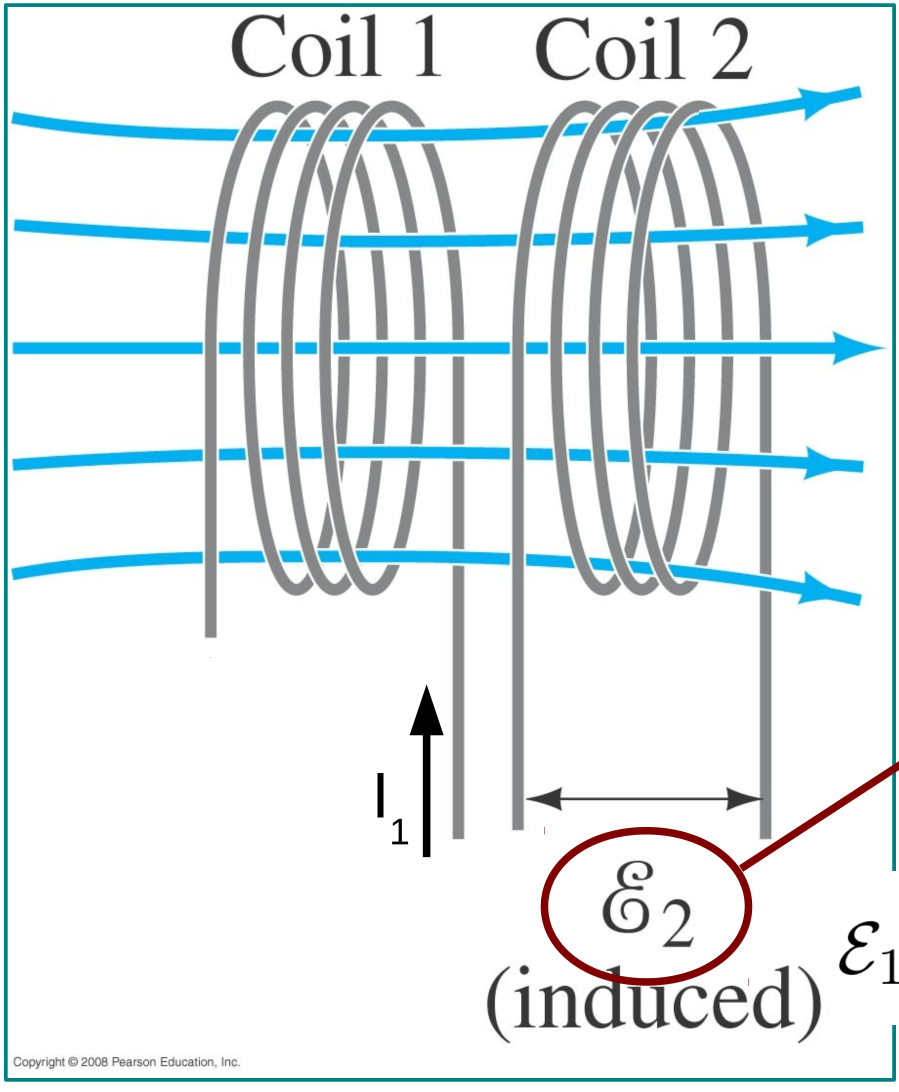
Käämi menee piiriin: induktanssi

- Ne, joiden mielestä muuntaja toimii näin ovat oikeassa
- Keskinäisinduktanssi M riippuu geometriasta → suunnittelu



Jos $dI_1/dt \neq 0$, niin epäilemättä käämin 2 läpi kulkeva magneettivuo Φ_B muuttuu eli $d\Phi_B/dt \neq 0$ → Indusoituu jännite.

Ei ole suuri ihme, että tähän tulee yksi vakio: *keskinäisinduktanssi*

$$\mathcal{E}_2 = -M_{21}\frac{dI_1}{dt}$$

ja kun käämien roolit vaihdetaan:

$$\mathcal{E}_1 = -M_{12}\frac{dI_2}{dt}$$

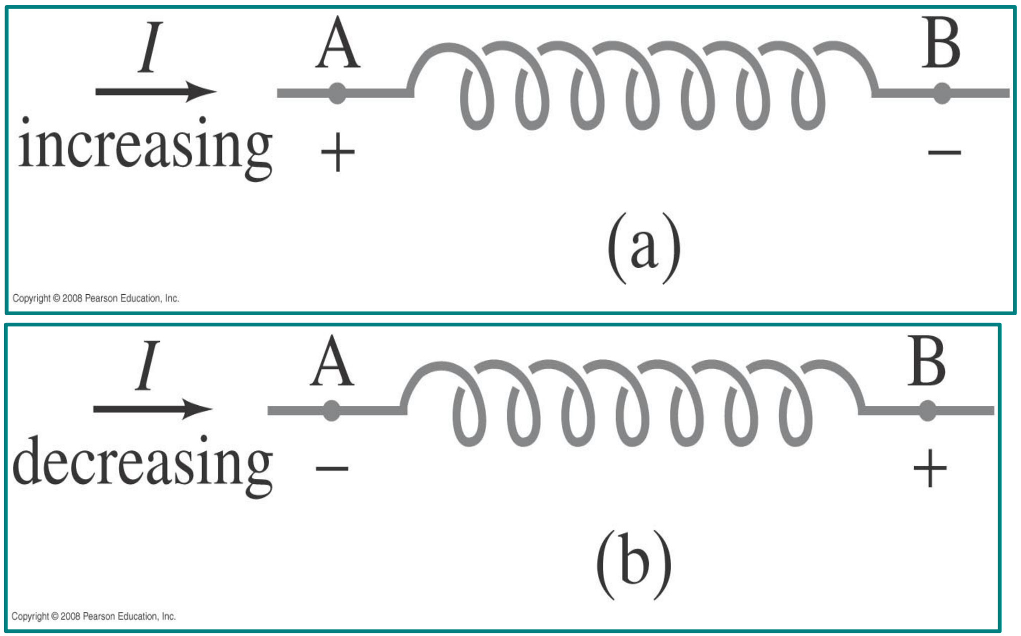
ja lopulta:

$$M_{21} = M_{12} = M$$

Käämi menee piiriin: induktanssi

Kaksi käämiä siis vaikuttaa toisiinsa seuraavasti:
virta muuttuu → magneettivuo muuttuu → indusoituu jännite

Mutta tarvitaanko tähän kaksi käämiä vai riittäisikö yksikin:
virta muuttuu → magneettivuo muuttuu → indusoituu jännite



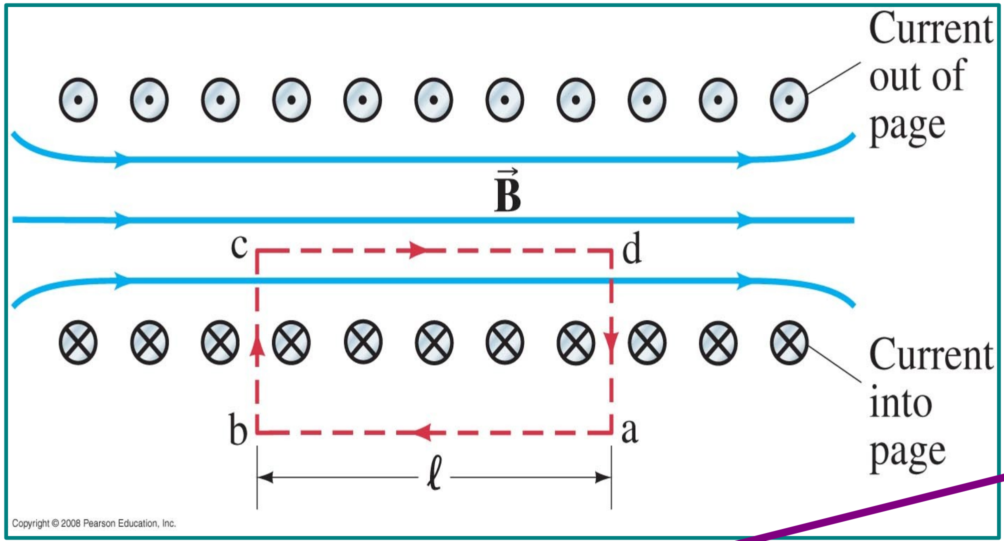
Kyllä riittää.
Otetaan käämi ja johdetaan sen läpi muuttuva virta → käämin päiden väille *Faradayn lain* mukaan indusoituu jännite, joka *Lenzin lain* mukaan vastustaa virran muutosta.

$$\mathcal{E} = -L\frac{dI}{dt}$$

L on *(itseis)induktanssi*

Induktanssi: solenoidi

Ampèren lain avulla saimme magneettikentän voimakkuuden B:



$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \mu_0 n I$$

$$\Phi_B = BA = A\mu_0 \frac{N}{\ell} I$$

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

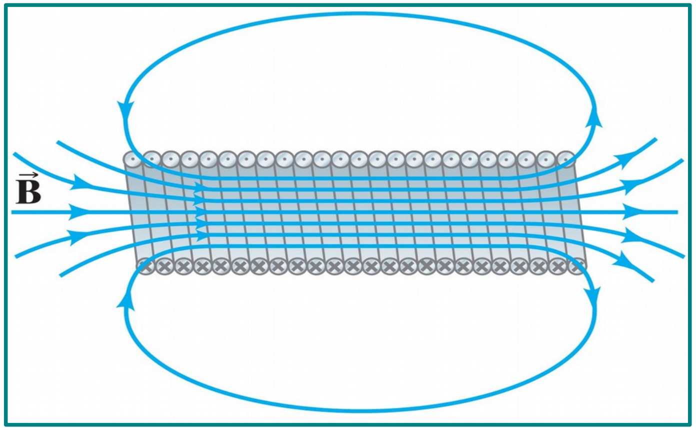
$$\mathcal{E} = -NA\mu_0 \frac{N}{\ell}\frac{dI}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \quad \Rightarrow \quad L = A\mu_0 \frac{N^2}{\ell}$$

Käämi menee piiriin: magneettinen energia

Itseinduktion sähköteho on:

$$P = I\mathcal{E} = IL\frac{dI}{dt}$$

Käämi säilöö magnetostaattista energiaa.
Kondesaattori säilöö sähköstaattista energiaa



eli:

$$Pdt = LIdI$$

Tämä energia on säilötty käämin magneettikenttään.

$$W = \int Pdt = \int LIdI = \frac{1}{2}LI^2 = U$$

Tulosta kannattaa verrata kondensaattoriin: $E = \frac{1}{2}CV^2$

Magneettinen energia: solenoidi

Taas kerran on rehellistä kysyä: Mihin se energia meni?

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

$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I$$

$$I = \frac{B\ell}{\mu_0 N}$$

$$U = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} A\ell$$

$$L = A\mu_0 \frac{N^2}{\ell}$$

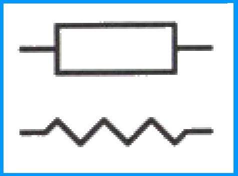
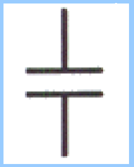
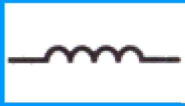
Magneettikentän energiatiheys (energia / tilavuus):

$$\boxed{u_B = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}}$$

Kokeneesti vertaamme sähkökenttään:

$$\boxed{u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2}$$

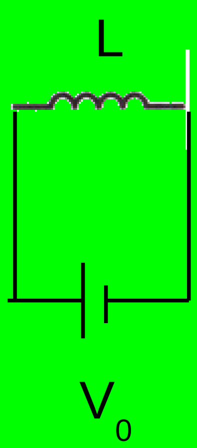
Kolmen sortin komponenttia

Nimi	Tyyppi	Symboli	Jännitehäviö	Piirrosmerkki
Vastus	Resistiivinen	R	$V_R = RI$	
Kondensaattori	Kapasitiivinen	C	$V_C = Q/C$	
Käämi	Induktiivinen	L	$V_L = -L\,dI/dt$	

Piirrosmerkit: http://koti.mbnet.fi/~huhtama/ele/index.php?si=merkit.sis

Käämi piirissä

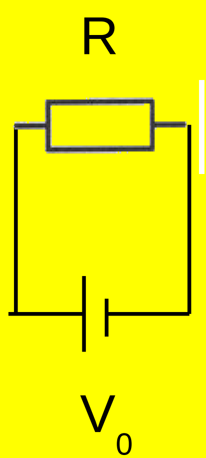
Kirchhoffin lait pätevät yhä: $$V_0 - L\frac{dI}{dt} = 0$$



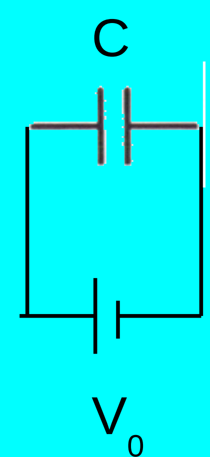
$$I = \frac{V_0}{L}t$$

Pelkkä käämi johtaa siis rajatta kasvavaan virtaan!

Vertaa tuttuihin tuotteisiin:

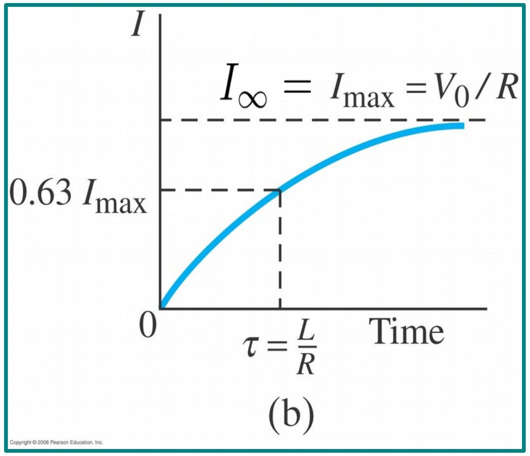


$$I_\infty = \frac{V_0}{R}$$



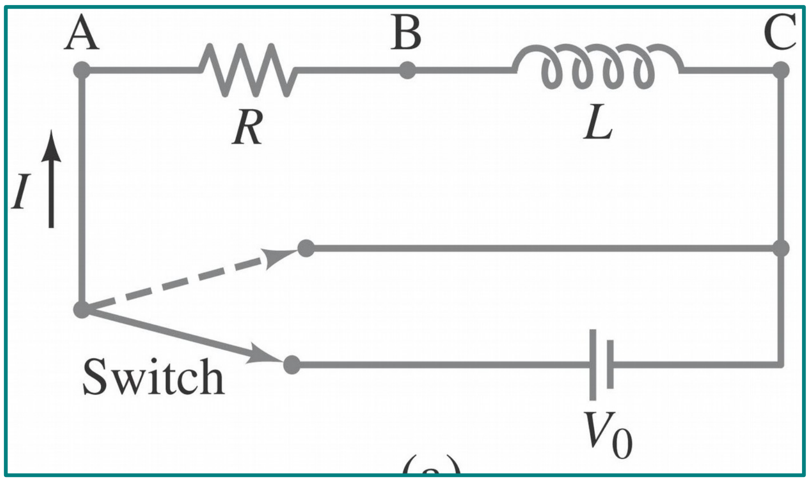
$$I_\infty = 0$$

$$Q_\infty = CV_0$$



LR-piirit

Pelkkä käämi tasajännitelähteen kanssa ei ollut niin kovin hyvä idea. Lisätään siis vastus.



Kirchhoffin lait ovat edelleen ihan hyvä idea.

$$L\dot{I} + RI = V_0$$

Differentiaaliyhtälö!

HY: $L\dot{I} + RI = 0$

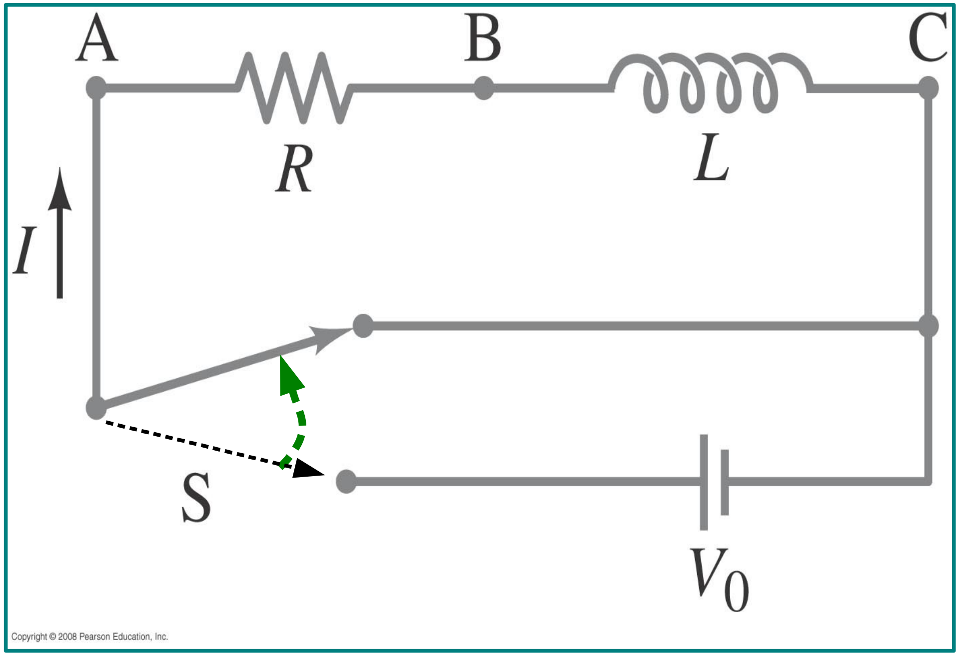
$$I = De^{-\frac{R}{L}t} = De^{-\frac{t}{\tau}}$$

EHY: $L\dot{I} + RI = V_0 \Rightarrow I_\infty = \frac{V_0}{R}$

HY + EHY: $I = De^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{V_0}{R}$

Alkuehto I(0)=0: $I = \frac{V_0}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$

LR-piirit



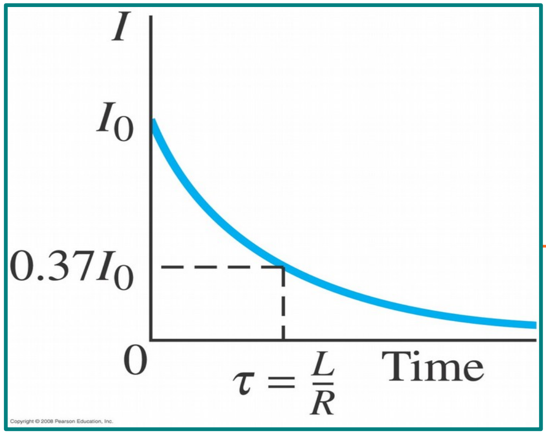
Piirin yhtälö on nyt vain HY:

$$L\dot{I} + RI = 0$$

$$I = De^{-\frac{R}{L}t} = De^{-\frac{t}{\tau}}$$

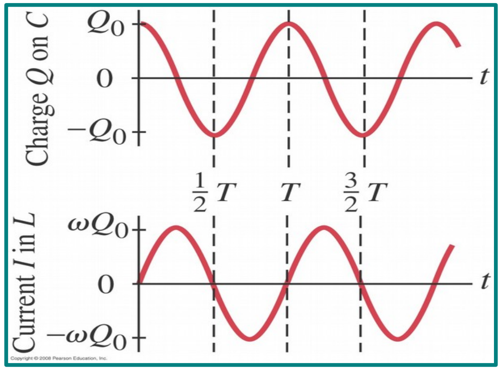
ja alkuehto: $I(0) = \dfrac{V_0}{R}$

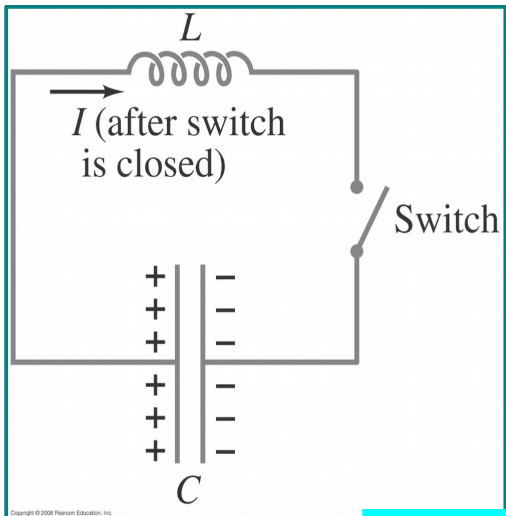
$$I = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$



Energia:
Käämiin varastoitunut magneettinen energia kuluu vastuksessa.

Vauhtiin päästyä: LC-piirit





Kirchhoffin lait ovat edelleen ihan hyvä idea.

Jännitelaki: $$L\dot{I} + \frac{Q}{C} = 0$$

Varauksen säilyminen: $$I = \dot{Q}$$

$$\ddot{Q} + \frac{Q}{LC} = 0$$

Näyttää kumman tutulta, vrt:

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

$$Q = Q_0 \cos(\omega t) \quad I = \omega Q_0 \sin(\omega t)$$

Joten, taas:

$$Q = De^{rt}$$

$$r^2 + \frac{1}{LC} = 0$$

$$r = \pm i\sqrt{\frac{1}{LC}} = \pm i\omega$$

$$Q = A\sin(\omega t) + B\cos(\omega t)$$

$$Q(0) = Q_0$$

$$I(0) = \dot{Q}(0) = 0$$

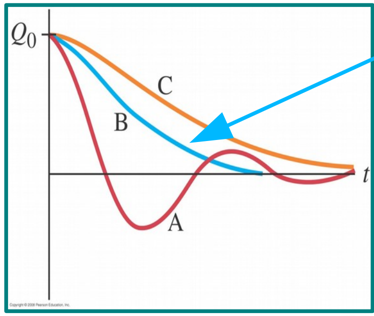
Tämän hetken piirit

Piiri	Yhtälö
R	$V_0 = RI$
RC	$V_0 = Q/C + RI = Q/C + R\dot{Q}$
LR	$V_0 = RI + L\dot{I}$
LC	$V_0 = Q/C + L\dot{I} = Q/C + L\ddot{Q}$

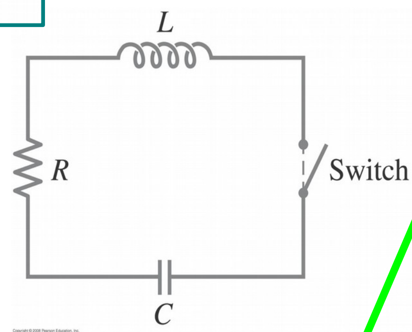
1. kertaluvun differentiaaliyhtälö

2. kertaluvun differentiaaliyhtälö

Kaikki komponentit somasti samassa: RLC-piiri



$R^2 = 4L/C$



Kirchhoffin laki:

$$\begin{cases} L\dot{I} + RI + \dfrac{Q}{C} = 0 \\ I = \dot{Q} \end{cases}$$

Mekaaninen analogia:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0$$

$$L\ddot{Q} + R\dot{Q} + \frac{Q}{C} = 0$$

$$Q = De^{rt}$$

$$Lr^2 + Rr + 1/C = 0$$

$$r_{1,2} = \frac{-R \pm \sqrt{R^2 - 4L/C}}{2L}$$

1. $R^2 > 4L/C$: vaimeneva ratkaisu:

$$Q = D_1 e^{r_1 t} + D_2 e^{r_2 t}$$

2. $R^2 < 4L/C$: oskilloiva ratkaisu:

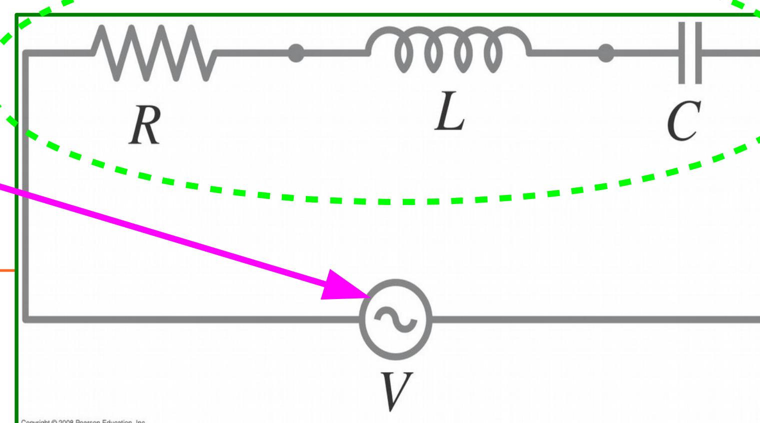
$$r_{1,2} = r' \pm i\omega' = \frac{-R}{2L} \pm \frac{\sqrt{R^2 - 4L/C}}{2L}$$

$$Q = D_1 e^{r't} \sin(\omega' t) + D_2 e^{r't} \cos(\omega' t)$$

Vaihtovirtapiirit

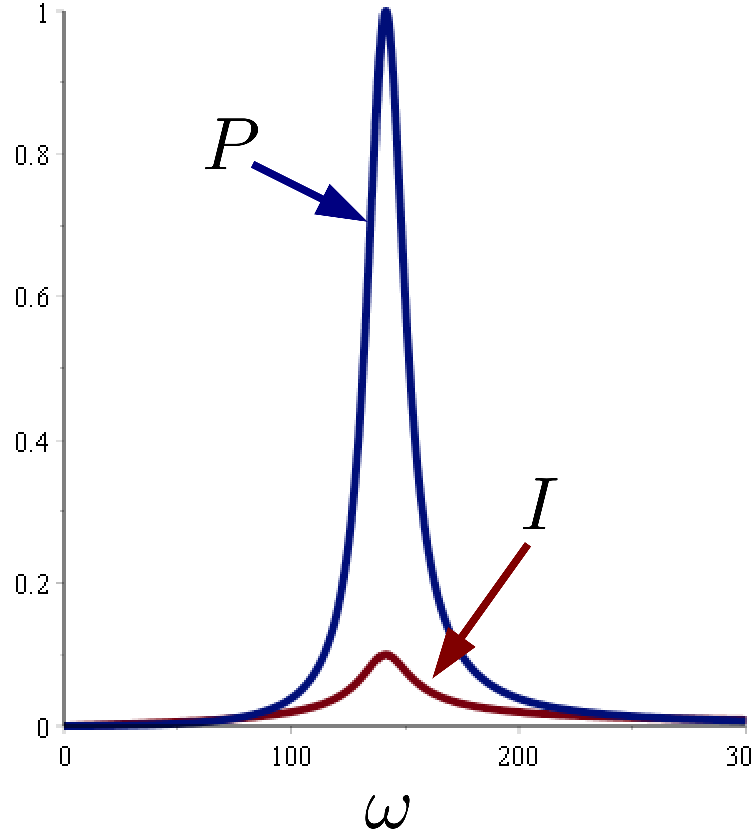
Vaihtovirtapiirissä on

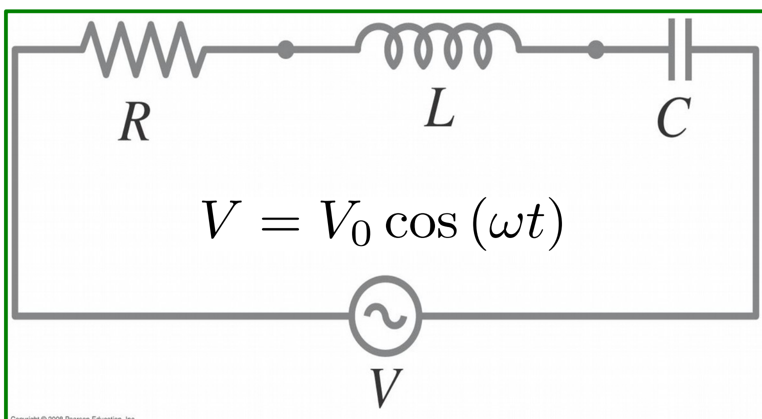
- Jännitelähde (generaattori tai verkkojännite)
- Komponentteja, joita mallinnetaan vastuksella, kondensaattorilla ja käämillä



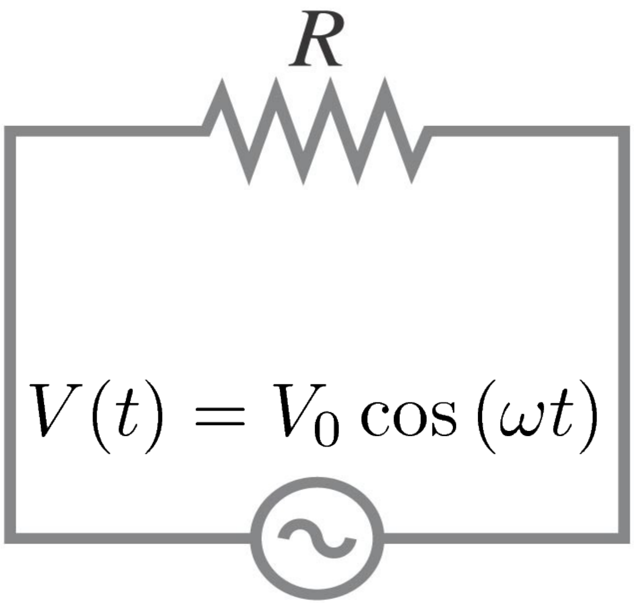
Vaihtovirtapiirit

Vaihtovirtapiirin käytös riippuu jännitelähteen kulmataajuudesta





Vaihtojännite ja -virta: Miten tarkastella?



$$V(t) = V_0 \cos(\omega t)$$

Käytännössä generaattorimme tuottavat sinimuotoista (tai kosinimuotoista) jännitettä.

Ei ole käytännöllistä puhua vaihtojännitteestä sinimuotoisena funktiona. Mutta miten sitten?

Jaksonaika T = 2π/ω, tämän sisällä kaikki toistuu.

1. Olisko keskiarvo hyvä mittari?

$$\overline{V} = \int_0^{2\pi/\omega} V(t)\, dt = 0$$

Aina nolla. Ei kovin nerokasta.

2. Entä huippuarvo V_0?

Ei surkein mahdollinen vaihtoehto. Tosin kuvaa vain ääriarvoa.

3. Entä tehollinen keskiarvo V_{rms}?

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{2\pi/\omega} V(t)^2\, dt} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

Käytännössä aina käytössä, merkitään jopa V_{rms} = V

Vaihtojännite ja -virta: Teholliset arvot

$$V_{\mathrm{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{2\pi/\omega} V(t)^2\,dt} = V_0\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{2\pi/\omega} \cos^2(\omega t)\,dt} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

Kun piirissä vain vastuksia: $I(t) = V(t)/R \qquad I_0 = V_0/R$

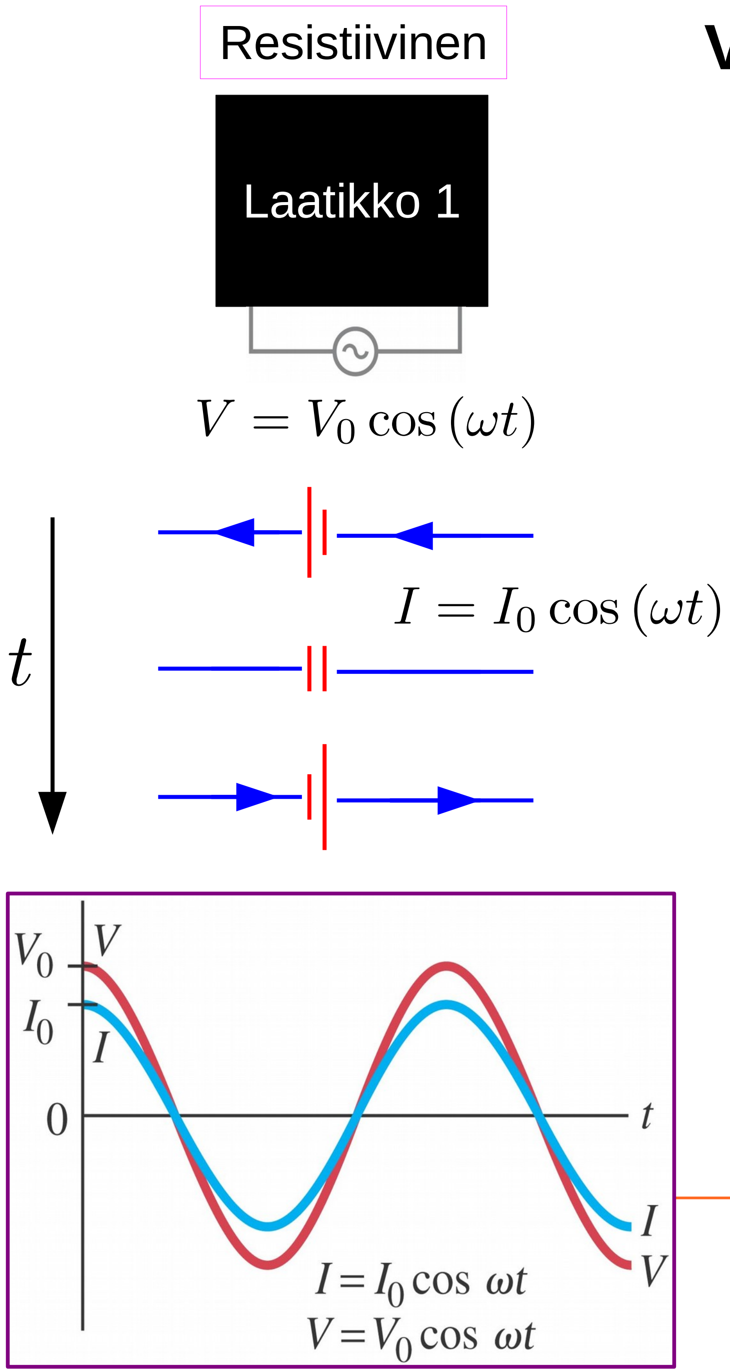
$$I_{\mathrm{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{2\pi/\omega} I(t)^2\,dt} = \frac{V_0}{R\sqrt{2}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = I$$

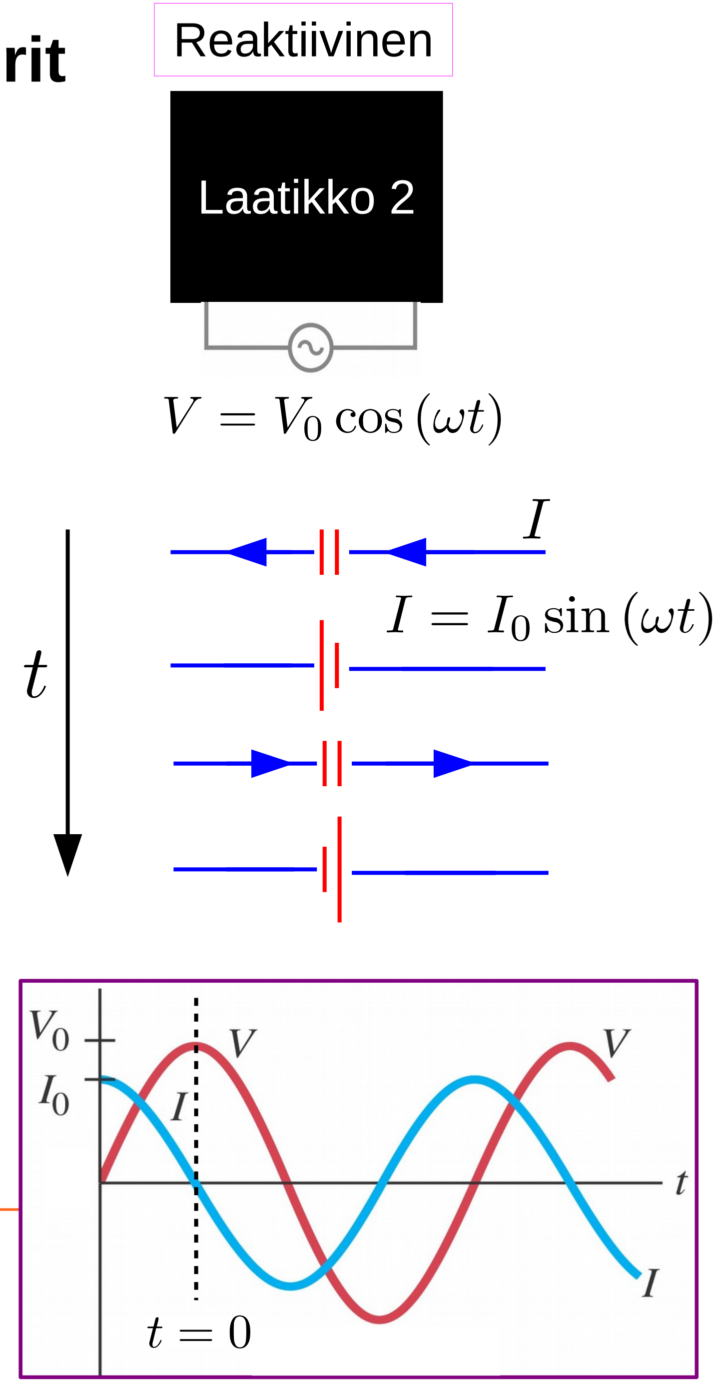
Kuinka käy sähkötehon P(t) = V(t) I(t) = ?

$$\overline{P} = \frac{1}{T}\int_0^{2\pi/\omega} V(t)I(t)\,dt = V_0 I_0\frac{1}{T}\int_0^{2\pi/\omega} \cos^2(\omega t)\,dt = \frac{V_0 I_0}{2}$$

$$= \frac{V_0}{\sqrt{2}}\frac{I_0}{\sqrt{2}} = VI = P$$

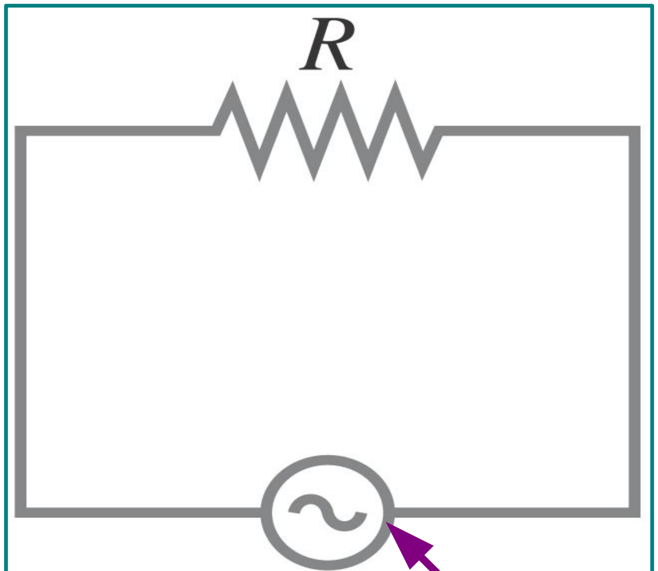
Vaihtovirtapiirit

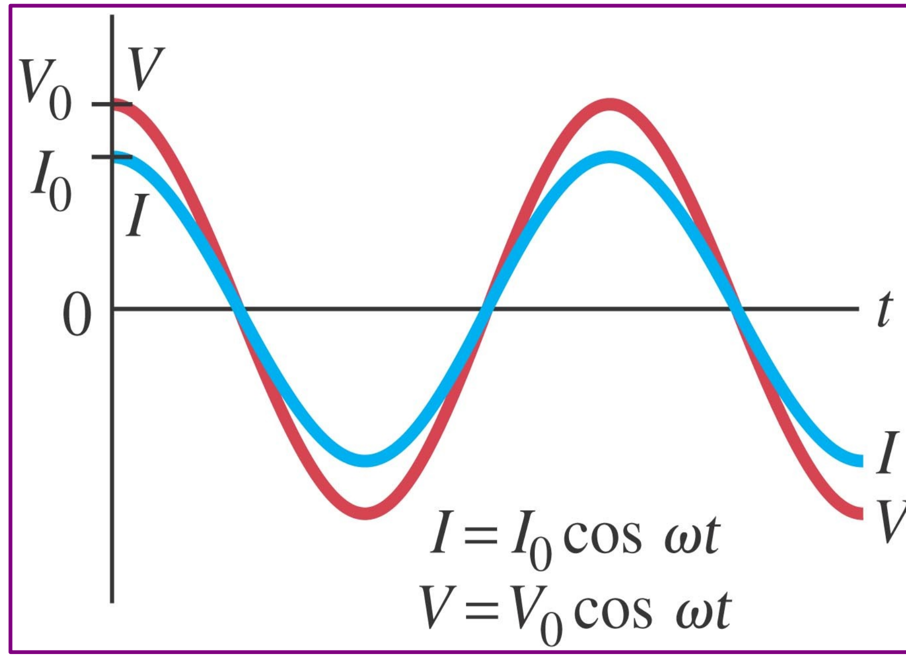




Vaihtovirtapiirit – jos maailmassa olisi vain resistanssia

RLC-komponenttien todellinen luonne tulee esiin vasta vaihtojännitelähteeseen kytkettynä.

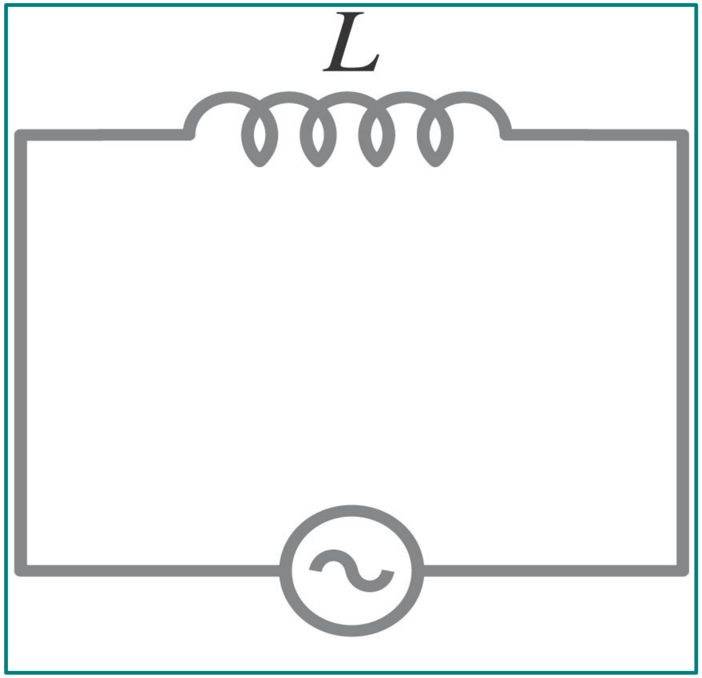




Vaihtojännitelähde:
tuottaa (sinimuotoista) jännitettä
kulmataajuudella ω
vrt. generaattori

- virta ja jännite samassa vaiheessa
- I = V/R
- $I_0 = V_0/R$

Vaihtovirtapiirit (L + vaihtojännitelähde)

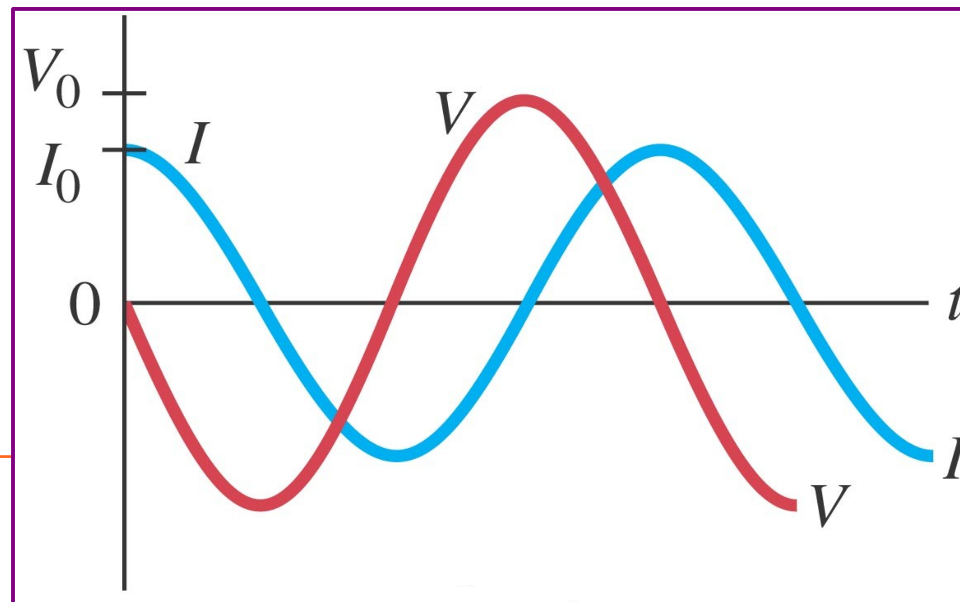


Kirchhoffin laki:

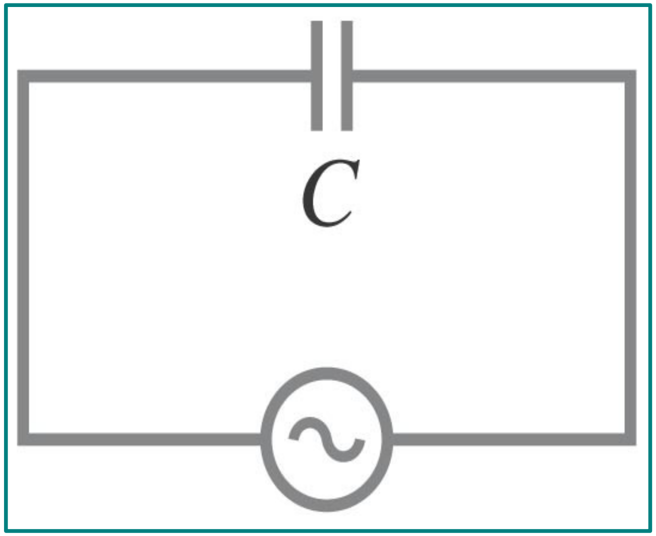
$$L\dot{I} = V \qquad V = V_0 \cos(\omega t)$$

$$I = \frac{V_0}{L\omega} \sin(\omega t) = I_0 \sin(\omega t)$$

- virta ja jännite eri vaiheessa
- $I_0 = V_0/(L\,\omega)$



Vaihtovirtapiirit (C + vaihtojännitelähde)



Kirchhoffin laki:

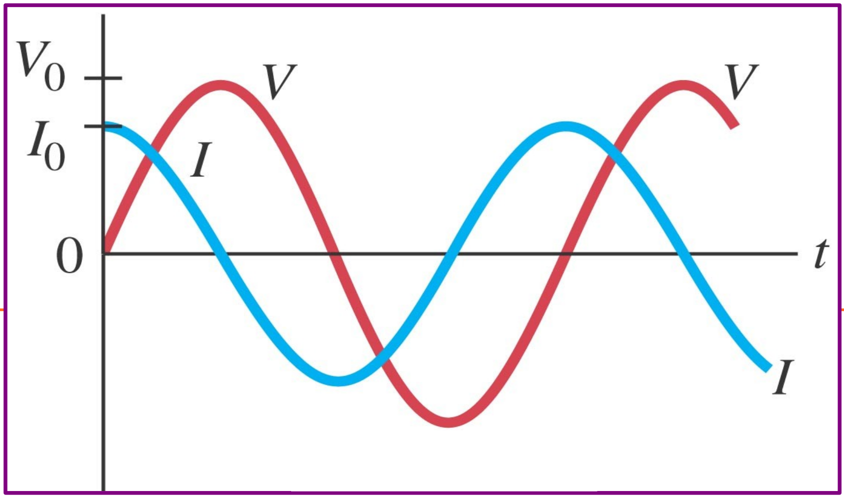
$$Q/C = V \quad + \quad \begin{cases} V = V_0 \cos(\omega t) \\ I = \dot{Q} \end{cases}$$

$$Q = CV = CV_0 \cos(\omega t)$$

$$\Downarrow$$

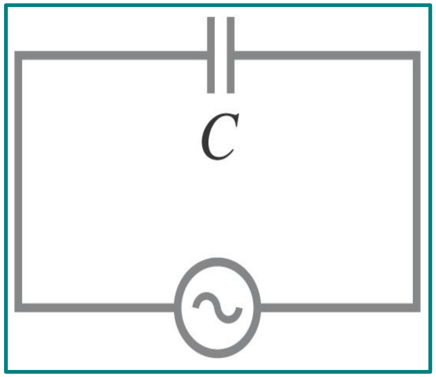
$$I = -\omega C V_0 \sin(\omega t) = -I_0 \sin(\omega t)$$

- virta ja jännite eri vaiheessa
- $I_0 = \omega C V_0$

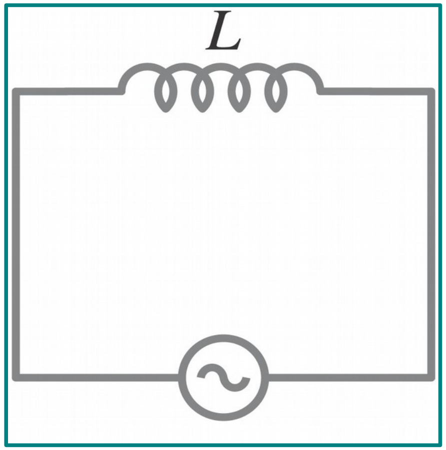


Teho vaihtovirtapiirissä (L/C + vaihtojännitelähde)

Lopputulema: Kondensaattori tai käämi vaihtovirtapiirissä ei kuluta tehoa, vaikka virta kulkee.



$$V = V_0 \cos(\omega t)$$



$$I = -\omega C V_0 \sin(\omega t) = -I_0 \sin(\omega t)$$

$$\overline{P} = \frac{1}{T}\int_0^{2\pi/\omega} V(t) I(t)\, dt$$

$$= \frac{-I_0 V_0}{T}\int_0^{2\pi/\omega} \cos(\omega t)\sin(\omega t)\, dt$$

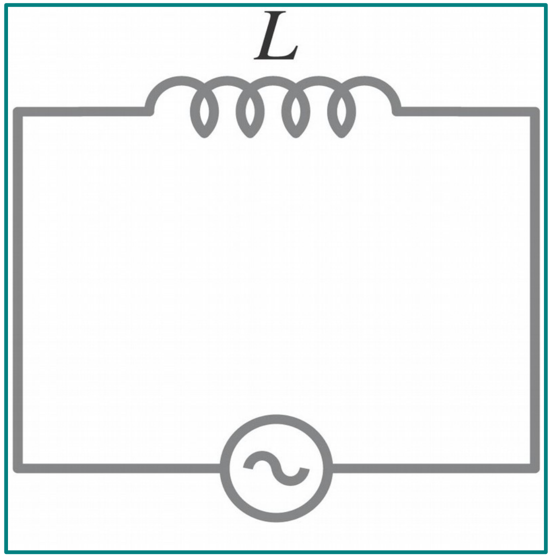
$$= 0$$

$$I = \frac{V_0}{L\omega}\sin(\omega t) = I_0 \sin(\omega t)$$

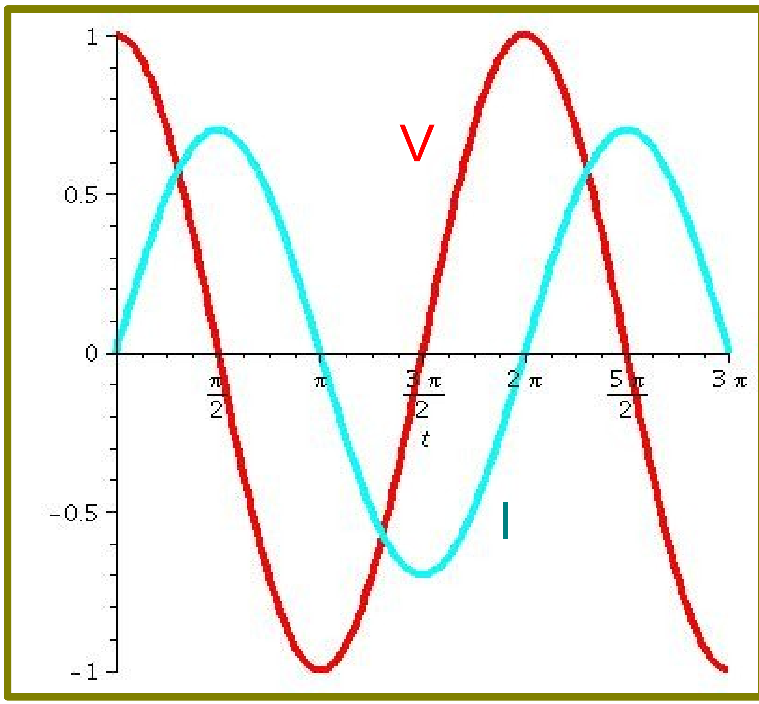
$$\overline{P} = \frac{1}{T}\int_0^{2\pi/\omega} V(t) I(t)\, dt$$

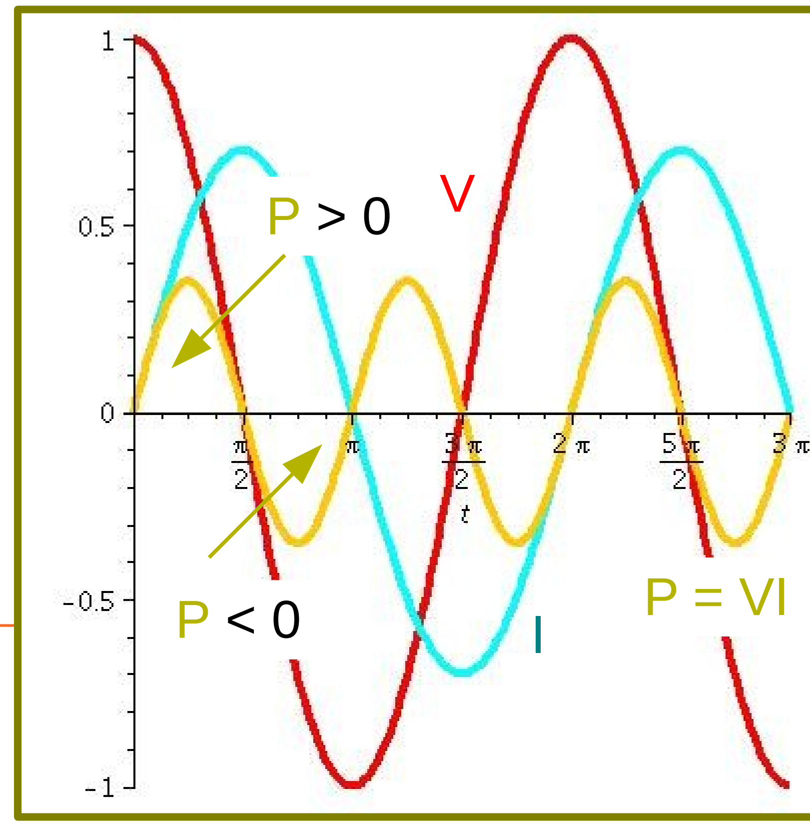
$$= \frac{I_0 V_0}{T}\int_0^{2\pi/\omega} \cos(\omega t)\sin(\omega t)\, dt = 0$$

Esimerkki: L-vaihtovirtapiiri: virta kulkee, tehoa ei kulu?

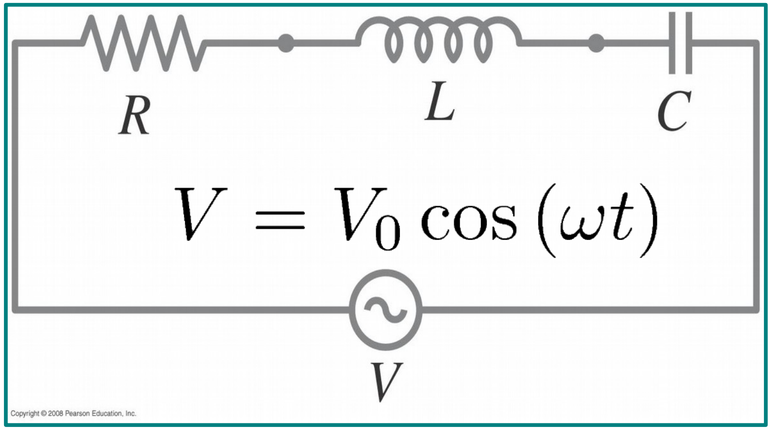


$$\begin{cases} V = V_0 \cos(\omega t) \\ I = \dfrac{V_0}{L\omega} \sin(\omega t) = I_0 \sin(\omega t) \end{cases}$$





Vaihtovirtapiirit (se viimeinen: RLC + vaihtojännite)



Ensin *yhtälö piirille*: Kirchhoffin laki:

$$V_L + V_R + V_C = L\dot{I} + RI + Q/C = V$$

$$\Big\downarrow d/dt$$

$$L\ddot{I} + R\dot{I} + I/C = -\omega V_0 \sin(\omega t)$$

Homogeeniyhtälö: $L\ddot{I} + R\dot{I} + I/C = 0 \quad I_{\mathrm{HY}}(t) = De^{\frac{-R\pm\sqrt{R^2-4L/C}}{2L}t}$

→ Hiipuu nopeasti pois → ei relevantti

Täydellinen yhtälö: Yrite: $I(t) = A\sin(\omega t) + B\cos(\omega t)$

→ $\dot{I} = \omega A\cos(\omega t) - \omega B\sin(\omega t) \quad \ddot{I} = -\omega^2 A\sin(\omega t) - \omega^2 B\cos(\omega t)$

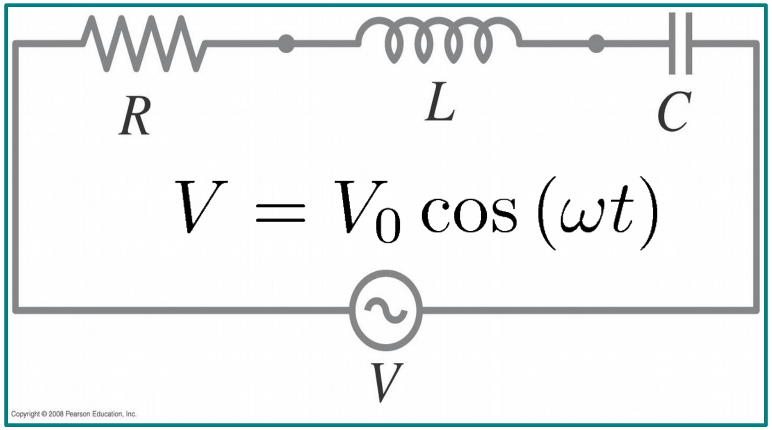
→ $$\begin{cases} A\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) + BR = V_0 \\ B\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) - AR = 0 \end{cases}$$

Induktiivinen reaktanssi $X_L = \omega L$

Kapasitiivinen reaktanssi $X_C = 1/\omega C$

Vaihtovirtapiirit (se viimeinen: RLC + vaihtojännite)

$$I(t) = A\sin(\omega t) + B\cos(\omega t)$$



$$\begin{cases} A(\omega L - \frac{1}{\omega C}) + BR = V_0 \\ B(\omega L - \frac{1}{\omega C}) - AR = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} A(X_L - X_C) + BR = V_0 \\ B(X_L - X_C) - AR = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} B = \frac{V_0 R}{(X_L - X_C)^2 + R^2} \\ A = \frac{(X_L - X_C)V_0}{(X_L - X_C)^2 + R^2} \end{cases}$$

Z^2, Z = *impedanssi*

$$\begin{cases} X_L = \omega L \\ X_C = \frac{1}{\omega C} \\ Z^2 = (X_L - X_C)^2 + R^2 \end{cases}$$

Vaihtovirtapiirit (se viimeinen: RLC + vaihtojännite)

$$I(t) = A\sin(\omega t) + B\cos(\omega t) + \begin{cases} B = \frac{V_0 R}{(X_L - X_C)^2 + R^2} = \frac{V_0 R}{Z^2} \\ A = \frac{(X_L - X_C)V_0}{(X_L - X_C)^2 + R^2} = \frac{(X_L - X_C)V_0}{Z^2} \end{cases}$$

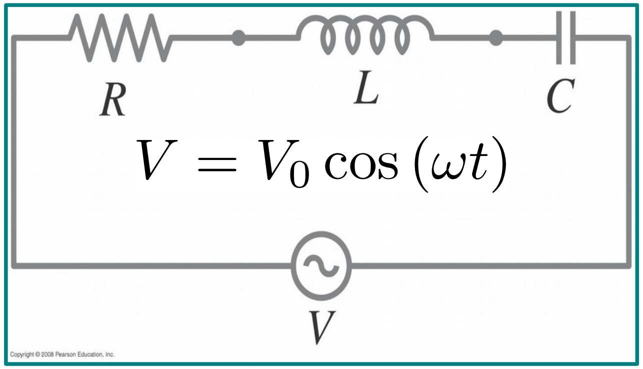
$$\boxed{\rightarrow \quad I(t) = \frac{V_0}{Z}\left(\frac{(X_L - X_C)}{Z}\sin(\omega t) + \frac{R}{Z}\cos(\omega t)\right)}$$

$$\rightarrow \quad I = I_{\text{rms}} = \frac{V_0}{Z}\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{2\pi/\omega}\left(\frac{(X_L - X_C)}{Z}\sin(\omega t) + \frac{R}{Z}\cos(\omega t)\right)^2 dt}$$

$$= \frac{V_0}{Z}\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{\sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2}}{Z} = \frac{V}{Z}$$

Tehollinen virta = Tehollinen jännite / Impedanssi

Teho siinä viimeisessä vaihtovirtapiirissä (RLC)



$$I(t) = \frac{V_0}{Z}\left(\underbrace{\frac{(X_L - X_C)}{Z}\sin(\omega t)}_{\text{Vaihesiirto jännitteen suhteen} \rightarrow \text{ ei tee työtä}} + \underbrace{\frac{R}{Z}\cos(\omega t)}_{\text{Sama vaihe kuin jännitteellä} \rightarrow \text{ tekee työtä}}\right)$$

Piirin keskimääräinen sähköteho:

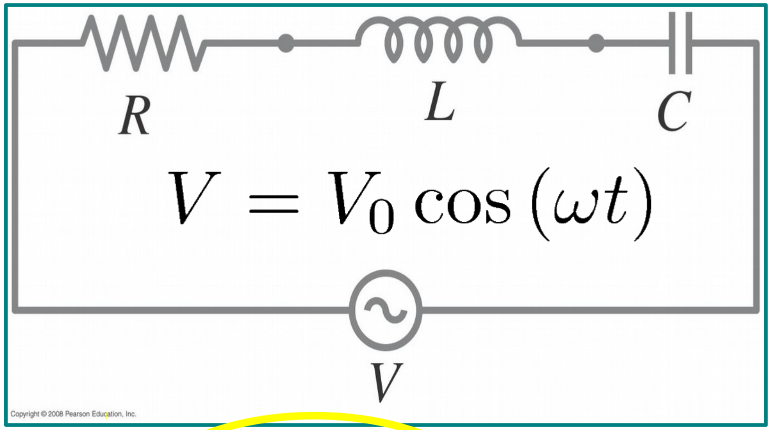
$$\overline{P} = \frac{1}{T}\int_0^{2\pi/\omega} V(t)I(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^{2\pi/\omega} \frac{V_0^2 R}{Z^2}\cos^2(\omega t)\,dt$$

$$= \frac{V_0^2 R}{2Z^2} = V\frac{V}{Z}\frac{R}{Z} = VI\frac{R}{Z} = VI\cos\varphi \leq VI$$

Tehokerroin

Reaktanssilla on *kaksi* vaikutusta piirin sähkötehoon:
1. Kasvattaa impedanssia → tehollinen virta pienenee
2. Kasvattaa virran ja jännitteen vaihe-eroa → työtä tekevä osa virrasta pienenee

Viimeinen vaihtovirtapiiri (RLC)



$$V = V_0 \cos(\omega t)$$

$$I(t) = \frac{V_0}{Z}\left(\underbrace{\frac{(X_L - X_C)}{Z}}_{\sin\varphi}\sin(\omega t) + \underbrace{\frac{R}{Z}}_{\cos\varphi}\cos(\omega t)\right)$$

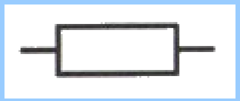
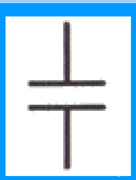
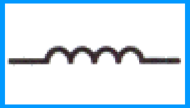
$$= \frac{V_0}{Z}\cos(\omega t - \varphi) = I_0 \cos(\omega t - \varphi)$$

$$I_0 = \frac{V_0}{Z}$$

$$I_{\mathrm{rms}} = \frac{V_{\mathrm{rms}}}{Z}$$

$$\begin{cases} X_L > X_C \Rightarrow \sin\varphi > 0 \Rightarrow \varphi > 0 \\ X_L < X_C \Rightarrow \sin\varphi < 0 \Rightarrow \varphi < 0 \end{cases}$$

Kootaan tulokset: RLC-vaihtovirtapiiri

Nimi	Tehollinen vaikutus	Tehollinen suuruus	Piirrosmerkki
Vastus	Resistiivinen	**R**	
Kondensaattori	Kapasitiivinen reaktanssi	$X_C = 1/\omega C$	
Käämi	Induktiivinen reaktanssi	$X_L = \omega L$	

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

Teho:

$$P = VI\cos\varphi$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

Virta: $$I = \frac{V}{Z} \qquad I_0 = \frac{V_0}{Z}$$

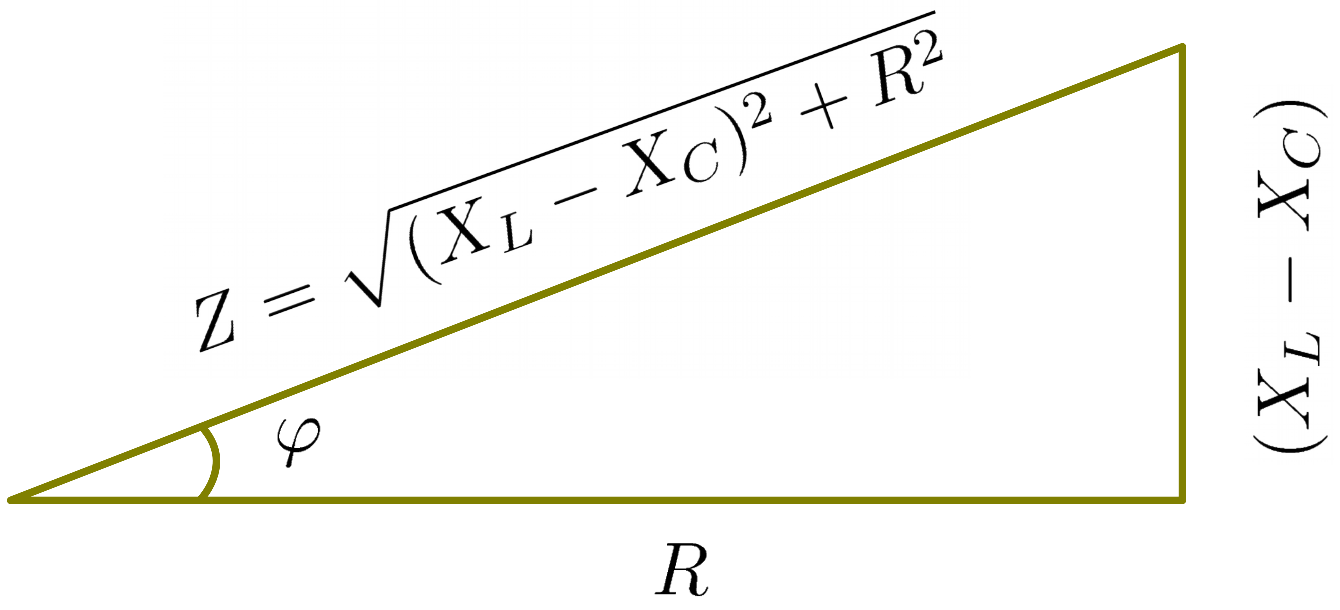
Kootaan tulokset: RLC-vaihtovirtapiiri

Impedanssi Z:

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

Tehokerroin cos φ:

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$$



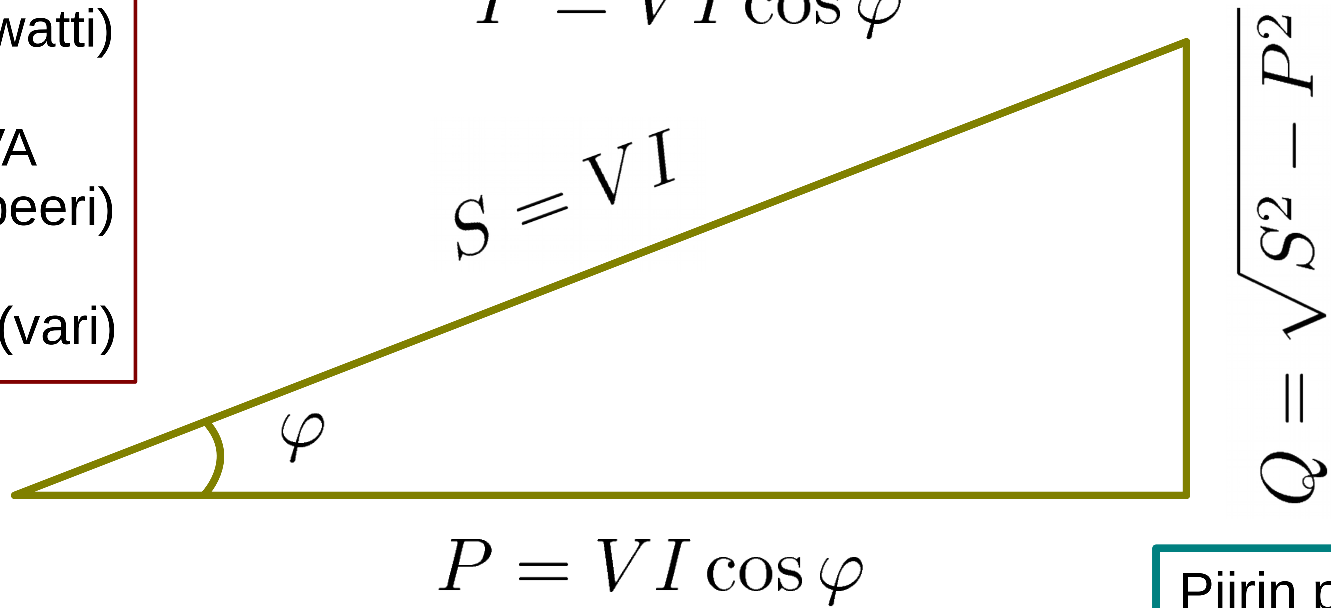
Kootaan tulokset: RLC-vaihtovirtapiirin teho

"Muodollista" tehoa kutsutaan ***näennäistehoksi***:

$$S = VI$$

Todellinen piirissä kuluva teho on ***pätöteho***:

$$P = VI\cos\varphi$$



Yksikköboxi:

[P] = W (watti)

[S] = VA (volttiampeeri)

[Q] = var (vari)

Piirin palauttama teho on ***loisteho***.

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

RLC-vaihtovirtapiirin tehot

TM 13/2012 testasi varavirtalaitteita (UPS)

VARAVIRTALAITTEET	APC	Eaton	FSP
TEKNISET TIEDOT 1)			
Tyyppi, offline/line interactive	x/-	x/-	-/x 5)
Suurin antoteho (VA)	700	700	850
Suurin antoteho (W)	405	420	480
Pistorasiat, suko, yhteensä (kpl)	8	6	2
- akku ja ylijännitesuoja (kpl)	4	3	2
- ainoastaan ylijännitesuoja (kpl)	4	3	-
Sammutusautomatiikka (eco)	x 2)	-	-
Akun, 12V, kapasiteetti (Ah) 1)	9	7	9
VARAKÄYNTIAIKA 1)			
- 100 W (min)	31	22	15 3)
- 200 W (min)	13	10	4)
- 300 W (min)	7	5	4)
- 400 W (min)	4	2	4)
Suurin sisääntulovirta (A)	10	10	10
Sisääntulojännite 230 V	x	x	x
Säädettävät rajat, yli- ja alijännite	x 6)	x 7)	-

Näennäisteho, yksikkö VA

Pätöteho, yksikkö W

RLC-vaihtovirtapiiri: ääritapaukset

1. Reaktanssit tasapainossa
$X_L = X_C$

$$Z = R$$

$$\cos\varphi = 1 \qquad I = \frac{V}{R}$$

$$\varphi = 0$$

$$P = VI = S$$
$$Q = 0$$

2. Ei resistanssia **R = 0**

$$Z = X_L - X_C$$

$$\cos\varphi = 0 \qquad I = \frac{V}{Z}$$

$$\varphi = \pi/2$$

$$P = 0$$
$$Q = S = VI$$

Nyt siis piirissä kulkee äärellinen virta I, mutta tehoa ei kulu.

RLC-piirin resonanssi

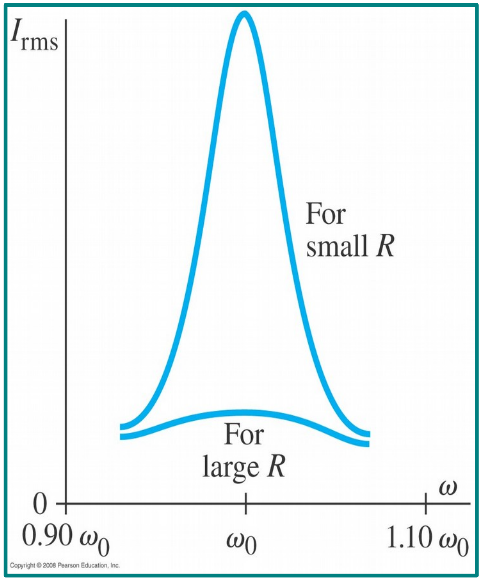
Koska RLC-piirin yhtälö virralle:

$$L\ddot{I} + R\dot{I} + I/C = -\omega V_0 \cos(\omega t)$$

on samanlainen kuin mekaanisen pakkovärähtelijän:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = F\cos(\omega t)$$

niin piirinkin saa *resonanssiin*.



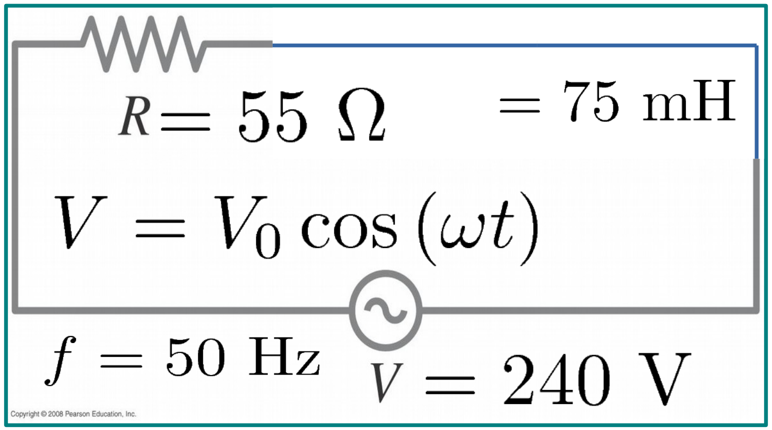
$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V}{\sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2}}$$

$$= \frac{V}{\sqrt{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2 + R^2}}$$

Virta I on suurimmillaan, kun $\omega L = 1/\omega C \rightarrow \omega = \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$

Esimerkki: kuristin vaihtovirtapiirissä

Tasavirtapiirin virtaa voi rajoittaa vain vastuksella.
Vaihtovirran tapauksessa tilanne on toisin.



$$\omega = 100\pi\ 1/\mathrm{s}$$

$$Z = R = 55\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = 4{,}36\ \mathrm{A}$$

$$P = VI = RI^2 = 1047\ \mathrm{W}$$

$$X_L = \omega L = 23{,}56\ \Omega \qquad I = \frac{V}{Z} = 4{,}01\ \mathrm{A}$$

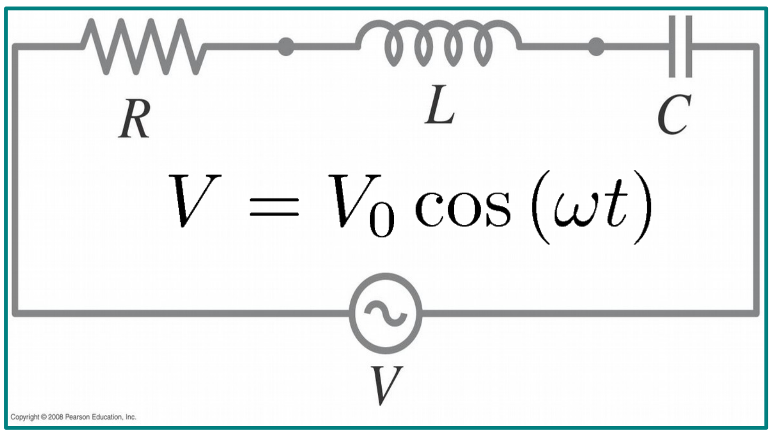
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 59{,}83\ \Omega \qquad \cos\varphi = \frac{R}{Z} = 0{,}919$$

$$P = VI\cos\varphi = RI^2 = 885\ \mathrm{W}$$

Jännitteet komponenttien yli RLC-piirissä?

$$L\dot{I} + RI + Q/C = V(t) \qquad I(t) = I_0 \cos(\omega t - \varphi)$$

$$V_L(t) + V_R(t) + V_C(t) \qquad Q = \int I(t)\, dt$$



$$\begin{cases} V_L(t) = -\omega L I_0 \sin(\omega t - \varphi) \\ V_R(t) = R I_0 \cos(\omega t - \varphi) \\ V_C(t) = \dfrac{1}{\omega C} I_0 \sin(\omega t - \varphi) \end{cases}$$

eli tehollisina arvoina:

$$\boxed{\begin{aligned} V_L &= X_L I \\ V_R &= RI \\ V_C &= X_C I \end{aligned}}$$

erityisesti:

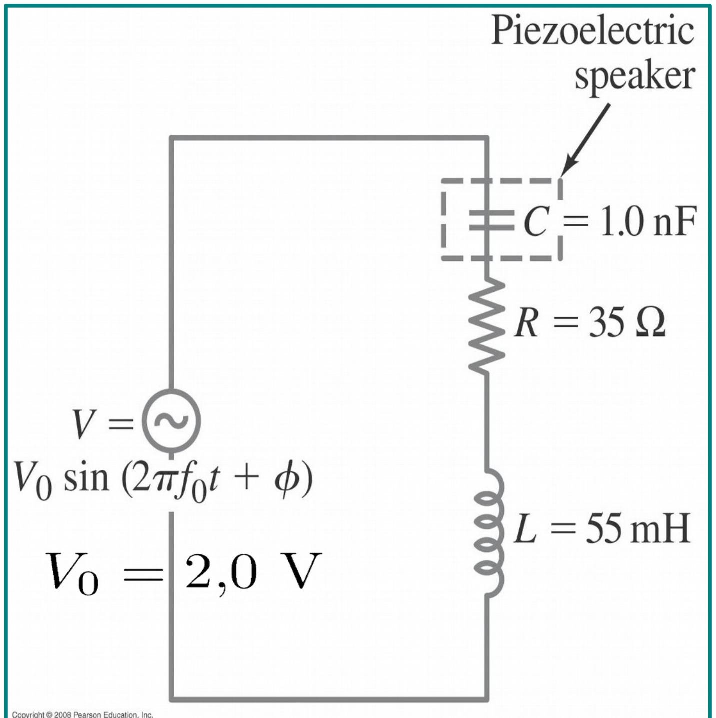
$$V_L + V_R + V_C \neq V$$

Esimerkki: Jännite RLC-piirin komponentin yli

1. Kaiuttimen (C) yli vaikuttava huippujännite:

$$V_{C0} = X_C I_0 = X_C \frac{V_0}{Z}$$

selvästi suurimmillaan, kun impedanssi Z pienimmillään



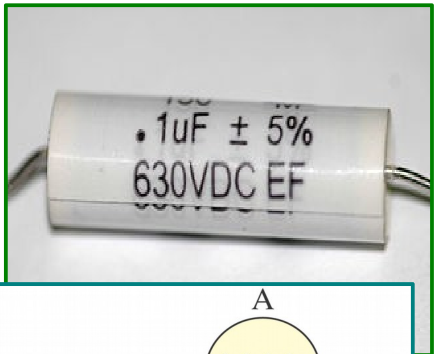
2. Valitaan siis ω_0 siten, että piiri resonanssissa:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 134840\ \frac{1}{\mathrm{s}} = 21{,}46\ \mathrm{kHz}$$

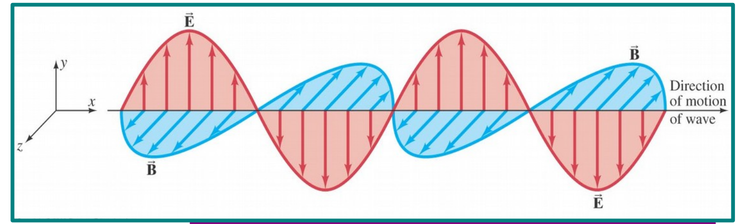
siispä $Z = R = 35\ \Omega$ joten

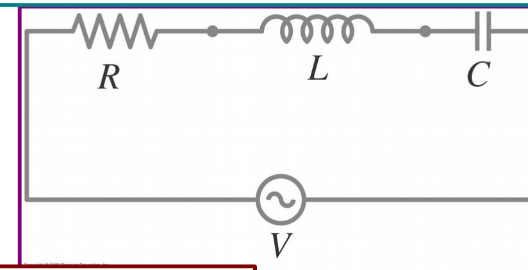
$$V_{C0} = X_C \frac{V_0}{R} = \frac{1}{\omega C}\frac{V_0}{R} = 420\ \mathrm{V}$$

eli $V_{C0}/V_0 = 210$ Ei ihan helppoa arvata.

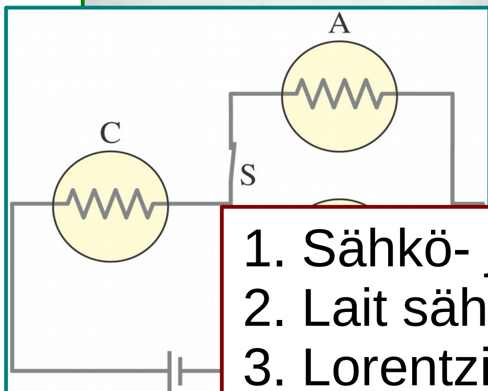


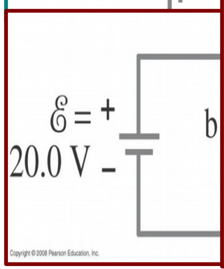
Sähkömagnetismi: kertaus





Kurssin keskeisimmät asiat ?





1. Sähkö- ja magneettikenttä
2. Lait sähkö- ja magneettikentille eli Maxwellin yhtälöt
3. Lorentzin voima
4. Sähkömagneettinen aalto
5. Kapasitanssi- ja induktanssi-ilmiöt
6. Kondensaattori ja käämi komponentteina
7. RC-, RL- ja RLC-vaihtojännitepiirit