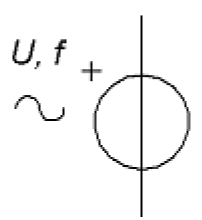
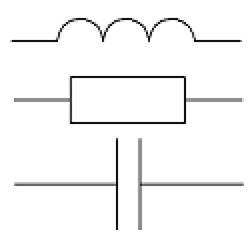
Spolen och Kondensatorn motverkar förändringar

Spolen och kondensatorn motverkar förändringar, tex vid **inkoppling** eller **urkoppling** av en källa till en krets.

Hur går det då om källan avger en **sinusformad växelström** – som ju ändrar sig kontinuerligt?





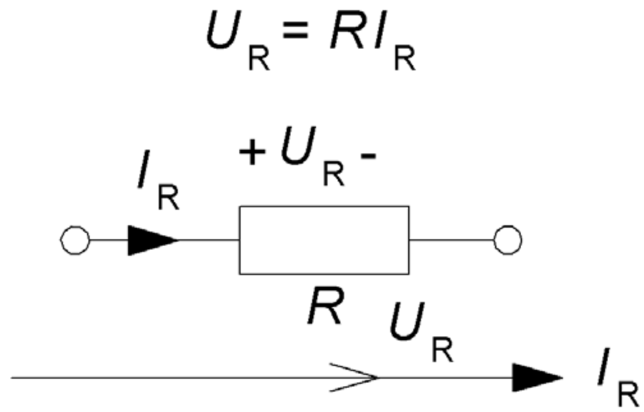
?

William Sandqvist william@kth.se

Växelström genom resistor

En sinusformad växelström $i_R(t)$ genom en resistor *R* ger ett proportionellt sinus-format spänningsfall $u_R(t)$ enligt OHM's lag. Strömmen och spänningen blir i fas. Ingen energi lagras i resistorn.

Visarna U_R och I_R blir parallella med varandra.



$$i_R(t) = \hat{I}_R \cdot \sin(\omega t) \qquad u_R(t) = i_R(t) \cdot R \quad \Rightarrow \quad u_R(t) = R \cdot \hat{I}_R \cdot \sin(\omega t)$$

$\boxed{U_R = R \cdot I_R}$ *Vektor visare*

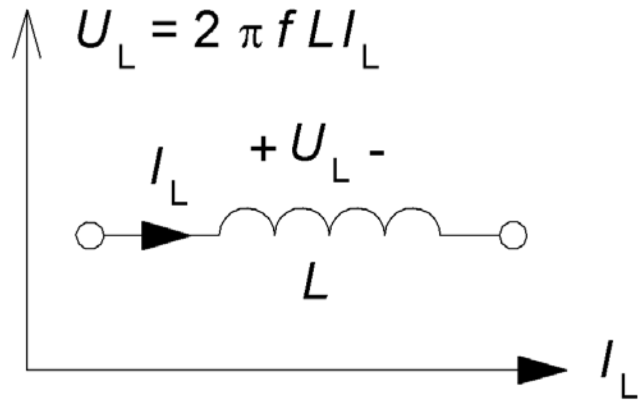
$\boxed{\underline{U}_R = R \cdot \underline{I}_R}$ *Komplexa visare*

*Visarna kan vara toppvärdesvisare **eller** effektivvärdesvisare så länge man inte blandar olika typer.*

Växelström genom spole

En sinusformad växelström $i_L(t)$ genom en spole ger på grund av självinduktionen ett spänningsfall $u_L(t)$ som ligger 90° *före* strömmen. Energi som lagras i magnetfältet används till denna spänning.

Visaren U_L fås som $\omega L \cdot I_L$ och den ligger 90° före I_L. Storheten ωL är ”beloppet” av spolens växelspänningsmotstånd, **reaktansen** X_L [Ω].



$$i_L(t) = \hat{I}_L \cdot \sin(\omega t) \qquad u_L(t) = L\frac{\mathrm{d}i_L(t)}{\mathrm{d}t} \;\Rightarrow\; u_L(t) = \omega L \cdot \hat{I}_L \cdot \cos(\omega t) = \omega L \cdot \hat{I}_L \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$\boxed{U_L = \omega L \cdot I_L}$$ *Vektor visare*

När man räknar med komplexa visare multiplicerar man ωL med talet ”j”, detta *vrider* spänningsvisaren +90°. *Metoden håller automatiskt reda på fasvinklarna!*

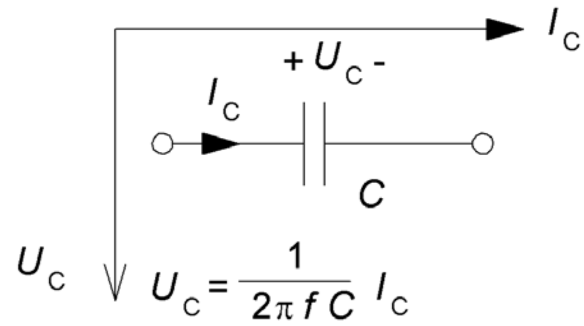
$$\boxed{\underline{U}_L = \mathrm{j}\omega L \cdot \underline{I}_L \quad = \mathrm{j}X_L \cdot \underline{I}_L}$$ *Komplexa visare*

William Sandqvist william@kth.se

Växelström genom kondensator

En sinusformad växelström $i_C(t)$ genom en kondensator laddar upp denna med ”spänningsfallet” $u_C(t)$ som ligger 90° *efter* strömmen. Energi lagras i det elektriska fältet.

Visaren U_C fås som $I_C/(\omega C)$ och den ligger 90° *efter* I_C. Storheten $1/(\omega C)$ är ”beloppet” av kondensatorns växelspänningsmotstånd, **reaktansen** X_C [Ω].



$$U = \frac{Q}{C} \quad \Rightarrow \quad \frac{\mathrm{d}u_C(t)}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{C} \cdot \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{C} \cdot i_C(t) \quad \Rightarrow \quad u_C(t) = \frac{1}{C} \cdot \int i_C(t)\,\mathrm{d}t$$

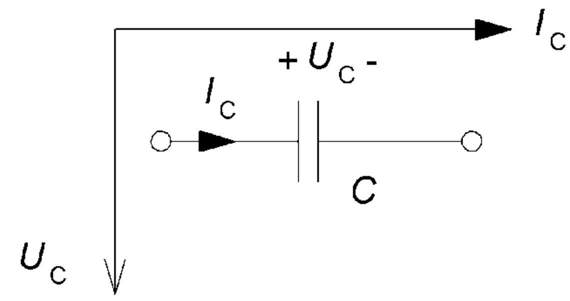
$$i_C(t) = \hat{I}_C \cdot \sin(\omega t) \qquad \Rightarrow \quad u_C(t) = -\frac{1}{\omega C} \cdot \hat{I}_C \cdot \cos(\omega t) = \frac{1}{\omega C} \cdot \hat{I}_C \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$\boxed{U_C = \frac{1}{\omega C} \cdot I_C}$$

Vektor visare

Komplexa visare och reaktansens tecken

Om man använder komplexa visare får man med spänningsvisarens fasvridning -90° genom att dividera $1/(\omega C)$ med konstanten ”j”.

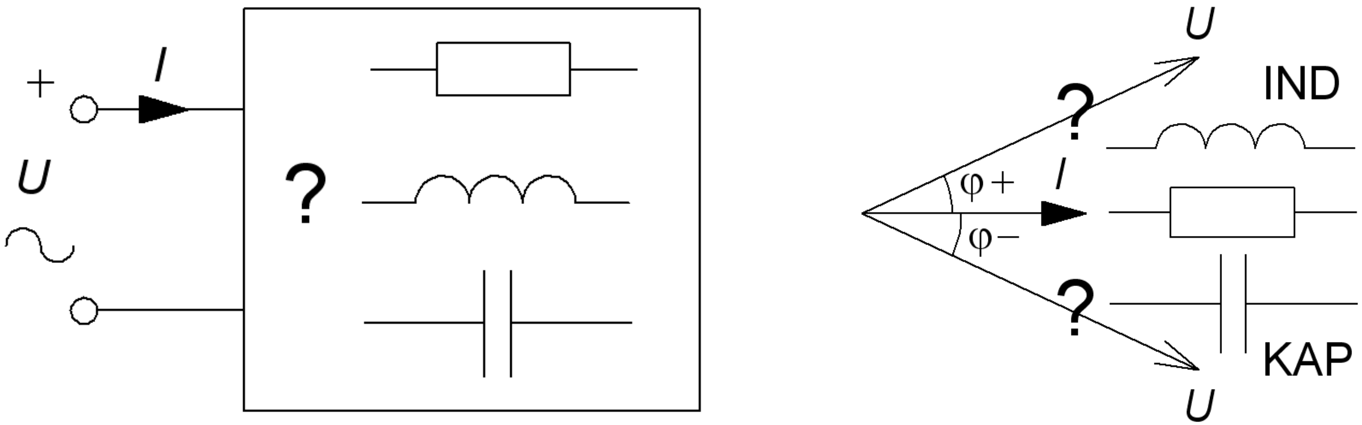


Metoden med komplexa visare håller automatiskt reda på fasvinklarna om vi betraktar kondensatorns reaktans X_C som **negativ**, och därmed spolens X_L som **positiv**.

$$\boxed{\underline{U}_C = \frac{1}{j\omega C}\cdot \underline{I}_C = j\frac{-1}{\omega C}\cdot \underline{I}_C} \Rightarrow \boxed{X_C = -\frac{1}{\omega C}}$$

Komplexa visare

R L C



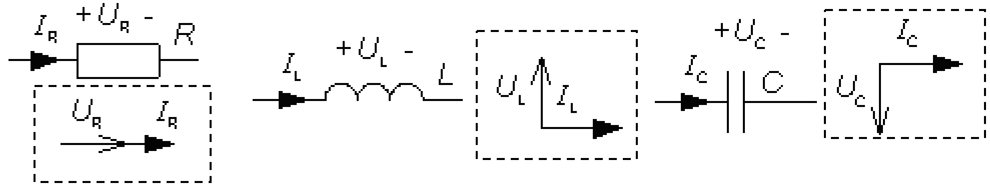
I allmänhet innehåller våra nät en blandning med olika *R L* och *C*. Fasvinkeln mellan *I* och *U* är då inte ±90° utan kan ha vilket värde som helst. En positiv fasvinkel innebär att induktanserna dominerar över kapacitanserna, induktiv karaktär **IND**. En negativ fasvinkel innebär att kapacitanserna dominerar över induktanserna, kapacitiv karaktär **KAP**.

Kvoten mellan spänning *U* och ström *I*, växelströmsmotståndet, kallas för **impedans** *Z* [Ω]. **OHM´s växelströmslag**:

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

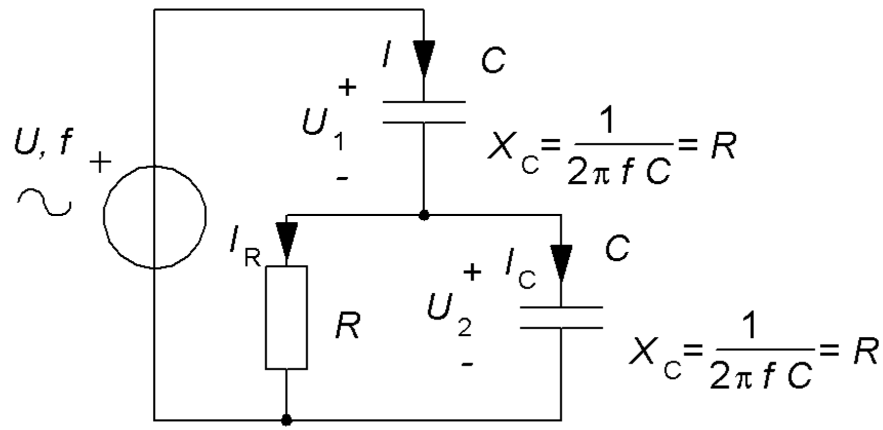
William Sandqvist william@kth.se

Exempel. Visardiagram.

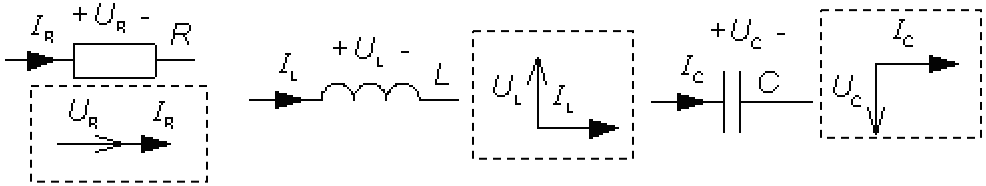


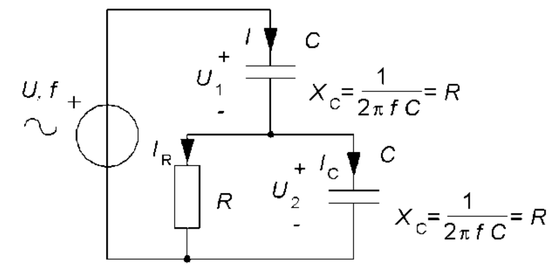
Vid en viss frekvens *f* har konden-satorernas reaktans X_C och resistorn *R* samma växelströms-motstånd [Ω].

Använd de elementära visardia-grammen för *R* och *C* som bygg-stenar för att rita hela kretsens visardiagram (vid frekvensen *f*).



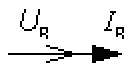
Exempel. Visardiagram.



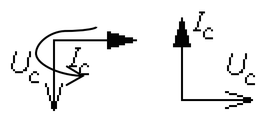


1) U_2 riktfas (= horisontell)

2) $\bar{I}_R \| \bar{U}_2$

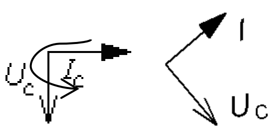


3) $\bar{I}_C \perp \bar{U}_2 \quad I_C = I_R = \dfrac{U_2}{R}$



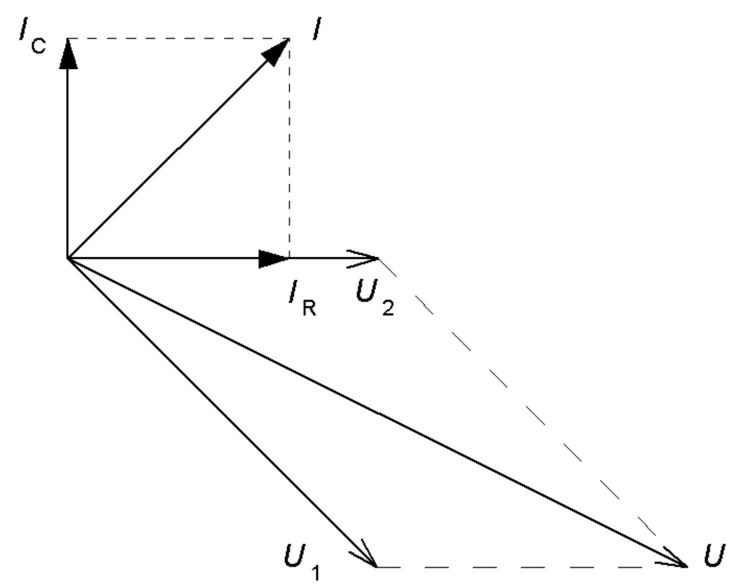
4) $\bar{I} = \bar{I}_R + \bar{I}_C \quad I = \sqrt{2} \cdot I_C$

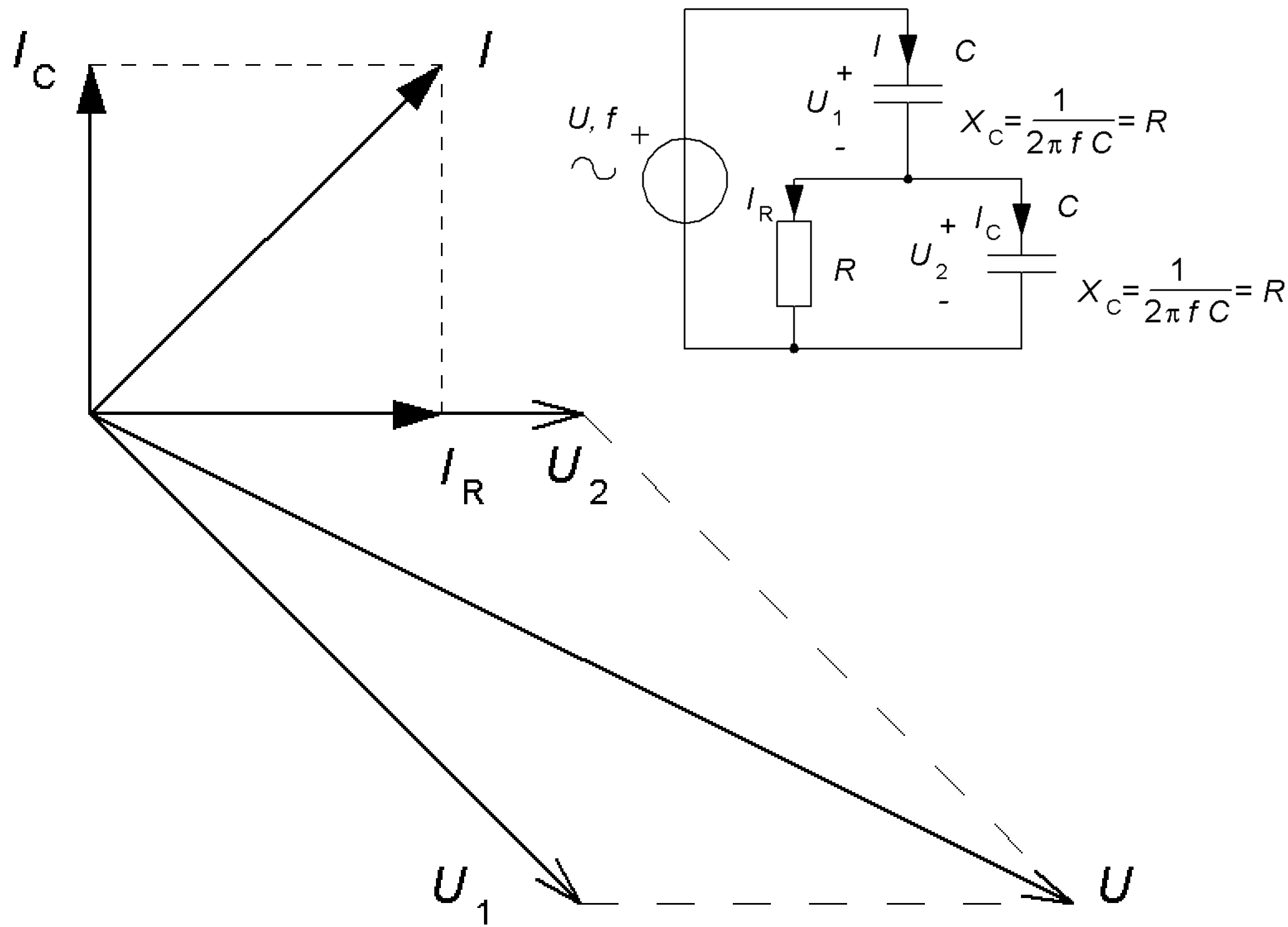
5) $\bar{U}_1 \perp \bar{I}$



$$U_1 = I \cdot R = I_C \cdot \sqrt{2} \cdot R \quad \Rightarrow \quad U_1 = \sqrt{2} \cdot U_2$$

6) $\bar{U} = \bar{U}_1 + \bar{U}_2$





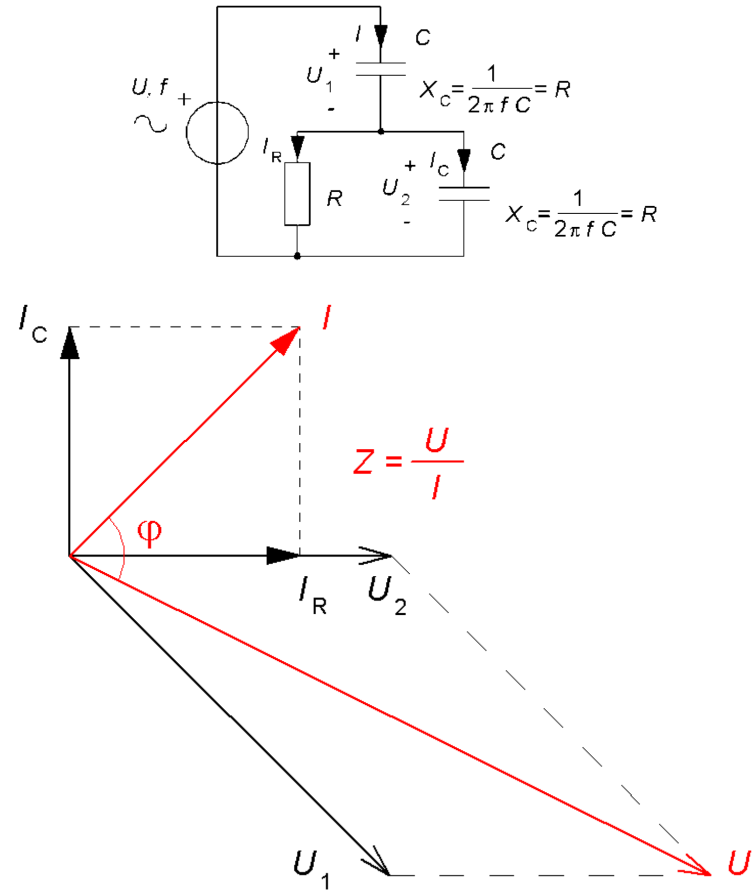
William Sandqvist william@kth.se

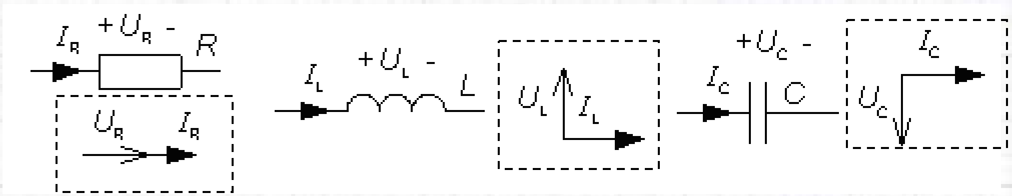
Impedansen *Z*

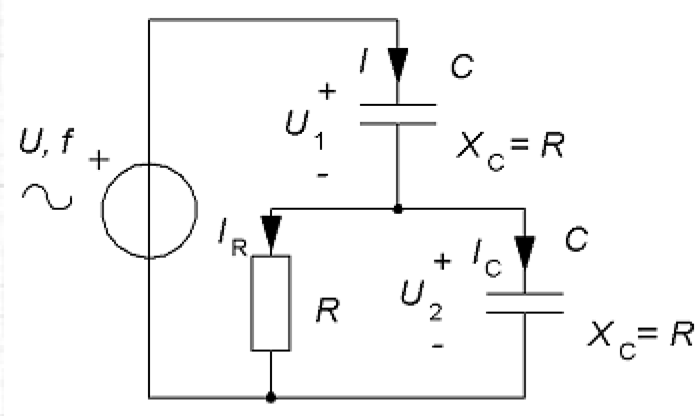
Kretsens växelströmsmotstånd, impedansen ***Z***, får man som kvoten av ***U*** och ***I*** visarna. Fasvinkeln φ är vinkeln *mellan* ***U*** och ***I*** visarna.

Strömmen ligger före spänningen i fas, så kretsen har kapacitiv karaktär, KAP.

(*Något annat hade väl knappast varit att vänta eftersom det inte finns några spolar i kretsen*)

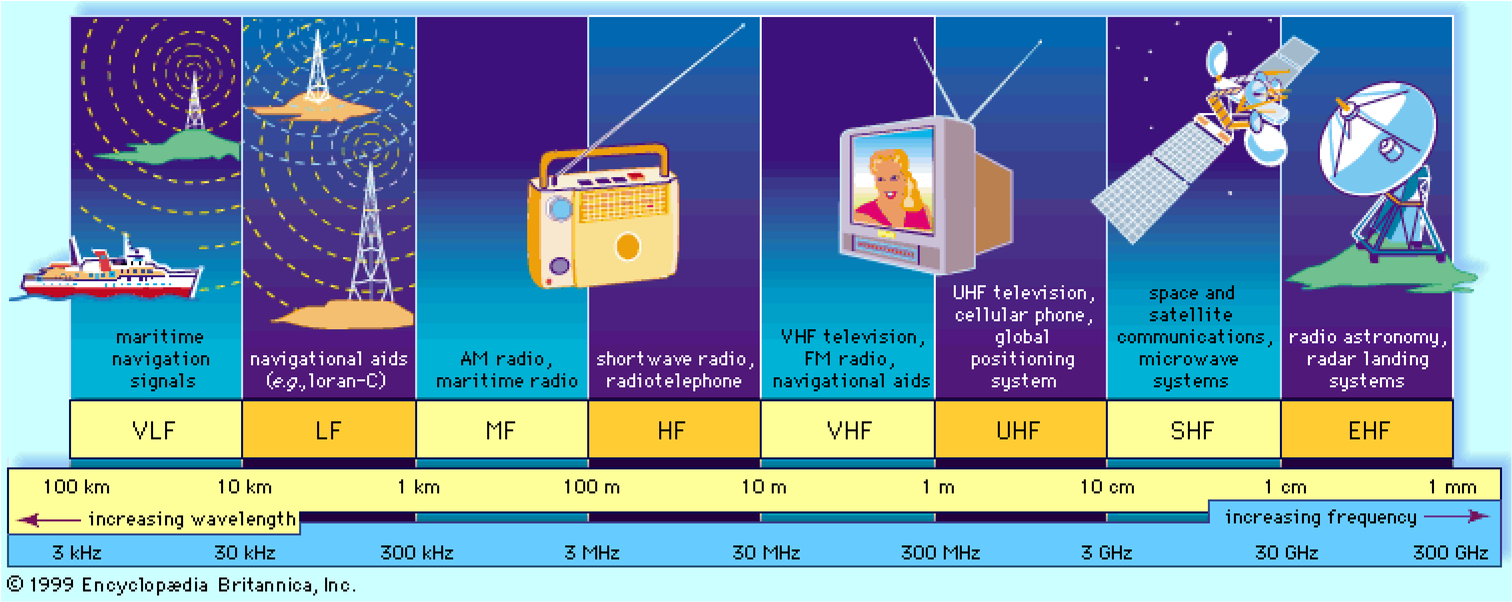






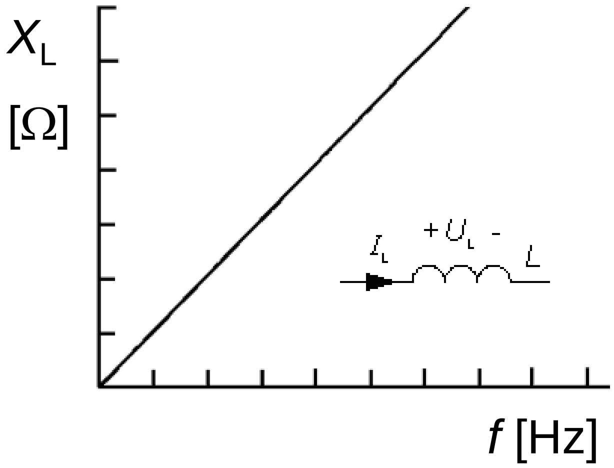
Gör själv …

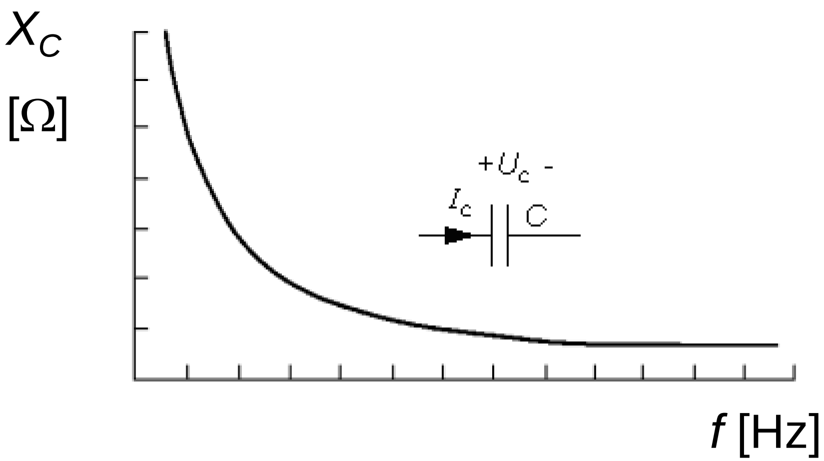
Reaktansens frekvensberoende



$$|X_L| = \omega \cdot L \qquad |X_C| = \frac{1}{\omega \cdot C} \qquad \omega = 2\pi \cdot f \qquad \lambda = \frac{c}{f}$$

Reaktansens frekvensberoende

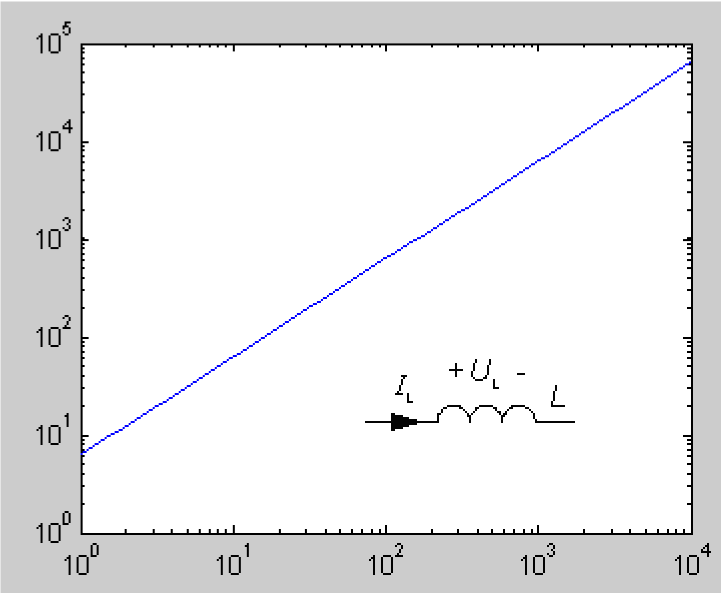




$$\left|X_L\right| = \omega \cdot L \qquad \left|X_C\right| = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

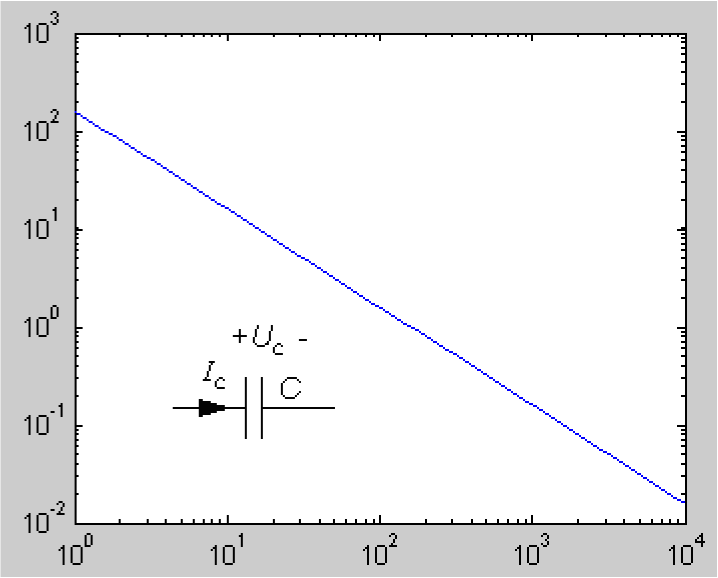
LOG – LOG diagram

log(X_L) – skala [Ω]



log(f) – skala [Hz]

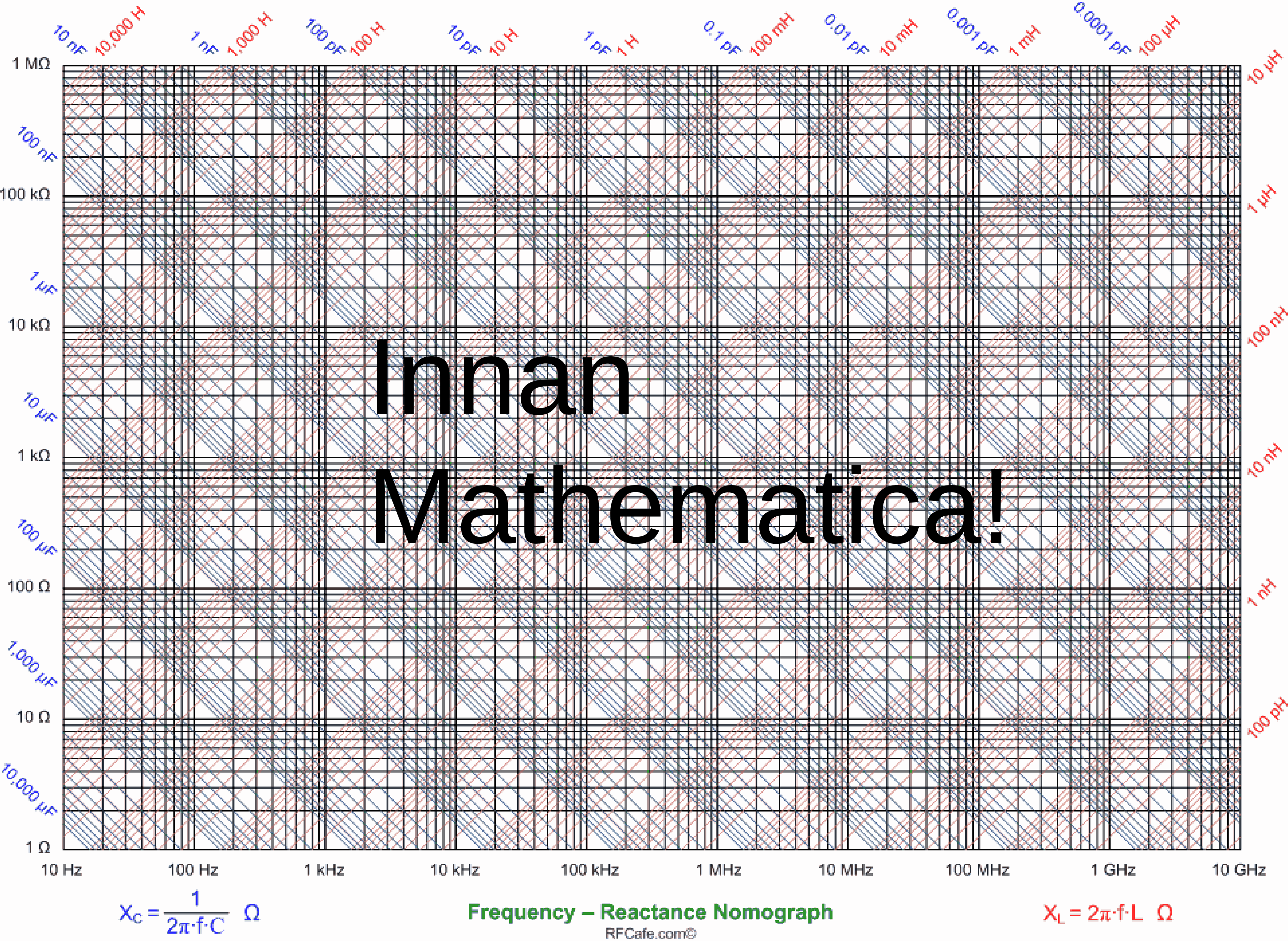
log(X_C) – skala [Ω]



log(f) – skala [Hz]

Spolens och kondensatorns frekvensberoende blir symmetriskt i log-log - skala

Innan Mathematica!



Komplexa visare, jω-metoden

Komplexa visare. OHM's lag för *R* *L* och *C*.

$$\underline{U}_{\mathrm{R}} = \underline{I}_{\mathrm{R}} \cdot R \qquad \varphi = \arg(R) = 0°$$

$$\underline{U}_{\mathrm{L}} = \underline{I}_{\mathrm{L}} \cdot \mathrm{j}X_{\mathrm{L}} = \underline{I}_{\mathrm{L}} \cdot \mathrm{j}\omega L \qquad \varphi = \arg(\mathrm{j}\omega L) = +90°$$

$$\underline{U}_{\mathrm{C}} = \underline{I}_{\mathrm{C}} \cdot \mathrm{j}X_{\mathrm{C}} = \underline{I}_{\mathrm{C}} \cdot \frac{1}{\mathrm{j}\omega C} \qquad \varphi = \arg\left(\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}\right) = -\arg(\mathrm{j}\omega C) = -90°$$

Komplexa visare. OHM's lag för *Z*.

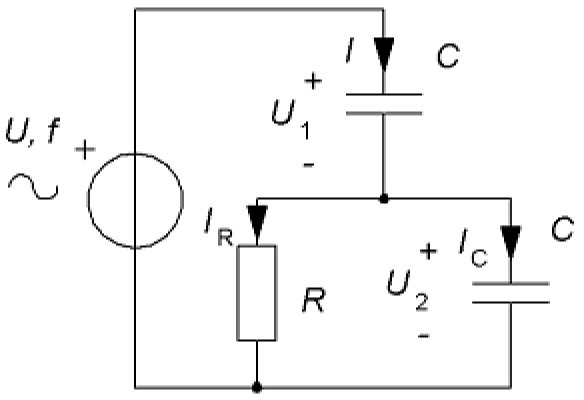
$$\boxed{\underline{U} = \underline{I} \cdot \underline{Z}} \qquad Z = \frac{U}{I} \qquad \varphi = \arg(\underline{Z}) = \arg\left(\frac{\underline{U}}{\underline{I}}\right) = \arg(\underline{U}) - \arg(\underline{I})$$

$$\mathrm{Re}[\underline{U}] = \mathrm{Re}[\underline{I} \cdot \underline{Z}] \qquad \arg(\underline{Z}) = \arctan\left(\frac{\mathrm{Im}[\underline{Z}]}{\mathrm{Re}[\underline{Z}]}\right) = \arctan\left(\frac{X}{R}\right)$$

$$\mathrm{Im}[\underline{U}] = \mathrm{Im}[\underline{I} \cdot \underline{Z}]$$

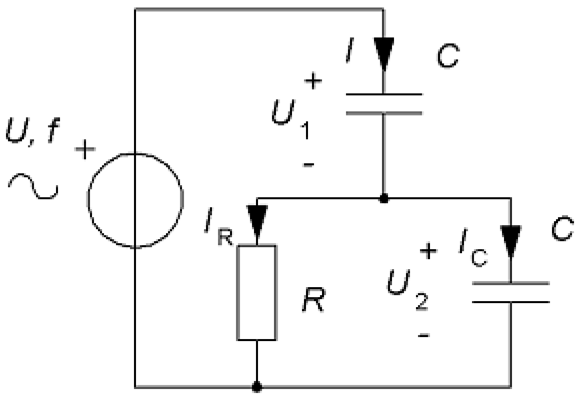
I själva verket blir det fyra användbara samband!
Re, Im, Abs, Arg

Exempel. Komplexa visare.



U = 20 V C = 320 μF R = 10 Ω f = 50 Hz

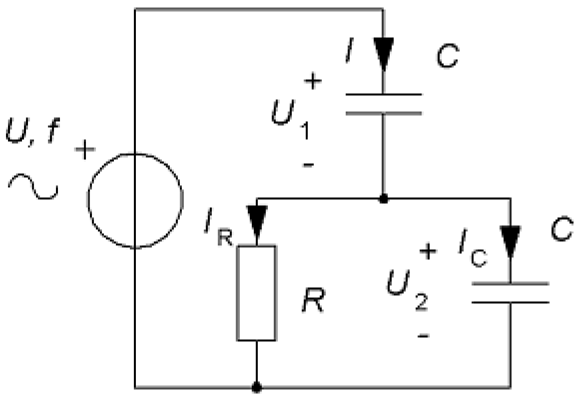
Exempel. Komplexa visare.



U = 20 V *C* = 320 μF *R* = 10 Ω *f* = 50 Hz

$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

Exempel. Komplexa visare.

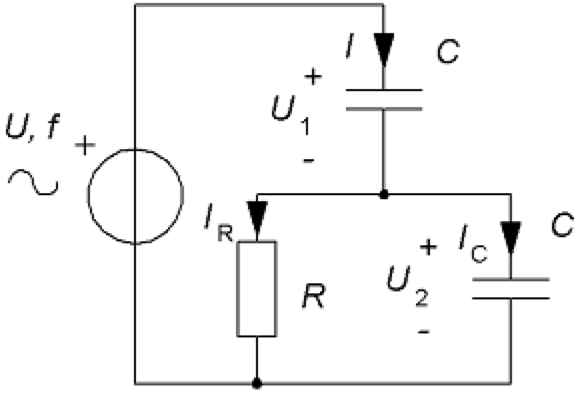


U = 20 V *C* = 320 μF *R* = 10 Ω *f* = 50 Hz

$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R \cdot \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R + \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10 \cdot (-10\,\mathrm{j})}{10 - 10\,\mathrm{j}} \cdot \frac{(10 + 10\,\mathrm{j})}{(10 + 10\,\mathrm{j})} = 5 - 5\,\mathrm{j}$$

Exempel. Komplexa visare.

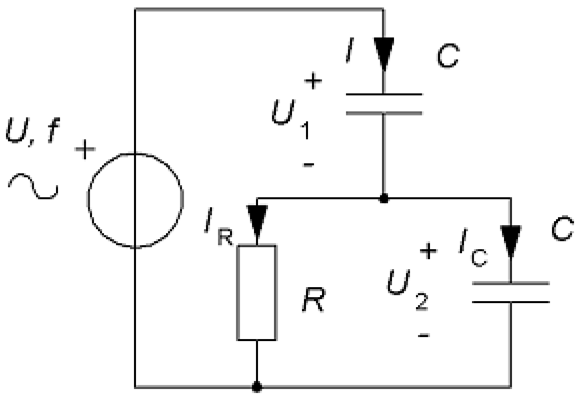


U = 20 V C = 320 μF R = 10 Ω f = 50 Hz

$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi\cdot f\cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi\cdot 50\cdot 320\cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R\cdot\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10\cdot(-10\,\mathrm{j})}{10-10\,\mathrm{j}}\cdot\frac{(10+10\,\mathrm{j})}{(10+10\,\mathrm{j})} = 5-5\,\mathrm{j}$$

Exempel. Komplexa visare. I

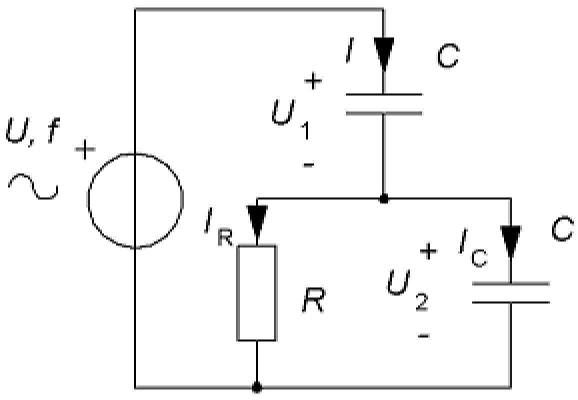


U = 20 V C = 320 µF R = 10 Ω f = 50 Hz

$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R \cdot \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R + \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10 \cdot (-10\,\mathrm{j})}{10 - 10\,\mathrm{j}} \cdot \frac{(10 + 10\,\mathrm{j})}{(10 + 10\,\mathrm{j})} = 5 - 5\,\mathrm{j}$$

Exempel. Komplexa visare. I



U = 20 V C = 320 μF R = 10 Ω f = 50 Hz

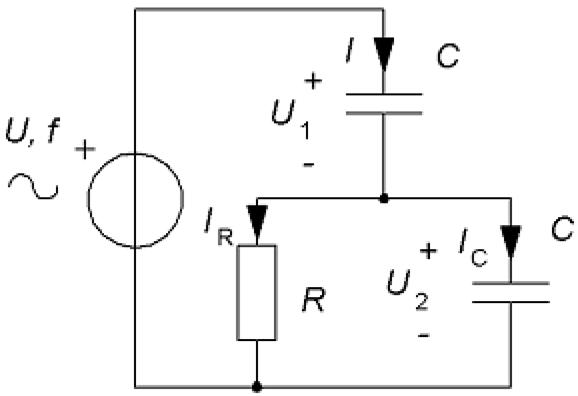
$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}\,2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}\,2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R \cdot \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R + \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10 \cdot (-10\,\mathrm{j})}{10 - 10\,\mathrm{j}} \cdot \frac{(10+10\,\mathrm{j})}{(10+10\,\mathrm{j})} = 5 - 5\,\mathrm{j}$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \frac{\underline{U}}{\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} + \underline{Z}_{\mathrm{R//C}}} = \frac{20}{-10\,\mathrm{j} + (5 - 5\,\mathrm{j})} = \frac{4}{1 - 3\,\mathrm{j}} \cdot \frac{(1+3\,\mathrm{j})}{(1+3\,\mathrm{j})} = 0{,}4 + 1{,}2\,\mathrm{j}$$

$$I = |0{,}4 + 1{,}2\,\mathrm{j}| = \sqrt{0{,}4^2 + 1{,}2^2} = 1{,}26$$

Exempel. Komplexa visare. U_1



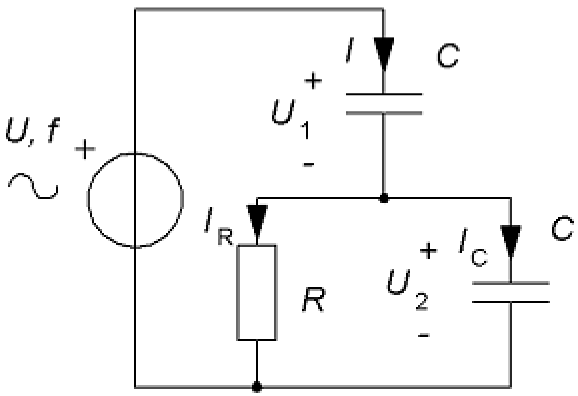
U = 20 V C = 320 μF R = 10 Ω f = 50 Hz

$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}\,2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}\,2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R \cdot \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R + \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10 \cdot (-10\,\mathrm{j})}{10 - 10\,\mathrm{j}} \cdot \frac{(10 + 10\,\mathrm{j})}{(10 + 10\,\mathrm{j})} = 5 - 5\,\mathrm{j}$$

William Sandqvist william@kth.se

Exempel. Komplexa visare. U_1



U = 20 V C = 320 μF R = 10 Ω f = 50 Hz

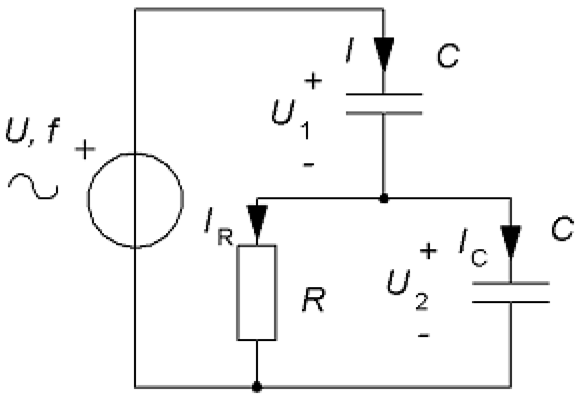
$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R \cdot \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R + \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10 \cdot (-10\,\mathrm{j})}{10 - 10\,\mathrm{j}} \cdot \frac{(10 + 10\,\mathrm{j})}{(10 + 10\,\mathrm{j})} = 5 - 5\,\mathrm{j}$$

$$\underline{U}_1 = \underline{I} \cdot \frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = (0{,}4 + 1{,}2\,\mathrm{j}) \cdot (\text{-}10\,\mathrm{j}) = 12 - 4\,\mathrm{j}$$

$$U_1 = |12 - 4\,\mathrm{j}| = \sqrt{12^2 + (-4)^2} = 12{,}65$$

Exempel. Komplexa visare. U_2

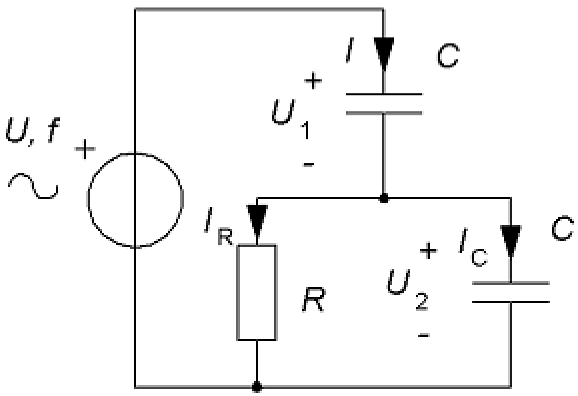


U = 20 V C = 320 μF R = 10 Ω f = 50 Hz

$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}\,2\pi\cdot f\cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}\,2\pi\cdot 50\cdot 320\cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R\cdot\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R+\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10\cdot(-10\,\mathrm{j})}{10-10\,\mathrm{j}}\cdot\frac{(10+10\,\mathrm{j})}{(10+10\,\mathrm{j})} = 5-5\,\mathrm{j}$$

Exempel. Komplexa visare. U_2



U = 20 V C = 320 μF R = 10 Ω f = 50 Hz

$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi\cdot f\cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi\cdot 50\cdot 320\cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

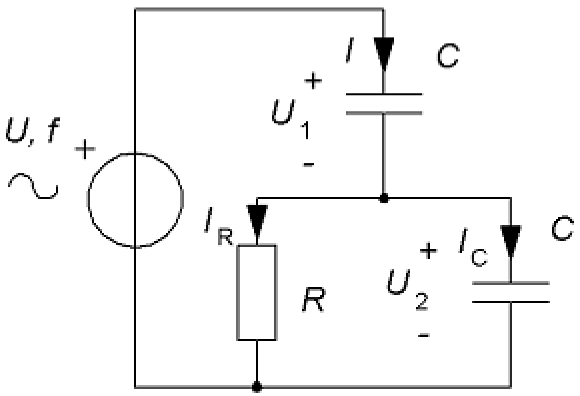
$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R\cdot\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R+\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10\cdot(-10\,\mathrm{j})}{10-10\,\mathrm{j}}\cdot\frac{(10+10\,\mathrm{j})}{(10+10\,\mathrm{j})} = 5-5\,\mathrm{j}$$

Spännings delning

$$\underline{U}_2 = \underline{U}\cdot\frac{\underline{Z}_{\mathrm{R//C}}}{\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}+\underline{Z}_{\mathrm{R//C}}} = 20\cdot\frac{5-5\,\mathrm{j}}{-10\,\mathrm{j}+(5-5\,\mathrm{j})} = 20\cdot\frac{1-\mathrm{j}}{1-3\,\mathrm{j}}\cdot\frac{(1+3\,\mathrm{j})}{(1+3\,\mathrm{j})} = 8+4\,\mathrm{j}$$

$$U_2 = |8+4\,\mathrm{j}| = \sqrt{8^2+4^2} = 8{,}94$$

Exempel. Komplexa visare. I_C

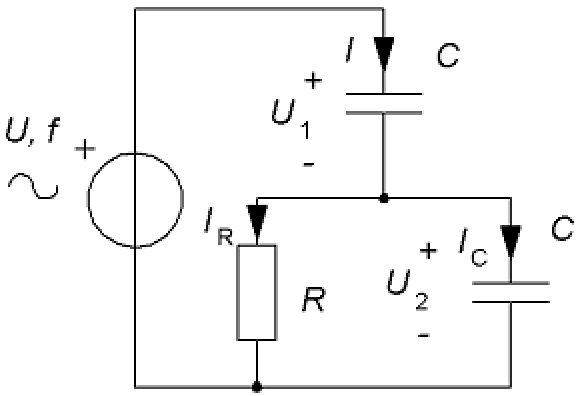


U = 20 V C = 320 μF R = 10 Ω f = 50 Hz

$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi\cdot f\cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi\cdot 50\cdot 320\cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R\cdot\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10\cdot(-10\,\mathrm{j})}{10-10\,\mathrm{j}}\cdot\frac{(10+10\,\mathrm{j})}{(10+10\,\mathrm{j})} = 5-5\,\mathrm{j}$$

Exemplel. Komplexa visare. I_C



U = 20 V C = 320 μF R = 10 Ω f = 50 Hz

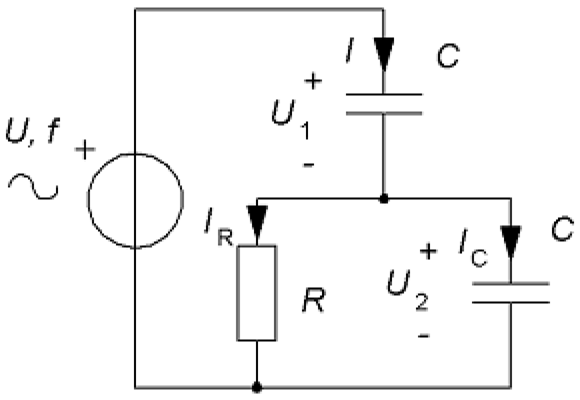
$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi\cdot f\cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi\cdot 50\cdot 320\cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R\cdot\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R+\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10\cdot(-10\,\mathrm{j})}{10-10\,\mathrm{j}}\cdot\frac{(10+10\,\mathrm{j})}{(10+10\,\mathrm{j})} = 5-5\,\mathrm{j}$$

$$\underline{I}_{\mathrm{C}} = \cdot\frac{\underline{U}_2}{\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{8+4\,\mathrm{j}}{-10\,\mathrm{j}} = -0{,}4+0{,}8\,\mathrm{j}$$

$$I_{\mathrm{C}} = |0{,}4+0{,}8\,\mathrm{j}| = \sqrt{0{,}4^2+0{,}8^2} = 0{,}89$$

Exempel. Komplexa visare. I_R

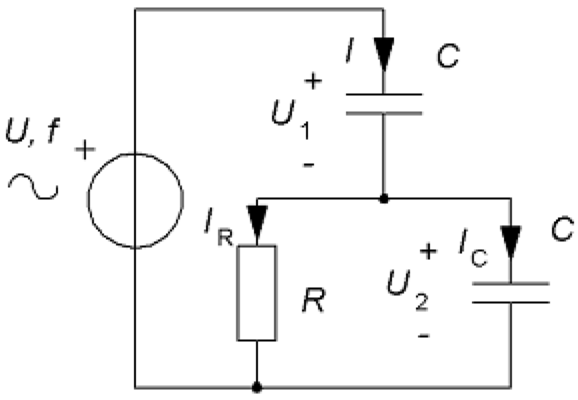


U = 20 V C = 320 μF R = 10 Ω f = 50 Hz

$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi\cdot f\cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi\cdot 50\cdot 320\cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R\cdot\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R+\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10\cdot(-10\,\mathrm{j})}{10-10\,\mathrm{j}}\cdot\frac{(10+10\,\mathrm{j})}{(10+10\,\mathrm{j})} = 5-5\,\mathrm{j}$$

Exempel. Komplexa visare. I_R



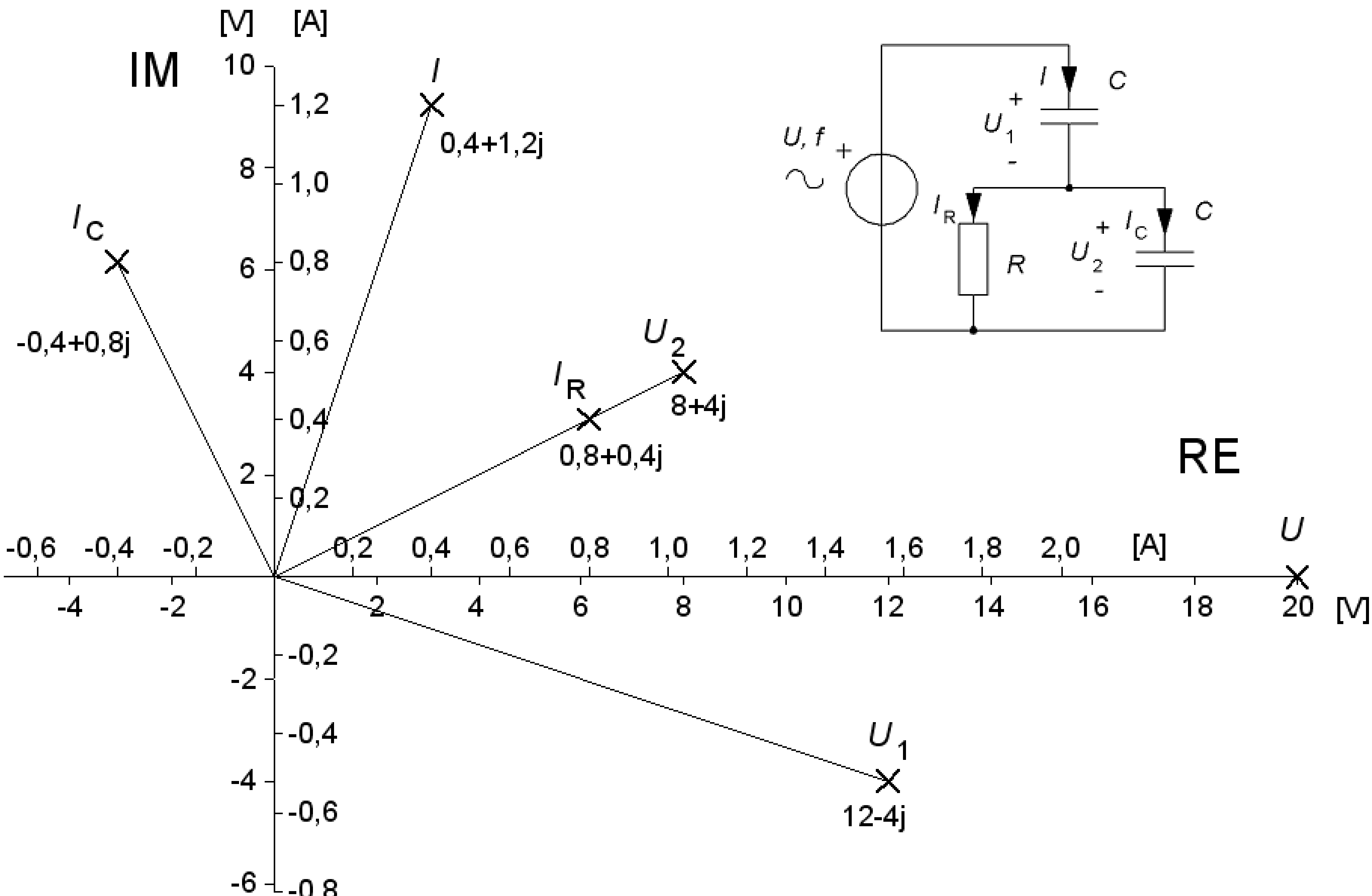
U = 20 V C = 320 μF R = 10 Ω f = 50 Hz

$$\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\mathrm{j}2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10\,\mathrm{j}$$

$$\underline{Z}_{\mathrm{R//C}} = \frac{R \cdot \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R + \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{10 \cdot (-10\,\mathrm{j})}{10 - 10\,\mathrm{j}} \cdot \frac{(10+10\,\mathrm{j})}{(10+10\,\mathrm{j})} = 5 - 5\,\mathrm{j}$$

$$\underline{I}_{\mathrm{R}} = \frac{\underline{U}_2}{R} = \frac{8 + 4\,\mathrm{j}}{10} = 0{,}8 + 0{,}4\,\mathrm{j}$$

$$I_{\mathrm{R}} = \left|0{,}8 + 0{,}4\,\mathrm{j}\right| = \sqrt{0{,}8^2 + 0{,}4^2} = 0{,}89$$

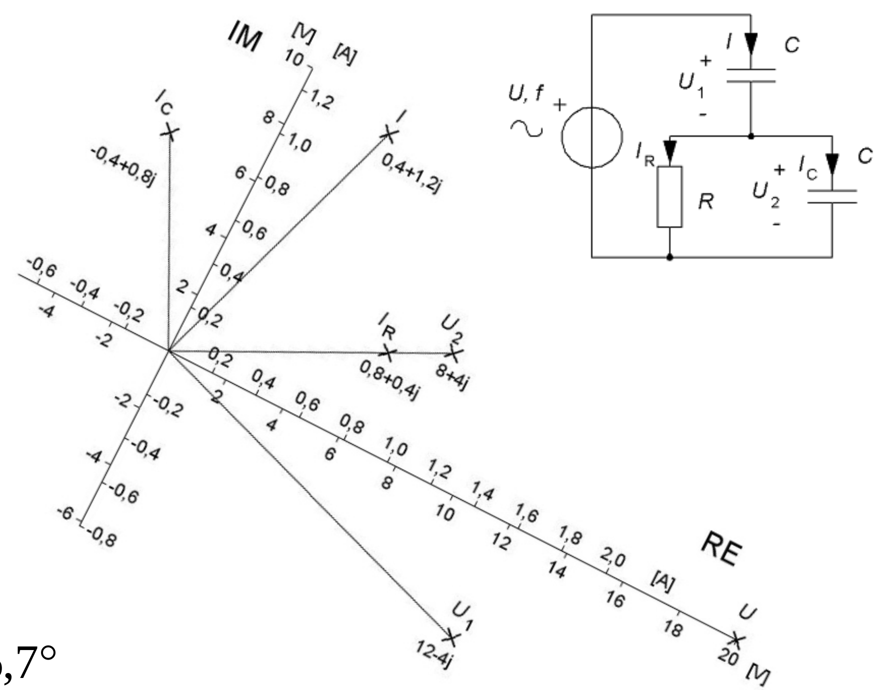


William Sandqvist william@kth.se

Vrida diagrammet …

När vi ritade visardiagrammet var det naturligt att använda U_2 som riktfas (=horisontell), med jω-metoden var U den naturliga riktfasen (=reell).

Eftersom det är enkelt att vrida diagrammen, så har man i praktiken frihet att välja vilken storhet som helst till riktstorhet.



$$\arg(\underline{U}_2) = \arg(8+4\mathrm{j}) = \arctan\left(\frac{4}{8}\right) = 26{,}7°$$

$$\times(\cos(-26{,}7°) + \mathrm{j}\cdot\sin(-26{,}7°))$$

Multiplicera alla komplexa tal med denna faktor så genomförs vridningen!

Sammanfattning

Sinusformade växelstorheter kan representeras som visare, phasors,

”belopp” ∠ ”fasvinkel”.

En visare (phasor) kan *antingen* ses som en vektor angiven i polära koordinater, *eller* som ett komplext tal.

Det är viktigt att kunna beskriva växelströmsfenomen *utan* att för den skull behöva *kräva* kunskaper om komplexa tal – därav vektormetoden.

De komplexa talen och jω-metoden är kraftfulla verktyg som underlättar behandlingen av växelströms-problem.
Inom elektroniken har de generaliserats till olika transform-metoder som Fourier-transformen och Laplace-transformen, så elektroingenjörens användning av komplexa tal är omfattande.

Admittans, konduktans, susceptans

$$\underline{U} = \underline{I} \cdot \underline{Z} \qquad \underline{Z} = R + \mathrm{j}X \qquad R = \mathrm{Re}[\underline{Z}] \qquad X = \mathrm{Im}[\underline{Z}]$$

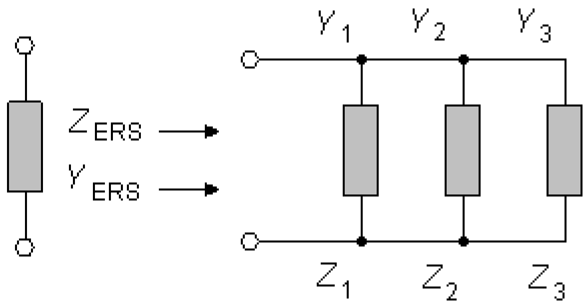
$$\underline{I} = \underline{U} \cdot \underline{Y} \qquad \underline{Y} = G + \mathrm{j}B \qquad G = \mathrm{Re}[\underline{Z}] \qquad B = \mathrm{Im}[\underline{Z}]$$

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}}$$

Vid parallellkopplade komponenter kan det ibland vara bekvämare att räkna med impedansens inverterade värde.

Impedansen *Z* består av realdel *R*, **resistans**, och imaginärdel *X*, **reaktans**. Kondensatorns reaktans är negativ.

Admittansen *Y* består av realdel *G*, **konduktans**, och imaginärdel *B*, **suceptans**. Spolens suceptans är negativ.



$$Y_{ERS} = Y_1 + Y_2 + Y_3$$

$$\updownarrow \qquad \updownarrow \qquad \updownarrow \qquad \updownarrow$$

$$\frac{1}{Z_{ERS}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}$$