



Aalto-yliopisto  
Sähkötekniikan  
korkeakoulu

# Sähkötekniikka ja elektroniikka

Kimmo Silvonen (X)

25.–30.11.2020

## Laskuharjoitus 10. Teholähteet eli poverit

Sähkövirran määritelmä ja varauksen säilymislaki:

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

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

Faradayn induktiolaki ja käämivuon säilymislaki:

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

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

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

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

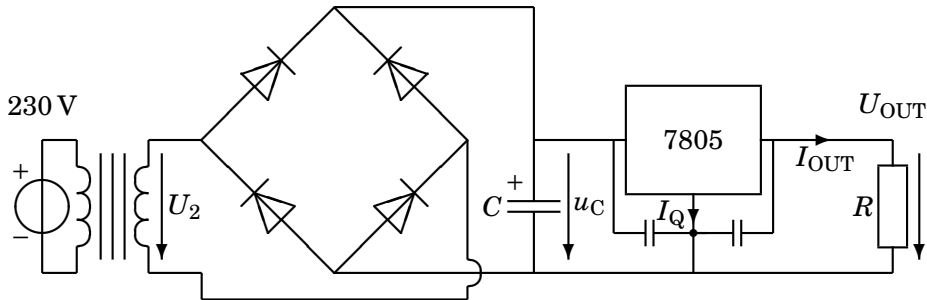
*"Kako on kuin Pikachu, täynnä sähköä ja aina valmis toimimaan!"*

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,

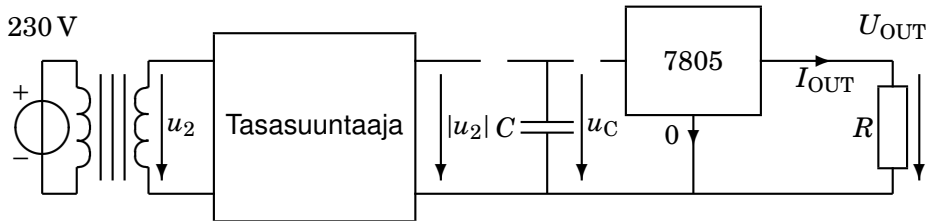
joiden toiminta yksinään tunnetaan

Pikkukonkat eivät ole analyysin kannalta oleellisia.

Tasasuuntaaja muodostaa jännitteen  $u_2$  itseisarvon.

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

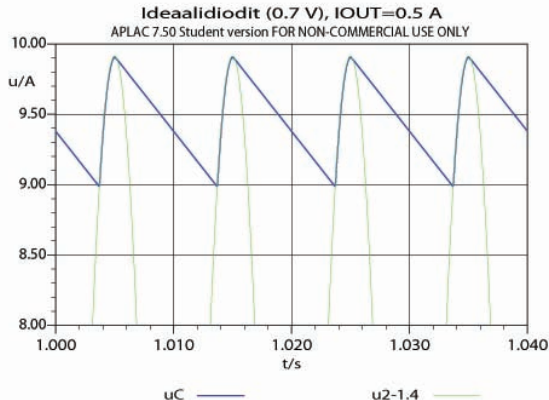
Purkauskäyrä on suora; regulaattori ja  $R$  pitävät kuormavirran vakiona.



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

## Ideaaliodiodi 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  $U_{\text{CAVE}}$  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.

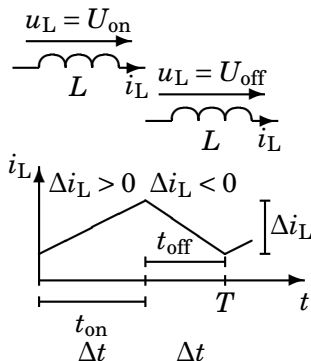
$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = L \frac{\Delta i_L}{\Delta t} \quad (11)$$

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  $\Delta\Psi = L\Delta i_L = u_L\Delta t$

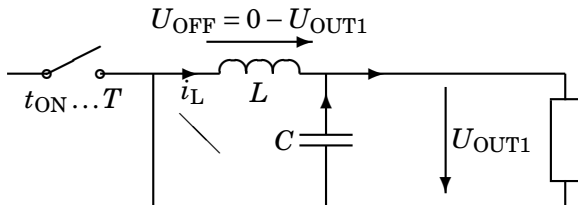
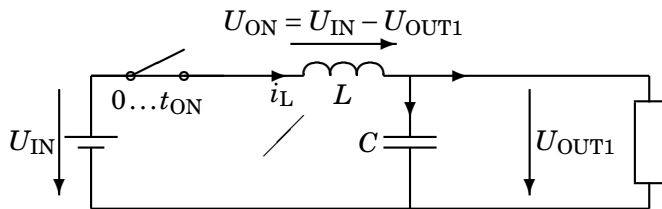
Nousukaudella kytkin on kiinni, laskukaudella auki. Ideaalinen kytkin: johdin tai katkos (ks. seur. sivut).





# 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

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

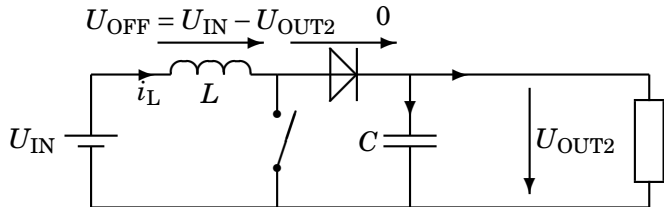
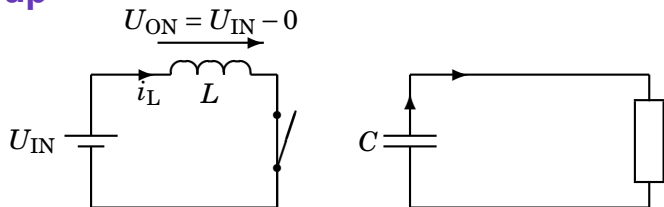
$$L(-\Delta i_L) = U_{OFF}t_{OFF} \quad (13)$$

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

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

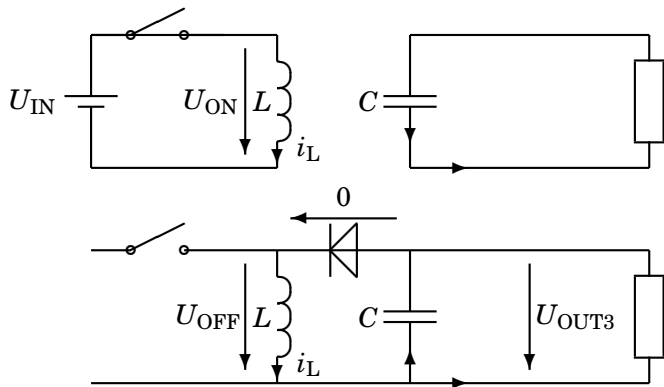
$$U_{OUT1} = \frac{1}{2} U_{IN} \quad (16)$$

# 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)



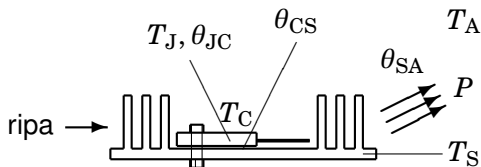
$$\underbrace{U_{IN}}_{U_{ON}} t_{ON} = - \underbrace{U_{OUT3}-0}_{U_{OFF}} t_{OFF} \Rightarrow U_{OUT3} = -U_{IN}$$

# 103. Kuumeneeko regulaattori liikaa?

Virtapiirianalogia  $P, \theta, T$  vs.  $J, R, U$ . Junction - Case - Sink - Ambient

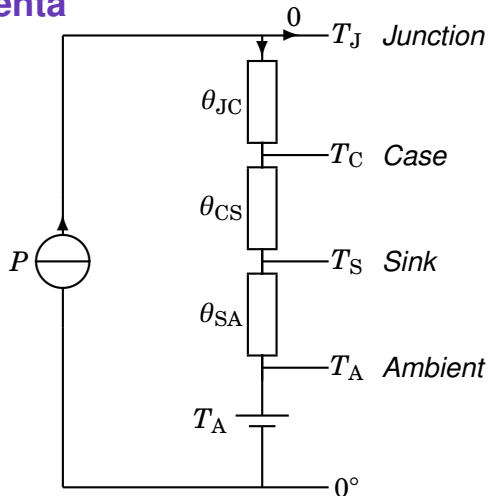
IC-regulaattorin jännitehäviö on  $U_{\text{REG}} = 5 \text{ V}$  ja läpikulkeva virta  $2 \text{ A}$ . Regulaattori on TO-220-kotelossa, jonka lämpöresistanssi on noin  $\theta_{\text{JC}} \approx 4^\circ/\text{W}$ . Se kiinnitetään jäähdytysripaan, jolle valmistaja ilmoittaa  $\theta_{\text{SA}} \approx 4,6^\circ/\text{W}$ . Arvioi mikropiirin ja jäähdytysrivän 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

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



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