

Magneetti

22. syyskuuta 2017 13:00

Sähkötyö

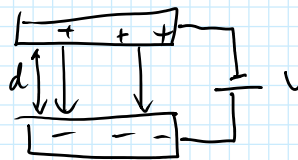
$$W = QU$$

Homog. sähkökentän voimakkuus

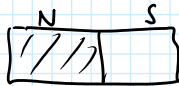
$$E = \frac{U}{d}$$

Varauksen vaikuttava voima

$$F = QE$$



- Magneetit : • aina kaksi päättä = kohtiota, merk. N ja S

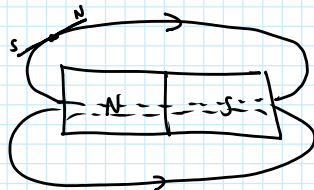


ero sähkövarauksen, jossa voi esiintyä yksittäisiä + tai - varauksia

- samantyyppiset hylkivät toisistaan
• vastakkaiset vetävät — puoleensa → magn. voima, joka on magneettisen vuorovaikutuksen mitattu ominaisuus

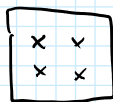
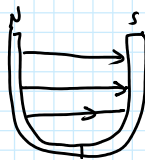
- ulkosen magneettikenttä magnetisoi aineen

- magneettikenttä : • kulkee aina N:stä S:ään (sähkökenttä kulkee + → -),



magn. kentän suljettuja käyriä (3D),
sähkökentän viivat ei ole.

- viivojen tiheys kuvaa kentän voimakkuutta
- homogeeninen jos viivojen tiheys ja suunta vakio:



kenttä pois päin



kenttä kohti

- magn. kentän voimakkuutta kuvaa viivojen tiheys =
magneettivuon tiheys $\vec{B}$

- $\vec{B}$ in suunta sama kuin kenttäviivan tangentin suunta

$$[B] = \text{tesla} = T$$

<https://www.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields>

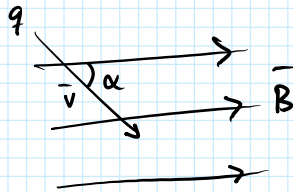
Magnetismin mikrorakenne ja magneitoituminen

21. syyskuuta 2017 10:55

- atomin elektronit ovat liikkeessä $\rightarrow$ ympärillä sekä sähkö- että magn. kenttä joiden suunnat satunnaisia (ns. alkeismagneettia)
- ulkoinen magn. kenttä kääntää alkeismagneetit samantaisekseen
- joillakin aineilla alkeismagneetit jäävät osoittamaan samaan suuntaan ulkoisen kentän poistuttua; aine magneetoitunut

- oppilastyö s. 25: magnetismi + sähköinen vv. = sähkömagneettinen vv.
- liikkuvaan varattuun hiukkaseen kohdistuva magn. voima

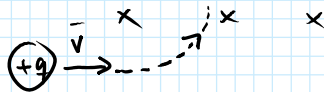
$$\vec{F}_m = q \vec{v} B \sin \alpha \quad (\text{MOL: } \vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \quad \underline{F = q v B \sin \alpha})$$



Voiman suunta oikean käden säännöllä:
"kolmisormisääntö"

peukalo = $\vec{F}_m$
etusormi = $\vec{v}$ (posit. varaus)
keskisormi = $\vec{B}$

- varatun hiukkasen rata magn. kentässä: $\vec{B}$ määrittää $\vec{v}$:n suunnan, ei suuruutta



- keskihakuvolma = $\frac{mv^2}{r} = qvB \rightarrow \boxed{r = \frac{mv}{qB}}$, eli hiukkasen joutuu ympyräradalle jos v ja B vakioita.

(kulmanopeus $\omega = 2\pi f$ tai $\omega = \frac{v}{r}$, $f = \frac{1}{T} \rightarrow \omega = \frac{qB}{m}$
eli ω ja T vakioita jos B vakio)

- Sähkökenttä kiihdyttää varattuja hiukkasia: $\boxed{qU = \frac{1}{2}mv^2}$

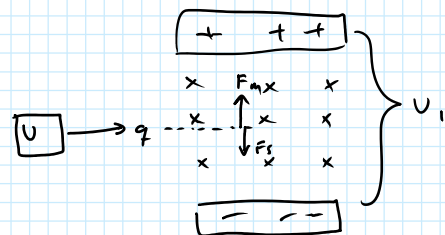
1-22

$$\text{Ca}^{2+} \rightarrow q = +2e = +2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$U = 42 \text{ kV} = 42000 \text{ V}$$

$$B = 270 \text{ mT} = 0,270 \text{ T}$$

$$m = 6,6 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$



$$\begin{aligned} 1. \text{ Nopeus: } qU &= \frac{1}{2}mv^2 \quad | \cdot 2 \\ mv^2 &= 2qU \quad | : m \\ v^2 &= \frac{2qU}{m} \quad | \sqrt{} \\ v &= \sqrt{\frac{2qU}{m}} \end{aligned}$$

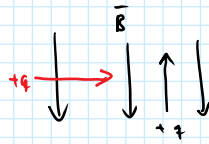
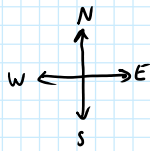
$$\begin{aligned} 2. U_1 \text{in suurus: } F_s &= qE, \\ F_m &= qvB \quad (\alpha = 90^\circ) \end{aligned}$$

$$F_s = F_m$$

$$\cancel{q} E = \cancel{q} v B$$

$$E = v B = \sqrt{\frac{2 q U}{m}} \cdot B \approx 170\,000 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

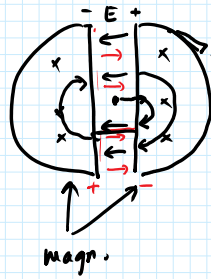
1- 15



$$a) F_m = q v B \sin \alpha = q v B \sin 180^\circ = 0$$

$$b) F_m = q v B \sin 90^\circ = q v B, \text{ suunnan paperiin päin}$$

- syklotroni :

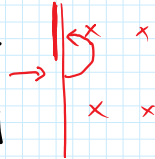
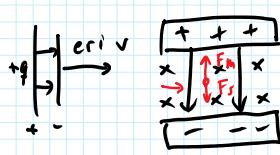


$$\begin{cases} qU = \frac{1}{2}mv^2 & (\text{kiihdyty}) \\ qvB = \frac{mv^2}{r} & (\text{ymp. rata}) \end{cases}$$

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

$$\frac{mv}{r} = qB \rightarrow r = \frac{mv}{qB}$$

- massaspektrometri : tutkitaan isotooppeja (sama aine , joilla ei määrä neutroneja)

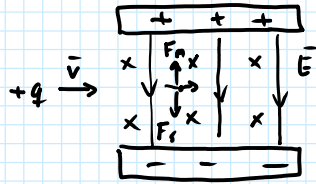


$$F_m = F_s$$

$$qvB = qE \rightarrow v = \frac{E}{B}$$



1-23



$$U = 1,5 \text{ kV}$$

$$q = +1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$E = 7,5 \frac{\text{kV}}{\text{m}}$$

$$m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

1. Nopeus : $qU = \frac{1}{2}mv^2$ | $\cdot \frac{1}{\frac{1}{2}m}$

$$v^2 = \frac{2U}{\frac{1}{2}m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2U}{\frac{1}{2}m}} = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

$$F_s = qE$$

2. Kulkua suoraan:

$$F_m = F_s$$

$$qvB = qE$$

$$B = \frac{E}{v} = \frac{E}{\sqrt{\frac{2qU}{m}}}$$

$$= \frac{7500 \frac{\text{V}}{\text{m}}}{\sqrt{\frac{2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1500 \text{ V}}{1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}}} \approx 14 \text{ mT}$$

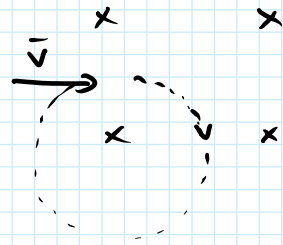
1-25

$$v = 2,0 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$q = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$B = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$



$$a) \quad F_m = qvB \approx 0,36 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

$$b) \quad \frac{mv}{r} = qB \Rightarrow r = \frac{mv}{qB} \approx 0,20 \text{ m}$$

$$c) \quad f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2\pi v}{\lambda} = \frac{2\pi \cdot \frac{mv}{qB}}{\lambda} \approx 0,14 \mu\text{s}$$

1-32

$$q = +2e = +2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_\alpha = 6,645 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$r = 1,0 \text{ m}$$

$$U = 2,1 \cdot 10^6 \text{ V}$$

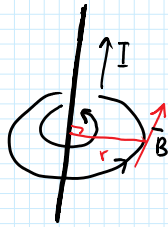
$$qU = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\rightarrow v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} = 1,423175 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$q\cancel{v}B = \frac{mv\cancel{v}}{r}$$

$$\rightarrow B = \frac{mv}{qr} \approx 0,30 \text{ T}$$

- oppilaskyö s. 37 : $I \rightarrow B \rightarrow$ oikean käden sääntö



- Suoran virtajohdteen B etäisyydellä r:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{Biot-Savartin laki})$$

- oppilaskyö s. 39 : ulkoinen B kohdistaa johtimeen voiman

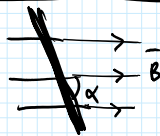
$$F_m = I l B \sin \alpha$$

, F_m in suunta kolmisormisäännöllä

peukalo = F_m

etusormi = I (posit. varauksen suunta)

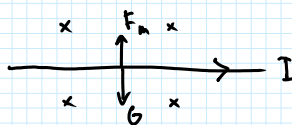
keskisormi = B



1-42

$$B = 0,75 \text{ T}$$

$$\frac{m}{l} = 2,5 \frac{\text{g}}{\text{m}} = 0,0025 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

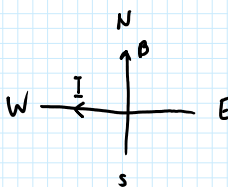


$$I l B = m g \quad || : l B$$

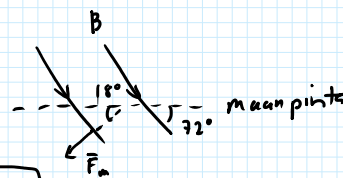
$$I = \frac{m g}{l B} = \left(\frac{m}{l} \right) \cdot \frac{g}{B} = 0,0025 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,75 \text{ T}} \approx 0,033 \text{ A}$$

S. 45: 1-41
1-43

1-43



$$\alpha \approx 90^\circ$$



$\vec{B}$ pois pään

1-46

$$B = 0,56 \text{ T}$$

$$r = 0,50 \text{ mm} = 0,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\rho = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$b) \quad F_m = G$$

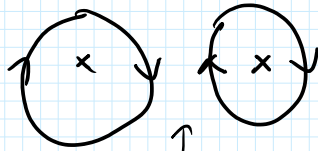
$$I l B = m g = \rho l \pi r^2$$

$$I = \frac{\rho \pi r^2}{B} \approx 37 \text{ mA}$$

$$m = \rho V = \rho l A = \rho l \pi r^2$$

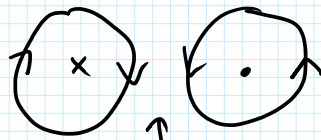
Kahden yhdensuunt. johtimen välinen magn. vuorovaikutus:

- virta kulkee samaan suuntaan



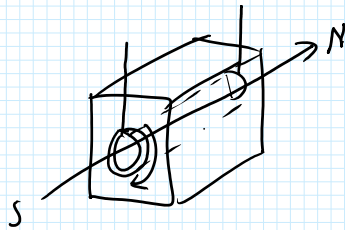
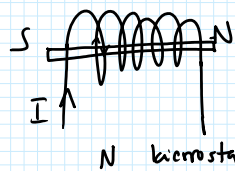
välissä $\Sigma \vec{B}$ heikkenee $\rightarrow$ vetävät toisiaan puoleensa

- virta ei suuntaan



välissä $\Sigma \vec{B}$ vahvistuu $\rightarrow$ hylkivät toisiaan

Käämi =
virtasilmukken



— käämi jossa kulkee virta, pyrkii kääntymään ulkoisessa magn. kentässä

— $M = NIBA \sin \alpha$

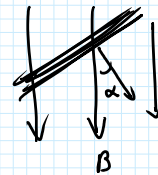
N = kierrosten lkm

I = virta (A)

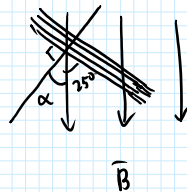
B = ulk. magn. vuo tiheys (T)

A = käämin yhden silmukan ala (m^2)

α = silmukan tason normaalin ja $\vec{B}$:n välinen kulma



Esim 7.



$$d = 6,8 \text{ cm} \rightarrow r = 3,4 \text{ cm} = 0,034 \text{ m}$$

$$\rightarrow A = \pi r^2$$

$$I = 1,5 \text{ A}$$

$$N = 660$$

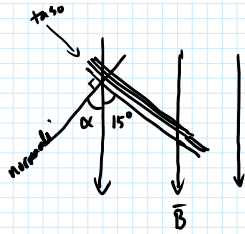
$$B = 1,2 \text{ T}$$

$$\alpha = 90^\circ - 25^\circ = 65^\circ$$

$$M = NIBA \sin \alpha = 660 \cdot 1,5 \text{ A} \cdot 1,2 \text{ T} \cdot \pi \cdot (0,034 \text{ m})^2 \cdot \sin 65^\circ$$

$$\approx 4 \text{ Nm}$$

1-52



$$\alpha = 90^\circ - 15^\circ = 75^\circ$$

$$d = 19 \text{ cm} \rightarrow r = 9,5 \text{ cm} \rightarrow A = \pi r^2$$

$$N = 660$$

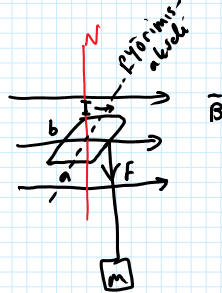
$$I = 1,7 \text{ A}$$

$$B = 0,29 \text{ T}$$

$$M = N I B A \sin \alpha = 660 \cdot 1,7 \text{ A} \cdot 0,29 \text{ T} \cdot \pi \cdot (0,095 \text{ m})^2 \cdot \sin 75^\circ$$

$$\approx 8,9 \text{ Nm}$$

1-54



$$\alpha = 90^\circ$$

$$I = 3,7 \text{ A}$$

$$m = 4,5 \text{ g} = 0,0045 \text{ kg}$$

$$a = 10 \text{ cm} = 0,10 \text{ m}$$

$$b = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$$

$$A = a \cdot b$$

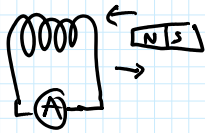
$$a) \quad M = F r = m g \cdot \frac{a}{2} \approx 0,0022 \text{ Nm}$$

$$b) \quad M_m = M_F$$

$$N I B A = m g \cdot \frac{a}{2}$$

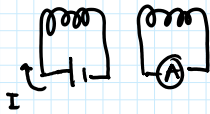
$$B = \frac{m g \cdot \frac{a}{2}}{N I A} \approx 30 \text{ mT}$$

- oppilastyöt 555 → • liikkuva {käämi
magneetti synnyttää käämiin virran



• I kasvaa, jos $\begin{cases} N \\ B \end{cases}$ kasvaa

• Vierekkäiset käämit: toiseenkin syntyy virta



• Yhteinen rautasydän vahvistaa virtaa
(sen kautta ei kulje virtaa)

- Sähkömagn. induktio: muuttuvassa magn. kentässä olevaan johtimeen indusoituu jännite - Se aiheuttaa suljetussa piirissä ns. induktiovirran

- Magn. kentän muutoksen voi aiheuttaa liikkuva magneetti, liikkuva johdin, B :n muutos tai I :n muutos

- Lenzin laki: induktiovirran suunta on sellainen, että sen vaikutus (= magn. kenttä) vastustaa induktiovirran synnyttävän ulkoisen magneettikentän muutosta

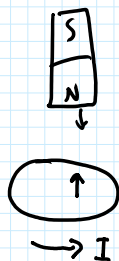
Eli syntynyt virta pyrkii pitämään alkuperäisen magn. kentän sellaisena kuin se oli

<http://materiaalit.internetix.fi/fi/opintojaksot/Suunnontieteet/fysiikka/fysiikka7/induktio>

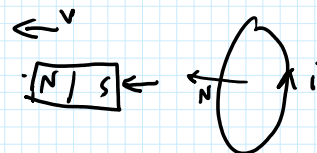
<http://materiaalit.internetix.fi/fi/opintojaksot/Suunnontieteet/fysiikka/fysiikka7/induktio>

<https://www.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/v/flux-and-magnetic-flux>

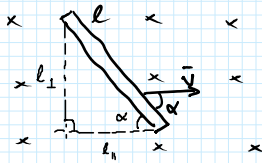
2-4 a)



b)



- kun johdin liikkuu vakuonopeudella ulkoisessa magn. kentässä
niin sen päihin induoitunut jännite $\mathcal{E} = l v B \sin \alpha$

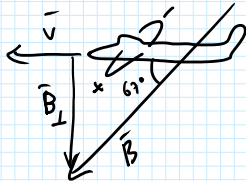


(suoran johtimen ind. laki)

- Mieti $l_{\perp} = l \sin \alpha$, $l_{\perp}$ liikkeen suuntaan nähden kohtisuora komponentti
- virran suunta suljetussa piirissä kolmi sormisäännöllä
(I suunta = positiivisen varauksen suunta = peukalo)

- induoituneet jännite ja virta $= \mathcal{E}$ ja i

Esim 2.

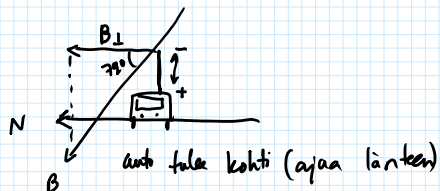


$$B = 45 \mu\text{T}, \alpha = 63^\circ, v = 1,8 \cdot 343 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$B_{\perp} = B \sin \alpha \quad l = 11,4 \text{ m}$$

$$\mathcal{E} = l v B \sin \alpha \approx 0,3 \text{ V}$$

2-14



$$l = 1,5 \text{ m} \quad v = \frac{95}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$B = 54 \mu\text{T}$$

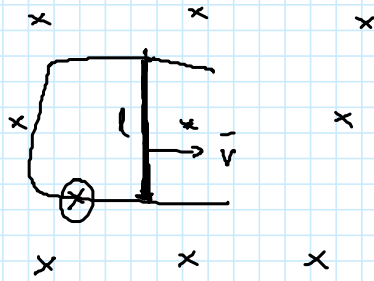
$$\text{dekl} = 72^\circ = \alpha$$

$$B_{\perp} = B \cos 72^\circ$$

$$\mathcal{E} = l v B \cos \alpha = 0,66 \text{ mV}$$

antennin alaosassa on korkeammassa potentiaalissa (kolmi sormisääntö)

2-17



b) $F_m = i l B \approx 6 \text{ mN}$

c) Kolumisormi jännäntö : peukalo = posit. varauksen
 suunta = i in suunta
 Varti = ylös

Polttimo: $4,5 \text{ V} / 1,5 \text{ W}$

$l = 0,12 \text{ m}$

$B = 0,15 \text{ T}$

a) $i = \frac{P}{V} = 0,3333 \text{ A}$

$R = \frac{V}{i} = \frac{4,5 \text{ V}}{0,3333 \text{ A}} \approx 13,5 \Omega$

$\mathcal{E} = l v B = R i$

$v = \frac{R i}{l B} \approx 250 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

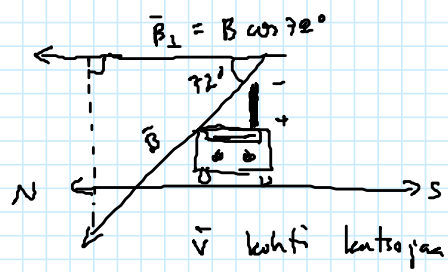
2-14

$$v = 95 \text{ km/h} = \frac{95}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$l = 1,5 \text{ m}$$

$$\alpha = 72^\circ$$

$$B = 54 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

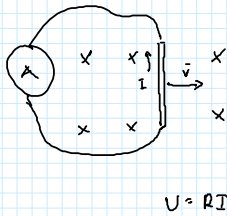


$$(e = l v B \sin \alpha)$$

$$e = l v B \cos \alpha \approx 0,66 \text{ mV},$$

korkeampi potentiaali
antennin alapäässä
(kolmisormaisääntö)

2-15



$$l = 0,12 \text{ m}$$

$$v = 2,4 \text{ m/s}$$

$$B = 0,10 \text{ mT} = 0,00010 \text{ T}$$

$$R = 0,20 \text{ }\Omega$$

$$e = l v B$$

$$i = \frac{e}{R} = \frac{l v B}{R} \approx 140 \mu\text{A}$$

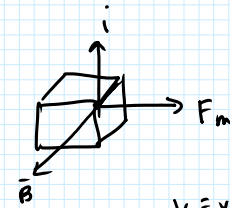
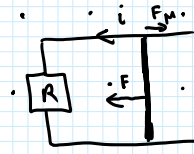
2-16

$$L = 0,084 \text{ m}$$

$$R = 1,8 \text{ }\Omega$$

$$B = 1,35 \text{ T}$$

$$i = 0,081 \text{ A} \quad F_{\mu} = 12 \text{ mN}$$



$$v = \text{vakio} \rightarrow a = 0$$

$$\rightarrow F_m = F$$

$$b) \quad e = l v B, \quad e = R i \quad (\text{Ohmin laki } U = R I)$$

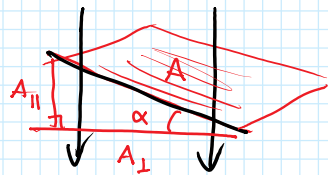
$$l v B = R i \rightarrow v = \frac{R i}{l B} \approx 1,3 \text{ m/s}$$

$$c) \quad \Sigma F = F - F_{\mu} - F_m = 0 \quad (a = 0)$$

$$F = F_{\mu} + F_m = F_{\mu} + i l B = 0,012 \text{ N} + 0,081 \text{ A} \cdot 0,084 \text{ m} \cdot 1,35 \text{ T} \approx 21 \text{ mN}$$

(s41)

- $\vec{B}$ = magn. vuon tiheys = kenttävuo pinta-alalla
- kenttävuojen lukumäärä = magneettivuo $\Phi = BA$,
missä A on magn. kenttää vastaan kohtisuora pintasilmukan ala



$$A_{\perp} = A \cos \alpha$$

$$[\Phi] = \text{Tm}^2 = \text{Wb (weber)}$$

$$\Delta \Phi = B \cdot \Delta A = B \cdot l v \Delta t = e \Delta t \rightarrow e = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (\text{yleinen ind. laki})$$

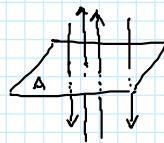
↑
indusoituneen jännitteen aiheuttama
virta pyrkii vastustamaan magn.
kentän muutosta.

$$(\text{Faradayn laki: } e = - \frac{d\Phi}{dt}, \text{ eli derivaatta})$$

<https://www.youtube.com/watch?v=H0177eUFzKM>



Jos saman A :n kohdalla
on $\vec{B}$:n suunnat vastakkai-
sia niin Φ voi olla nolla:



$$(\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \text{ viereisessä videossa})$$

2-26

a) $N = 250$

$$\Delta \Phi = \Phi_{\text{loppu}} - \Phi_{\text{alku}} = 12 \text{ mWb} - 36 \text{ mWb} = -24 \text{ mWb}$$

$$\Delta t = 0,26 \text{ s}$$

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -250 \cdot \frac{-24 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}}{0,26 \text{ s}} \approx 23 \text{ V}$$

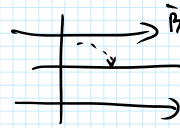
b) $N = 1$

$$B = 0,027 \text{ T}$$

$$A = 0,0051 \text{ m}^2$$

$$R = 0,98 \text{ }\Omega$$

$$\Delta t = 0,17 \text{ s}$$



$$\Phi_{\text{loppu}} = 0, \quad \Phi_{\text{alku}} = BA, \quad \Delta \Phi = 0 - BA = -0,0001377 \text{ Wb}$$

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}, \quad i = \frac{\mathcal{E}}{R} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t \cdot R} \approx 0,8 \text{ mA}$$

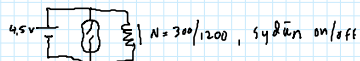
Itseinduktio ja magneettikentän energia

29. syyskuuta 2017 11:15

- oppilastyöt 1+3 s. 73 :



• virtapiirissä oleva käämi hidasti lampun B syttymistä



• käämin rinnalle kytketty hohtolamppu välähti virrankatkoishetkellä, mutta ei kytkettyinä suoraan 4,5V paristoon. Eri käämi / sydän vaikuttaa virtaan.

→ Käämi vaikuttaa virtaan virrankytkemis- ja -katkoishetkellä

→ Itseinduktio: johtimen muuttuva mag. kenttä indusoi samaan johtimeen virran joka vastustaa mag. kentän muutosta (käämin)

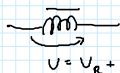
• itseinduktioäämitteeseen vaikuttaa käämin ominaisuudet ja siinä kulkevan virran muutosnopeus

$$e_k = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (\text{oikeasti } e_k = -L \frac{dI}{dt})$$

↑
käämin induktanssi = kuvaa käämin kykyä vastustaa virran muutosta

$$[L] = \frac{[e] [dt]}{[dI]} = \frac{V \cdot s}{A} = H \quad (\text{henry})$$

• L on kaikissa virtapiireissä $\neq 0$ kuten R:kin. Käämillä L on iso ja sen vaikutus silminnähävä. Käämillä on myös R:ää:



$$U = U_R + U_L = RI + L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Esim. 7 yhdessä.



$$R = 6,5 \, \Omega$$

$$L = 0,80 \, H$$

$$a) \quad t = 1,0 \, s : \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = \text{kulmak.} = \frac{1 \, A}{2 \, s} = 0,5 \, \frac{A}{s}$$

$$U = U_R + U_L = RI + L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 6,5 \, \Omega \cdot 0,5 \, A + 0,80 \, H \cdot 0,5 \, \frac{A}{s} = 3,7 \, V$$

$$b) \quad t = 3,0 \, s : \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$$

$$U = RI = 6,5 \, \Omega \cdot 1 \, A = 6,5 \, V$$

$$c) \quad t = 5,0 \, s : \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = -0,5 \, \frac{A}{s}$$

$$U = U_R + U_L = RI + L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 2,9 \, V \quad \text{negat.}$$

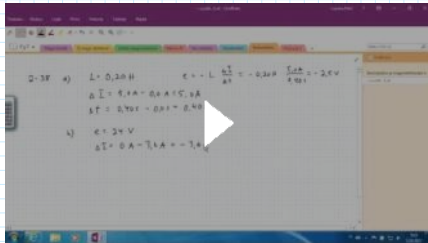
2-38 a) $L = 0,20 \text{ H}$ $\boxed{e = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}} = -0,20 \text{ H} \frac{5,0 \text{ A}}{0,40 \text{ s}} = -2,5 \text{ V}$
 $\Delta I = 5,0 \text{ A} - 0,0 \text{ A} = 5,0 \text{ A}$
 $\Delta t = 0,40 \text{ s} - 0,0 \text{ s} = 0,40 \text{ s}$

b) $e = 24 \text{ V}$
 $\Delta I = 0 \text{ A} - 3,6 \text{ A} = -3,6 \text{ A}$
 $\Delta t = 0,12 \text{ s} - 0 \text{ s} = 0,12 \text{ s}$

$$L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -e \quad || \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$L = \frac{-e}{\frac{\Delta I}{\Delta t}} = -\frac{24 \text{ V}}{\left(-\frac{3,6 \text{ A}}{0,12 \text{ s}}\right)} = 0,80 \text{ H}$$

<https://youtu.be/HDeFcdJ5nYY>



S. 71:

$$e = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}, \quad \Phi = BA$$

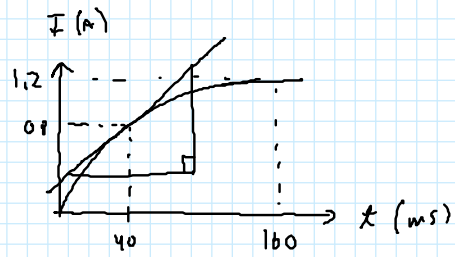
$$2-25, 2-27$$

s. 80:

$$e = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$2-37, 2-39$$

2-43



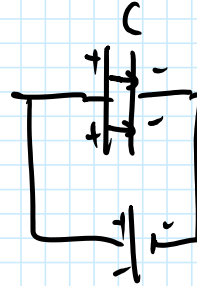
b) $I = 1,2 \text{ A}$
 $E = 6,2 \text{ V} \approx U$
 $R = \frac{U}{I} = \frac{6,2 \text{ V}}{1,2 \text{ A}} \approx 5,2 \Omega$

c) $E = R I + L \frac{\Delta I}{\Delta t} \rightarrow L = \frac{E - R I}{\frac{\Delta I}{\Delta t}} = \frac{6,2 \text{ V} - 5,16 \Omega \cdot 0,8 \text{ A}}{10 \frac{\text{A}}{\text{s}}} = 0,2 \text{ H}$
 ↑
 tangent in
 bk. $\approx 10 \frac{\text{A}}{\text{s}}$

<https://youtu.be/QOD9IHVhw6o>

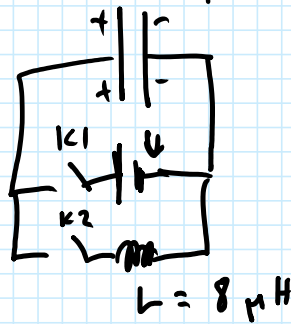
- Käämin magneettikentän energia $E_L = \frac{1}{2} L I^2$

(FY6: kondensaattorin sähkökentän energia $E_C = \frac{1}{2} C U^2$)



$$C = 5 \mu\text{F}, U = 10 \text{ V}$$

$E_{\text{sim.}}$



$$E_C = E_L$$

$$\frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} L I^2$$

$$\rightarrow I = \sqrt{\frac{C U^2}{L}} \approx 8 \text{ A}$$

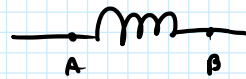
- Kun $\frac{\Delta I}{\Delta t} \neq 0 \rightarrow e_k = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \neq 0$, silloin kaamissa tapahtuva jännitehäviö $U = U_R + U_L = RI + L \frac{\Delta I}{\Delta t}$

2-44

$$R = 12 \Omega$$

$$L = 0,50 \text{ H}$$

$$I = 2,5 \text{ A}, \quad U = 33 \text{ V}$$



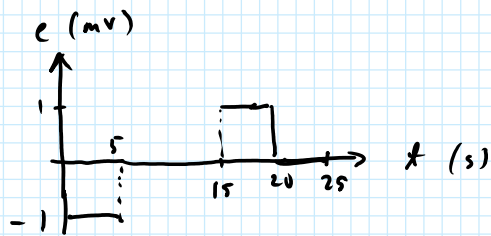
$$a-b) \quad U = RI + L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$L \frac{\Delta I}{\Delta t} = U - RI \quad || : L$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{U - RI}{L} \approx +6 \frac{\text{A}}{\text{s}}, \quad \text{virta kasvaa}$$



2-41



$$L = 72 \text{ mH}$$

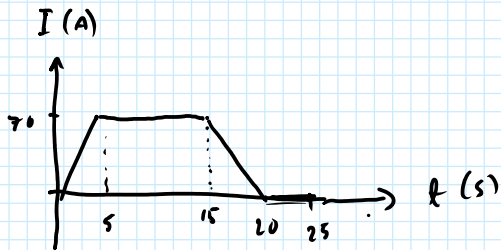
$$\epsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta t} = \text{kuulmuks} = -\frac{\epsilon}{L}$$

$$0 \dots 5 \text{ s: } \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{-1 \text{ mV}}{-72 \text{ mH}} = +14 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$0 \dots 15 \text{ s: } \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{0 \text{ mV}}{-72 \text{ mH}} = 0 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$15 - 20 \text{ s: } \frac{\Delta I}{\Delta t} = -14 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$20 - 25 \text{ s: } \frac{\Delta I}{\Delta t} = 0 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$



$$\epsilon_k = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \quad U = RI + L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

2-39

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = 1,77 \frac{\text{A}}{\text{s}}$$

$$L = -\frac{\epsilon}{\frac{\Delta I}{\Delta t}} = \frac{-5,5 \text{ V}}{1,77 \frac{\text{A}}{\text{s}}} = +3,1 \text{ H}$$

$$\epsilon = -5,5 \text{ V}$$

↑
ε:n suunta

ulk. I:lle vastainen

Pyörrevirrat

- opp. työ 1,3 s. 82
- kun Φ muuttuu, indusoituu johteseen muutosta vastustava jännite. Johteessa havaitaan ns. pyörrevirta.
- pyörrevirran suuruuteen vaikuttaa L , $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ja johteen g .
- essee täärppi?

Generaattorin periaate

$$1 \quad e = -N \frac{d\Phi}{dt}, \quad \text{induktio laki}$$

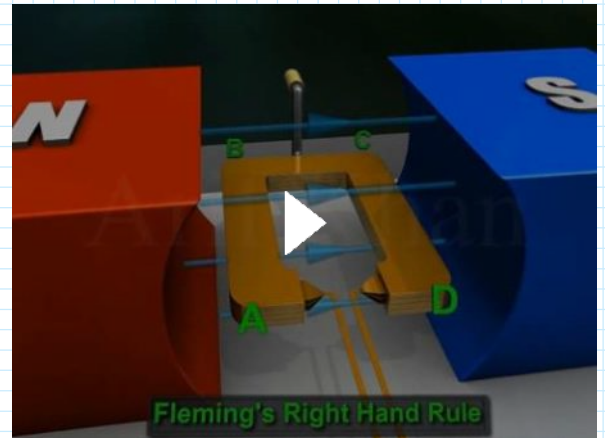
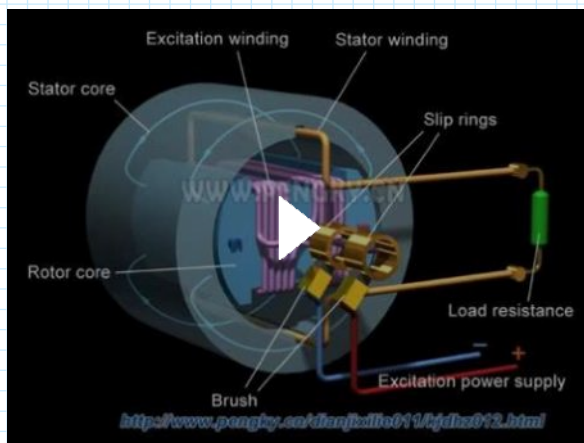
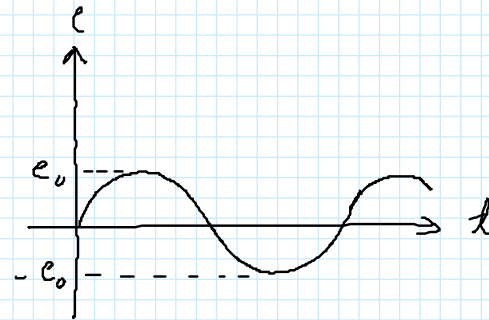
$$2 \quad \Phi = B A_{\perp} = BA \cos \alpha, \quad \alpha = \omega t$$

$$\Downarrow$$

$$e = -NBA \frac{d \cos(\omega t)}{dt} = NBA\omega \sin(\omega t)$$

$e_0 = \text{jännitteen huippuarvo}$

$$i = \frac{e}{R} = i_0 \sin(\omega t), \quad i_0 = \text{virran huippuarvo}$$

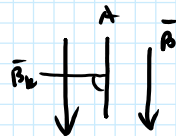


2-54

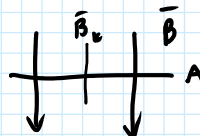
$$\omega = 6600 \frac{r}{\text{min}} = 110 \frac{r}{s}$$

$$N=1$$

a) $\alpha = 90^\circ$



b) $\alpha = 0^\circ$



c) $R = 12 \Omega$

$$i_0 = \frac{e_0}{R} = 17 \text{ mA}$$

$$i = \frac{NAB\omega \sin 120^\circ}{R} = 15 \text{ mA}$$

$$A = 0,15 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} = 0,0225 \text{ m}^2$$

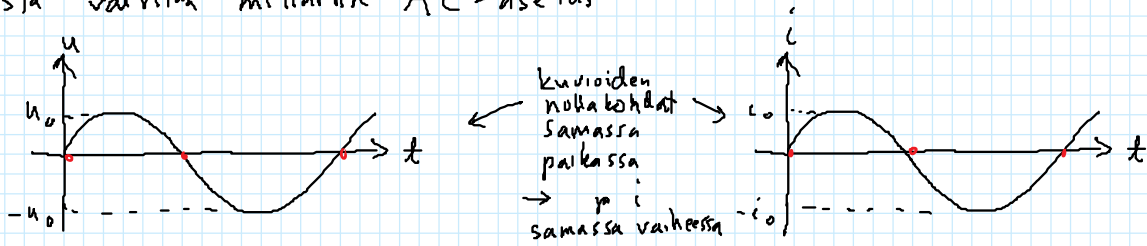
$$B = 13 \text{ mT} = 0,013 \text{ T}$$

$$e_0 = NAB\omega \sin 90^\circ = 0,2 \text{ V}$$

$$e = NAB\omega \sin 0^\circ = 0 \text{ V}$$

Vaihtovirta AC

- generaattori tuottaa sinimuotoista vaihtovirtaa, jonka suunta vaihtuu säännöllisesti
- Suomessa suunnanvaihtotaajuus on 50 Hz
- vaihtovirran ja -jännitteen merkkeinä yleensä i ja u .
- muista vaihtaa mittarin AC-asetus



u_0 = vaihtojännitteen huippuarvo (V)

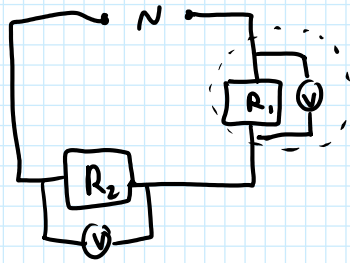
i_0 = ——— virran ——— (A)

- tehokiset arvot: vaihtovirran (-jännitteen) tehollinen arvo I (V) =
sellainen tasavirran (-jännitteen) arvo jolla vastus R lämpiää yhtä paljon

$$\boxed{I = \frac{i_0}{\sqrt{2}}}, \quad \boxed{U = \frac{u_0}{\sqrt{2}}} \quad (\text{kirjan s. 102})$$

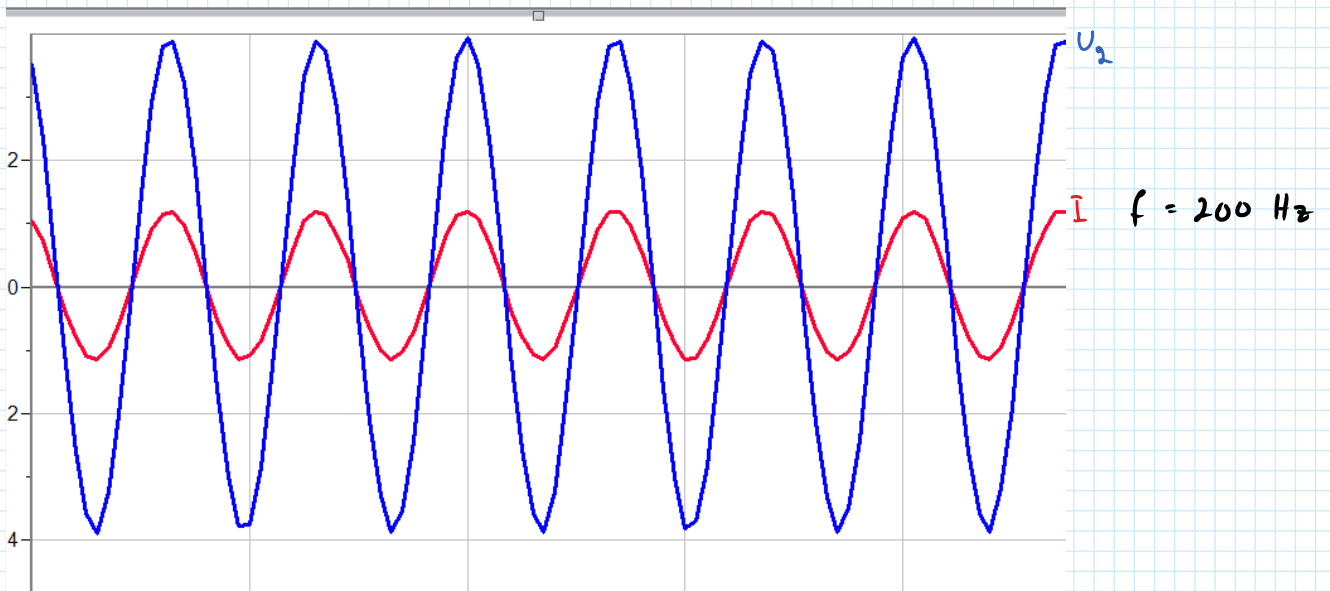
- oskilloskoopilta i_0 ja u_0 , yleismittarilta I ja U

- AC-pörrin tehonkulutus $\boxed{P = UI = \frac{1}{2} u_0 i_0}$, $R = \frac{U}{I} = \frac{\frac{u_0}{\sqrt{2}}}{\frac{i_0}{\sqrt{2}}} = \frac{u_0}{i_0}$

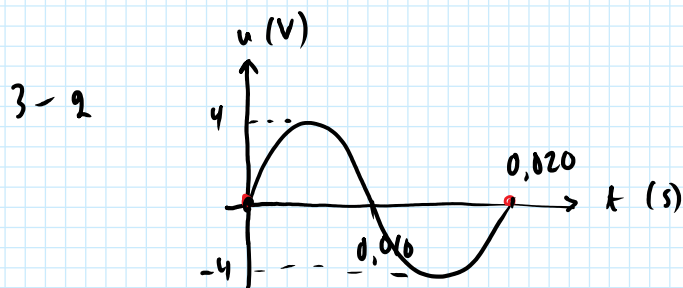


$$I = \frac{U}{R_1}, \text{ pidetään tämä vakiona}$$

Vastusten U :t samassa vaiheessa



Otettu näyttöleike: 9.10.2017 13:43



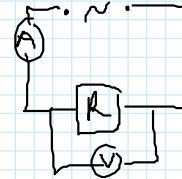
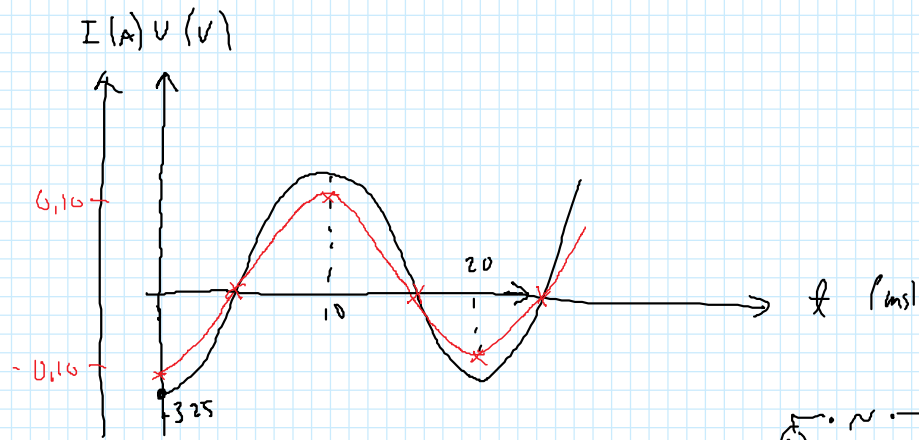
c) $T = 0,020 \text{ s}$ d) $\frac{1}{T} = 50 \text{ Hz}$

a) $u_0 = 4 \text{ V}$

b) $U = \frac{u_0}{\sqrt{2}} = 2,8 \text{ V}$

5.104 3-1, 3-3, ...

3-6



$$R = 2500 \, \Omega$$

$$i_0 = \frac{e_0}{R} = \frac{325 \, \text{V}}{2500 \, \Omega} = 0.09 \, \text{A}$$

3-5 $P = 1500 \text{ W}$, $R = 24 \Omega$

$$I = \frac{i_0}{\sqrt{2}}$$

F46: $\begin{cases} P = UI \\ R = \frac{U}{I} \rightarrow U = RI \end{cases}$

a) $P = RI \cdot I$

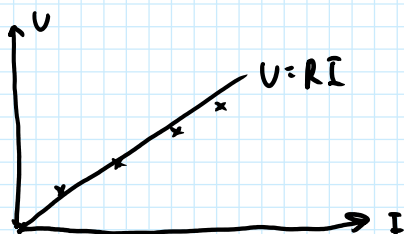
$$P = RI^2 \quad || : R$$

$$I^2 = \frac{P}{R} \quad || \sqrt{}$$

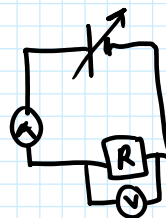
$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = 7,906 \text{ A} \approx 7,9 \text{ A}$$

b) $i_0 = I \cdot \sqrt{2} = 11,180 \text{ A} \approx 11,1 \text{ A}$

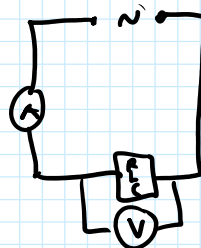
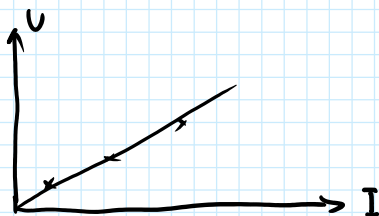
F46: Ohmin laki metaalivastuksille (DC)



$$(y = kx)$$



Sama pätee AC-piirissä

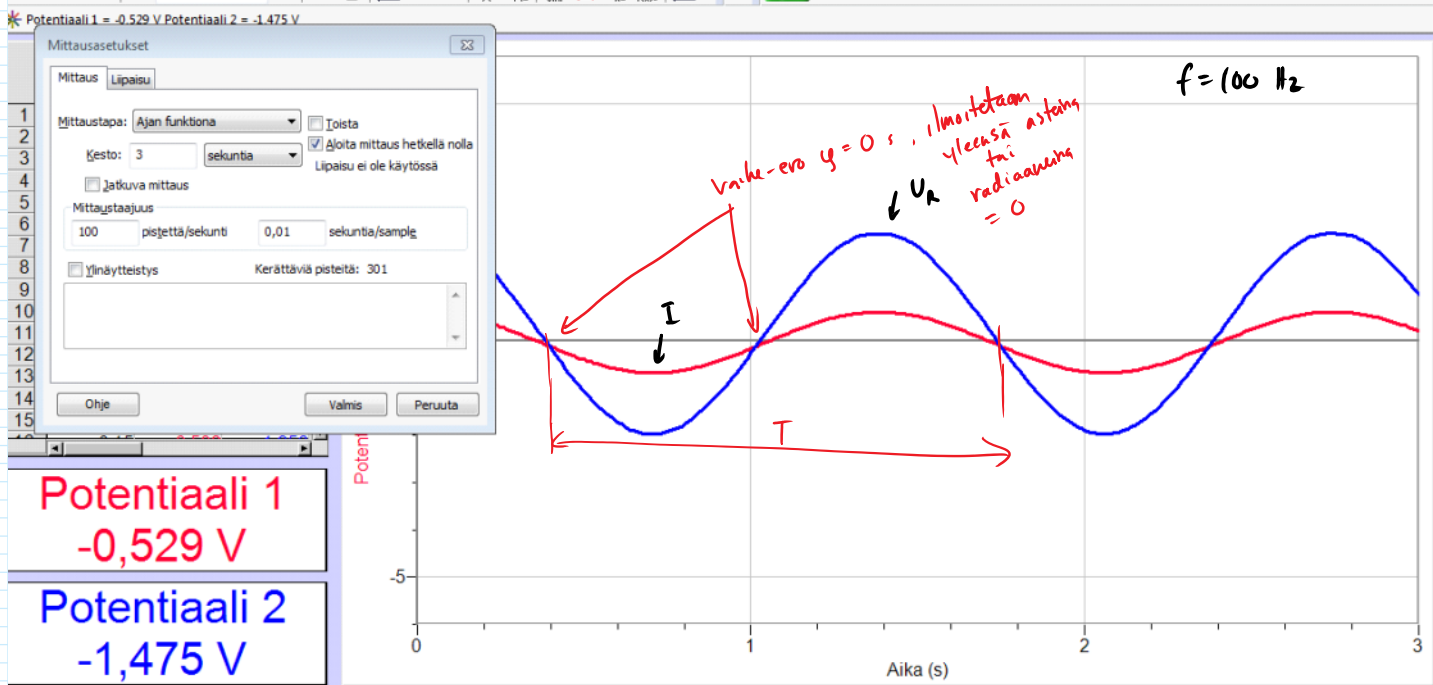
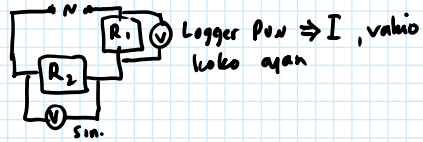


$R = \text{vastus}$, U_R
 $L = \text{käämi}$, U_L
 $C = \text{kondens.}$, U_C

LoggerPro asetukset:

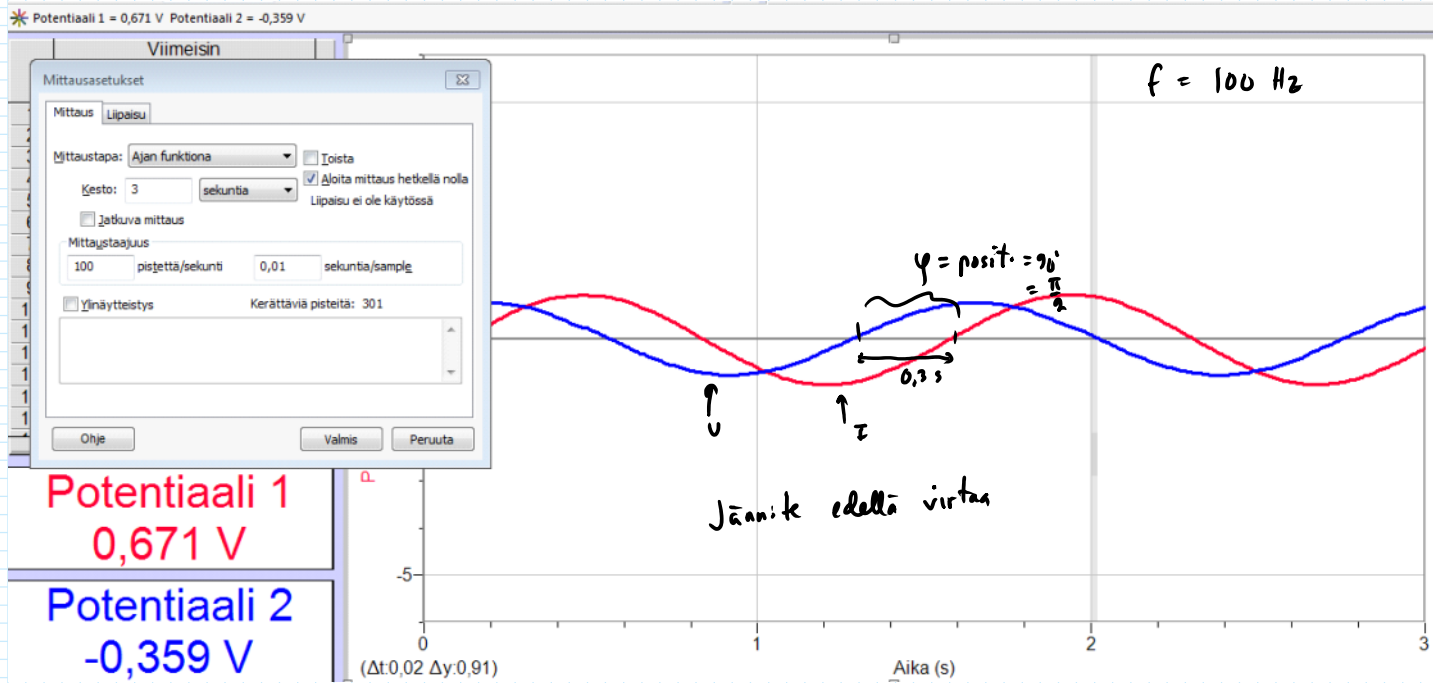
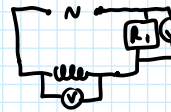
11. lokakuuta 2017 7:50

Vastus:



Otettu näyttöleike: 11.10.2017 8:53

Käämi:



Otettu näyttöleike: 11.10.2017 9:01

Kondensaattori:

Potentiaali 1 = 0,997 V Potentiaali 2 = 0,285 V

Mittausasetukset

Mittaus: **Lipaisu**

Mittaus tapa: Ajan funktiona ☐ Toista

Kesto: 3 sekuntia ☒ Aloita mittaus hetkellä nolla
Lipaisu ei ole käytössä

☐ Jatkuva mittaus

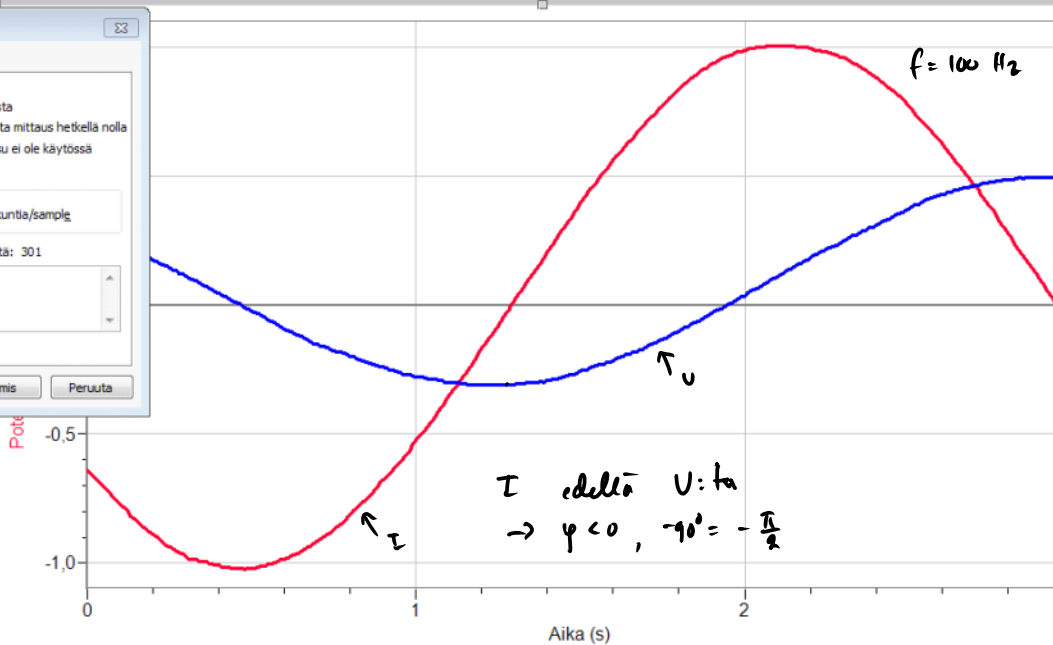
Mittausaajuus: 100 pistettä/sekunti 0,01 sekuntia/sample

☐ Ylinäytteistys Kerättäviä pisteitä: 301

Ohje Valmis Peruuta

Potentiaali 1
0,997 V

Potentiaali 2
0,285 V



Otettu näyttöleike: 11.10.2017 9:08

Potentiaali 1 = 0,119 V Potentiaali 2 = 0,342 V

Mittausasetukset

Mittaus: **Lipaisu**

Mittaus tapa: Ajan funktiona ☐ Toista

Kesto: 3 sekuntia ☒ Aloita mittaus hetkellä nolla
Lipaisu ei ole käytössä

☐ Jatkuva mittaus

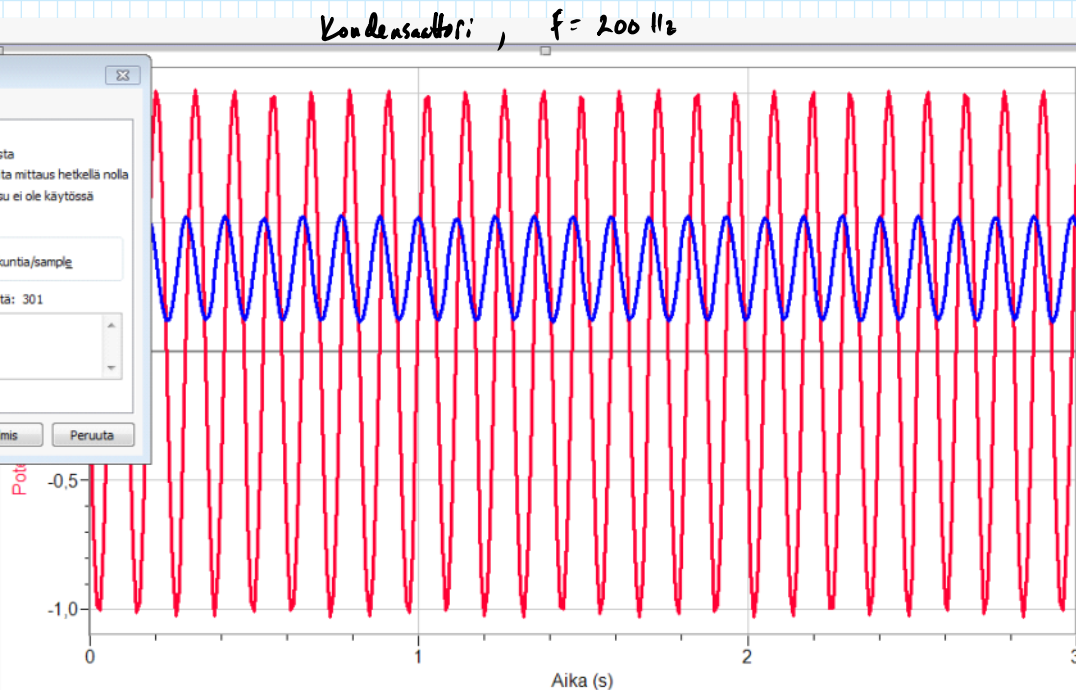
Mittausaajuus: 100 pistettä/sekunti 0,01 sekuntia/sample

☐ Ylinäytteistys Kerättäviä pisteitä: 301

Ohje Valmis Peruuta

Potentiaali 1
0,119 V

Potentiaali 2
0,342 V



Otettu näyttöleike: 11.10.2017 9:13

Potentiaali 1 = 0,010 V Potentiaali 2 = -0,427 V

Mittausasetukset

Mittaus: **Lipaisu**

Mittaus tapa: Ajan funktiona ☐ Toista

Kesto: 3 sekuntia ☒ Aloita mittaus hetkellä nolla
Lipaisu ei ole käytössä

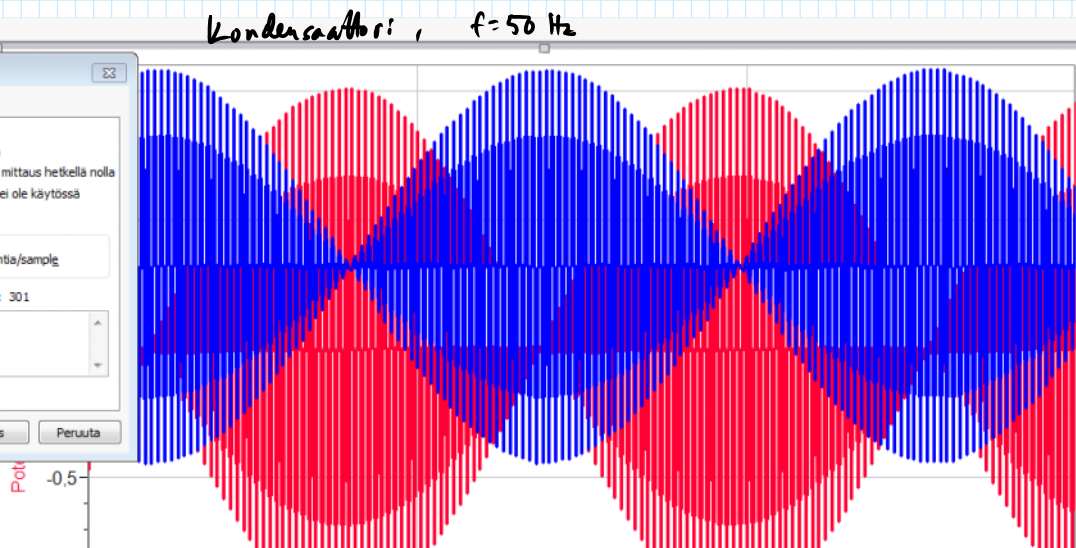
☐ Jatkuva mittaus

Mittausaajuus: 100 pistettä/sekunti 0,01 sekuntia/sample

☐ Ylinäytteistys Kerättäviä pisteitä: 301

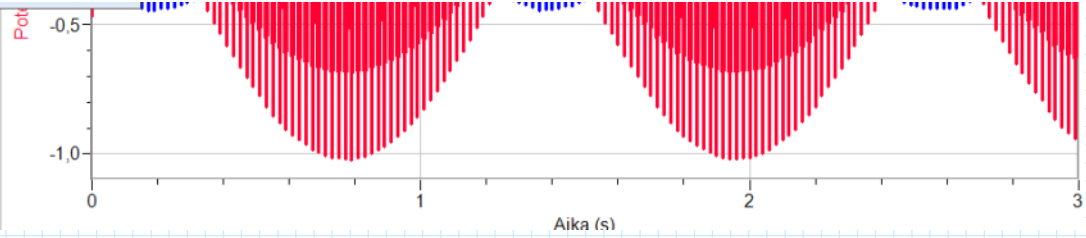
Ohje Valmis Peruuta

Potentiaali 1
0,010 V



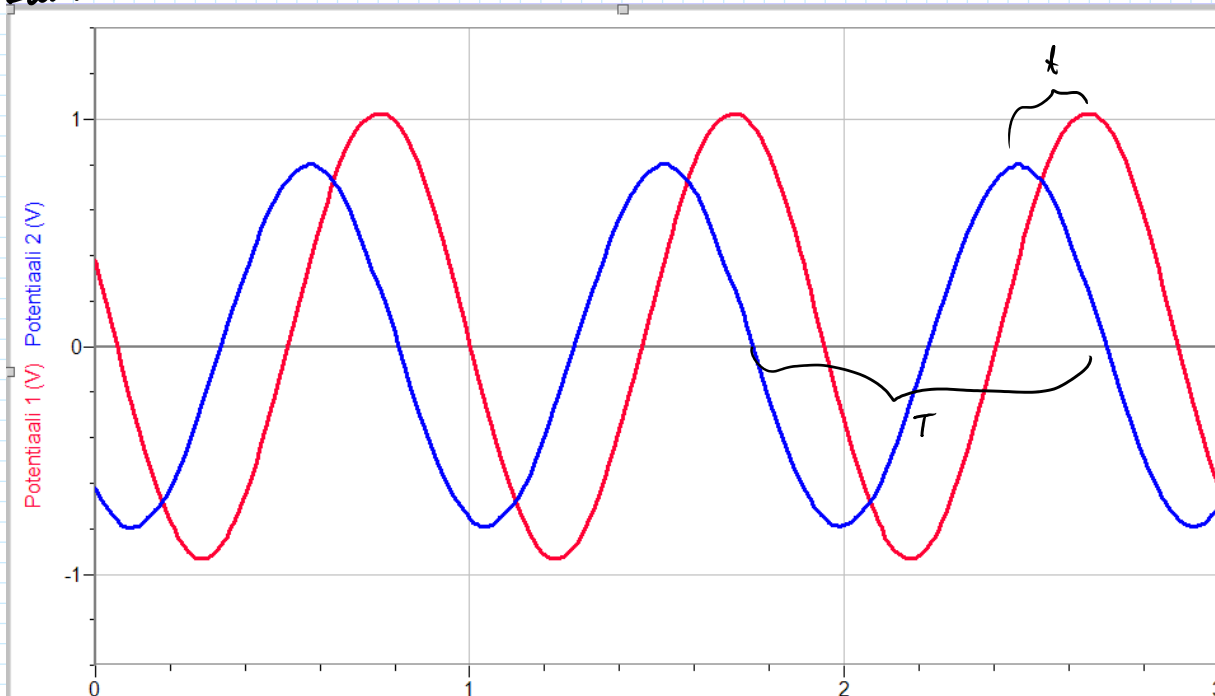
Potentiaali 1
0,010 V

Potentiaali 2
-0.427 V



Otettu näyttöleike: 11.10.2017 9:14

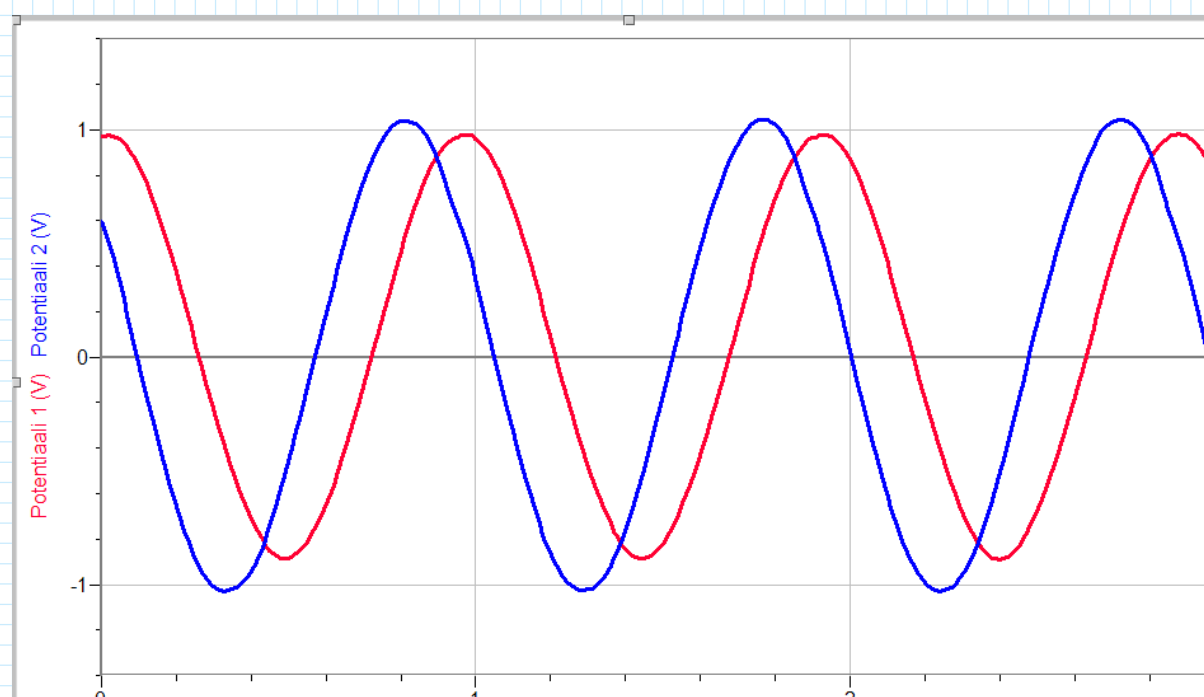
Käämi : $N = 300$, $f = 100 \text{ Hz}$, pelkkiä sydän



$$\frac{t}{T} = \frac{\varphi}{2\pi}$$

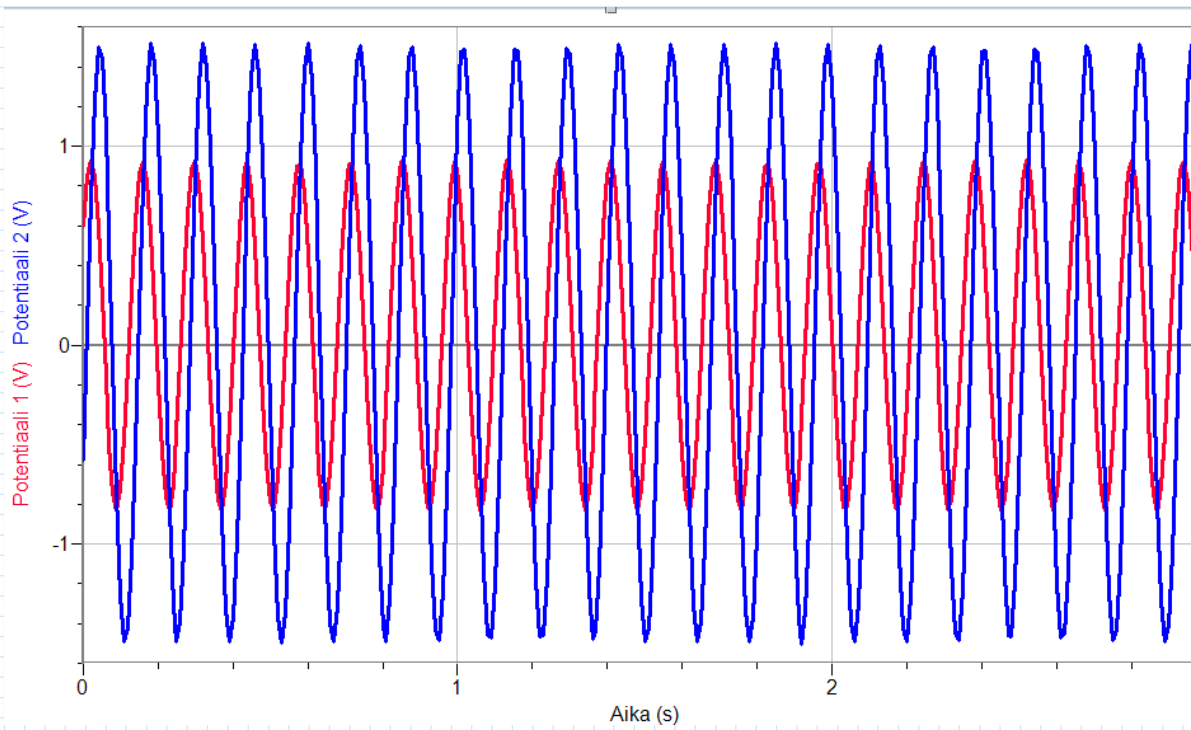
Otettu näyttöleike: 11.10.2017 9:19

Käämi $N = 300$, sydän + ies, $f = 100 \text{ Hz}$



Otettu näyttöleike: 11.10.2017 9:19

Käämi, $N = 300$, sydän + ies, $f = 200 \text{ Hz}$



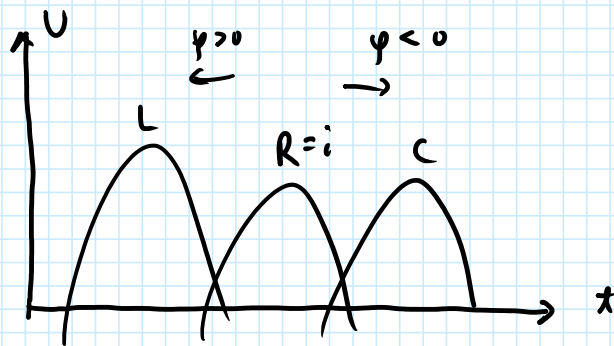
Otettu näyttöleike: 11.10.2017 9:20

-

- käämi AC-piirissä : $R + X_L$, $X_L =$ käämin induktiivinen reaktanssi,
 $L =$ induktanssi (H) vaikuttaa f (Ω)

R hyvin pieni, $R=0$ ideaalinen käämi

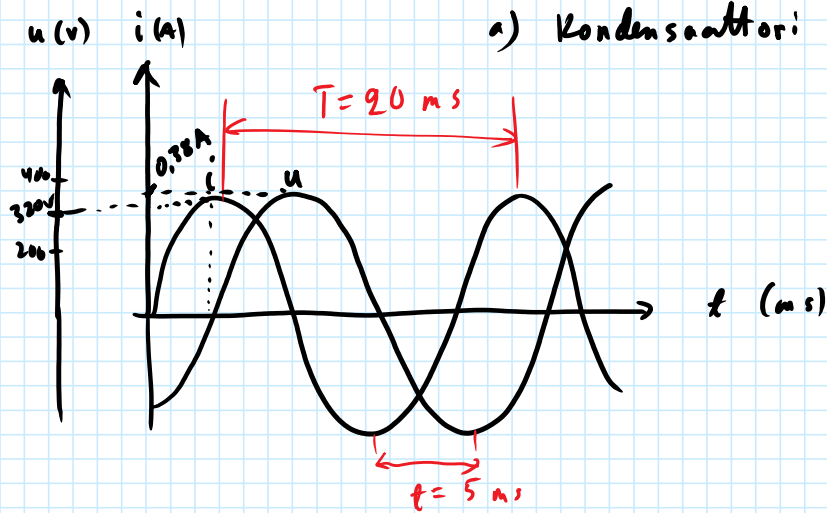
- kondensaattori AC-piirissä : X_C , $X_C =$ konden. kapasitiivinen reaktanssi,
 $C =$ kapasitanssi (F) vaikuttaa f (Ω)



$$E_C = \frac{1}{2} C U^2$$

$$E_D = \frac{1}{2} L I^2$$

3-9



AC-pöörissä $\rightarrow$
 i edellä u :ta,
 u on punainen

b) $\varphi =$ yksi värähdys T vastaa 2π

$$\frac{t}{T} = \frac{\varphi}{2\pi} \rightarrow \frac{1}{4} = \frac{\varphi}{2\pi} \rightarrow \varphi = \frac{\pi}{2}$$

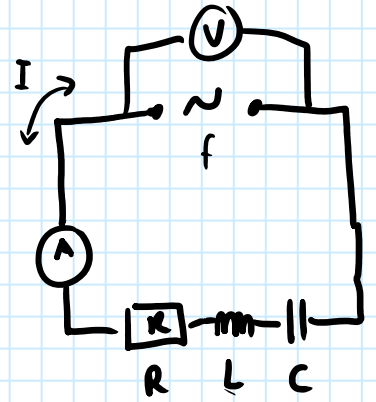
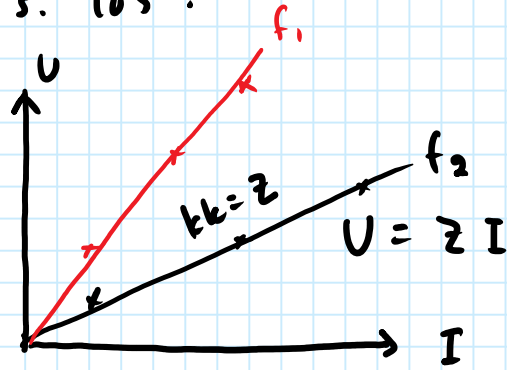
Vast: $\varphi = -\frac{\pi}{2}$
 $\uparrow$ kond.

c) $Z = \frac{U}{I} = \frac{U_0}{I_0} = \frac{320 \text{ V}}{0.36 \text{ A}} = 880 \Omega$

s. III : 3-7 $Z = k\omega$
 2-8
 3-10

Impedanssi ja vaihe-ero

Opp. työ s. 105:



- AC - piirih virran vastustuskkyky = impedanssi = Z

$$[Z] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{V}{A} = \Omega$$

- Z : aan vaikuttaa mm. vaihtojännitteen taajuus f .

Impedanssin suuruus

— taajuus vaikuttaa X_L :aan ja X_C :n, ei R :aan

— $X_L = 2\pi f L$, $[X_L] = \Omega$, $f = \text{lähdejännitteen taajuus (Hz)}$

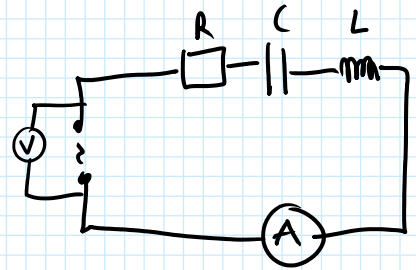
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}, \quad [X_C] = \Omega$$

— RCL-piirin (kokonais) impedanssi.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}$$

$$I = \frac{U}{Z}$$



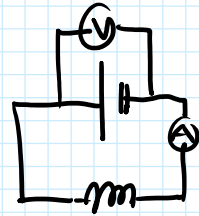
3-17

1. DC :

$$U_1 = 20,0 \text{ V}$$

$$I_1 = 5,0 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{I} = 4,0 \Omega$$

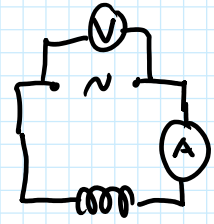


2. AC :

$$U_2 = 230 \text{ V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$I_2 = 3,0 \text{ A}$$



$$\begin{cases} Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} & (\text{ci kondensatoria}) \\ Z = \frac{U_2}{I_2} \end{cases}$$

$$\frac{U_2}{I_2} = \sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2} \quad || (\)^2$$

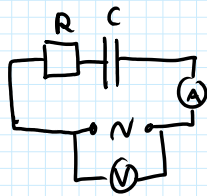
$$\frac{U_2^2}{I_2^2} = R^2 + 4\pi^2 f^2 L^2$$



$$\frac{U_2^2}{I_2^2} - R^2 = 4\pi^2 f^2 L^2 \quad || : (4\pi^2 f^2)$$

$$L = \sqrt{\frac{\frac{U_2^2}{I_2^2} - R^2}{4\pi^2 f^2}} \approx 0,24 \text{ H}$$

3-25



$$U = 230 \text{ V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$R = 250 \, \Omega$$

$$C = 25 \, \mu\text{F} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

$$I = \frac{U}{Z}$$

S. 120:

3-16

$$Z = \sqrt{R^2 + (0 - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)^2} = 127,324 \, \Omega$$

3-18

$$I = \frac{230 \text{ V}}{127,324 \, \Omega} = 0,8198 \text{ A} \approx 0,82 \text{ A}$$

3-19

3-20

$$i_0 = \sqrt{2} \cdot I \approx 1,2 \text{ A}$$

3-23

$$\text{prien } i = 0 \text{ A}$$

3-26 b

$$3-19 \quad \underline{\underline{U}} = Z I = X_C I = \frac{1}{2\pi f C} \cdot I$$

$$C = \frac{I}{2\pi f U}$$

3-28

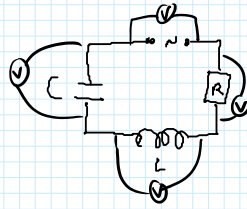
$$R = 50 \, \Omega$$

$$L = 0,16 \, \text{H}$$

$$C = 32 \, \mu\text{F}$$

$$f = 50 \, \text{Hz}$$

$$U = 110 \, \text{V}$$



$$a) \quad I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2}} \approx 1,568 \, \text{A}$$

(vrt. $I = \frac{U}{R}$)

$$4) \quad \Omega = 1,568 \, \text{A}$$

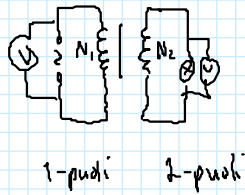
$$b) \quad U_R = RI = 50 \, \Omega \cdot 1,568 \, \text{A} \approx 78 \, \text{V}$$

$$U_L = X_L I = 2\pi fL \cdot I \approx 79 \, \text{V}$$

$$U_C = X_C I = \frac{1}{2\pi fC} \cdot I \approx 160 \, \text{V}$$

Muuntaja

Opp. työ s. 127: kaksi käämiä induktiivisesti kytkettynä (sama magn. kenttä läpäisee molemmat). Yhteinen rautasydän ($\approx$ sama magn. kenttä kummassakin)
+ i.e.s $\rightarrow$



	N_1	$U_1 (V)$	N_2	$U_2 (V)$
1.	1200	1,3	300	0,01
2.	300	1,3	1200	2,9
3	1200	1,3	1200	0,7

- muuttuva $U_1 \rightarrow$ muuttuva $I_1 \rightarrow$ muuttuva $B_1 \rightarrow$ sama muuttuva B_2
(N_1 vaikuttaa)
 $\rightarrow$ muuttuva $U_2 \rightarrow$ muuttuva I_2
(N_2 vaikuttaa)

- ideaalinen muuntaja ei tehohäviöitä

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

- muuntajan hyötysuhde $\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$

Esim. $N_1 = 300$
 $N_2 = 1200$
 $U_1 = 1,3 V$
 $I_2 = 0,7 A$

$$a) \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \rightarrow U_2 = \frac{U_1 N_2}{N_1} = 5,2 V$$

$$b) \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \rightarrow I_1 = \frac{N_2 I_2}{N_1} = 2,8 A$$

3-41

$$N_1 = 600$$

$$U_1 = 230 \text{ V}$$

$$N = 6$$

$$a) \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad \rightarrow \quad I_2 = \frac{N_1 I_1}{N_2} = \frac{600}{6} \cdot I_1 = 100 I_1$$

$$b) \quad R_{\text{naula}} < R_{\text{lamppu}} \quad \text{joten} \quad I_{\text{naula}} > I_{\text{lamppu}}$$

S. 135 :
3-42
3-43
3-44

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Jacob's Ladder:

https://www.youtube.com/watch?v=Jzy_bPnt1_A

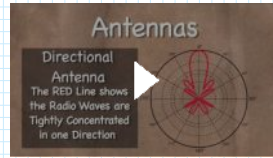
<https://youtu.be/7eutept5h9Q>



<https://www.youtube.com/watch?v=jgGAn079lY>



<https://www.youtube.com/watch?v=SRXZEYSUbio>



- Aaltoliikkeen perusyhtälö:

$$c = f\lambda, \text{ missä}$$

$$c = \text{valon nopeus} = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = \text{taajuuus (Hz)}$$

$$\lambda = \text{aallonpituus (m)}$$

- Radion vastaanottotaajuuus säädetään oikeaksi esim. RCL-piirin säätökondensattorilla niin, että Z saa minimin (eli vastaanotinpierissä kulkee maksimi virta):

$$X_L - X_C = 0 \rightarrow 2\pi f_0 L - \frac{1}{2\pi f_0 C} = 0 \rightarrow 2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C} \rightarrow (2\pi f_0)^2 LC = 1$$

$$f_0^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 LC} \rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \text{resonanssitaajuuus}$$

Esim. $f_0 = 89,8 \text{ MHz}$
 $L = 0,20 \mu\text{H}$
 $R = 80 \Omega$

Mikä on C ?

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$\parallel \cdot 2\pi$

$\parallel \sqrt{\quad}$

$$(2\pi f_0)^2 = \frac{1}{LC}$$

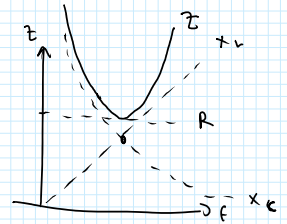
$$C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L} = \frac{1}{(2\pi \cdot 89,8 \cdot 10^6)^2 \cdot 0,20 \cdot 10^{-6}} \approx \dots$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}$$

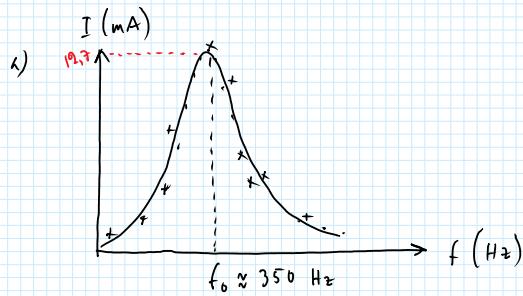
$= X_L \qquad \qquad \qquad = X_C$

$$I = \frac{U}{Z}$$

$$X_L - X_C = 0$$



4-3



4-1

4-2

4-6

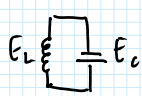
4-7

c) $C = 0,32 \mu\text{F}$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \rightarrow L = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C} \approx 0,65 \text{ H}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3,8 \text{ V}}{12,7 \cdot 10^{-3} \text{ A}} \approx 300 \Omega$$

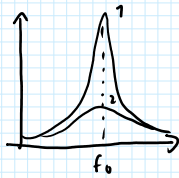
4-4



$$\frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} C U^2 \rightarrow I = \sqrt{\frac{C U^2}{L}} = U \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\rightarrow i_0 = I \sqrt{2}$$

4-7



a) Väärtin:

Samalla f_0 ($X_L - X_C = 0$) $\rightarrow Z = R$. $I = \frac{U}{Z}$

U samalla, I eri $\rightarrow Z = R$ eri

b) $I = \frac{U}{R}$ tohtu, $I_2 < I$, eli $R_2 < R$.

c) f_0 samat:

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}} \rightarrow L_1 C_1 = L_2 C_2 \rightarrow \frac{L_1}{L_2} = \frac{C_2}{C_1} \text{ tohtu}$$

Kokeeseen ei tule: AC tasasuuntaus s. 118
 AC teho s. 123
 Kolmivaihevirta s. 133
 Antenni ja sm-todonsuutto s. 158-170

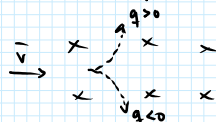
1. Luku: - magn. vuorovaikutus, mikrorakenne, magn. kenttä, aihe magn. kentässä

- liikkuvaan varaukseen kohdistuva magn. voima

$$F_m = qvB \sin \alpha \text{ oikean käden kolmisormisääntö}$$

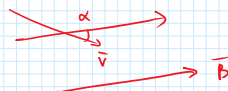
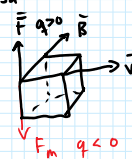
kun $q > 0$

- varauksen hiukkasen rata magn. kentässä



$$qvB = \frac{mv^2}{r} \rightarrow r = \frac{mv}{qB}$$

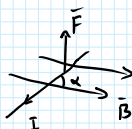
(kiihtytys sähkökentällä $qU = \frac{1}{2}mv^2$)



- johtimen magn. kenttä: oikean käden sääntö, Biot-Savart

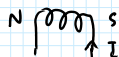


- johtimen ulk. magn. kentässä:



$$F_m = I L B \sin \alpha$$

- Käämi magn. kentässä: oikean käden sääntö käänin oman magn. kentän suunnalle

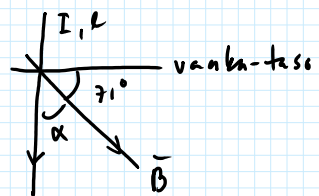


$$M = N I B A \sin \alpha$$



S. 170: 1, 2, 3, 11
 12, 13, 14, 15
 16, 17, 18, 19
 20, 21

2.



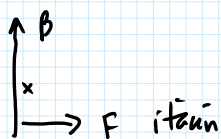
$$B = 49 \mu T$$

$$l = 0,50 \text{ m}$$

$$I = 4 \text{ A}$$

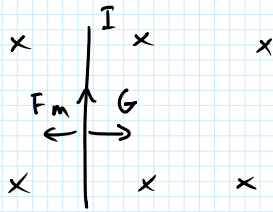
$$\alpha = 19^\circ$$

$$F_m = I l B \sin \alpha = 32 \mu N$$



4.

$$F_m = I l B$$



$$A = 2,0 \text{ mm}^2 = 0,00002 \text{ m}^2$$

$$\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3 = 2,7 \frac{10^{-3} \text{ kg}}{10^{-6} \text{ m}^3} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$B = 0,38 \text{ T}$$

$$F_m = G$$

$$I l B = m g$$

$$I l B = \rho V g$$

$$I l B = \rho A l g$$

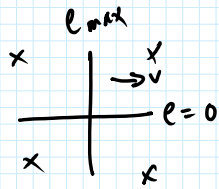
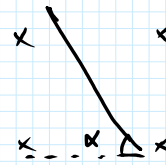
$$I = \frac{\rho A g}{B} = \frac{2700 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81}{0,38} \quad A \approx 0,14 \text{ A}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V$$

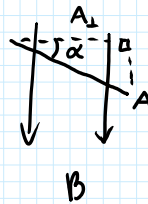
$$V = A l$$



2. Indukti: induktio, Lenzin laki, $\epsilon = l v B \sin \alpha$



magneettivuo $\Phi = B A_{\perp}$



$$\epsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (= -N \frac{d\Phi}{dt})$$

itseinduktio $\epsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$

$$E_B = \frac{1}{2} L I^2$$

Generaattori: toiminta, $\epsilon = \underbrace{N B A \omega}_{\epsilon_0} \sin(\omega t)$

6. $\Delta \Phi = 0 - 35 \mu Wb = -35 \mu Wb$

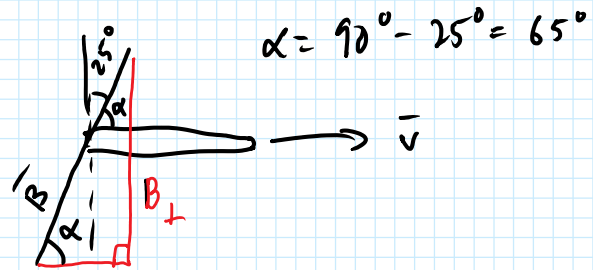
$\Delta t = 15 \text{ ms}$

$N = 660$

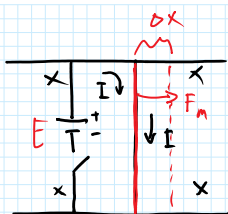
$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -660 \cdot \frac{-35 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}}{15 \cdot 10^{-3} \text{ s}} \approx 1,5 \text{ V}$

5. 170; 5,7, 25, 27 - 30

25. $\mathcal{E} = l v B_{\perp} = I L B \sin \alpha$



29.



$$a) \quad I = \frac{E}{R} = \frac{12\text{V}}{5.0\Omega} = 2.4\text{A}$$

Kolmisormisääntö: F_m oikealle, $F_m = I l B = 0.84\text{N}$

b) Kun pun. johdin liikkuu, niin magn. kenttästä
oleva A muuttuu. $\Delta A = \Delta x \cdot l$

$$\Delta \Phi = B \Delta A = B l \Delta x \rightarrow e = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{B l (\Delta x)}{(\Delta t)} = - B l v$$

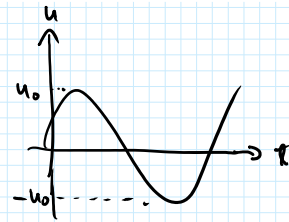
e -n suunta vastustaa muutosta, vastainen E .

Jossain vaiheessa e ja E vast. suunt. $\rightarrow I = 0 \rightarrow F_m = 0$
 $\rightarrow \Sigma F = 0$ vakionopeus.

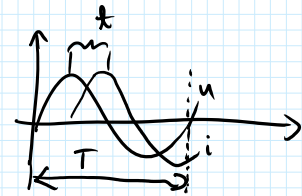
$$E = - B l v \rightarrow v = \frac{12\text{V}}{1.4\text{T} \cdot 0.25\text{m}} = 34\text{m/s}$$

3. luku: AC - nimitykset, $U = \frac{u_0}{\sqrt{2}}$, $I = \frac{i_0}{\sqrt{2}}$

impedanssi $Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, $X_L = 2\pi f L$, $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$

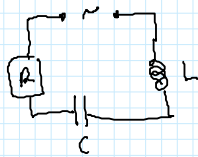


Vaihe-erot: $R = 0$
 $L = +\frac{\pi}{2}$ (V edellä)
 $C = -\frac{\pi}{2}$ (V jäljessä)



$$\frac{t}{T} = \frac{\varphi}{2\pi}$$

RCL - piiri



$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}, \text{ tällöin } I = I_{\max}$$

Muuntaja

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

4-6

$$f = 84,1 \text{ MHz}$$

$$R = 5,00 \Omega$$

$$L = 1,50 \mu\text{H}$$

$$a) f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad | \cdot 2\pi$$

$$f_0 \cdot 2\pi = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad | ()^2$$

$$4\pi^2 f_0^2 = \frac{1}{LC}$$

$$4\pi^2 f_0^2 LC = 1$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L} = 2,4 \text{ pF}$$

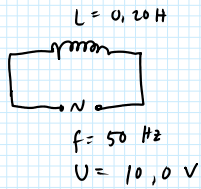
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2} \approx 5 \Omega$$

$$b) f_1 = 84,2 \text{ MHz}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi f_1 L - \frac{1}{2\pi f_1 C}\right)^2} \approx 5,4 \Omega$$

35.

5.135



$$a) \quad Z = \sqrt{R + (X_L - X_C)^2} = X_L = 2\pi fL = 62,83 \Omega \approx 63 \Omega$$

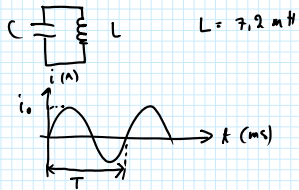
$$b) \quad U = ZI \rightarrow I = \frac{U}{Z} = \frac{10,0 \text{ V}}{62,83 \Omega} = 0,1592 \text{ A} \approx 0,16 \text{ A}$$

$$c) \quad i_0 = \sqrt{2} I = \sqrt{2} \cdot 0,1592 \text{ A} \approx 0,23 \text{ A}$$

$$7. \quad 15,5 \text{ V} = L \cdot \frac{(1,5 \text{ A} - 5,1 \text{ A})}{0,015 \text{ s}}$$

$$L = 65 \text{ mH}$$

53.



$$a) \quad i_0 = 3,2 \text{ A}$$

$$T = 2,5 \text{ ms} \rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad |()^2$$

$$\frac{1}{T^2} = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$

$$C = \frac{T^2}{4\pi^2 L} = \frac{(0,0025 \text{ s})^2}{4\pi^2 \cdot 0,0072 \text{ H}} \approx 22 \text{ pF}$$

$$b) \quad \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} L I^2, \quad I = \text{suurin virto} \rightarrow \text{suurin } U$$

$$U^2 = \frac{L I^2}{C}$$

$$U = \sqrt{\frac{L I^2}{C}} \approx 6 \text{ V}$$

$$5. \quad |70-17|: 8-10, 36a$$

$$37, 42$$

$$e = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$3,8 \text{ V} = L \cdot \frac{0-2,6 \text{ A}}{0,0045 \text{ s}}$$

$$E = \frac{1}{2} L I^2$$

15.

$$B = 0,55 \text{ T}$$

$$r_1 = 220 \text{ nm} \rightarrow E_1 = \frac{1}{2} m \left(\frac{q B r_1}{m} \right)^2 \sim \dots$$

$$r_2 = 140 \text{ nm} \rightarrow E_2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{q B r_2}{m} \right)^2 \sim \dots$$

$$q B = \frac{m v}{r}$$

$$q = +e$$

$$v = \frac{q B r}{m}$$

$$\Delta E_k = E_2 - E_1 = \frac{(q B r_2)^2}{2m} - \frac{(q B r_1)^2}{2m} = \frac{q^2 B^2}{2m} (r_2^2 - r_1^2) = -417,25 \text{ keV}$$

$$\sim -420 \text{ keV}$$

$$\frac{420}{160} \text{ nm} \approx 2,6 \text{ nm}$$