

2. välikoe 14.12.2021. Saat vastata vain neljään tehtävään!

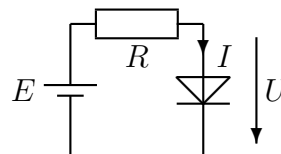
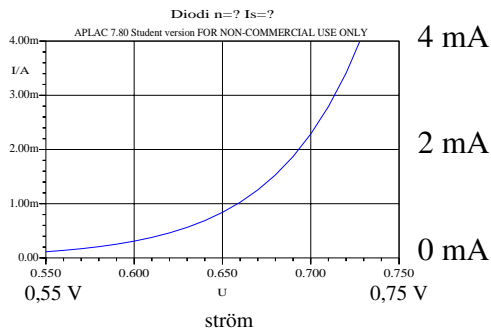
Koe on suoritettava itsenäisesti. Kirjallisen materiaalin käyttö on kuitenkin sallittua.

Vastaukset palautetaan MyCoursesiin esim. valokuvattuina tai skannattuina; suositeltavin tiedostomuoto on pdf tai jpg. Kaikkien tehtävien vastaukset saavat olla samassa PDF-tiedostossa (optimi); muussa tapauksessa tiedostojen yhteismäärä voi olla korkeintaan 20 ja tehtävän vastauksena saa tarvittaessa olla useampia tiedostoja. En voi kokeen aikana enää täsmentää tehtäviä, vaikka niissä olisi puutteita (harvoin on). Jos kokeen aikana tulee muita ongelmia, minulle voi lähettää suoraa sähköpostia: kimmo.silvonen@aalto.fi

2. mellanförhör 14.12.2021. Du får endast besvara fyra frågor!

Förhöret skall skrivas utan hjälp av andra personer. Användning av skriftligt material är tillåtet. Svar skrivna på papper (eller tablet) returneras (till exempel) fotograferade eller skannade (gärna pdf eller jpg) till MyCourses. Svaren på alla uppgifter kan vara i samma PDF-fil (optimalt). Om du har problem under förhöret, kan du skicka mig email: kimmo.silvonen@aalto.fi

1. Laske diodin jännite oheisen käyrän perusteella. 1. Beräkna spänningen över dioden baserat på kurvan. $E = 5,5 \text{ V}$, $R = 4,7 \text{ k}\Omega$.

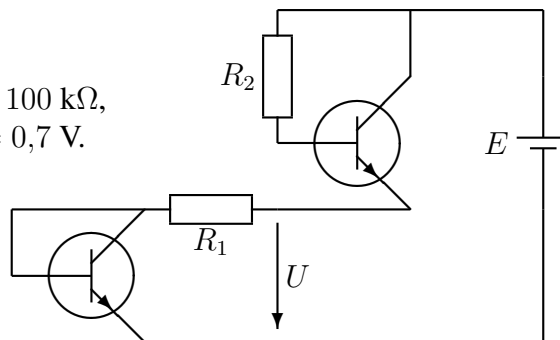


2. Laske jännite U.

Beräkna spänningen U.

$E = 10 \text{ V}$, $R_1 = 1,0 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$,

$\beta_1 = \beta_2 = 99$, $U_{BE1} = U_{BE2} = 0,7 \text{ V}$.

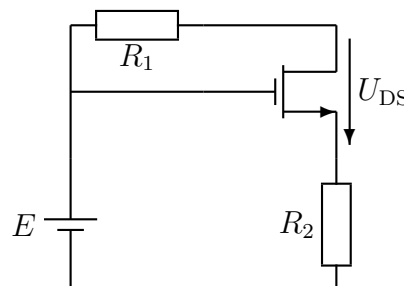


3. Laske jännite U_{DS} .

Beräkna spänningen U_{DS} .

$E = 6 \text{ V}$, $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$,

$U_t = 2 \text{ V}$, $K = 0,25 \text{ mA/V}^2$.



Käännä. Vänd!

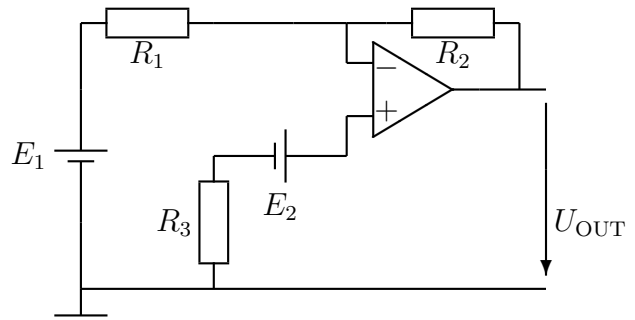
4. Laske E_2 , kun

Beräkna E_2 , när

$E_1 = -1,0 \text{ V}$ (korjattu kokeen jälkeen),

$U_{\text{OUT}} = 11 \text{ V}$,

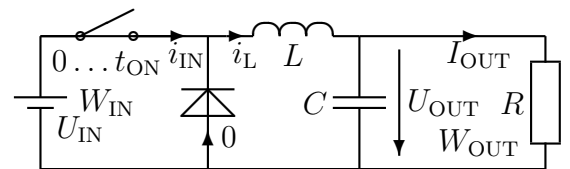
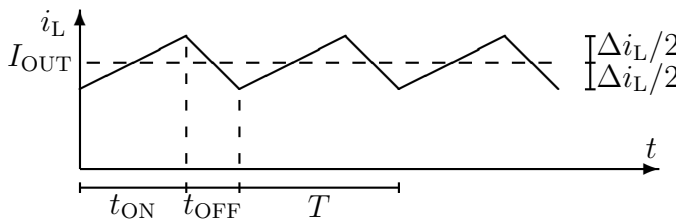
$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$.



5. Jännitelähteestä otetaan energiaa W_{IN} aikavälillä $0 \dots t_{\text{ON}}$, mutta ei aikavälillä $[t_{\text{ON}}, t_{\text{ON}} + t_{\text{OFF}}]$. U_{IN} ja U_{OUT} ovat vakioita. Laske teoreettinen hyötysuhde η .

Energi W_{IN} tas från spänningskällan under perioden $0 \dots t_{\text{ON}}$, men inte mellan $[t_{\text{ON}}, t_{\text{ON}} + t_{\text{OFF}}]$. U_{IN} och U_{OUT} är konstanta. Hur stor är verkningsgraden η ?

$$\eta = \frac{W_{\text{OUT}}}{W_{\text{IN}}} = \frac{P_{\text{OUT}}T}{U_{\text{IN}}Q_{\text{IN}}} = \frac{P_{\text{OUT}}T}{U_{\text{IN}} \int_0^{t_{\text{ON}}} i_{\text{IN}} dt} \quad (U_{\text{IN}} - U_{\text{OUT}})t_{\text{ON}} = U_{\text{OUT}}t_{\text{OFF}}$$



Vastaa vain neljään tehtävään! Ratkaisut ja tulokset tulevat kurssin sivulle MyCoon. Merkitse esim. vastauspaperin alkuun, milloin olet tehnyt laboratoriotyöt.

Du får endast besvara fyra frågor! Resultat och svar kan hittas i MyCo. När har du gjort laboratoriet?

ELEC-C4210 SÄHKÖTEKNIikka JA ELEKTRONIIKKA Kimmo Silvonen

Tentti 14.12.2021: välikokeen tehtävät 1, 3 ja 4 sekä lisäksi tehtävät 6 ja 7.

Saat vastata vain neljään tehtävään!

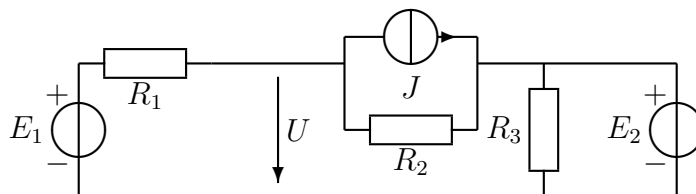
Examen 14.12.2021: uppgifterna nummer 1, 3 och 4 (från mellanförhoret) samt 6 och 7.

Välj bara fyra frågor!

6. $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$, $J = 3 \text{ A}$, $E_1 = 6 \text{ V}$, $E_2 = 12 \text{ V}$.

Laske jännite U .

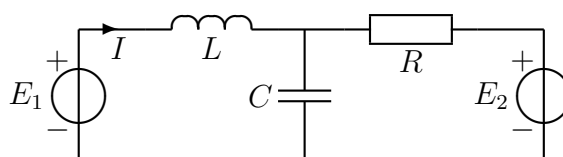
Beräkna spänningen U .



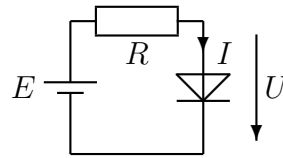
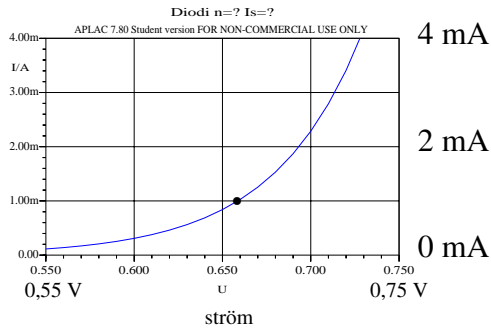
7. $R = 3 \Omega$, $L = 1 \text{ H}$, $C = 0,5 \text{ F}$, $\omega = 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$, $E_1 = 2\angle 90^\circ \text{ V}$, $E_2 = -3\angle 0^\circ \text{ V}$.

Laske virta I .

Beräkna strömmen I



1. Laske diodin jännite oheisen käyrän perusteella. $E = 5,5 \text{ V}$, $R = 4,7 \text{ k}\Omega$.



$$-E + RI + U = 0 \Rightarrow I = \frac{E - U}{R} \quad (1)$$

Etsitään piste, jossa yhtälö ja käyrä leikkaavat:

U/V	I/mA yhtälöstä	I/mA käyrältä
0,55	1,06	0,1
0,6	1,04	0,3
0,65	1,03	0,8
0,66	1,0298	1,0

Tarkka yhtälö, jota ei tunnettu, antaa jännitteellä 0,66 V virraksi 1,027 mA ($I_S = 1,9 \text{ nA}$, $nU_T = 50 \text{ mV}$). Käyrältä luettu vastaus: $U \approx 0,66 \text{ V}$.

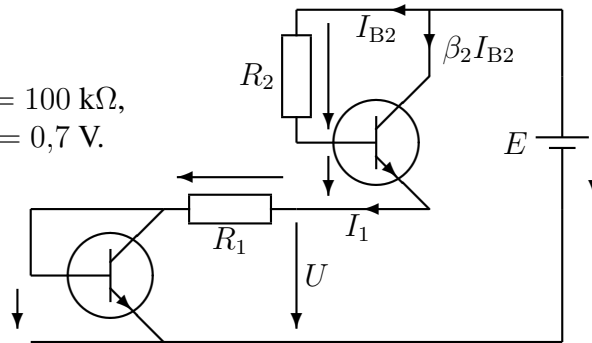
Vaikka koe meni kokonaisuutena erittäin hyvin, monella oli juuri tässä tehtävässä sekä Kirchhoffin jännitelaki, että Ohmin laki väärin – pidän sitä omassa sarjassaan huippusuorituksena!

2. Laske jännite U .

Beräkna spänningen U .

$E = 10 \text{ V}$, $R_1 = 1,0 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$,

$\beta_1 = \beta_2 = 99$, $U_{BE1} = U_{BE2} = 0,7 \text{ V}$.



$$-U_{BE1} - R_1 I_1 + U = 0 \Rightarrow U = U_{BE1} + R_1 I_1 \quad (2)$$

$$-U_{BE1} - R_1 I_1 - U_{BE2} - R_2 I_{BE2} + E = 0 \quad (3)$$

$$I_1 = (\beta_2 + 1) I_{BE2} \quad (4)$$

$$-U_{BE1} - R_1 (\beta_2 + 1) I_{BE2} - U_{BE2} - R_2 I_{BE2} + E = 0 \quad (5)$$

$$I_{BE2} = \frac{E - U_{BE1} - U_{BE2}}{R_1 (\beta_2 + 1) + R_2} = 43 \mu\text{A} \quad (6)$$

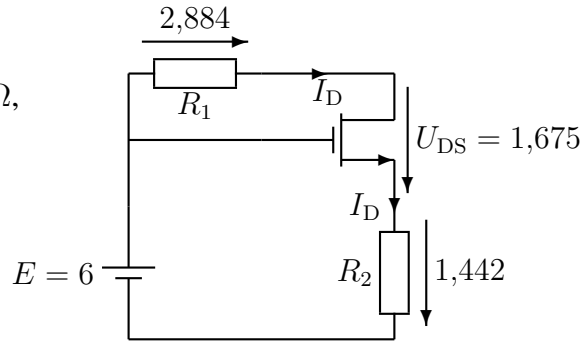
$$U = U_{BE1} + R_1 (\beta_2 + 1) I_{BE2} = 5 \text{ V} \quad (7)$$

3. Laske jännite U_{DS} .

Beräkna spänningen U_{DS} .

$E = 6 \text{ V}$, $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$,

$U_t = 2 \text{ V}$, $K = 0,25 \text{ mA/V}^2$.



Kuvassa on laskettuja tuloksia. Oletetaan SAT-alue, vaikka emme ole varmoja asiasta:

$$U_{DS} = E - R_1 I_D - R_2 I_D \quad (8)$$

$$I_D = K(U_{GS} - U_t)^2 \quad (9)$$

$$x = U_{GS} = E - R_2 I_D = E - R_2 K(U_{GS} - U_t)^2 \quad (10)$$

$$x = E - R_2 K(x - U_t)^2 = E - R_2 K x^2 + R_2 K 2x U_t - R_2 K U_t^2 \quad (11)$$

$$\underbrace{R_2 K}_{0,25} x^2 + x - \underbrace{R_2 K 2x U_t}_{0,5} + \underbrace{R_2 K U_t^2}_{0,25} - E = 0 \quad (12)$$

$$0,25x^2 - 5 = 0 \Rightarrow x = \pm\sqrt{20} > 0 \Rightarrow U_{GS} = \sqrt{20} \text{ V} \quad (13)$$

$$I_D = K(\sqrt{20} - 2)^2 \approx 6,111K \quad (14)$$

$$U_{DS} = E - (R_1 + R_2)I_D = 1,416 \text{ V} < U_{GS} - U_t \quad (15)$$

Hups, viimeinen rivi osoittaa, että olimmekin TRI-alueella:

$$I_D = K[2(U_{GS} - U_t)U_{DS} - U_{DS}^2] \quad (16)$$

$$x = U_{DS} = \underbrace{E - R_2 I_D}_{U_{GS}} - R_1 I_D \quad (17)$$

$$U_{GS} = E - R_2 I_D = U_{DS} + R_1 I_D \Rightarrow I_D = \frac{U_{GS} - x}{R_1} = \frac{E - x}{R_1 + R_2} \quad (18)$$

$$U_{GS} = x + \frac{R_1}{R_1 + R_2} (E - x) = \frac{1}{3}x - \frac{2}{3}E = \frac{1}{3}x - 4 \quad (19)$$

$$I_D = \frac{E - x}{R_1 + R_2} = K[2(U_{GS} - 2)x - x^2] \quad (20)$$

$$E - x = (R_1 + R_2)K[2(U_{GS} - 2)x - x^2] \quad (21)$$

$$6 - x = \frac{3}{4}[2(U_{GS} - 2)x - x^2] = \frac{3}{2} \underbrace{U_{GS}}_{\frac{1}{3}x - 4} x - 3x - \frac{3}{4}x^2 \quad (22)$$

$$\frac{1}{4}x^2 - 4x + 6 = 0 \Rightarrow x^2 - 16x + 24 = 0 \quad (23)$$

$$x = U_{DS} = \frac{16 \pm \sqrt{16^2 - 4 \cdot 24}}{2} = 1,675 \text{ V} \quad (24)$$

Yhteenveto ja tarkistus:

$$x = U_{DS} = 1,675 \text{ V} \quad (25)$$

$$I_D = \frac{E - x}{R_1 + R_2} = 1,442 \text{ mA} \quad (26)$$

$$U_{GS} = E - R_2 I_D = 4,558 \text{ V} \quad (U_{DS} \leq U_{GS} - U_t) \quad (27)$$

$$I_D = K[2(4,558 - 2)x - x^2] = 1,441 \text{ mA} \quad (28)$$

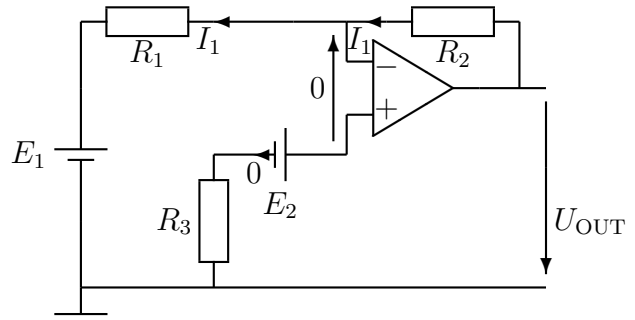
Tehtävän työläyden takia SAT-alueen ratkaisusta saattoi saada täydet pisteet, vaikka vastaus oli-kin kiistatta väärä. Matematiikkaohjelmalla ratkaistu tulos hyväksyttiin myös.

4. Laske E_2 , kun

Beräkna E_2 , när

$$E_1 = -1,0 \text{ V}, U_{\text{OUT}} = 11 \text{ V},$$

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega, R_2 = 100 \text{ k}\Omega, R_3 = 10 \text{ k}\Omega.$$



$$-E_1 - R_1 I_1 - 0 + E_2 + R_3 \cdot 0 \Rightarrow E_2 = E_1 + R_1 I_1 \quad (29)$$

$$-E_1 - R_1 I_1 - R_2 I_1 + U_{\text{OUT}} = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{U_{\text{OUT}} - E_1}{R_1 + R_2} \quad (30)$$

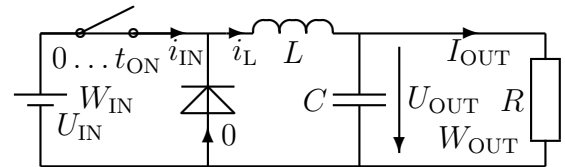
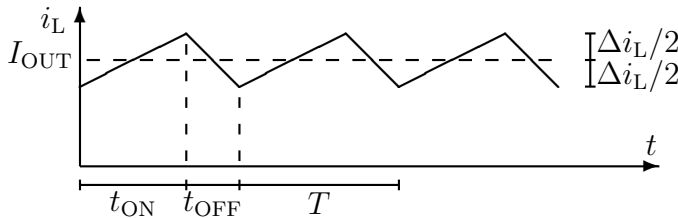
$$E_2 = E_1 + R_1 \frac{U_{\text{OUT}} - E_1}{R_1 + R_2} = -1 + \frac{12}{11} = 91 \text{ mV} \quad (31)$$

Alkuperäisessä tehtävässä oli merkkivirhe, joka on selvyuden vuoksi korjattu tähän: $E_1 = -1$ V, kuten labratöissä; tämä otetaan huomioon arvostelussa. Jos $E_1 = 1$ V, on oltava: $E_2 = \frac{21}{11}$ V. Tässäkin tilanteessa operaatiovahvistin ilmeisesti toimisi oikein, koska negatiivisen takaisinkytkennän toiminta ei muutu: $U_{\text{OUT}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) E_2 - \frac{R_2}{R_1} E_1$

5. Jännitelähteestä otetaan energiaa W_{IN} aikavälillä $0 \dots t_{\text{ON}}$, mutta ei aikavälillä $[t_{\text{ON}}, t_{\text{ON}} + t_{\text{OFF}}]$. U_{IN} ja U_{OUT} ovat vakioita. Laske teoreettinen hyötysuhde η .

Energi W_{IN} tas från spänningskällan under perioden $0 \dots t_{\text{ON}}$, men inte mellan $[t_{\text{ON}}, t_{\text{ON}} + t_{\text{OFF}}]$. U_{IN} och U_{OUT} är konstanta. Hur stor är verkningsgraden η ?

$$\eta = \frac{W_{\text{OUT}}}{W_{\text{IN}}} = \frac{P_{\text{OUT}} T}{U_{\text{IN}} Q_{\text{IN}}} = \frac{P_{\text{OUT}} T}{U_{\text{IN}} \int_0^{t_{\text{ON}}} i_{\text{IN}} dt} \quad (U_{\text{IN}} - U_{\text{OUT}}) t_{\text{ON}} = U_{\text{OUT}} t_{\text{OFF}}$$



$$A_1 + A_2 = Q_{\text{IN}} = \left(I_{\text{OUT}} - \frac{1}{2} \Delta i_L\right) t_{\text{ON}} + \frac{1}{2} \Delta i_L t_{\text{ON}} = I_{\text{OUT}} t_{\text{ON}} \quad (32)$$

$$(U_{\text{IN}} - U_{\text{OUT}}) t_{\text{ON}} = U_{\text{OUT}} t_{\text{OFF}} \Rightarrow U_{\text{IN}} = \left(1 + \frac{t_{\text{OFF}}}{t_{\text{ON}}}\right) U_{\text{OUT}} \quad (33)$$

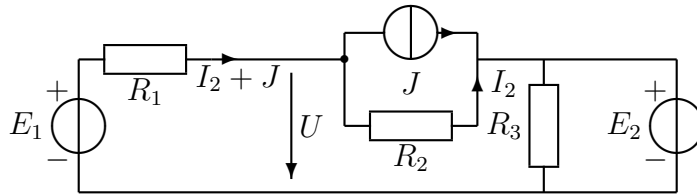
$$\eta = \frac{W_{\text{OUT}}}{W_{\text{IN}}} = \frac{U_{\text{OUT}} I_{\text{OUT}} T}{U_{\text{IN}} Q_{\text{IN}}} = \frac{U_{\text{OUT}} I_{\text{OUT}} T}{\left(1 + \frac{t_{\text{OFF}}}{t_{\text{ON}}}\right) U_{\text{OUT}} I_{\text{OUT}} t_{\text{ON}}} = \frac{T}{(t_{\text{ON}} + t_{\text{OFF}})} \quad (34)$$

$$\eta = 1 = 100\% \quad (35)$$

6. $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 2 \Omega$, $J = 3 \text{ A}$, $E_1 = 6 \text{ V}$, $E_2 = 12 \text{ V}$.

Laske jännite U .

Beräkna spänningen U .



$$-E_1 + R_1(J + I_2) + R_2 I_2 + E_2 = 0 \Rightarrow I_2 = \frac{E_1 - R_1 J - E_2}{R_1 + R_2} \quad (36)$$

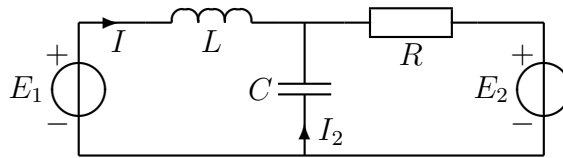
$$-U + R_2 I_2 + E_2 = 0 \Rightarrow U = R_2 I_2 + E_2 \quad (37)$$

$$U = R_2 \frac{E_1 - R_1 J - E_2}{R_1 + R_2} + E_2 = 6 \text{ V} \quad (38)$$

7. $R = 3 \Omega$, $L = 1 \text{ H}$, $C = 0,5 \text{ F}$, $\omega = 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$, $E_1 = 2 \angle 90^\circ \text{ V}$, $E_2 = -3 \angle 0^\circ \text{ V}$.

Laske virta I .

Beräkna strömmen I



$$-E_1 + j\omega L I - \frac{1}{j\omega C} I_2 = 0 \Rightarrow I_2 = \frac{-E_1 + j\omega L I}{\frac{1}{j\omega C}} \quad (39)$$

$$\frac{1}{j\omega C} I_2 + R(I + I_2) + E_2 = 0 \quad (40)$$

$$\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) I_2 + R I + E_2 = 0 \quad (41)$$

$$\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) (-j\omega C E_1 - \omega^2 C L I) + R I + E_2 = 0 \quad (42)$$

$$-\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) j\omega C E_1 + E_2 = \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) \omega^2 C L I - R I \quad (43)$$

$$I = \frac{E_2 - \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) j\omega C E_1}{\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right) \omega^2 C L - R} = \frac{E_2 - (j\omega C R + 1) E_1}{(\omega C R - j) \omega L - R} \quad (44)$$

$$= \frac{-3 - (j3 + 1)(2j)}{(3 - j)2 - 3} = \frac{3 - 2j}{3 - 2j} = 1 \text{ A} \quad (45)$$

Se, miten hyvin koe meni, ilahdutti minua suuresti! Tehtävän 3 hyvä osaaminen oli yllätys. Koe ei ollut erityisen helppo, varsinkaan ottaen huomioon, miten monimutkaisesti ykköstehtävää las-kettiin diodiparametrien kautta.