in} R_{out}$. Tällöin

$$A_{vo} = g_m R_{out}.$$

b) Jännitevahvistimelle saadaan jännitteenjaolla $v_{in} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} v_s$. Vastaavasti voidaan laskea ulostulolle, jolloin kuormana on

$$Z_L = \frac{R_L \cdot \frac{1}{sC}}{R_L + \frac{1}{sC}} = \frac{R_L}{1 + sCR_L},$$

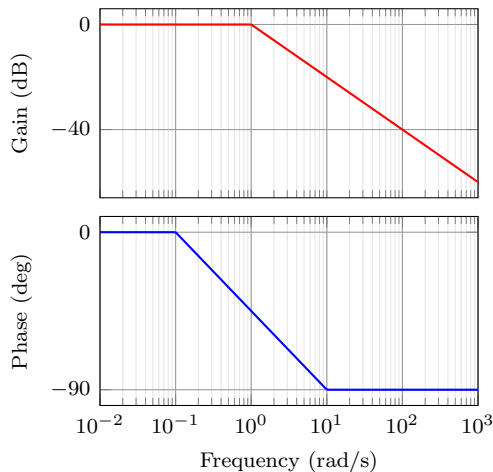
eli

$$v_{out} = \frac{Z_L}{R_{out} + Z_L} A_{vo} v_{in} = \frac{\frac{R_L}{1 + sCR_L}}{R_{out} + \frac{R_L}{1 + sCR_L}} g_m R_{out} v_{in} = \frac{g_m R_{out} R_L}{R_{out}(1 + sCR_L) + R_L} v_{in} = \frac{g_m R_{out} R_L}{R_{out}(1 + sCR_L) + R_L} \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} v_s.$$

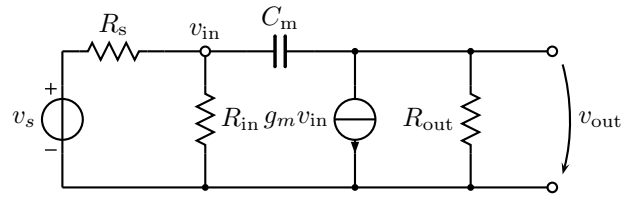
Siirtofunktion voi laskea helposti myös solmumenetelmällä, jolloin ratkaisu tulee muotoon

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m G_s}{(G_s + G_{in})(G_{out} + G_L + sC)}.$$

c) Kyseessä on yksinapainen järjestelmä, jolla on alipäästötyyppinen vaste samoin kuin tehtävässä 1.



Tarkastellaan luentokalvoissa käsitellyä ja kuvassa esitettyä invertoivaa siirtokonduktanssivahvistinta ja Miller-efektiä.



Piirin siirtofunktio on

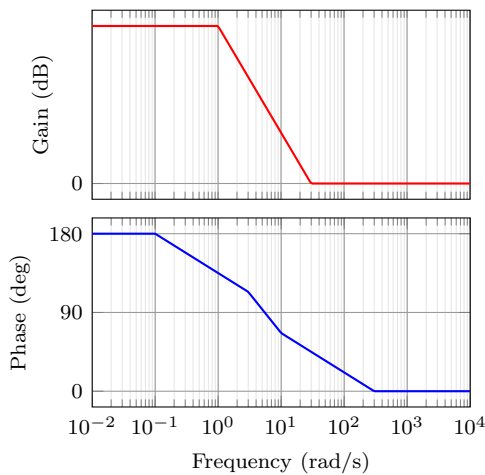
$$H(s) = \frac{-g_m R_{in} R_{out} R_L}{(R_{in} + R_s)(R_{out} + R_L)} \cdot \frac{1 - s \frac{C_m}{g_m}}{s \left(C_m \left(\frac{g_m R_{out} R_L}{R_{out} + R_L} + 1 \right) \frac{R_{in} R_s}{R_{in} + R_s} + C_m \frac{R_{out} R_L}{R_{out} + R_L} \right) + 1}$$

Jos oletetaan vahvistuksen olevan suuri, siirtofunktio voidaan yksinkertaistaa muotoon

$$H(s) \approx \frac{-g_m R_{in} R_{out} R_L}{(R_{in} + R_s)(R_{out} + R_L)} \cdot \frac{1 - s \frac{C_m}{g_m}}{s \left(C_m \left(\frac{g_m R_{out} R_L}{R_{out} + R_L} \right) \frac{R_{in} R_s}{R_{in} + R_s} \right) + 1}$$

- Hahmottele Boden kuvaajan amplitudivaste, kun C_m/g_m on yli 10 kertaa suurempi kuin dominoiva napa.
- Mikä aiheuttaa dominoivan navan?
- Jos tasajännitevahvistusta kasvatetaan säätämällä g_m :n arvoa, mitä tapahtuu kaistanleveydelle?
- Mitä voit sanoa vahvistin-kaistanleveydestä?

a) Siirtofunktiolla on yksi napa ja yksi nolla, joka on selvästi napaa suuremmalla taaajuudella. Boden kuvaajassa amplitudivaste on nollan vaikutuksesta tasainen korkeilla taajuuksilla. (Alla esitetty myös vaiheaste, jossa näkyy vaiheen putoaminen yhteensä 180 astetta.)



- Dominoiva napa aiheutuu Miller-kondensaattorista, joka näkyy tulopuolella vahvistuksella kerrottuna.
- Kun g_m kasvatetaan, napa siirtyy pienemmälle taaajuudelle eli kaistanleveys pienenee.
- Vahvistus-kaistanleveydestulo on vakio.