

1. Epälineaarisen vahvistimen jännitevahvistusta voidaan kuvata jännitteen siirtofunktiolla

$$v_o = k_1 v_{in} + k_3 v_{in}^3,$$

missä  $k_1=10$  ja  $k_3=-1V^{-2}$ . Vahvistimen tuloimpedanssi on ääretön ja lähtöimpedanssi nolla.

- Laske kolmas harmoninen särö  $HD_3$  lähdössä, kun tulossa on sinimuotoinen signaali, jonka amplitudi on 0.2V.
- Vahvistimen tuloon redusoitu jännitekohinan tiheys on  $150nV/\sqrt{Hz}$ . Laske lähdössä näkyvän jännitekohinan rms-arvo, kun vahvistimen taajuusvasteessa on yksi napa taajuudella 1MHz.
- Mikä on desibeleinä korkein SNDR sinimuotoiselle signaalille, joka vahvistimella voidaan saada? Millä tulosaalain amplitudilla se saavutetaan?

*Ohje: SNDR tarkoittaa signaalin suhdetta harmoniseen säröön ja kohinaan.*

2. Kuvan 1 vahvistimessa  $R_{C1}=R_{C2}=5k\Omega$ . Transistorit  $Q_1$  ja  $Q_2$  ovat aktiivialueella ja niiden transkonduktanssit  $g_{m1}=g_{m2}=40mS$ . Transistorien virtavahvistuskerroin  $\beta=100$  ja terminen jännite  $V_T=25mV$ . Virtalähde  $I_B=2mA$  ja sen piensignaali-resistanssi  $r_b=1M\Omega$ . Voit olettaa, että transistorien antoresistanssi  $r_o=\infty$ .

- Muodosta vahvistimen eromuotoinen piensignalisijaiskytkentä ja laske eromuotoinen jännitevahvistus  $A_d=v_{od}/v_{id}$ , missä  $v_{od}$  ja  $v_{id}$  ovat eromuotoinen tulo- ja lähtöjännite.
- Muodosta vahvistimen yhteismuotoinen piensignalisijaiskytkentä ja laske jännitevahvistus  $A_c=v_{oc}/v_{ic}$ , missä  $v_{oc}$  ja  $v_{ic}$  ovat yhteismuotoinen lähtö- ja tulojännite.

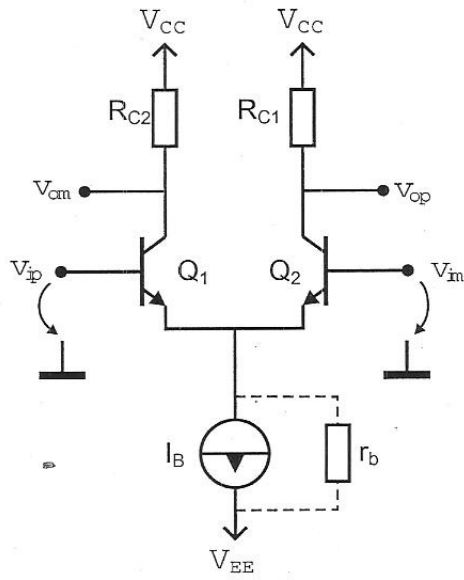
3. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty kaksi takaisinkytkettyä vahvistinta. Molemmista on operaatiovahvistin, jonka jännitevahvistus on  $A_v$ , muutoin operaatiovahvistin on ideaalinen. Kuvassa 3 NMOS-transistorin transkonduktanssi on  $g_m$ .

- Tunnista kuvan 2 vahvistimen takaisinkytkentätyyppi ja määrittele avoimen silmukan vahvistuksen  $A$ , takaisinkytkentäkertoimen  $\beta$  ja suljetun silmukan vahvistuksen  $A_f$  lausekkeet.
- Tunnista kuvan 3 vahvistimen takaisinkytkentätyyppi ja määrittele avoimen silmukan vahvistuksen  $A$ , takaisinkytkentäkertoimen  $\beta$  ja suljetun silmukan vahvistuksen  $A_f$  lausekkeet.

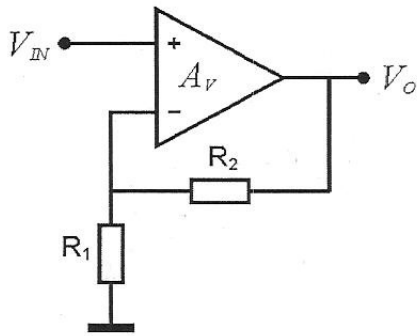
*Ohje: lähde-degeneroidun MOS-transistorin transkonduktanssi on  $G_m=1/(1/g_m+R_S)$ .*

4. Ei-invertoivassa vahvistinkytkennässä olevalla operaatiovahvistimella on kaksi vasemman puolitason napaa taajuuksilla  $\omega_{p0}=10kHz$  ja  $\omega_{p1}=10MHz$  sekä oikean puolitason nolla  $\omega_{z0}$  taajuudella 40MHz. Operaatiovahvistimen DC vahvistus  $A_{DC}=80dB$ . Piirrä silmukkavahvistuksen Bode-diagrammi ja määritä vaihe- ja vahvistusvara kun

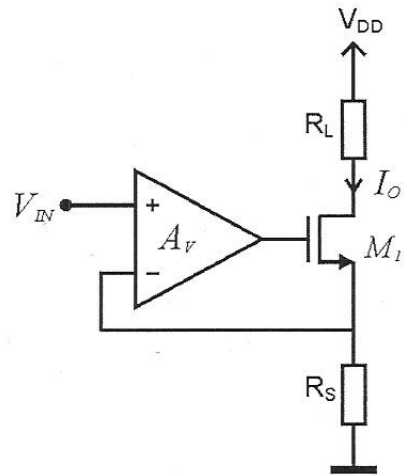
- vahvistin on kytketty 20dB suljetun silmukan vahvistukseen  $A_f$ .
- Onko vahvistin a) kohdan tapauksessa stabiili? Mikä suljetun silmukan vahvistuksen  $A_f$  pitää vähintään olla, jotta vahvistimen vaihevara on yli  $60^\circ$ ?



Kuva 1



Kuva 2



Kuva 3