



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Sähkötekniikka ja elektroniikka

Kimmo Silvonen (X)

21.–23.11.2022

Laskuharjoitus 10. Teholähteet eli poverit

Sähkövirran määritelmä ja varauksen säilymlaki:

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (1)$$

$$\Delta Q = C \Delta u = I \Delta t \quad (2)$$

Faradayn induktiolaki ja kämmivuon säilymlaki:

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (3)$$

$$\Delta \psi = L \Delta i = U \Delta t \quad (4)$$

Virtapiirianalogia, vrt. $U_{AB} = V_A - V_B = R_{AB}I$:

$$\Delta T = T_A - T_B = \theta_{AB}P = R_{TH}P \quad (5)$$

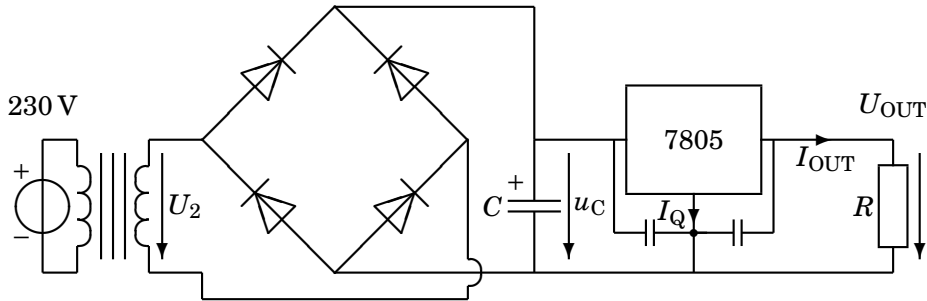
"Kako on kuin Pikachu, täynnä sähköä ja aina valmis toimimaan!"

Lähde: opiskelijapalaute

101. Kuinka suurta on likimain jännitteen u_C aaltoilu

Kuinka suuri on regulaattori-IC:n tehohäviö?

Muuntajan toisiojännite on $U_2 = 8\text{ V}$. Laske myös kondensaattorin maksimijännite \hat{u}_C , jos yhden diodin jännitehäviöksi oletetaan $U_D = 0,7\text{ V}$. $R = 10\ \Omega$ ja $I_Q = 0$? $C = 4700\ \mu\text{F}$. $U_{\text{OUT}} = +5\text{ V}$ ($\leftarrow 7805$).



Pilkotaan piiri lohkoihin,

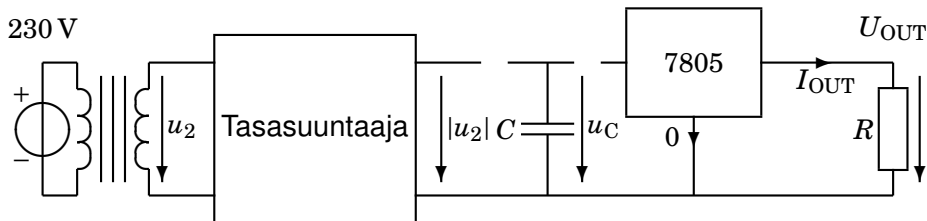
joiden toiminta yksinään tunnetaan

Pikkukonkat eivät ole analyysin kannalta oleellisia.

Tasasuuntaaja muodostaa jännitteen u_2 itseisarvon.

Kondensaattori varautuu jännitteen huippuarvoon, mutta varaus purkautuu kuormavirran I_{OUT} takia.

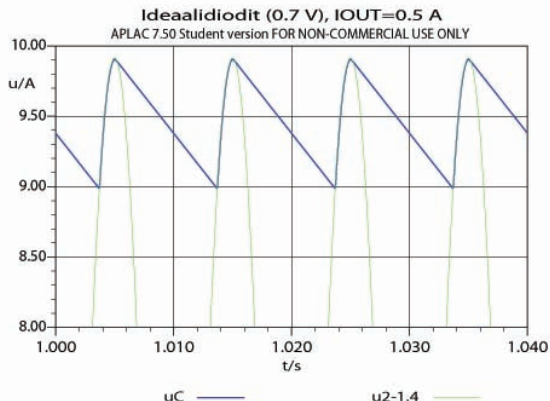
Purkauskäyrä on suora; regulaattori ja R pitävät kuormavirran vakiona.



Aaltomuodot; vihreä käyrä: $|u_2| - 1,4 \text{ V}$

Ideaalidiodi ja 0,7 voltin jännitehäviö

Kondensaattorijännitteen u_C aaltomuoto on yleisesti tunnettu: nouseva sini ja laskeva suora (\approx sahanterä).



Aaltoilu ja regulaattorin tehohäviö

ja kondensaattorijännitteen huippuarvo – diodien jännitehäviöt (2 kpl)

$$\hat{u}_C = \sqrt{2} \cdot U_2 - 2U_D = 9,9 \text{ V} \quad (6)$$

$$I_{\text{OUT}} = \frac{U_{\text{OUT}}}{R} = 0,5 \text{ A} \quad (7)$$

Kondensaattorin rippelijännite (jännitteen heilahtelu maksimin ja minimin välillä):

$$\Delta u_C = \frac{I_{\text{OUT}} \Delta t}{C} \approx \frac{I_{\text{OUT}} \frac{T}{2}}{C} = \frac{I_{\text{OUT}}}{2fC} = 1,06 \text{ V} \quad (8)$$

Lasketaan teho kondensaattorin keskimääräisen jännitteen U_{CAVE} avulla (huipusta vähennetään puolet heilahtelusta):

$$U_{\text{CAVE}} \approx \hat{u}_C - \frac{\Delta u_C}{2} = 9,4 \text{ V} \quad (9)$$

$$P_{\text{REG}} \approx (U_{\text{CAVE}} - U_{\text{OUT}}) I_{\text{OUT}} = 2,2 \text{ W} \quad (10)$$

102. Hakkuriteholähteet

Kolme perusrakennetta: step-down, step-up, buck-boost

Yläkuvat esittävät yksinkertaistettuja hakkuriteholähteitä, kun kytkin on kiinni. Alakuvissa kytkin on auki.

Laske lähtöjännitteet $U_{OUT1} \dots U_{OUT3}$, kun $U_{IN} = 12 \text{ V}$.

Oleta, että kytkin on kiinni puoli jaksoa kerrallaan ($t_{ON} = t_{OFF} = \frac{T}{2}$).

Diodin voit olettaa ideaaliseksi ja lähtöjännitteen vakioksi, jolloin kelan ($L = 0,2 \text{ H}$) jännite on vakio yhden puolijakson ($\Delta t = T/2$) aikana.

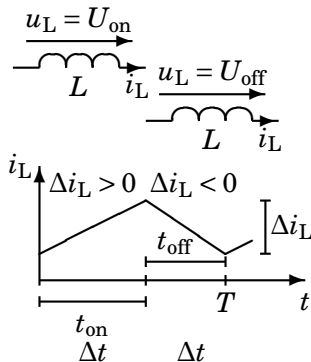
$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = L \frac{\Delta i_L}{\Delta t} \quad (11)$$

Huom! kytkentäkaavioissa vain ne osat ovat mukana, jotka ovat toiminnan kannalta merkittäviä. Kytkintä ohjataan sähköisesti lähtöjännitteen U_{OUT} funktiona. Se toimii erittäin suurella taajuudella.

Nousukausi ja laskukausi

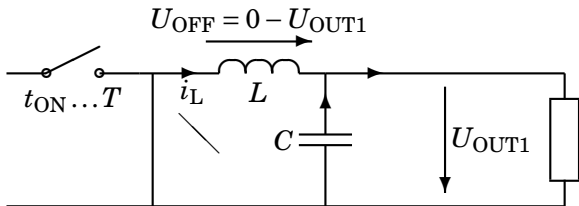
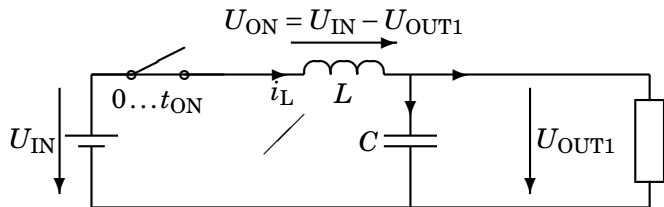
Kelavirran heilahtelu eli rippeli ja käämivuon säilyminen $\Delta\Psi = L\Delta i_L = u_L\Delta t$

Nousukaudella kytkin on kiinni, laskukaudella auki. Ideaalinen kytkin: johdin tai katkos (ks. seur. sivut).



Step-down. Yllä nousukausi, kela latautuu

Alla laskukausi (kytkin on siis auki), kelan energia purkautuu



Jännite pienenee häviöttömästi

Ei tehohäviötä, tulovirta on pienempi kuin lähtövirta

$$L\Delta i_L = U_{\text{ON}}t_{\text{ON}} \quad (12)$$

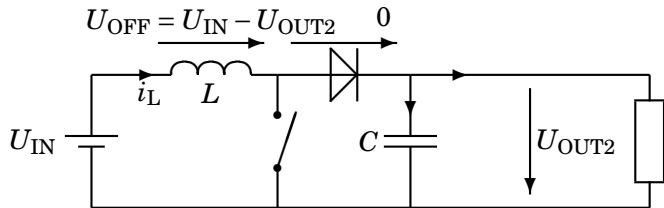
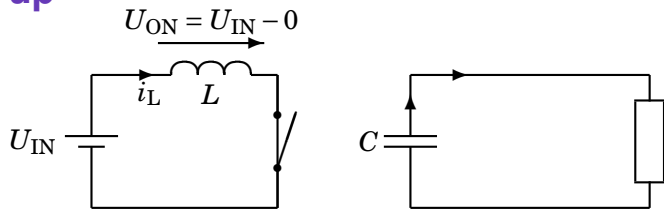
$$L(-\Delta i_L) = U_{\text{OFF}}t_{\text{OFF}} \quad (13)$$

$$\underbrace{U_{\text{IN}} - U_{\text{OUT1}}}_{U_{\text{ON}}} t_{\text{ON}} = - \underbrace{0 - U_{\text{OUT1}}}_{U_{\text{OFF}}} t_{\text{OFF}} \quad (14)$$

$$t_{\text{ON}} = t_{\text{OFF}} = \frac{T}{2} \quad (15)$$

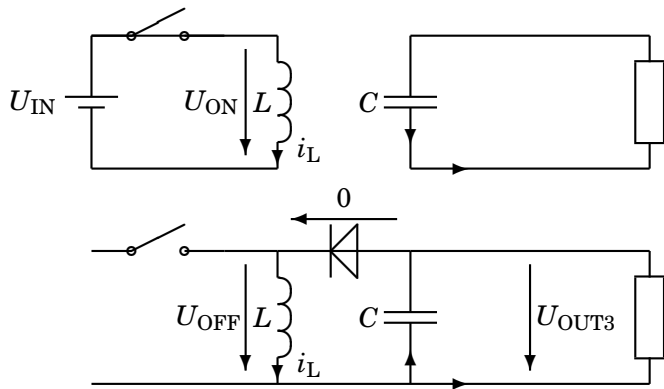
$$U_{\text{OUT1}} = \frac{1}{2} U_{\text{IN}} \quad (16)$$

Step-up



$$\underbrace{U_{IN} - 0}_{U_{ON}} t_{ON} = - \underbrace{U_{IN} - U_{OUT2}}_{U_{OFF}} t_{OFF} \Rightarrow U_{OUT2} = 2U_{IN}$$

Buck-boost (step-down–step-up)



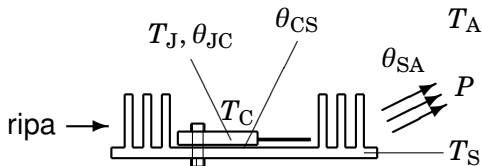
$$\underbrace{U_{IN}}_{U_{ON}} t_{ON} = - \underbrace{U_{OUT3}-0}_{U_{OFF}} t_{OFF} \Rightarrow U_{OUT3} = -U_{IN}$$

103. Kuumeneeko regulaattori liikaa?

Virtapiirianalogia P, θ, T vs. J, R, U . Junction - Case - Sink - Ambient

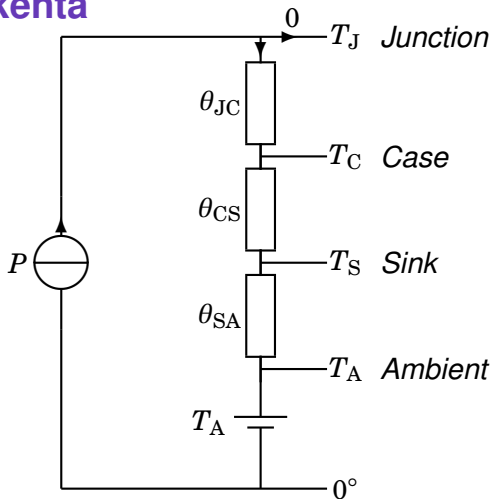
IC-regulaattorin jännitehäviö on $U_{\text{REG}} = 5 \text{ V}$ ja läpikulkeva virta 2 A. Regulaattori on TO-220-kotelossa, jonka lämpöresistanssi on noin $\theta_{\text{JC}} \approx 4^\circ/\text{W}$. Se kiinnitetään jäähdytysripaan, jolle valmistaja ilmoittaa $\theta_{\text{SA}} \approx 4,6^\circ/\text{W}$. Arvioi mikropiirin ja jäähdytysrivan väliseksi lämpöresistanssiksi $\theta_{\text{CS}} \approx 0,4^\circ/\text{W}$! Regulaattorin suurin sallittu liitoslämpötila on $T_{\text{J}} = 125^\circ$ ja ympäristön lämpötila $T_{\text{A}} = 25^\circ$.

$$P_{\text{REG}} = U_{\text{REG}} I_{\text{REG}} = 10 \text{ W} \quad (17)$$



Yleispätevä sijaiskytkentä

$$T_J - T_C = \theta_{JC} \cdot P \text{ (vrt. } \Delta V = U = RI)$$



$$T_J = (\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA})P_{\text{REG}} + T_A = 115^\circ\text{C}$$