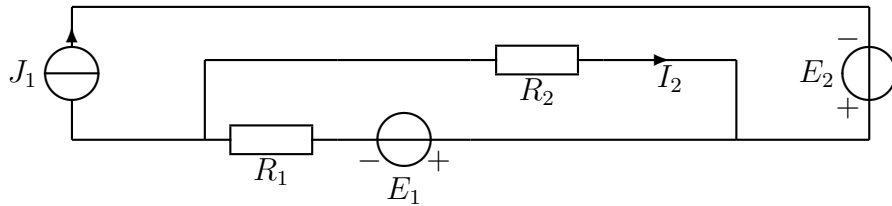


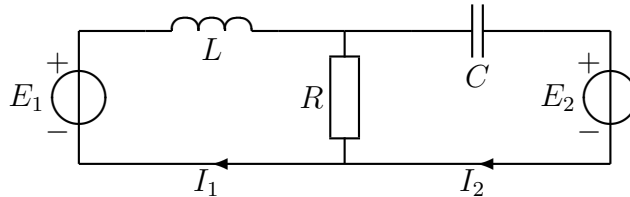
Tentti 26.3.2018. Saat vastata vain neljään tehtävään!

Sallitut: Kako, [gr.] laskin, [MAOL], [sanakirjan käytöstä on sovittava valvojan kanssa!]

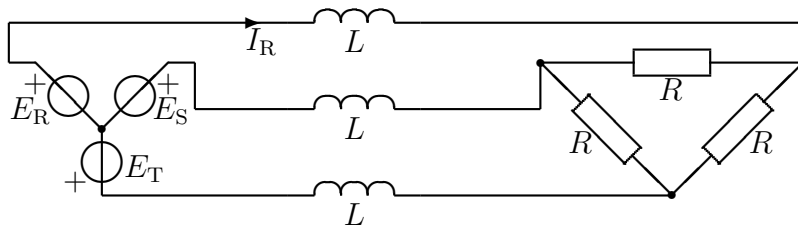
1. Laske virta I_2 . $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 1 \Omega$, $E_1 = 6 \text{ V}$, $E_2 = 4 \text{ V}$, $J_1 = 2 \text{ A}$.



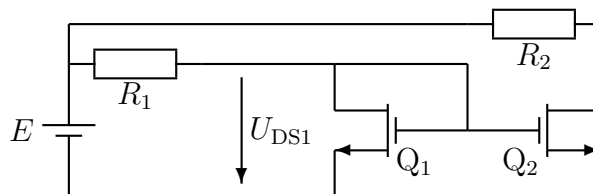
2. Laske virta I_2 . $E_1 = 10 \angle 0^\circ \text{ V}$, $E_2 = 20 \angle 90^\circ \text{ V}$, $R = 4 \Omega$, $L = 0,2 \text{ H}$, $C = 0,05 \text{ F}$, $\omega = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.



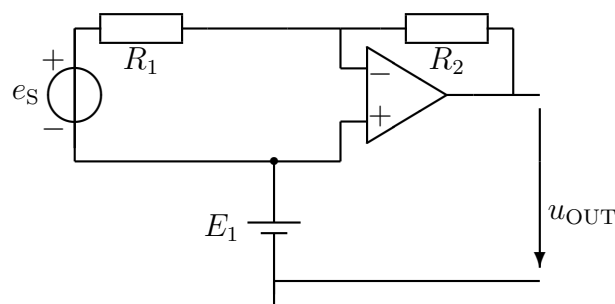
3. Laske yksivaiheisen sijaiskytkennän avulla virta I_R . $E_R = 230 \angle 0^\circ \text{ V}$, $R = 120 \Omega$, $L = 0,1 \text{ H}$, $\omega \approx 300 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.



4. Fetit Q_1 ja Q_2 ovat identtiset: $U_t = 2 \text{ V}$, $K = 100 \mu\text{A/V}^2$. Laske jännite U_{DS1} . $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $E = 10 \text{ V}$.



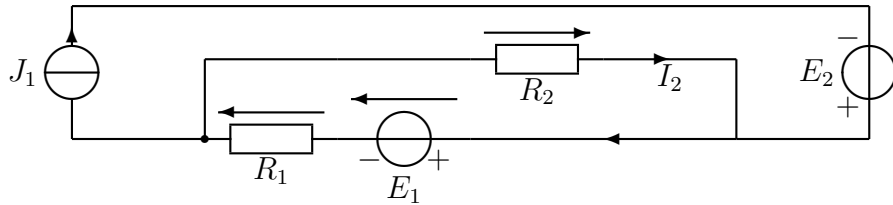
5. Jos lasket tämän tehtävän, jätä yksi tehtävistä 1–4 pois. 4. Mitä arvoja saa u_{OUT} , kun e_s vaihtelee välillä $-10 \dots 10 \text{ mV}$? $E_1 = 2,5 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$.



Oikeat ratkaisut ja tulokset tulevat tällä viikolla viime syksyn kurssin sivulle MyCoon.

Hyvää loppukevättä, t. X

1. Laske virta I_2 . $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = 1 \Omega$, $E_1 = 6 \text{ V}$, $E_2 = 4 \text{ V}$, $J_1 = 2 \text{ A}$.

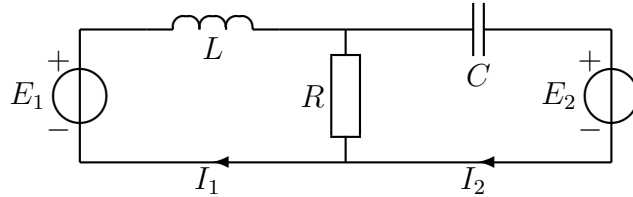


$$R_2 I_2 + E_1 + R_1 (I_2 + J_1) = 0 \quad (1)$$

$$(R_1 + R_2) I_2 + E_1 + R_1 J_1 = 0 \quad (2)$$

$$I_2 = -\frac{E_1 + R_1 J_1}{R_1 + R_2} = -3 \quad (3)$$

2. Laske virta I_2 . $E_1 = 10 \angle 0^\circ \text{ V}$, $E_2 = 20 \angle 90^\circ \text{ V}$, $R = 4 \Omega$, $L = 0,2 \text{ H}$, $C = 0,05 \text{ F}$, $\omega = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.



$$\begin{cases} -E_1 + j\omega L I_1 + R(I_1 - I_2) = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{E_1 + R I_2}{j\omega L + R} \\ -E_2 - \frac{1}{j\omega C} I_2 + R(I_1 - I_2) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

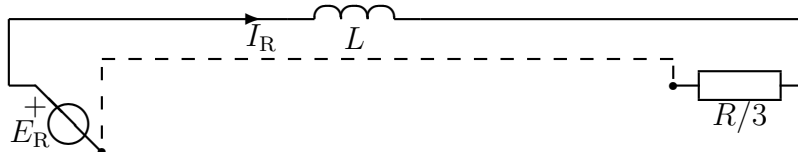
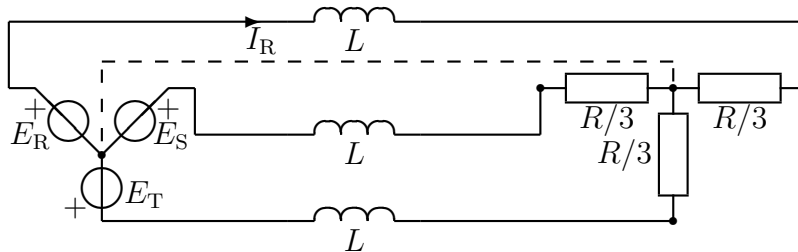
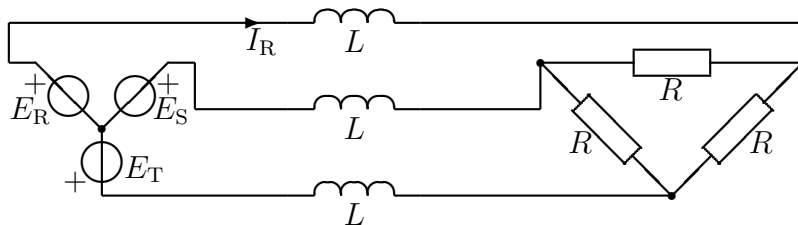
$$-E_2 - \left(\frac{1}{j\omega C} + R \right) I_2 + R \frac{E_1 + R I_2}{j\omega L + R} = 0 \quad (5)$$

$$-20j - \left(\frac{1}{j0,5} + 4 \right) I_2 + 4 \frac{10 + 4I_2}{j2 + 4} = 0 \quad (6)$$

$$-20j(j2 + 4) - (-2j + 4)(j2 + 4)I_2 + 4(10 + 4I_2) = 0 \quad (7)$$

$$I_2 = \frac{20j(j2 + 4) - 40}{-(-2j + 4)(j2 + 4) + 16} = \frac{-80 + 80j}{-20 + 16} = 20 - 20j = 28,3 \angle -45^\circ \text{ A} \quad (8)$$

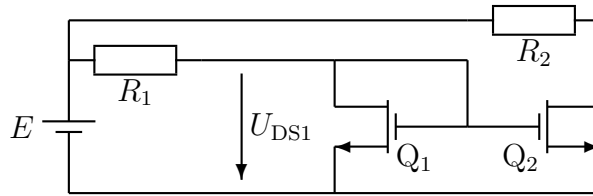
3. Laske yksivaiheisen sijaiskytkennän avulla virta I_R . $E_R = 230 \angle 0^\circ \text{ V}$, $R = 120 \Omega$, $L = 0,1 \text{ H}$, $\omega \approx 300 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.



$$-E_R + j\omega L I_R + \frac{R}{3} I_R = 0 \quad (9)$$

$$I_R = \frac{E_R}{\frac{R}{3} + j\omega L} = \frac{230}{40 + j30} = \frac{23}{4 + j3} = 4,6 \angle -36,87^\circ \text{ A} \quad (10)$$

4. Fetit Q_1 ja Q_2 ovat identtiset: $U_t = 2 \text{ V}$, $K = 100 \mu\text{A/V}^2$. Laske jännite U_{DS1} . $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $E = 10 \text{ V}$.



Yhdysjohdon takia: $U_{\text{DS1}} = U_{\text{GS1}} = U_{\text{GS2}} = U_{\text{GS}}$

Q_1 on saturaatioalueella, koska $V_D = V_G$ eli $V_D - V_S \geq V_G - V_S - U_{t1}$.

$$I_{\text{D1}} = K (U_{\text{GS}} - U_t)^2 \quad (11)$$

$$x = U_{\text{GS}} = E - R_1 I_{\text{D1}} \quad (12)$$

$$x = E - R_1 K (x - U_t)^2 \quad (13)$$

$$x = 10 - 1,5 (x - 2)^2 \quad (14)$$

$$2x = 20 - 3(x^2 - 4x + 4) \quad (15)$$

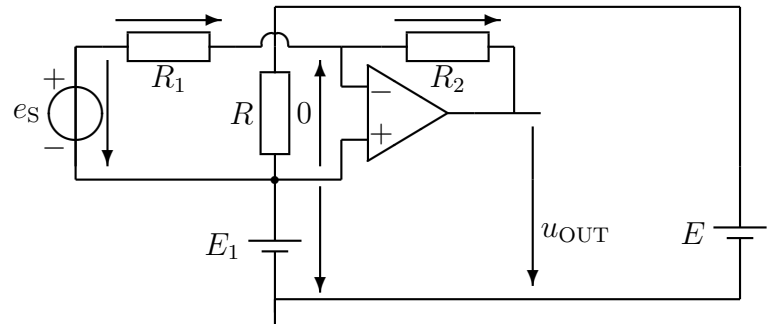
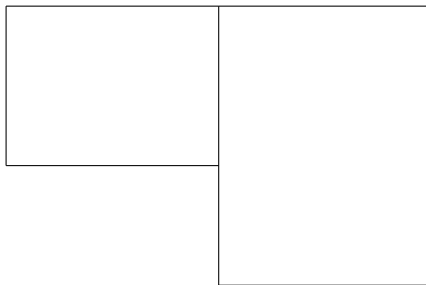
$$3x^2 - 10x - 8 = 0 \quad (16)$$

$$\Rightarrow x = U_{\text{GS}} = \begin{cases} 4 \text{ V} > U_t & \text{OK} \\ -\frac{2}{3} \text{ V} < 0 & \end{cases} \quad (17)$$

$$U_{\text{DS1}} = U_{\text{GS}} = 4 \text{ V} \quad (18)$$

Piiri muodostaa vakiovirtalähteen, joka syöttää vastukseen R_2 virran $J = I_{\text{D2}} = I_{\text{D1}}$ vastusarvosta riippumatta olettaen, että myös Q_2 on SAT-alueella. Tämä pätee tiettyä rajaa pienemmillä vastusarvoilla: $R_2 I_{\text{D1}} \leq E + U_{t2} - U_{\text{GS2}}$.

5. Jos lasket tämän tehtävän, jätä yksi tehtävistä 1–4 pois. 4. Mitä arvoja saa u_{OUT} , kun e_s vaihtelee välillä $-10 \dots 10 \text{ mV}$? $E_1 = 2,5 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $R = 1 \text{ k}\Omega$.



Kuvaan on lisätty R ja E , jotka eivät vaikuta alla oleviin yhtälöihin. Syy tähän on kerrottu alempana oikean ratkaisun jälkeen.

$$-e_s + R_1 I_1 - 0 = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{e_s + 0}{R_1} \quad (19)$$

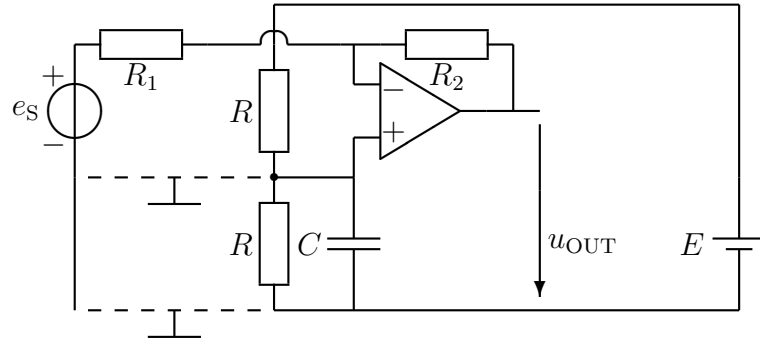
$$-E_1 + 0 + R_2 I_1 + u_{\text{OUT}} = 0 \quad (20)$$

$$-E_1 + R_2 \frac{e_s}{R_1} + u_{\text{OUT}} = 0 \quad (21)$$

$$u_{\text{OUT}} = E_1 - \frac{R_2}{R_1} e_s = 3,5 \dots 1,5 \text{ V} \quad (22)$$

Vastaus on yllä; loppupohdintoja: E_1 korottaa tasajännitetasoa viiden voltin puoliväliin. Nyt operaatiovahvistinta voi käyttää ilman haittavaikutuksia yksipuolisella viiden voltin jännitesyötöllä. Voisiko E_1 :n korvata jotenkin samalla viiden voltin jännitteellä? Kyllä, korvaamalla jännitelähteen toisella vastuksella R . Tällöin R :n tulisi olla paljon pienempi kuin R_1 . Vaihtoehtoisesti voidaan lisätä vielä R :n rinnalle kondensaattori, jonka impedanssin itseisarvo $\frac{1}{\omega C}$ on paljon pienempi

kuin R_1 . Signaali kulkee esteettömästi C :n läpi, jolloin R :n arvo ei ole kriittinen.



Jos input-puolen maadoitus kytketään vastusten väliin tehtävän ja ylemmän katkoviivan mukaisesti, tulee lähtöjännitteeksi ilman C :tä:

$$u_{\text{OUT}} = \frac{E}{2} - \frac{R}{2R_1} e_s - \frac{R_2}{R_1} e_s \quad (23)$$

R valitaan niin, että keskimäinen termi on merkityksetön — oikeastaan pitäisi siis olla $R \ll 2R_2$; C :n vaikutus on tavallaan sama. Käyttöjännitteen puolikkaan voi muodostaa myös jänniteregulaattorilla. Kun lähtöjännitteen toinen napa on käyttöjännitteen miinuksessa, ei u_{OUT} saa mennä negatiiviseksi eikä edes kovin lähelle nollaa. Tämä on luontevaakin, jos kerran toimitaan yksipuolisella käyttöjännitteellä. Tulokset muuttuvat, jos u_{OUT} :in maaksi otetaan R :n alapää; tällöin tulokset riippuvat myös operaatiovahvistimen lähtöön kytketyn kuorman virrasta. Usein halutaan, että tulo- ja lähtöpuolen maat ovat samassa käyttöjännitteen miinuksessa. Jos käytetään alemman katkoviivan kytkentää, tarkka lähtöjännite on lopulta ei-invertoivan ja invertoivan vahvistimen lähtöjännitteiden summa:

$$u_{\text{OUT}} = U_+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - \frac{R_2}{R_1} e_s \quad (24)$$

Tässä jännitteenjakaja $R - R$ pitää mitoittaa niin, että U_+ on riittävän pieni; alempi R siis pienempi kuin ylempi.