

Tentti

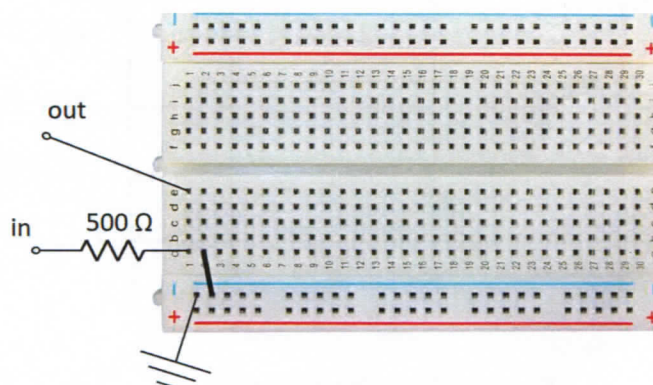
Tentin laatija: Olli-Pekka Lundén **Laskimet:** Laskinta saa käyttää, muttei ohjelmoitavaa. **Paperi:** Tehtäväpaperin saa pitää. **Vastausohjeita:** Hyvä vastaus on paitsi täsmällinen, kattava ja perusteltu, myös helposti ymmärrettävä ja ytimekäs. Hyvässä vastauksessa on aina omaa ajatusta. Selkeä esitys on merkki selkeästä ajattelusta. Muista näyttää laskutehtävissä välivaiheet, pidä yksiköt mukana ja anna lopputulos järkevällä tarkkuudella. Pohdi lopuksi, vastasitko kysymykseen ja onko vastaus mielekäs. **Lunttilappu:** Tentissä saa käyttää yhtä itse lyijykynällä käsinkirjoitettua A4-kokoista 2-puoleista lunttilappua. Palautettava.

T 1. Koekytkentälevyn käyttö suurilla taajuuksilla. Kuvan 1 kytkennästä muodostuu alipäästörakenne, koska koekytkentälevyn terminaalirivien välissä on jonkin verran kapasitanssia.

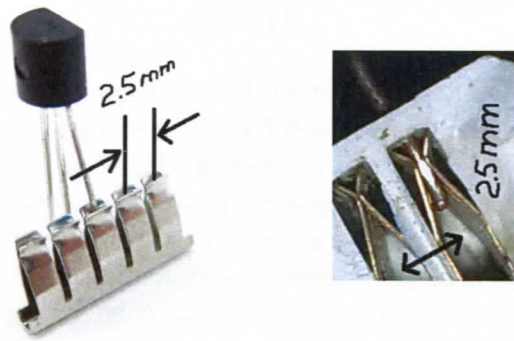
Tehtävä: Arvioi laskemalla tämän “alipäästösuodattimen” 3 dB:n kaistanleveyttä ja pohdi tämän jälkeen koekytkentälevyn käyttökelpoisuutta suurilla taajuuksilla.

Ohjeita:

- Nipistimen rakennetta on selvennetty kuvassa 2.
- Sinun on tehtävä karkeita approksimaatioita rakenteen geometriasta, jotta voit levykapasitanssimallilla arvioida nipistimien välistä kapasitanssia C . Kahden yhdensuuntaisen sekä samanmuotoisen ja -kokoisen levyn välinen kapasitanssi $C = \epsilon \frac{A}{d}$, missä A on kummankin levyn pinta-ala ja d on levyjen etäisyys, sekä ϵ on levyjen välisen aineen permittiivisyys.
- Voit olettaa, että käytössä olevan muovin suhteellinen permittiivisyys on $\epsilon_r = 2$. Tyhjiön dielektrisyysvakio on $\epsilon_0 \approx 8.854 \cdot 10^{-12}$ F/m.
- Alipäästösuodattimen 3 dB:n kaistanleveys on taajuus, jolla siirtofunktion $H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ itseisarvo $|H(j\omega)|$ on laskenut osaan $\frac{1}{\sqrt{2}}$.
- Siirtofunktion lausekkeen voi johtaa jännitteenjaon periaattella.
- Suodattimen kuorma voidaan olettaa äärettömäksi ($R_L = \infty$).



Kuva 1: Parasitiittinen kapasitanssi ja vastus toimivat alipäästösuodattimen.

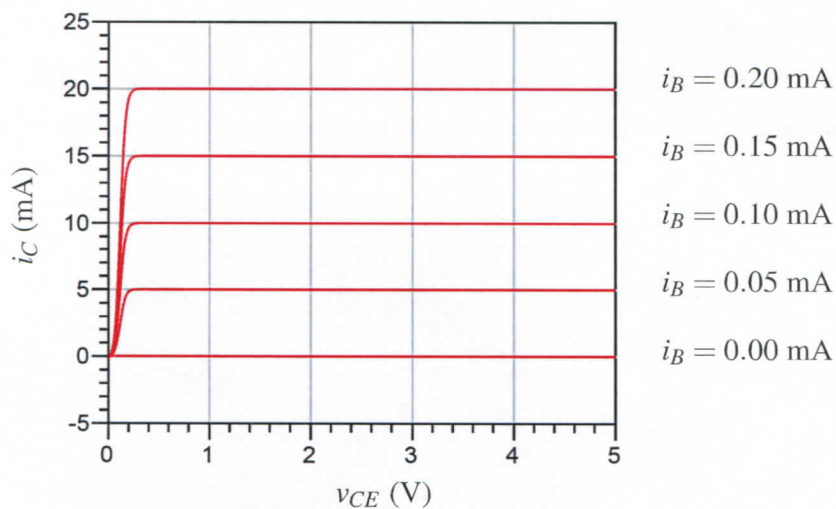


Kuva 2: Transistorin yksi jalka on kiinnitetty irralliseen koekytkentälevyn "nipistimeen". Toisessa kuvassa koekytkentälevyn halkileikkausta.

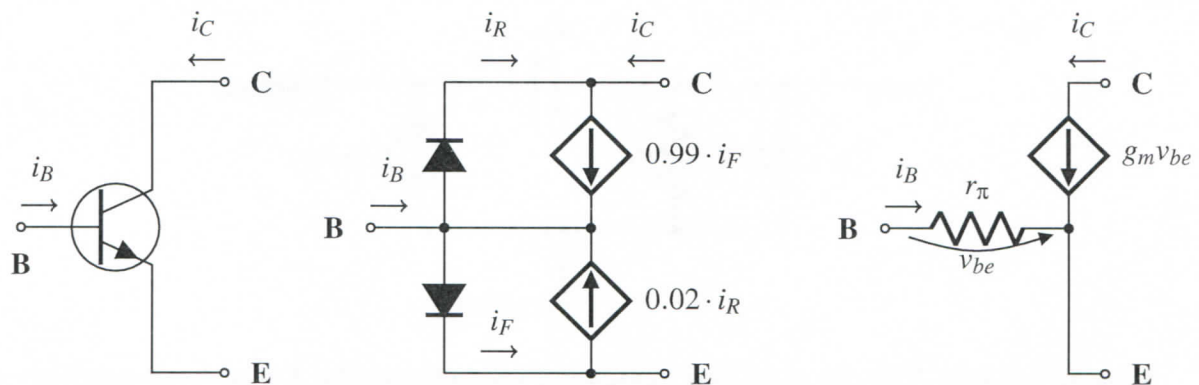
T 2. Transistorin mallinnuksesta. Kuvassa 3 on IV-ominaiskäyrästä, joka ainakin muistuttaa transistorin ominaiskäyrästä. Mikä tai mitkä kuvan 4 kolmesta vaihtoehdosta, voisi olla komponentti tai piiri, joka on tuottanut ko. ominaiskäyrästä. Perustele vastauksesi. Oikeasta vastauksesta voi saada pisteitä vain, jos se on perusteltu oikein.

IV-ominaiskäyrästä:

- Transistorin IV-ominaiskäyrästä simuloinnissa tai mittaamisessa määritetään kollektorivirta kollektori-kantajännitteen funktiona kantavirran ollessa "käyräparametri". Yksi käyrä saadaan aina yhdellä kantavirran arvolla.
- IV-käyrien mittauksessa tai simuloinnissa kollektorin ja emitterin välillä on säädettävä tasajännitelähde, kun taas kannan ja emitterin välissä on säädettävä tasavirtalähde.



Kuva 3: IV-ominaiskäyrästä.

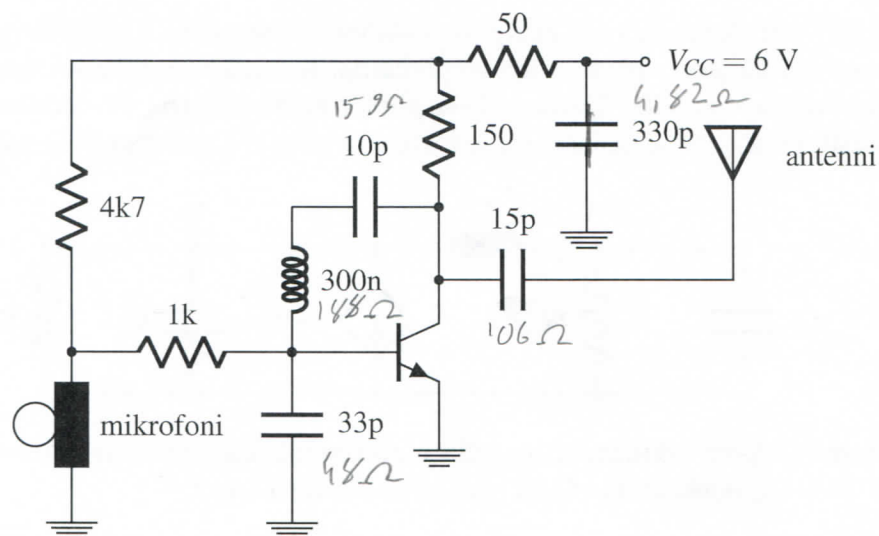


Kuva 4: Vaihtoehdot. Oikeanpuolimmaisessa $r_{\pi} = 200 \Omega$ ja $g_m = 0.5 \text{ S}$.

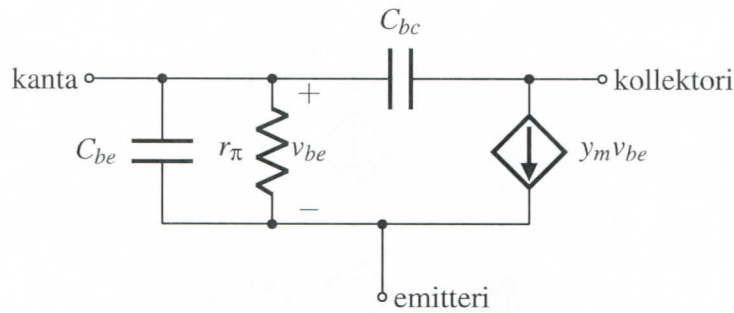
T 3. Kytentäkaavion palastelu ja ymmärtäminen. Tämän kurssin laboratorioharjoituksissa rakennettiin ja testattiin kuvan 5 radiolähtetin.

- Piirrä sen DC-malli. Lisää kytentäkaavioon i) tasajännitelähde ja ii) poista siitä tai korvaa oikosuluilla kaikki biasoinnin kannalta epäoleelliset komponentit. Audiotaajuuksille tarkoitetut komponentit on syytä tulkita osaksi biasipiirejä, koska ne tavallaan muuttavat "hitaasti" biasipistettä. Mikrofonin voi kuvata virtalähteenä.
- Piirrä lähettimen RF-malli poistamalla tai korvaamalla oikosuluilla kaikki RF-toiminnan kannalta epäoleelliset komponentit. Korvaa transistori piensignaalmallillaan (kuva 6). Yksinkertaista kuvaa perustelluilla approksimoinneilla niin, että piirin oleellinen toiminta tulee selkeästi esille.
- Selitä miten on mahdollista, että tämä kytkentä voi toimia FM-lähettimenä.

Huom: Yleisesti ottaen piirien appksimoinnissa voidaan kahdesta rinnakkaisesta haarasta poistaa se, jonka impedanssi on paljon suurempi. Vastaavasti kahdesta peräkkäisestä elementistä voidaan oikosululla korvata se, jonka impedanssi on paljon pienempi.

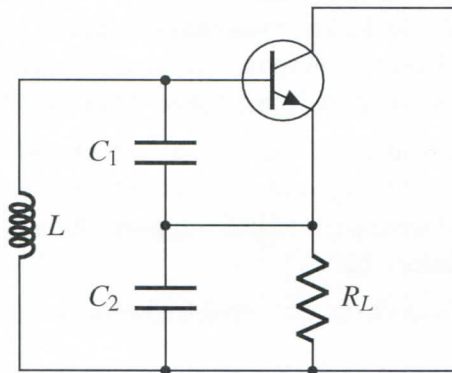


Kuva 5: FM-lähtetin noin 100 MHz:lle. Antennin syöttöpisteimpedanssin oletetaan olevan 50Ω .



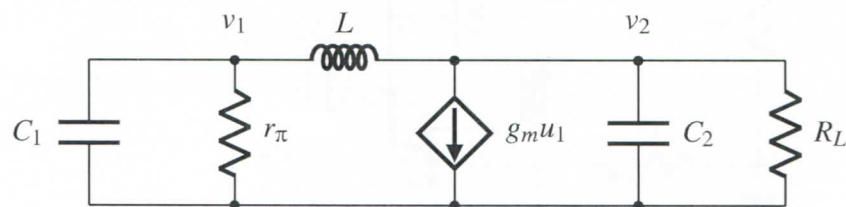
Kuva 6: Tehtävän kannalta oleellinen transistorin suurtaajuusmalli. Kaikki komponenttiarvot riippuvat kannan baisvirrasta.

T 4. RF-piirianalyysiä. Tutkitaan ns. Colpitts-oskillaattoria, joka on riisutusti esitetty kuvassa 7. Tässä tehtävässä on epänormaali tehtävänanto: Tehtäväsi on toistaa, täydentää ja tarvittaessa korjata seuraava analyysi. (Voit kirjoittaa lyhyemmin sen, mikä on mielestäsi kirjoitettu liiankin monisanaisesti.)



Kuva 7: Colpitts-oskillaattori. Piirikaavio ei ole todellinen kytkentä vaan piirin piensignaali- / suurtaajuusmalli.

ANALYYSI: Johdetaan lauseke piirin oskillointitaajuudelle. Oletetaan suunnilleen sinimuotoinen värähtely pienellä amplitudilla. Korvataan ensimmäiseksi transistori kuvan 6 transistorimallilla. Tämän jälkeen piiri on mahdollista piirtää uudelleen kuvan 8 mukaisesti, jos C_{bc} "unohdetaan" pienen kokonsa takia ja C_{be} :n ajatellaan sisältyvän C_1 :een.



Kuva 8: Sama Colpitts-oskillaattori uudelleen piirrettynä, kun transistori on korvattu piensignaali-mallillaan, C_{bc} unohdettu ja C_{be} :n ajateltu sisältyvän C_1 :een.

Piirin virtoja ja jännitteitä sitoo seuraava matriisiyhtälö:

$$\begin{bmatrix} Y_1 + Y_{12} & -Y_{12} \\ -Y_{12} & Y_2 + Y_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -g_m u_1 \end{bmatrix},$$

missä $Y_1 = \frac{1}{r_\pi} + j\omega C_1$, $Y_2 = \dots$ ¹ Matriisiyhtälö on kirjoitettavissa uudelleen niin, että virtalähdevektorin alempi alkio $-g_m u_1$ siirretään 2×2 -admittanssimatriisiin²:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{bmatrix}}_{=\mathbf{Y}} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

Lyhyesti tämä voidaan kirjoittaa

$$\mathbf{Y}\mathbf{v} = \mathbf{0}.$$

Virtalähdevektorista on tullut nollavektori. Kumpikaan jännite v_1 tai v_2 ei ole nolla, jos piiri oskilloi. Kyseinen matriisitulo voi tuottaa nollavektorin vain, jos \mathbf{Y} on singulaarinen eli sen determinantti on nolla. Voidaan siis vaatia³

$$\det(\mathbf{Y}) = \begin{vmatrix} \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{vmatrix} = 0.$$

Tästä seuraa melko suoraan⁴, että

$$g_m + Y_1 + Y_2 + \frac{Y_1 Y_2}{Y_{12}} = 0. \quad (1)$$

Yhtälön vasen puoli on kompleksinen. Pitää siis vaatia että sen reaali- ja imaginääriosa ovat kummatkin nolli. Siitä että *imaginääriosa* on nolla, seuraa joidenkin välivaiheiden kautta⁵, että

$$C_1 + C_2 + L \left(\frac{1}{r_\pi R_L} - \omega^2 C_1 C_2 \right) = 0.$$

Tästä voidaan ratkaista ω ja oskillointitaajuustaajuus

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC_T} + \dots}$$

missä⁶ $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$. Esimerkiksi kun $L = 440$ nH, $C_1 = C_2 = 27$ pF, $r_\pi = 140$ Ω ja $R_L = 50$ Ω , taajuus $f = 96$ MHz.

Huomaa että saatu taajuuden lauseke muistuttaa usein esiintyvää yksinkertaista resonansitaajuuden lauseketta $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. Huomaa myös että r_π :n ja R_L :n huomioon ottaminen ... taajuutta⁷.

¹Täydennä; esittele uudet apumuuttujat.

²Täydennä matriisi apumuuttujilla Y_1 , Y_2 ja Y_{12} sekä g_m :llä.

³Täydennä vastaavasti determinantti.

⁴Täydennä välivaiheet.

⁵Täydennä välivaiheet, 5-6 riviä.

⁶Täydennä lauseke.

⁷Lisää sana "nostaa" tai "laskee"