



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Sähkötekniikka ja elektroniikka

Kimmo Silvonen (X)

25.11.2020

Kokeet, harjoitustehtävät, palaute

- ▶ 2. välikoe ja tentti ti 8.12. klo 14.00-17 (sisältää palautusajan)
- ▶ Linkki tulee MyCon Tehtävät-sivulle
- ▶ Valitset kokeen aikana, suoritatko 2. vk:n, tentin vai molemmat
- ▶ Ei välikoekohtaista minimipistemäärää
- ▶ Kokeisiin tulee yksi laskuharjoitustehtävä
- ▶ Vanhoja kokeita on ratkaisuihin MyCossa
- ▶ Palautejärjestelmä aukeaa; 2 lisäpistettä vastaajille!

Teholähteet eli poverit *Power Supply*

Luento 25.11.2020

- ▶ Jaottelu, konvertterit
- ▶ Sovelluksia ja taustaa
- ▶ Energiankeräimet *Energy Harvesting*
- ▶ Tasasuuntaus ja suodatus
- ▶ Lineaarinen regulaattori
- ▶ Hakkuriteholähde,
- ▶ *SMPS, Switched-Mode Power Supply*
- ▶ Lämpöresistanssi ja jäähdytys
- ▶ Lisätietoja: Elektroniikka ja sähkötekniikka tai vähän laajemmin:
Elektroniikka ja puolijohdekomponentit

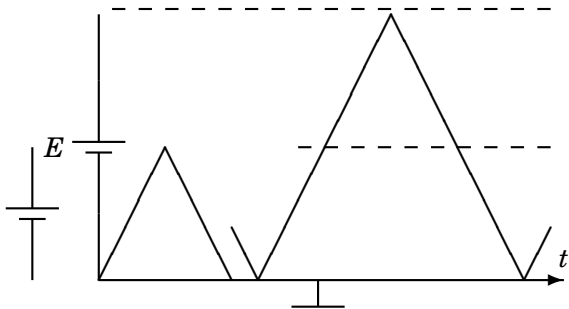
Power Converter Classification

Jaottelu

- ▶ AC-to-DC ('verkkolaite', tasasuuntaaja)
 - ▶ Lineaarinen: muuntaja, tasasuuntaus, suodatus, regulointi
 - ▶ Hakkuri: tasasuuntaus, suodatus, kytkin (regulointi), muuntaja, suodatus
- ▶ DC-to-DC ($U_{IN} \neq U_{OUT}$)
 - ▶ Regulaattori: $+ \rightarrow +$, $U_{IN} > U_{OUT}$
 - ▶ Hakkuri, edut: η , $+ \rightarrow \pm$, $|U_{IN}| \geq |U_{OUT}|$
- ▶ AC-to-AC ($f_{in} \neq f_{out}$, taajuusmuuttaja)
 - ▶ Esim. AC-moottorin nopeuden säätö
- ▶ DC-to-AC (invertteri = vaihtosuuntaaja)
 - ▶ myös polttomoottorigeneraattoreissa eli agregateissa

Käyttöjännite rajoittaa signaalia

Onko tarvetta suurentaa jännitettä, jotta signaalin amplitudi voi olla suurempi?



Superkondensaattori

Monikerrosrakenne, jännitekestoisuus max. 5 V

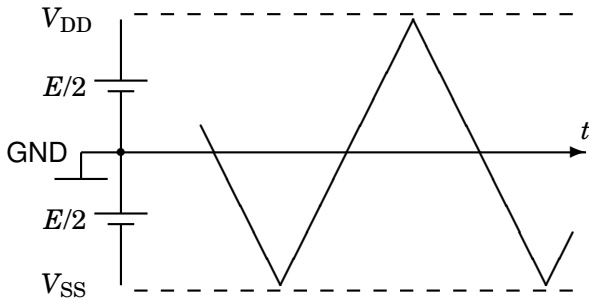
Superkondensaattori korvaa akkua, esim. 5000 F (2,5 V). $C = \epsilon A/l$. Elektrodit tehdään erittäin huokoisesta aktiivihiilestä, jonka pinta-ala on jopa 100 000 kertaa suurempi kuin sileän levyn pinta-ala, 3000 m²/gramma. Materiaali saadaan kookospähkinän kuoresta. Lähde: en.wikipedia.org

	Superkondensaattori	Li-Ion-akku
kapasitanssi C	0,1... 12 000 F	
energiatiheys	1,5... 15 Wh/kg	100... 265
tehotiheys	2... 14 W/g	0,3... 1,5
elinikä	5... 10 vuotta	3... 5

Kaksipuolinen käyttöjännite

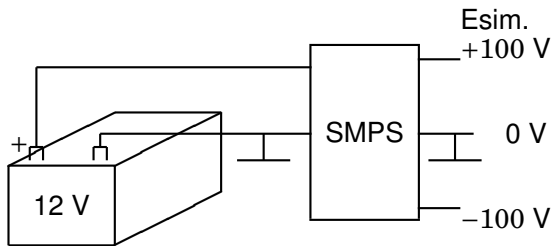
Onko tarvetta muodostaa negatiivinen käyttöjännite?

Signaali vaihtelee nollan molemmin puolin.



Labrat ± 15 V, tietokoneen emolevy ± 12 V, ym. Monissa "povereissa" oleva keskimäinen "hämäys-GND-liitin" ei ole jännitteellinen!

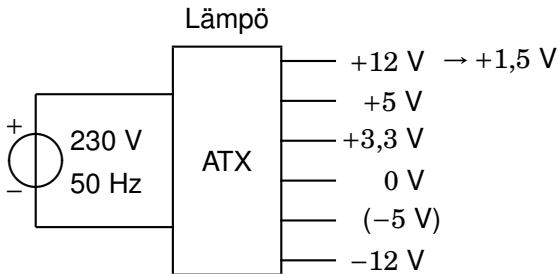
Hakuriteholähde esim. autossa



Tietokoneen teholähde eli poveri, 5 eri tasajännitettä

Lisäksi tasajännitettä pitää pienentää energiatehokkaasti (12 V → 1,5 V)

Puhekielen virtalähde tai teholähde on piiriteorian jännitelähde!



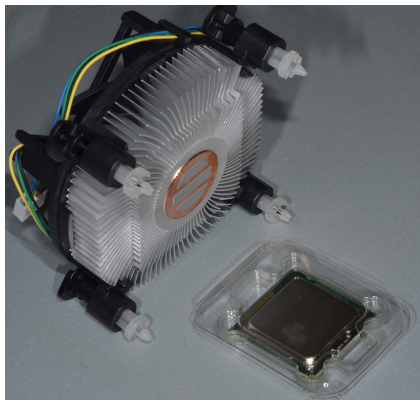
USB 2 -liitäntä (out): 5 V, 500 mA

USB 3: 5 V \geq 900 mA

USB C: 5 V \geq 3 A, 20 V \geq 3 A.

1155-jalkainen lämmitin *a millipede as a heater*

Cooler and a microprocessor (in scale)



Tuuletin ja kuumeneva prosessori i5-2500K. Välissä hyvin lämpöä johtavaa ainetta.

37,5 x 37,5 mm²
12 V → alle 1,52 V
112 A (MAX)
95 W (MAX)
72,6° (MAX)

Energian 'kerääminen'

EH, Energy Harvesting (ks. esim. Wikipedia)

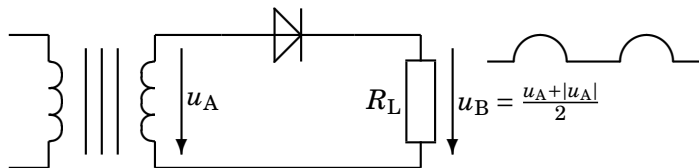
Pienitehoisille laitteille ei tarvita ydin- tai vesivoimaa eikä edes tuuli- tai aurinkoenergiaa. Pienenergian lähteitä:

- ▶ lämpö(tilaerot) (pyrosähköinen ilmiö)
- ▶ virtaus (ilma, neste)
- ▶ liike ja värinä (rannekello, pietsosähköinen ilmiö)
- ▶ kemialliset prosessit (puu, verensokeri)
- ▶ valo, ääni
- ▶ sähkömagneettinen kohina

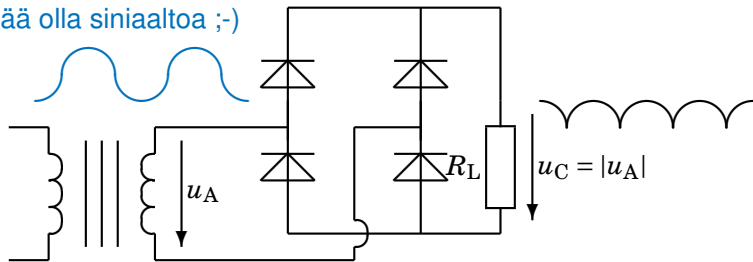
Esimerkiksi MEMS-sensorista superkondensaattoriin hiljalleen varattu energia voidaan hyödyntää hyvällä hyötysuhteella. Elektroniikkaa tarvitaan mm. jännitteensäätöön sekä varaus- että purkausvaiheessa (mikropiirejä).

Puoliaalto- ja kokoaaltotasasuuntaus

Tuottaa pulssimaista tasajännitettä *Rectifier*

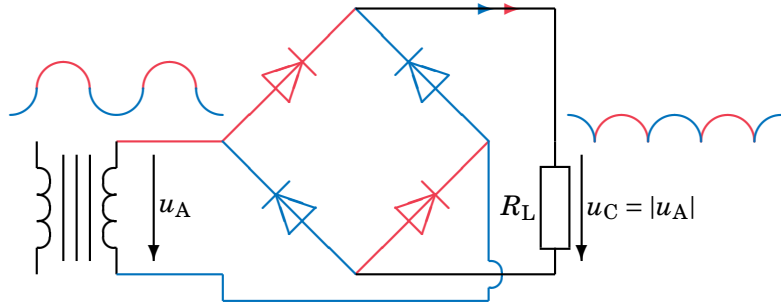


yrittää olla siniaaltoa ;-)



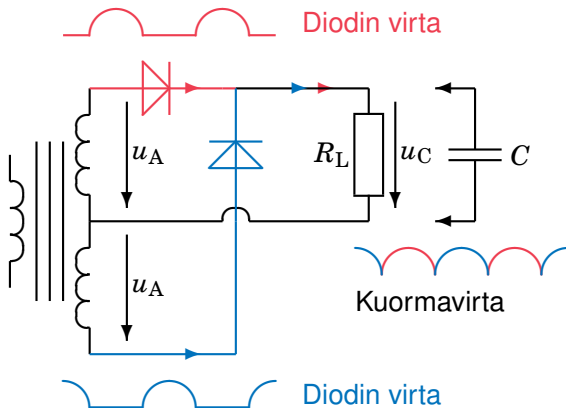
Siltatasasuuntaaja

Kuten ed. sivu. *Bridge Rectifier*



Kokoaaltotasasuuntaaja, vrt. ed. sivu!

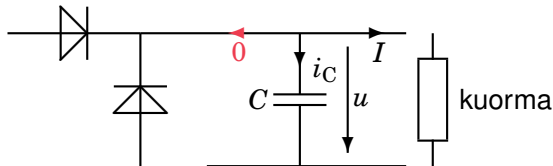
Suodatuskondensaattori C; ks. seur. sivu!



Konkan mitoitus

Aaltoilun sallittu korkeus Δu valitaan itse

Laskukauden aikana ($0 \dots \Delta t$) diodit ovat estosuunnassa

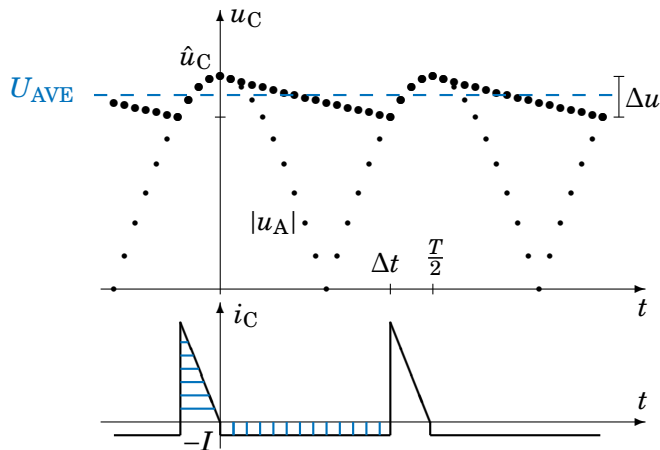


$$-I = i_C = C \frac{du}{dt} = C \frac{-\Delta u}{\Delta t} \Rightarrow \Delta u = \frac{I}{C} \Delta t \approx \frac{I}{C} \frac{T}{2}$$

$$\Delta t \approx \frac{T}{2}$$

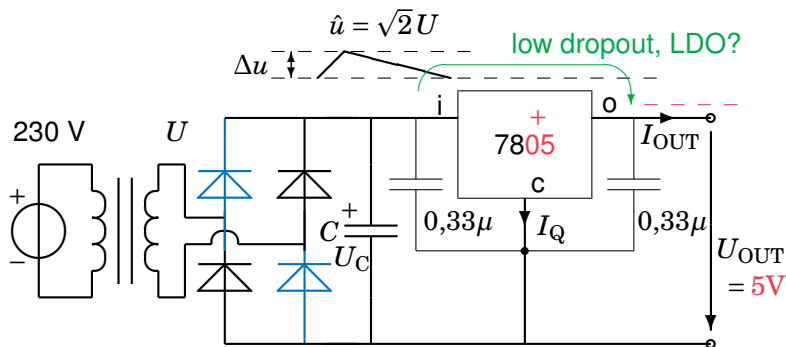
Suodatus ja rippeli *Filtering, Ripple*

Suodatettukin jännite aaltoilee (kuormavirta I , keskiarvo U_{AVE})



Lineaariset teholähteet, regulaattori

Jännitteen vakavointi, suositeltava sovelluskytkentä! $U = U_{EFF}$



$$I_Q \leq 5 \text{ mA}$$

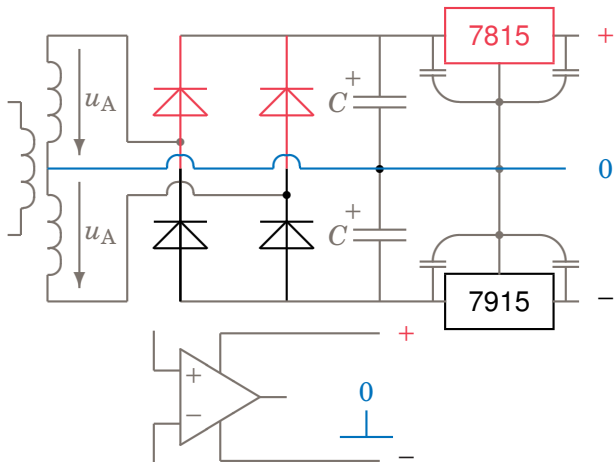
$$\eta \approx \frac{U_{OUT} I_{OUT}}{U_C I_{OUT}}$$

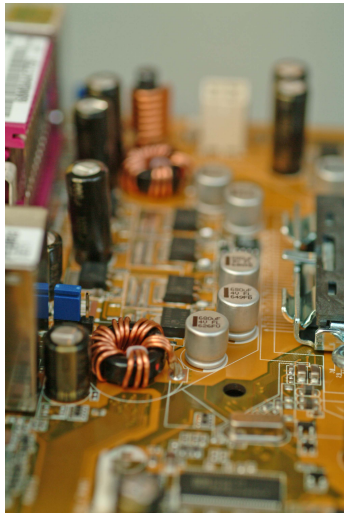
$$U_C \geq U_{OUT} + 2V$$

$$U_{CMIN} \approx \hat{u} - 2U_D - \Delta u$$

Positiivinen ja negatiivinen jännite

Muuntajassa kaksi toisiokäämiä





Hakuriteholähde
*Switched-Mode
Power Supply
(SMPS).*

1970-luvulla ajateltiin, että ke-
la käy elektroniikassa tarpeetto-
maksi (samaa on
toivottu opiskelijapalutuksessa).
Niin ei ole käynyt!

Pulssisuhde

Duty Ratio, Duty Cycle D

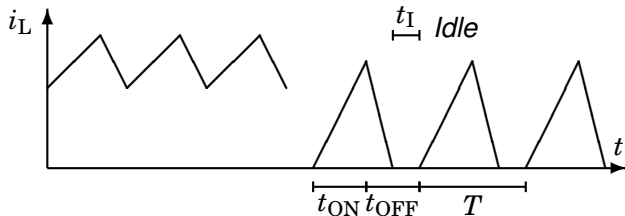
IC ohjaa kytkintä:

$$D = \frac{t_{\text{ON}}}{T}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_{\text{ON}} + t_{\text{OFF}}}$$

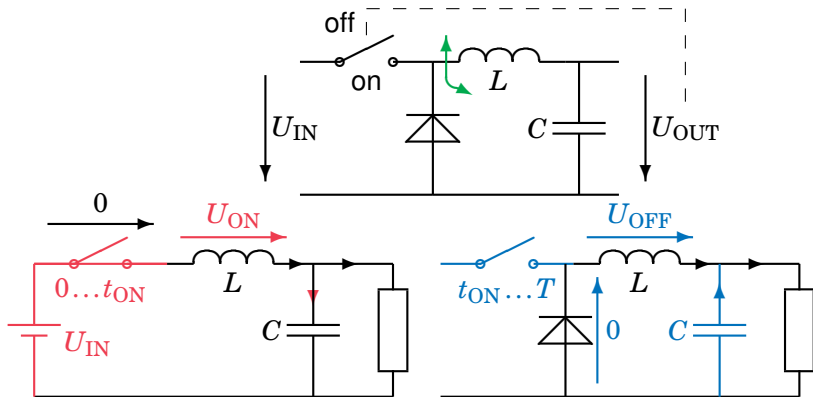
Jatkuva toiminta

Epäjatkuvuus toiminta



Step-Down (Buck), DC-to-DC Converter

Kytkin + diodi = vaihtokytkin; alakuvassa kaksi eri "puolijaksota" $t_{OFF} = T - t_{ON}$:



$$U_{IN} > U_{OUT} = \frac{t_{ON}}{T} \cdot U_{IN}$$

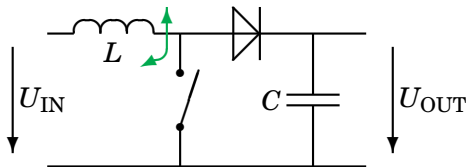
Boost (Step-Up)

Jännitettä suurentava rakenne

Kaikissa hakkuriteholähteissä mikropiiri mittaa lähtöjännitettä ja muuttaa tarvittaessa kytkimen pulssisuhdetta.

$$t_{\text{OFF}} = T - t_{\text{ON}}$$

$$U_{\text{IN}} < U_{\text{OUT}} = \frac{T}{t_{\text{OFF}}} \cdot U_{\text{IN}}$$

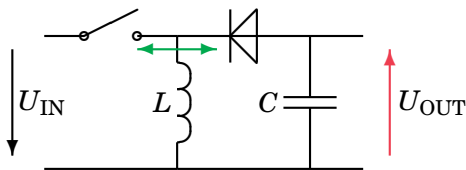


Buck-Boost (Step-Up-Step-Down)

Jännitteen kääntävä rakenne

Esim. autossa saadaan tarvittaessa akun positiivisen jännitteen lisäksi runkoon nähden nähden negatiivinen jännite.

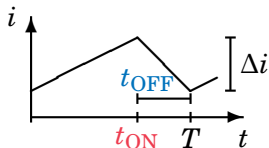
$$U_{\text{OUT}} = \frac{t_{\text{ON}}}{t_{\text{OFF}}} \cdot U_{\text{IN}}$$



Virran ja jännitteen aaltoilun korkeus

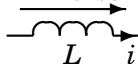
virt. laskuharjoitustehtävä 102

Kela: kämmivuo säilyy: $\Delta\psi = U\Delta t = L\Delta i$



$$\Delta t = t_{\text{ON/OFF}}$$

$$U = U_{\text{ON/OFF}}$$



$$u = L \frac{di}{dt} = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$\Delta i = \frac{U_{\text{ON}} t_{\text{ON}}}{L} = -\frac{U_{\text{OFF}} t_{\text{OFF}}}{L}$$

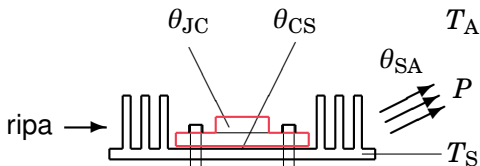
Kondensaattori: varaus säilyy: $\Delta Q = I\Delta t = C\Delta u$

$$\Delta u = \frac{1}{C} \Delta Q = \frac{1}{C} \int i dt$$

Jäähdytys, lämpöresistanssi θ Cooling

Transistori (TO-3) ruuvattuna jäähdytsripaan

Junction, Case, Sink, Ambient



$$P \approx U_{CE} \cdot I_C$$

Virtapiirianalogia, T on lämpötila

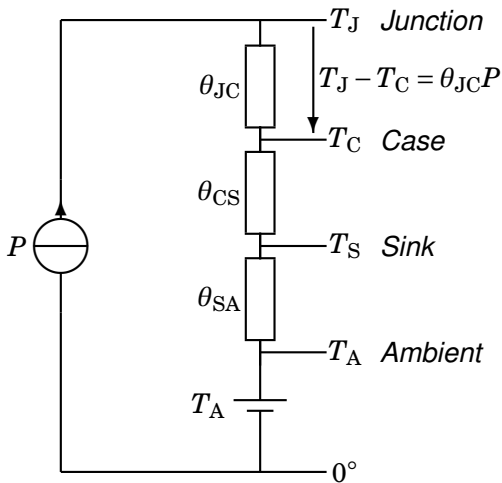
$$U = R \cdot I$$

$$\Delta T = \theta \cdot P$$

$$\theta = R_{TH}$$

Virtapiirianalogia *Analogy to Electric Circuits*

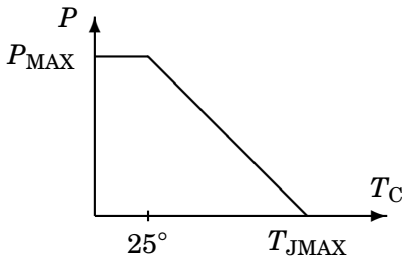
Lämpötila vastaa jännitettä, lämpöteho virtaa



Lämpöresistanssi *Thermal Resistance*

Montako astetta rakenneosaa lämpenee tietyllä teholla esim. TO-3 kotelossa?

Power Derating Curve



$$\theta_{JC} = \frac{T_{JMAX} - 25^{\circ}}{P_{MAX}}$$

TO-3: $\theta_{JC} \approx 2^{\circ}\text{C/W}$

$\theta_{JA} \approx 35^{\circ}\text{C/W}$

Sähköpaja ja Protopaja

Kiitos kaikille!

Tervetuloa biolaiset, kemistit, engiläiset, tikkiläiset, infolaiset, fyysikot ja kaikki muut ensi kevään tai syksyn Sähköpajaan (5 tai 8 op).

<https://mycourses.aalto.fi/course/view.php?id=28439>

sekä kesän Protopajaan <http://protopaja.aalto.fi/> (10 op).

