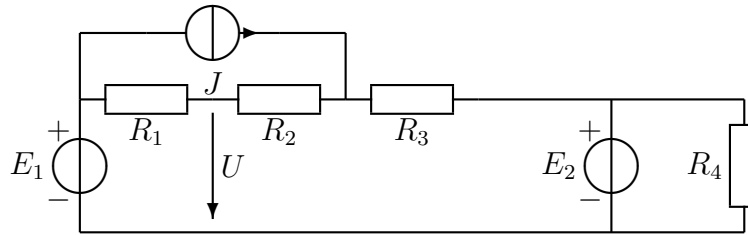


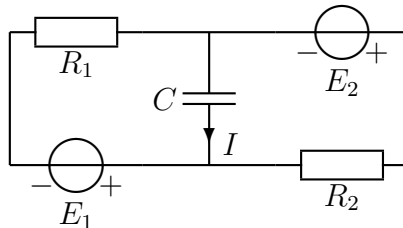
**Tentti 21.3.2016. Saat vastata vain neljään tehtävään!**

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

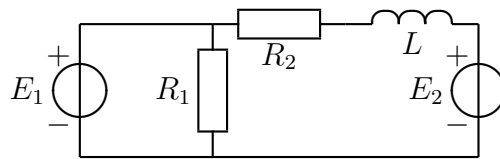
1. Laske jännite  $U$ .  $R_1 = 3 \Omega$ ,  $R_2 = 2 \Omega$ ,  $R_3 = 4 \Omega$ ,  $R_4 = 2 \Omega$ ,  $J = 3 \text{ A}$ ,  $E_1 = 6 \text{ V}$ ,  $E_2 = 12 \text{ V}$ .



2. Laske virta  $I$ .  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 2 \Omega$ ,  $C = 0,05 \text{ F}$ ,  $\omega = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ,  $E_1 = 3\angle 0^\circ \text{ V}$ ,  $E_2 = 4j \text{ V}$ .



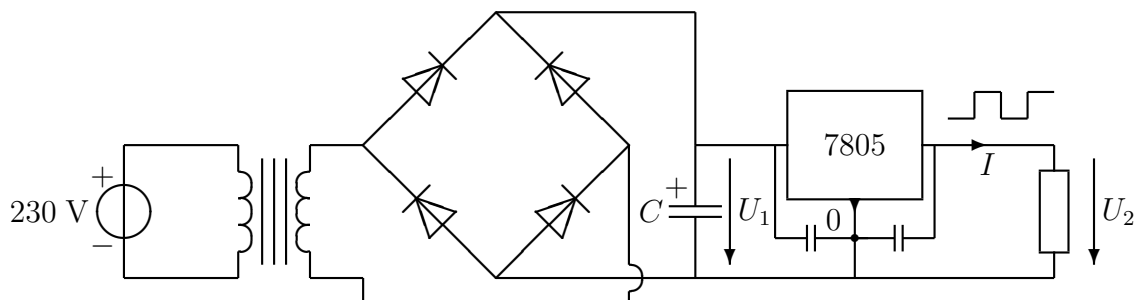
3. Kaksi jännitelähdettä syöttää piiriin tehoa. Laske vastuksen  $R_2$  ottama teho  $P_2$ .  $E_1 = 40\angle 0^\circ \text{ V}$ ,  $E_2 = 80\angle 90^\circ \text{ V}$ .  $R_1 = 20 \Omega$ ,  $R_2 = 20 \Omega$ ,  $L = 0,5 \text{ H}$ ,  $\omega = 20 \text{ rad/s}$ .



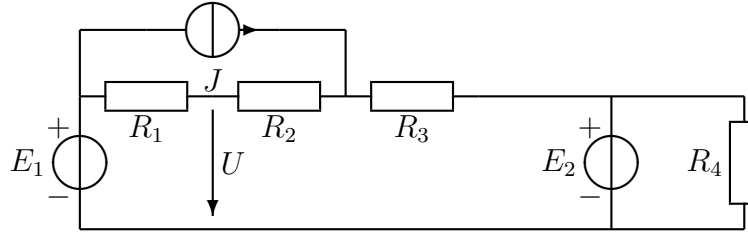
4. Erään diodin virta on  $I_D = 0,59 \text{ mA}$ , kun  $U_D = 0,7 \text{ V}$ . Mihin arvoon virta pienenee, jos diodin jännite pienenee  $10 \text{ mV}$  ( $u_d = -10 \text{ mV}$ )? Kerroin  $k = \frac{1}{nU_T} = 20 \frac{1}{\text{V}}$ .

$$i_D(U_D + u_d) \approx I_{se} \frac{U_D + u_d}{nU_T} \approx I_{se} \frac{U_D}{nU_T} \underbrace{\left[ 1 + ku_d + \frac{(ku_d)^2}{2!} + \frac{(ku_d)^3}{3!} + \dots \right]}_{e^{\frac{u_d}{nU_T}}}$$

5. Regulaattoria kuormitetaan pulssimaisella virralla  $I$ , jonka arvo on joka toisella puolijaksolla  $0,5 \text{ A}$  ja joka toisella  $3,5 \text{ A}$ . Jännite  $U_1 \approx 12 \text{ V}$  ja  $U_2 = 5 \text{ V}$ . Lämpöresistanssit: regulaattori  $\theta_{JC} = 3^\circ\text{C/W}$ , ripa  $\theta_{SA} = 4^\circ\text{C/W}$  ja rajapinta  $\theta_{CS} = 0,5^\circ\text{C/W}$ . Laske regulaattorin ytimen keskimääräinen lämpötila  $T_J$  ympäristön lämpötilassa  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .



1. Laske jännite  $U$ .  $R_1 = 3 \Omega$ ,  $R_2 = 2 \Omega$ ,  $R_3 = 4 \Omega$ ,  $R_4 = 2 \Omega$ ,  $J = 3 \text{ A}$ ,  $E_1 = 6 \text{ V}$ ,  $E_2 = 12 \text{ V}$ .



$$-E_1 + R_1 I + U = 0 \Rightarrow I = \frac{E_1 - U}{R_1} \quad (1)$$

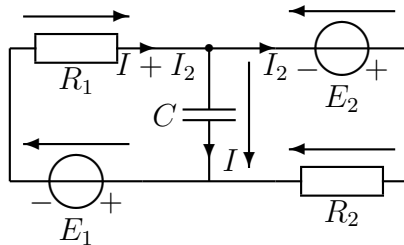
$$-U + R_2 I + R_3(I + J) + E_2 = 0 \Rightarrow -U + (R_2 + R_3)I + R_3 J + E_2 = 0 \quad (2)$$

$$-U + (R_2 + R_3) \frac{E_1 - U}{R_1} + R_3 J + E_2 = 0 \quad (3)$$

$$-U + (R_2 + R_3) \frac{-U}{R_1} + (R_2 + R_3) \frac{E_1}{R_1} + R_3 J + E_2 = 0 \quad (4)$$

$$U = \frac{\frac{R_2 + R_3}{R_1} E_1 + R_3 J + E_2}{1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1}} = 12 \text{ V} \quad (5)$$

2. Laske virta  $I$ .  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 2 \Omega$ ,  $C = 0,05 \text{ F}$ ,  $\omega = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ,  $E_1 = 3 \angle 0^\circ \text{ V}$ ,  $E_2 = 4 \text{ j V}$ .



$$+E_1 + R_1(I + I_2) + \frac{1}{j\omega C} I = 0 \quad (6)$$

$$-\frac{1}{j\omega C} I - E_2 + R_2 I_2 = 0 \Rightarrow I_2 = \frac{E_2 + \frac{1}{j\omega C} I}{R_2} \quad (7)$$

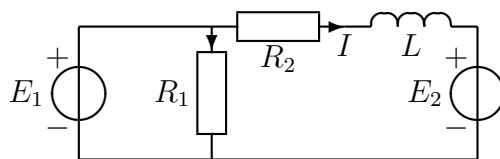
$$E_1 + \left( R_1 + \frac{1}{j\omega C} \right) I + R_1 \frac{E_2 + \frac{1}{j\omega C} I}{R_2} = 0 \quad (8)$$

$$I = \frac{-E_1 - \frac{R_1}{R_2} E_2}{R_1 + \frac{1}{j\omega C} + \frac{R_1}{R_2} \frac{1}{j\omega C}} = -j\omega C \frac{E_1 + \frac{R_1}{R_2} E_2}{j\omega C R_1 + 1 + \frac{R_1}{R_2}} \quad (9)$$

$$= -j0,5 \frac{3 + 4j}{j + 1 + 1} = \frac{4 - 3j}{4 + 2j} = \frac{\sqrt{25} \angle -36,9^\circ}{\sqrt{20} \angle 26,6^\circ} = 1,12 \angle -63,4^\circ \text{ A} \quad (10)$$

$$(I = 0,5 - j) \quad (11)$$

3. Kaksi jännitelähdettä syöttää piiriin tehoa. Laske vastuksen  $R_2$  ottama teho  $P_2$ .  $E_1 = 40 \angle 0^\circ \text{ V}$ ,  $E_2 = 80 \angle 90^\circ \text{ V}$ .  $R_1 = 20 \Omega$ ,  $R_2 = 20 \Omega$ ,  $L = 0,5 \text{ H}$ ,  $\omega = 20 \text{ rad/s}$ .



$$-E_1 + R_2 I + j\omega L I + E_2 = 0 \Rightarrow I = \frac{E_1 - E_2}{R_2 + j\omega L} = \frac{40 - 80j}{20 + j10} \quad (12)$$

$$\left( = \frac{4 - 8j}{2 + j1} = \frac{(4 - 8j)(2 - j1)}{2^2 + 1^2} = 0 - 4j \right) \quad (13)$$

$$S_{R_2} = U_{R_2} I^* = R_2 I I^* = R_2 |I|^2 = 20 \frac{40^2 + 80^2}{20^2 + 10^2} = 320 \text{ W} \quad (14)$$

4. Erään diodin virta on  $I_D = 0,59 \text{ mA}$ , kun  $U_D = 0,7 \text{ V}$ . Mihin arvoon virta pienenee, jos diodin jännite pienenee  $10 \text{ mV}$  ( $u_d = -10 \text{ mV}$ )? Kerroin  $k = \frac{1}{nU_T} = 20 \frac{1}{\text{V}}$ .

$$i_D(U_D + u_d) \approx I_S e^{\frac{U_D + u_d}{nU_T}} \approx I_S e^{\frac{U_D}{nU_T}} \underbrace{\left[ 1 + ku_d + \frac{(ku_d)^2}{2!} + \frac{(ku_d)^3}{3!} + \dots \right]}_{e^{\frac{u_d}{nU_T}}}$$

Selvästi virrallisen diodin yhtälöstä voidaan jättää termi  $-1$  huoletta pois. Diodin virta on funktio jännitteestä ( $U_{D2} = 0,69 \text{ V}$ ):

$$I_D = I_D(U_D) \approx I_S e^{\frac{U_D}{nU_T}} \Rightarrow I_S = 490,6 \text{ pA} \quad (15)$$

$$I_{D2} \approx I_S e^{\frac{U_{D2}}{nU_T}} = I_S e^{20U_{D2}} = 483 \text{ } \mu\text{A} \quad (16)$$

Tämän helpon tehtävän tarkoitus on esitellä Taylorin sarjaan perustuvaa 'neliölakia':

$$i_D(U_D + u_d) \approx I_S e^{\frac{U_D + u_d}{nU_T}} \approx \underbrace{I_S e^{\frac{U_D}{nU_T}}}_{I_D} \underbrace{\left[ 1 + ku_d + \frac{(ku_d)^2}{2!} + \frac{(ku_d)^3}{3!} + \dots \right]}_{e^{\frac{u_d}{nU_T}}} \quad (17)$$

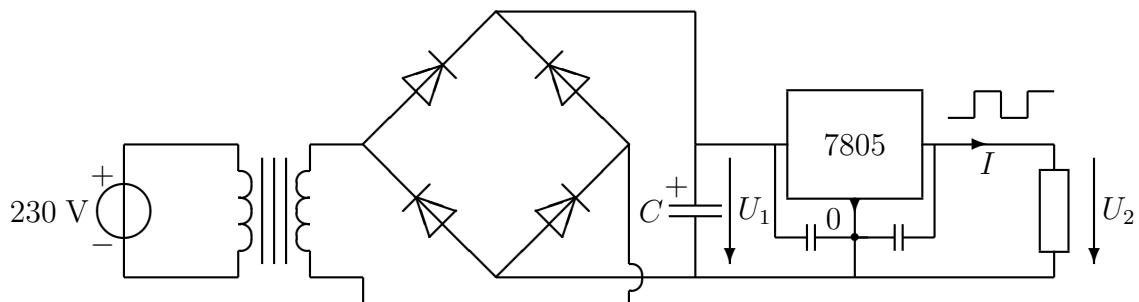
missä

$$k = \frac{1}{nU_T} = 20 \quad u_d = -0,01 \text{ V} \quad u_d^3 \approx 0 \quad (18)$$

Elektroniikkainsinöörit rakastavat Brook Taylorin sarjaa — usein tietämättään!

$$i_D(U_D + u_d) \approx I_D \left[ 1 + 20u_d + \frac{(20u_d)^2}{2!} \right] = 483,8 \text{ } \mu\text{A} \quad (19)$$

5. Regulaattoria kuormitetaan pulssimaisella virralla  $I$ , jonka arvo on joka toisella puolijaksolla  $0,5 \text{ A}$  ja joka toisella  $3,5 \text{ A}$ . Jännite  $U_1 \approx 12 \text{ V}$  ja  $U_2 = 5 \text{ V}$ . Lämpöresistanssit: regulaattori  $\theta_{JC} = 3^\circ\text{C/W}$ , ripa  $\theta_{SA} = 4^\circ\text{C/W}$  ja rajapinta  $\theta_{CS} = 0,5^\circ\text{C/W}$ . Laske regulaattorin ytimen keskimääräinen lämpötila  $T_J$  ympäristön lämpötilassa  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .



$$I_{AVE} = \frac{0,5 + 3,5}{2} = 2 \text{ A} \quad (20)$$

$$P_{AVE} = (U_1 - U_2) I_{AVE} = 14 \text{ W} \quad (21)$$

$$T_J = T_A + (\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA}) P_{AVE} = 130^\circ\text{C} \quad (22)$$