



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Sähkötekniikka ja elektroniikka

Laskuharjoitus 10

Kimmo Silvonen (X)

1.12.2021

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

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

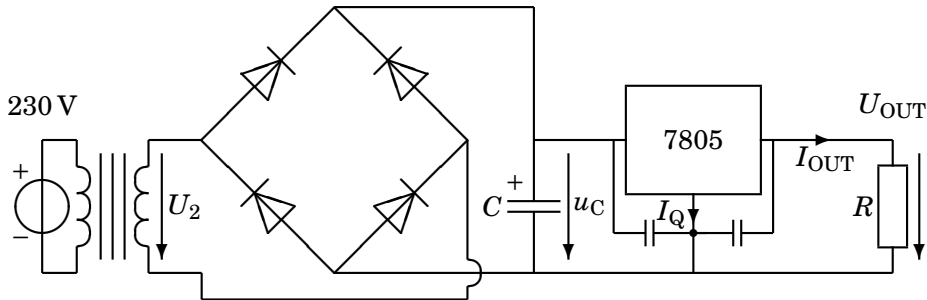
"Kako on kuin Pikachu, täynnä sähköä ja aina valmis toimimaan!"

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,

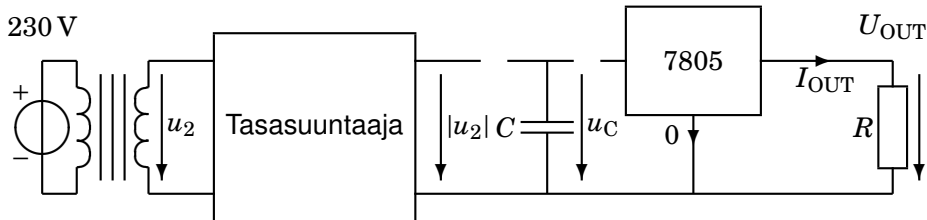
joiden toiminta yksinään tunnetaan

Pikkukonkat eivät ole analyysin kannalta oleellisia.

Tasasuuntaaja muodostaa jännitteen u_2 itseisarvon.

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

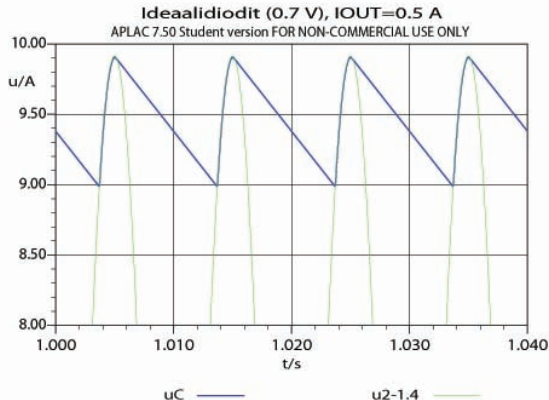
Purkauskäyrä on suora; regulaattori ja R pitävät kuormavirran vakiona.



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

Ideaaliodiodi ja 0,7 voltin jännitehäviö; pystyakseli tietysti voltteina!

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.

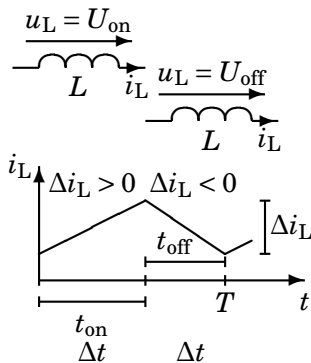
$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = L \frac{\Delta i_L}{\Delta t} \quad (11)$$

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

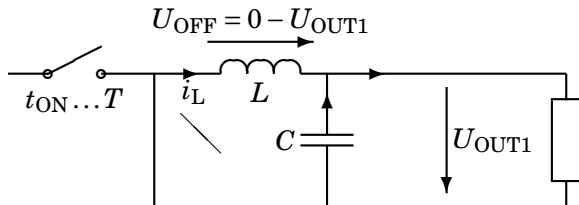
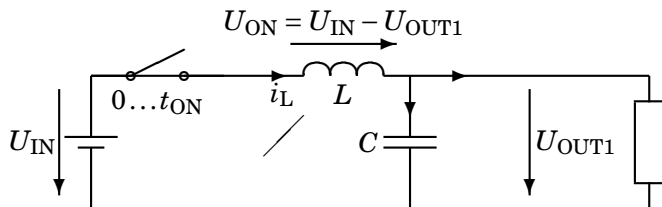
Kelavirran heilahtelu eli rippeli ja käämivuon säilyminen $\Delta\Psi = L\Delta i_L = u_L\Delta t$

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

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

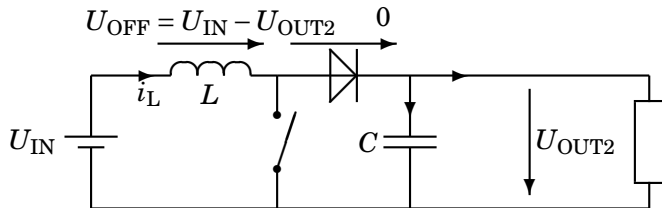
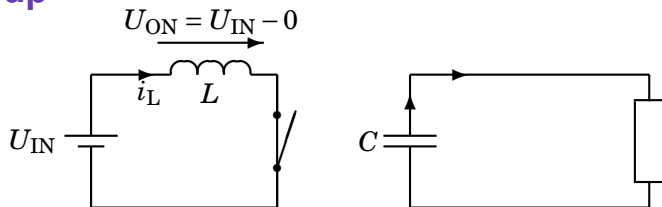
$$L(-\Delta i_L) = U_{OFF}t_{OFF} \quad (13)$$

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

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

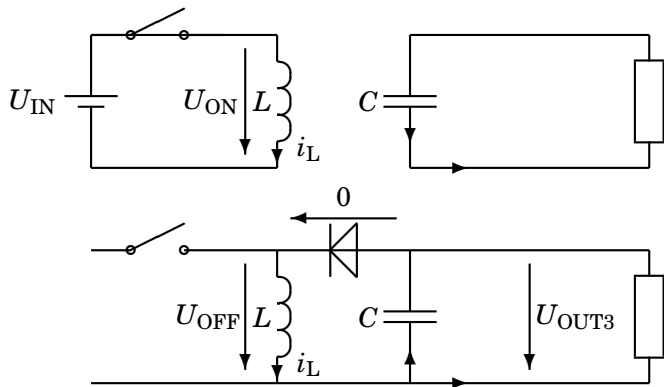
$$U_{OUT1} = \frac{1}{2} U_{IN} \quad (16)$$

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)



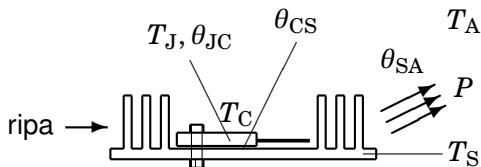
$$\underbrace{U_{IN}}_{U_{ON}} t_{ON} = - \underbrace{U_{OUT3}-0}_{U_{OFF}} t_{OFF} \Rightarrow U_{OUT3} = -U_{IN}$$

103. Kuumeneeko regulaattori liikaa?

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

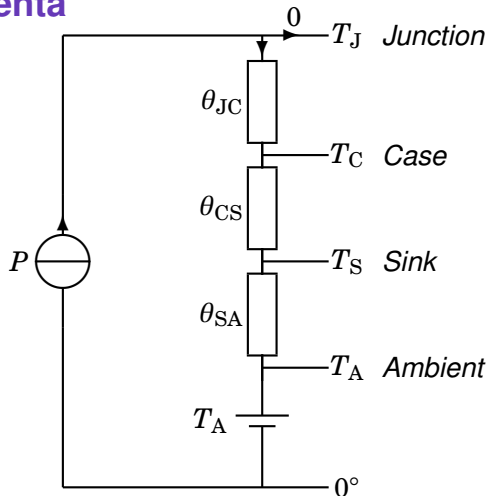
IC-regulaattorin jännitehäviö on $U_{\text{REG}} = 5 \text{ V}$ ja läpikulkeva virta 2 A . Regulaattori on TO-220-kotelossa, jonka lämpöresistanssi on noin $\theta_{\text{JC}} \approx 4^\circ/\text{W}$. Se kiinnitetään jäähdytysripaan, jolle valmistaja ilmoittaa $\theta_{\text{SA}} \approx 4,6^\circ/\text{W}$.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

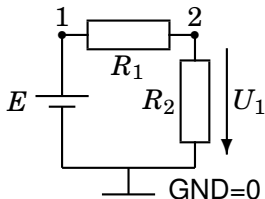
$$T_J - T_C = \theta_{JC} \cdot P \text{ (vrt. } \Delta V = U = RI)$$



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

Vinkkejä labroihin. Laboratoriotyö 1, netlist.

Syöttötiedosto ei ole case-sensiivinen



Volt E 1 0 DC=2

Res R1 1 2 10

Res R2 2 0 20

Analyze DC

Print Real Vdc(2)-Vdc(0) s "tekstiä" LF \$ LF = Line Feed

Laboratoriotyö 1, jatkoa

```
Volt E 1 0 TRAN=2*(t>0)
Ind L 1 2 1m
Cap C 2 3 1u
Res R 3 0 10
Sweep "otsikko"
+ LOOP 1001 TIME LIN 0 1m
Display Y "otsikko 2" Vtran(2)
EndSweep
```

```
Volt E 1 0 AC=2
Res R1 1 2 10
Cap C 2 0 1u
Analyze AC FREQ=1k $ aloittaa kommentin rivin lopussa
Print ma Vac(2) LF $ ma on kulmamuoto, alla summamuoto
$ tai Print RI Vac(2) LF
```


Laboratoriotyö 2

1. Vahvistus $A = -\frac{R_2}{R_1}$ ei riipu E :stä.

Nyt kuitenkin offset- jännite aiheuttaa virhettä.

$$A = \frac{-9}{1} \quad A = \frac{+11}{-1} \quad (18)$$

Keskiarvoksi tulee $A = -10$, joka vastaa vastussuhdetta.

2. Tämä tapahtuu välillä $E = 1 \dots 2$ V ja toisaalta ilmeisesti, kun $E = -1 \dots -2$ V (vrt. taulukko).
3. Operaatiovahvistin toimii matalilla taajuuksilla samalla tavalla kuin tasavirralla $u_{OUTpp} = |A| \cdot |E| = 10$ V.
4. Pienillä taajuuksilla C_1 pienentää vahvistusta: $|A|=11,36$ dB
Keskisuurilla taajuuksilla vahvistus on $|A|=19,91$ dB,
kondensaattorit eivät juuri vaikuta, koska C_1 on "riittävän suuri"
ja C_2 "riittävän pieni" (vrt. toiminta ilman kondensaattoreita).
Suurilla taajuuksilla C_1 päästää kaiken läpi, mutta C_2 pienentää vahvistusta: $|A|=13,06$ dB.

Laboratoriotyö 2, jatkoa

Unohdin luennolla ottaa kantaa puolen tehon rajataajuuksiin. Tällöin vahvistus on pudonnut 3 dB maksimiarvostaan. Etsitään siis taajuuudet, joilla $A = 16,9$ dB. Nämä voisi helposti laskea tarkasti tai määrittää simuloimalla, mutta tyydytään taulukosta saataviin likiarvoihin: ylempi rajataajuus on noin 16 kHz ja alempi osuu välille 125 ... 250 Hz. Näillä taajuuksilla $A = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot A_{MAX} \approx 7$. Tämä siis ilman desibelejä eli absoluuttiarvona.

Simuloimalla saadaan noin 156 Hz ja 16,2 kHz.

Laboratoriotyö 3. Wikipediasta RG58 ja RG59 referenssiksi.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{38 \text{ m}}{180 \text{ ns}} = 0,21 \text{ Gm/s} \quad v = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{0,3 \text{ Gm/s}}{\sqrt{2,06}} \quad (19)$$

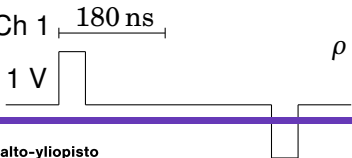
- ▶ 3.2. Oskilloskooppi on jännitemittari: $R = \infty$.

$$\tau = \frac{2R}{Z_C + R} = 2 \quad (20)$$

- ▶ 3.3. Avoin pääte: $R = \infty$.

$$\rho = \frac{R - Z_C}{R + Z_C} = 1 \quad (21)$$

- ▶ 3.4. Oikosulku $R = 0$.

Ch 1  180 ns

1 V

$$\rho = \frac{0 - Z_C}{0 + Z_C} = -1 \quad (22)$$

- ▶ Kohta 3.5

$$\rho = \frac{R_{\text{Pot}} - Z_C}{R_{\text{Pot}} + Z_C} = 0 \Rightarrow R_{\text{Pot}} = Z_C = 52 \Omega \quad (23)$$

- ▶ 3.6. Heijastus tapahtuu johtojen liitoskohdasta. Siihen ei vaikuta, mitä johdon toisessa päässä on kytkettynä, koska heijastukset ovat "rajapintailmiöitä".

$$\rho = \frac{Z_{C2} - Z_{C1}}{Z_{C2} + Z_{C1}} = 0,2 \Rightarrow Z_{C2} \approx 75 \Omega \quad (24)$$

Laboratoriotyö 4.

- ▶ 4.1. Mittarit mittaavat jännitteen ja virran tehollisarvoja sekä pätötehoa.
- ▶ 4.2. Hypotenuusa $S = 227 \cdot 0,45$.
- ▶ 4.3. Vaakakateetti P .
- ▶ 4.4. Pystykateetti Q , $\cos \varphi = \frac{P}{S}$.
Lukiossahan sanottin, että $P = UI \cos \varphi$.
- ▶ 4.5. Kirchhoffin lait eivät päde vaihtovirralla mittarilukemille, koska mittarit eivät näytä vaihe-eroja. U_{AC} ja U_{BC} ovat tavallaan vektoreita, jotka ovat suunnilleen kohtisuorassa toisiaan vastaan (kuristimen resistanssi ja resistiivisen lampun kapasitanssi aiheuttavat pientä muutosta teoreettiseen 90 asteen vaihe-eroon).

Myöhästyneet labrapalautukset otetaan huomioon.