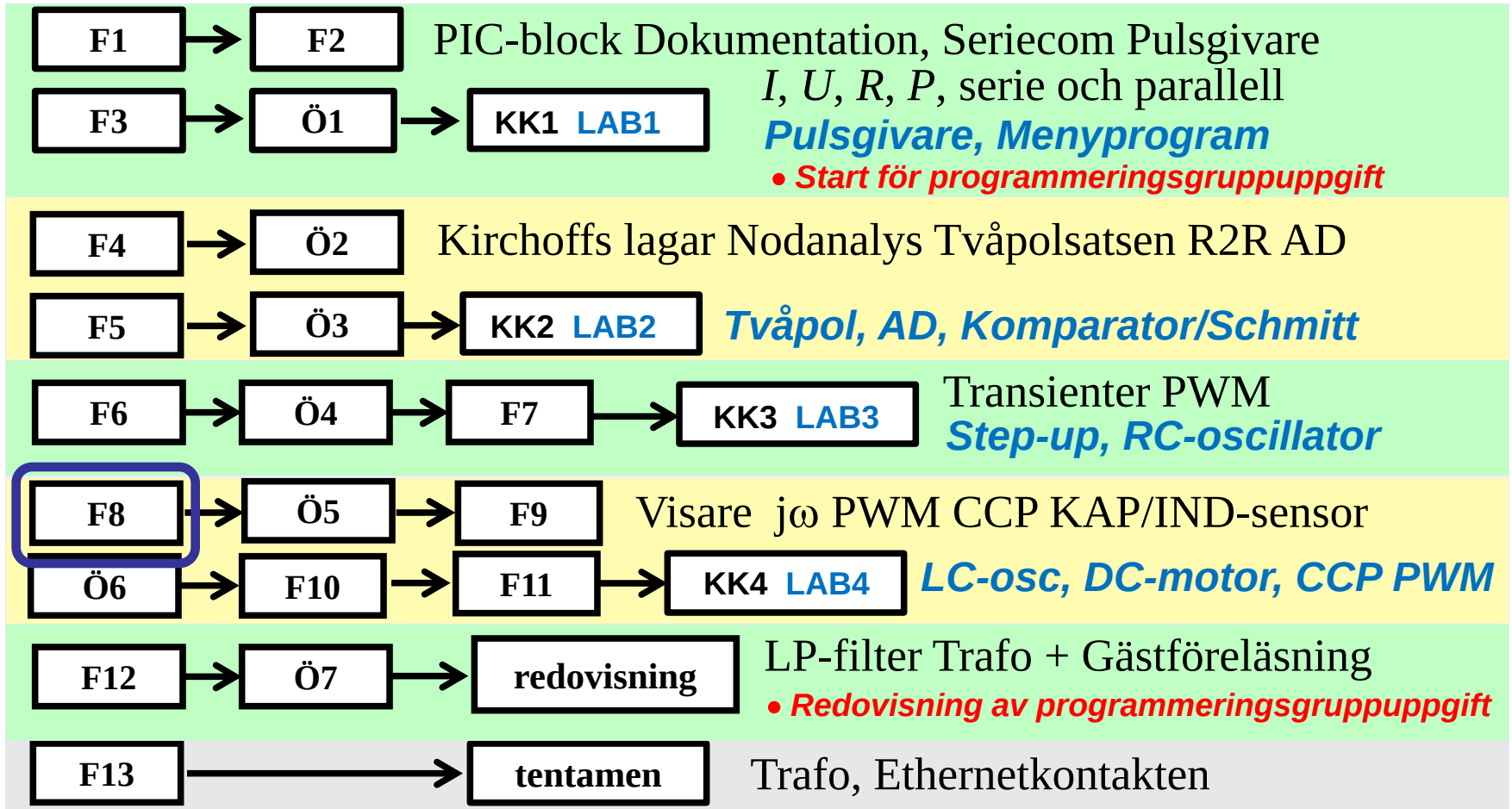


IE1206 Inbyggd Elektronik

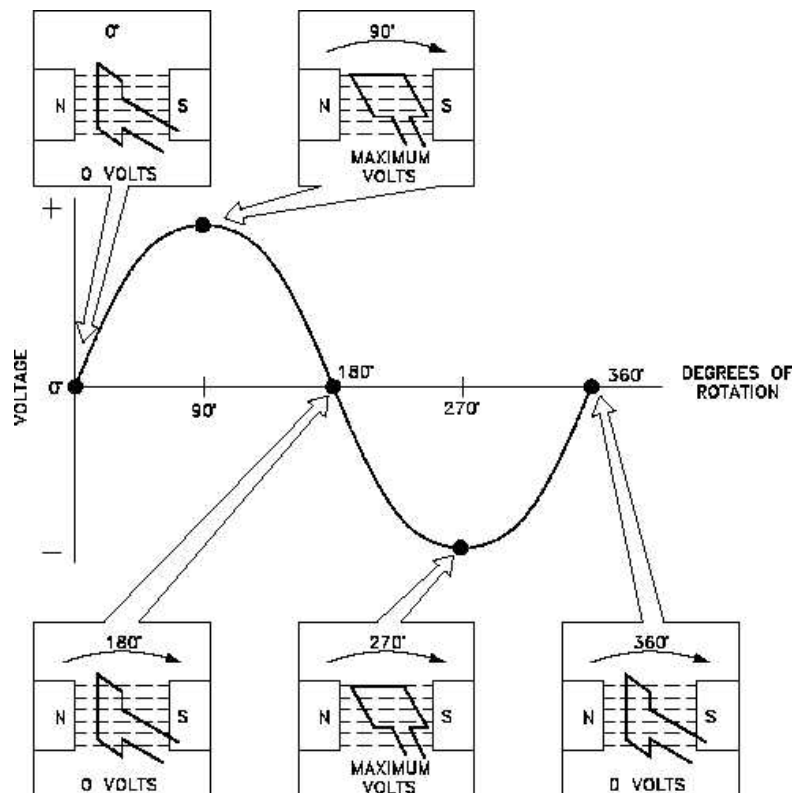


Enkelt att generera en sinusspänning

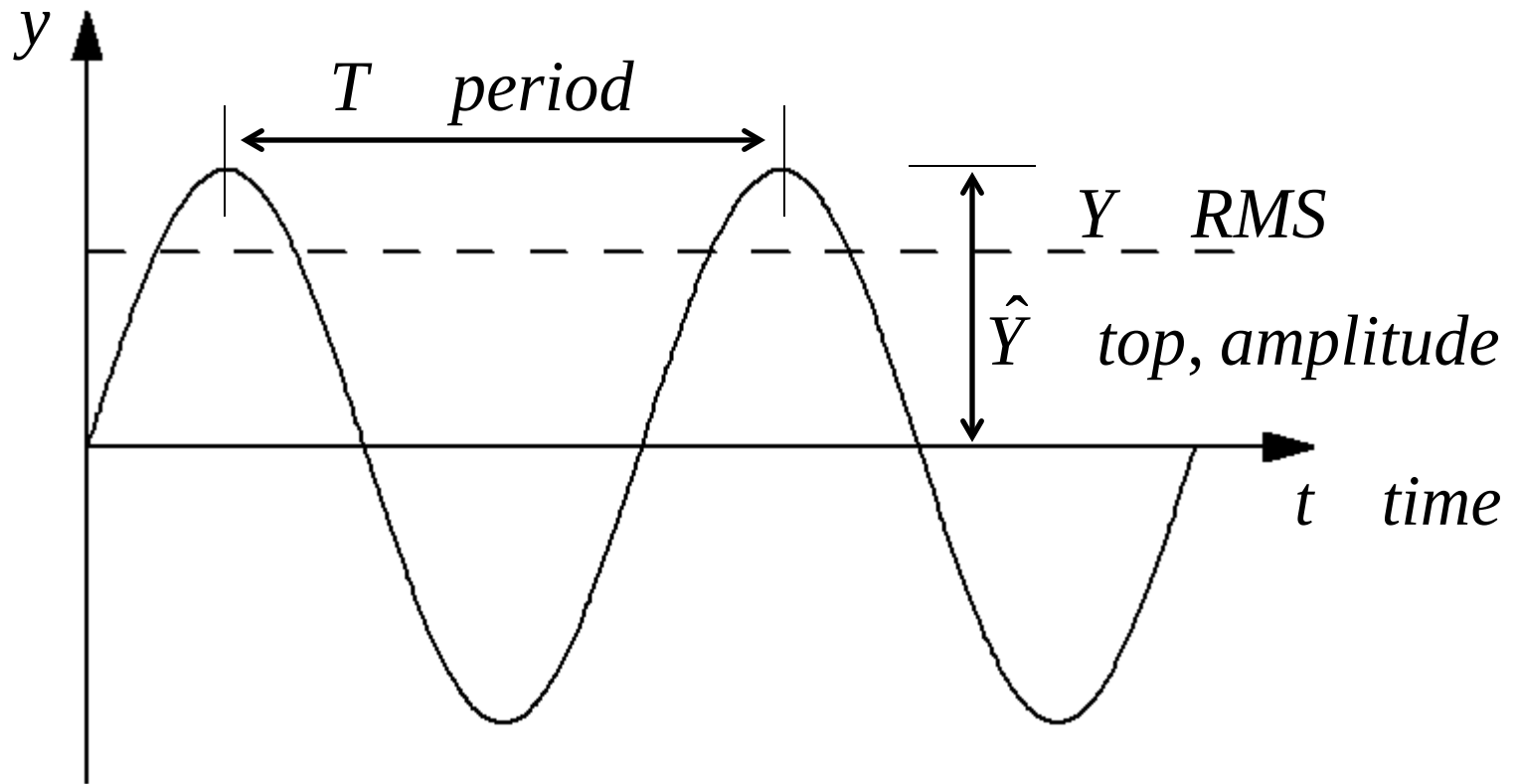
Hela vårt elnät arbetar med sinusformad spänning.

När en slinga roterar med konstant hastighet i ett magnetfält så genereras en sinusvåg.

Så mycket enklare kan det ju inte bli ...



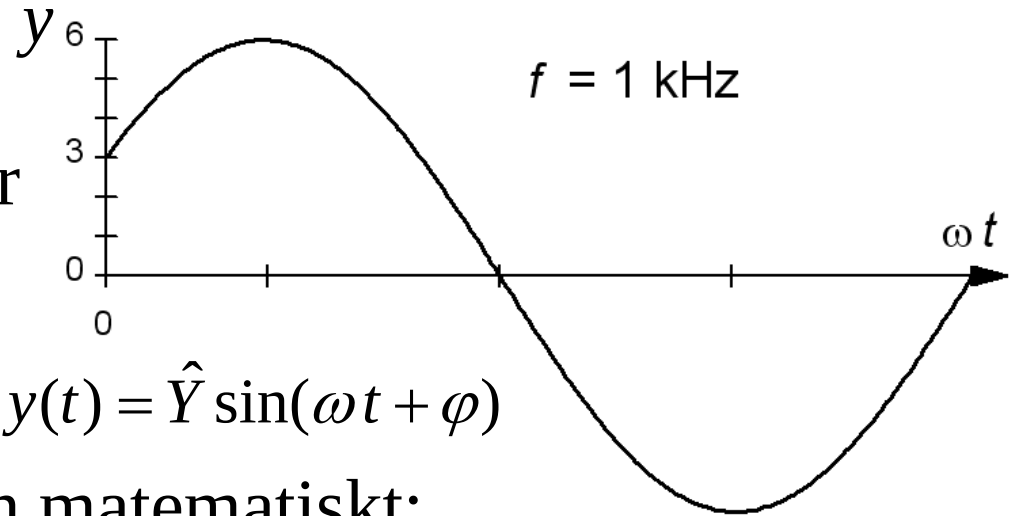
Sinusvågen – *kommer Du ihåg?*



$$y(t) = \hat{Y} \sin(\omega t) \quad \omega = 2\pi f \quad f = \frac{1}{T} \quad Y = \frac{\hat{Y}}{\sqrt{2}}$$

(11.1) Fasvinkel φ

Om en sinuskurva **inte** börjar med 0 har funktionsuttrycket en fasvinkel φ .



Ange denna funktion matematiskt:

$$u(t) = 6 \cdot \sin(2\pi \cdot 1000 \cdot t + \varphi)$$

$$u(0) = 3 = 6 \cdot \sin(\varphi) \Rightarrow \varphi = \arcsin\left(\frac{3}{6}\right) = 0,52 \text{ rad} \quad (= 30^\circ)$$

$$u(t) = 6 \cdot \sin(6283 \cdot t + 0,52)$$

Äpplen och päron?



I elläran är det vanligt (tex. i läroböcker) att man uttrycker vinkeln i sinusfunktionen *blandat* i radianer $\omega \cdot t$ [rad] och i grader φ [°].

Detta är naturligtvis oegentligt, men **praktiskt** (!). Användaren måste ”räkna om” tex. fasvinkeln till radianer *om* sinusfunktionens värde för någon viss tidpunkt t ska beräknas.

(You have now been warned ...)

$$u(t) = 6 \cdot \sin(6283 \cdot t + 30^\circ)$$

?↑ ?↑

Omvandling:

$$x[^\circ] = x[\text{rad}] \cdot 57,3$$

$$x[\text{rad}] = x[^\circ] \cdot 0,017$$

Medelvärde och effektivvärde

Alla *rena* växelspänningar har **medelvärde 0**.

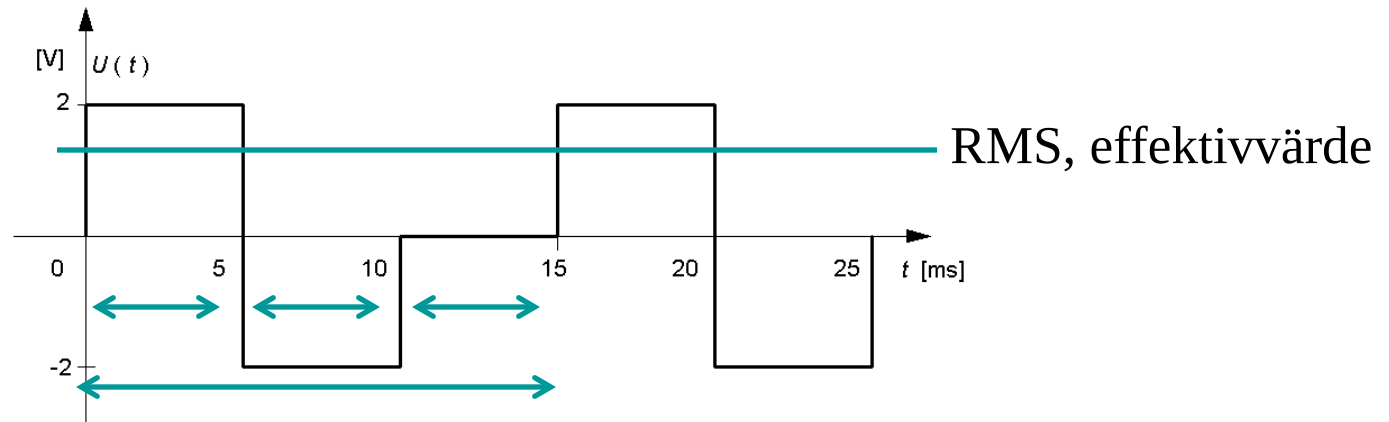
- Intressantare är **effektivvärdet** – det kvadratiska medelvärde.

$$U_{\text{med}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = 0$$

$$U = \sqrt{\frac{\int_0^T u(t)^2 dt}{T}}$$

(11.2) Exempel. Effektivvärde.

Effektivvärdet, är det man normalt använder menar med en växelspanning U . 1,63 V effektivvärde ger **samma** effekt i en resistor som en 1,63 V ren likspänning skulle göra.



$$U = \sqrt{\frac{\int_0^T u(t)^2 dt}{T}} = \sqrt{\frac{(2^2 + (-2)^2 + 0) \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-3}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{15 \cdot 10^{-3}}} = 1,63 \text{ V}$$

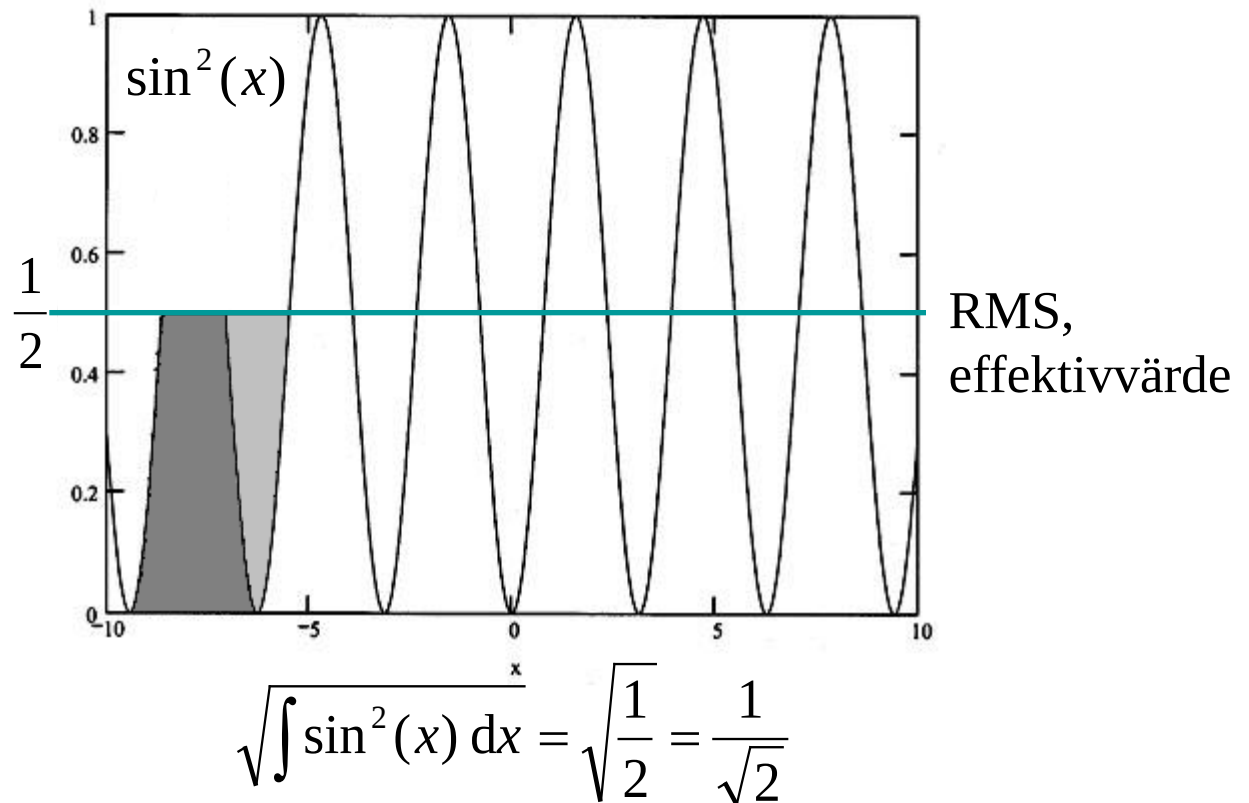
Sinusvågens effektivvärde

Ex. 11.3

$\sin^2$ har medelvärde $\frac{1}{2}$

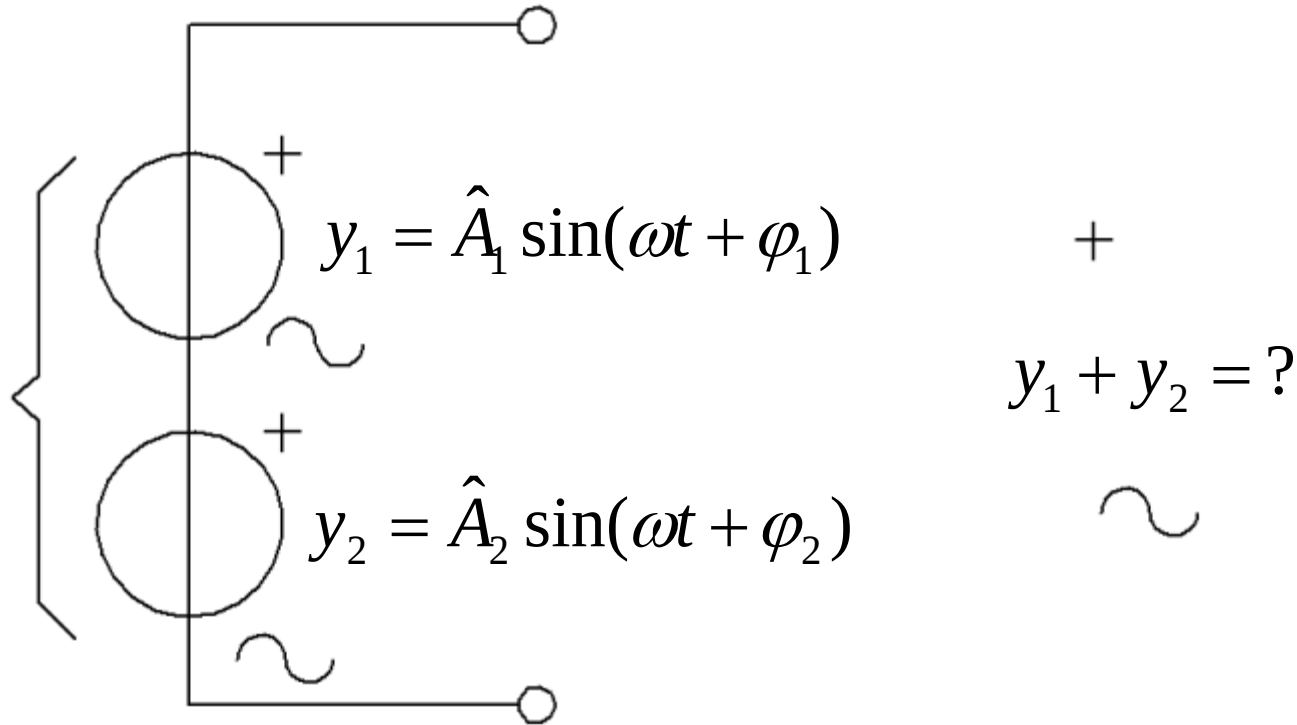
Därför är:

$$U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$$



- Effektivvärde kallas ofta för **RMS** (**R**oot **M**ean **S**quare).

Addition av sinusformade storheter



Addition av sinusformade storheter

När vi ska tillämpa strömkretslagarna på växelströmskretsar måste vi **addera sinusstorheter**. Summan av två sinusstorheter med samma frekvens blir alltid en ny sinusstorhet av denna frekvens, men med ny amplitud och ny fasvinkel.

(Ooops! Resultatet av de ganska arbetsamma beräkningarna visas nedan).

$$\boxed{y_1(t)} = \hat{A}_1 \cdot \sin(\omega t + \varphi_1) \quad \boxed{y_2(t)} = \hat{A}_2 \cdot \sin(\omega t + \varphi_2) \quad \boxed{y(t) = y_1(t) + y_2(t)} =$$

$$= \sqrt{\hat{A}_1^2 + \hat{A}_2^2 + 2\hat{A}_1\hat{A}_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)} \cdot \sin\left(\omega t + \arctan \frac{\hat{A}_1 \sin(\varphi_1) + \hat{A}_2 \sin(\varphi_2)}{\hat{A}_1 \cos(\varphi_1) + \hat{A}_2 \cos(\varphi_2)}\right)$$

Sinusvåg som visare

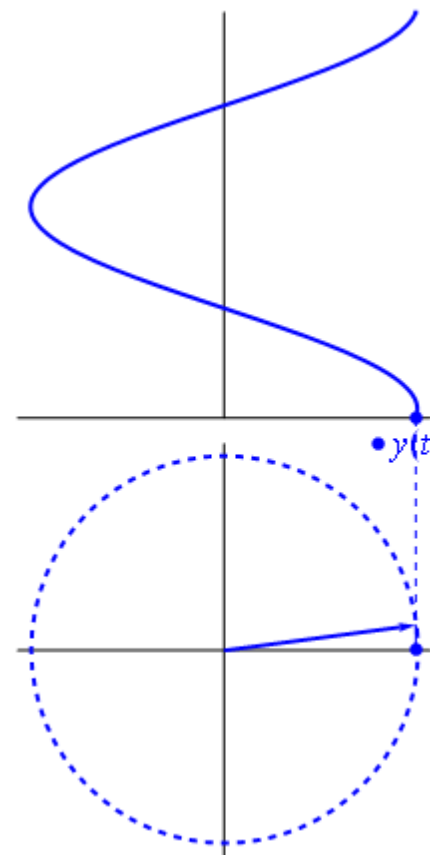
En sinusspänning eller ström,

$$y(t) = \hat{Y} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

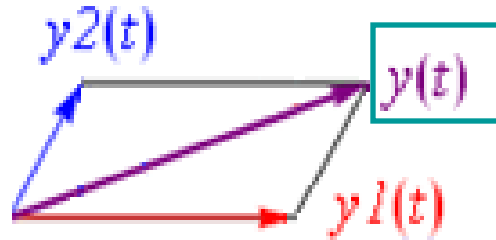
kan representeras av en visare som roterar (moturs) med vinkelhastigheten ω [rad/sek] runt origo.



[Wikipedia Phasors](https://en.wikipedia.org/wiki/Phasors)



Enklare med visare

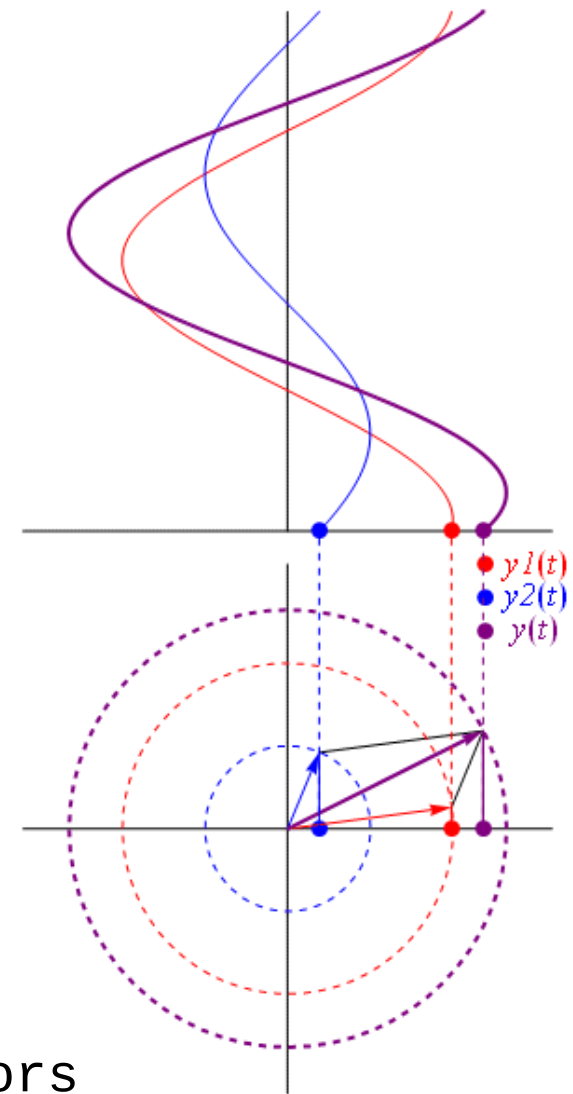


Om man struntar i ”rotationen” och adderar visarna med **vektoraddition**, så som de står vid tiden $t = 0$, blir det hela mycket enklare!



[Wikipedia Phasors](https://en.wikipedia.org/wiki/Phasors)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Phasors>



Visare med komplexa tal

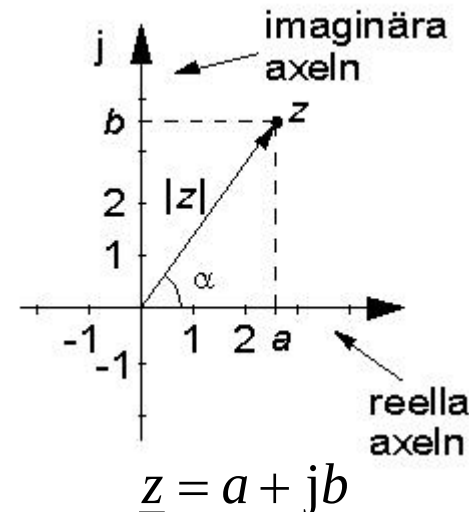
En växelspanning 10 V som har en fasvinkel 30° brukar skrivas:

$$10 \angle 30^\circ \quad (\textbf{Phasor})$$

Så fort vektoradditionerna kräver mer än de allra vanligaste geometriska formlerna, är det i stället att föredra att representera visarna med komplexa tal.

$$10 \angle 30^\circ \Leftrightarrow 10 \cdot e^{j30^\circ} \Leftrightarrow 10 \cdot \cos 30^\circ + 10 \cdot j \cdot \sin 30^\circ$$

Inom elläran använder man **j** för imaginära enheten, **i** är ju redan upptaget för ström.



Phasor

Sinusformade växelstorheter kan representeras som visare, phasors.

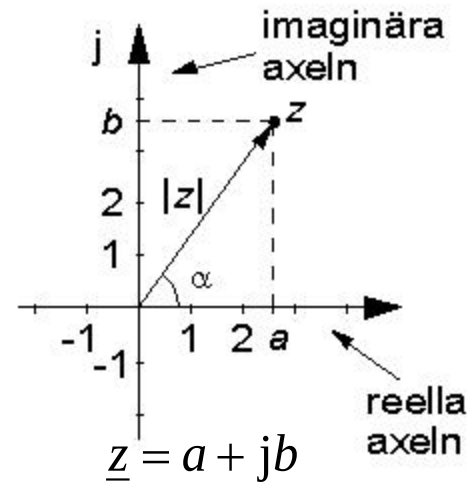
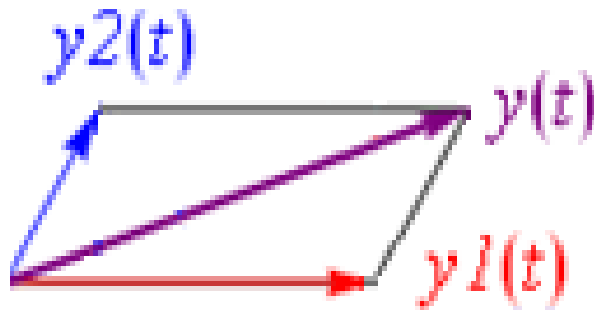
”belopp” $\angle$ ”fasvinkel”

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*** att åhörarna har kunskaper om komplexa tal – därav vektormetoden.

De komplexa talen och $j\omega$ -metoden är kraftfulla verktyg som underlättar behandlingen av växelströmsproblem. De kan generaliserat till Fourier-transform och Laplace-transform, så elektroingenjörens användning av komplexa tal är omfattande.

Toppvärde/effektivvärde -visare

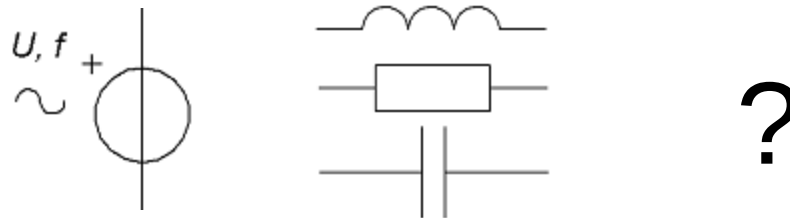


Visarnas längd motsvarar egentligen sinusstorheter-
nas toppvärden, men eftersom effektivvärdet bara är
toppvärdet skalat med $1/\sqrt{2}$ så har det ingen
betydelse om man räknar med toppvärden eller
effektivvärden – så länge man är **konsekvent**!

Spolen och Kondensatorn motverkar förändringar

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

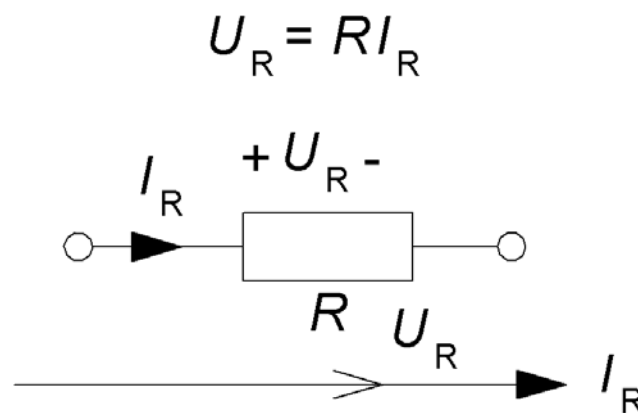
Hur går det då om källan avger en **sinusformad växelström** – som ju ändrar sig kontinuerligt?



Växelström genom resistor

En sinusformad växelström $i_R(t)$ genom en resistor R ger ett proportionellt sinusformat 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.



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

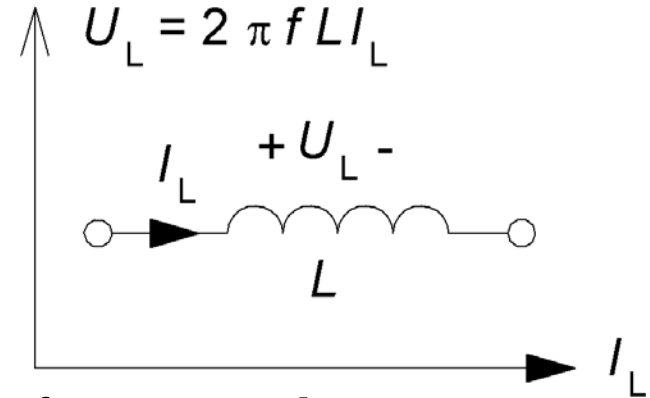
$$\boxed{U_R = R \cdot I_R} \quad \bullet \text{ Vektor visare}$$

$$\boxed{\underline{U}_R = R \cdot \underline{I}_R} \quad \bullet \text{ Komplexa visare}$$

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 självinduktion 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].

$$i_L(t) = \hat{I}_L \cdot \sin(\omega t) \quad u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \Rightarrow u_L(t) = \omega L \cdot \hat{I}_L \cdot \cos(\omega t) = \omega L \cdot \hat{I}_L \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$U_L = \omega L \cdot I_L$

 • Vektor visare

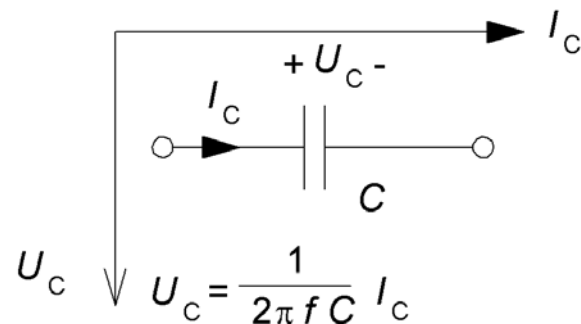
När man räknar med komplexa visare multiplicerar man ωL med talet ”j”, detta *vrider* spänningsvisaren $+90^\circ$. *Metoden håller automatiskt reda på fasvinklarna!*

$\underline{U}_L = j\omega L \cdot \underline{I}_L = jX_L \cdot \underline{I}_L$

 • Komplexa visare

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].

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

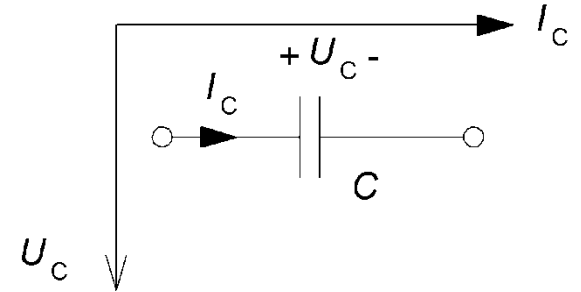
• Vektor visare

$$U = \frac{Q}{C} \Rightarrow \frac{du_C(t)}{dt} = \frac{1}{C} \cdot \frac{dq}{dt} = \frac{1}{C} \cdot i_C(t) \Rightarrow u_C(t) = \frac{1}{C} \cdot \int i_C(t) dt$$

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

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**.

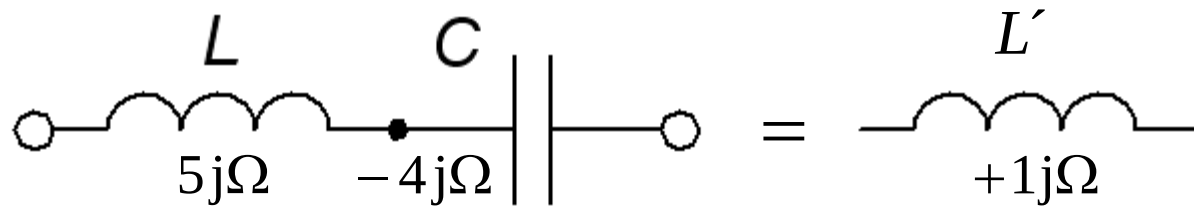
$$\underline{U}_C = \frac{1}{j\omega C} \cdot \underline{I}_C = j \frac{-1}{\omega C} \cdot \underline{I}_C$$

$\Rightarrow$

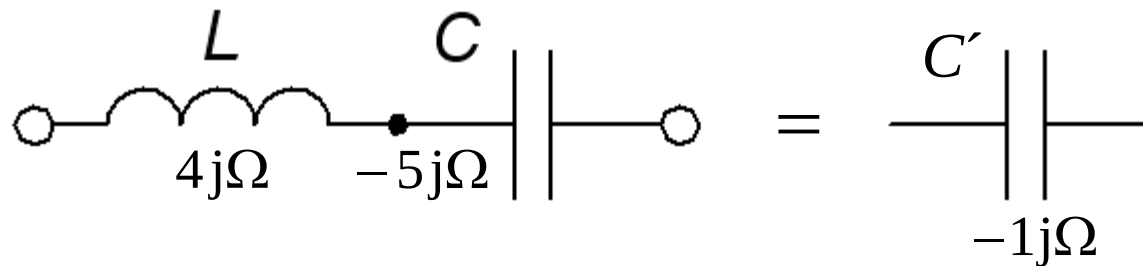
$$X_C = -\frac{1}{\omega C}$$

• *Komplex visare*

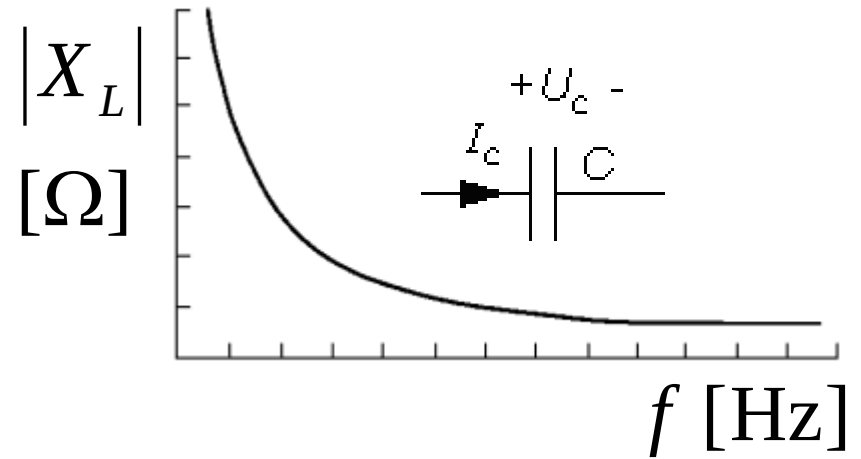
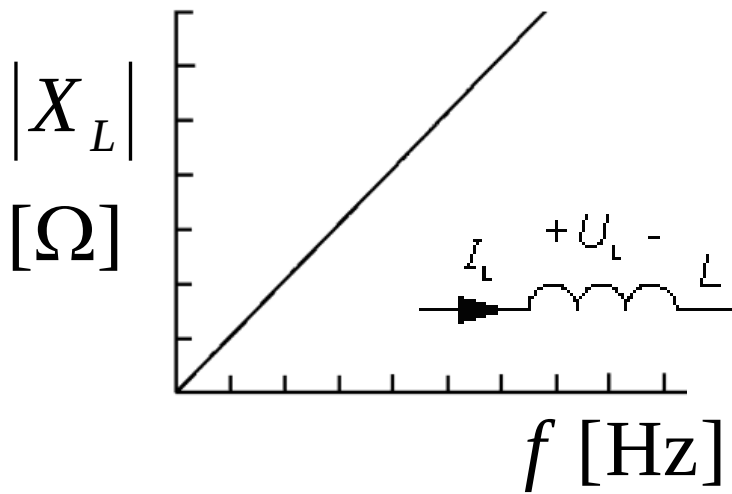
L+C i serie



~



Reaktansens frekvensberoende

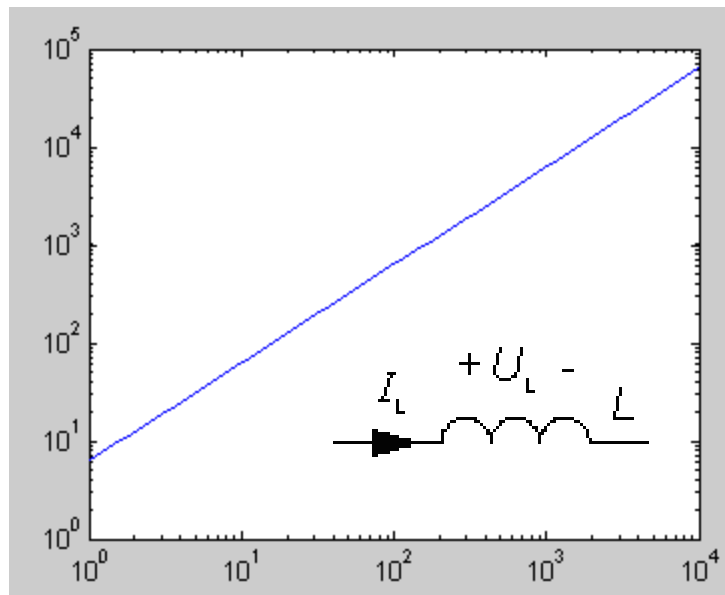


$$|X_L| = \omega \cdot L \quad |X_C| = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$\omega = 2\pi f$$

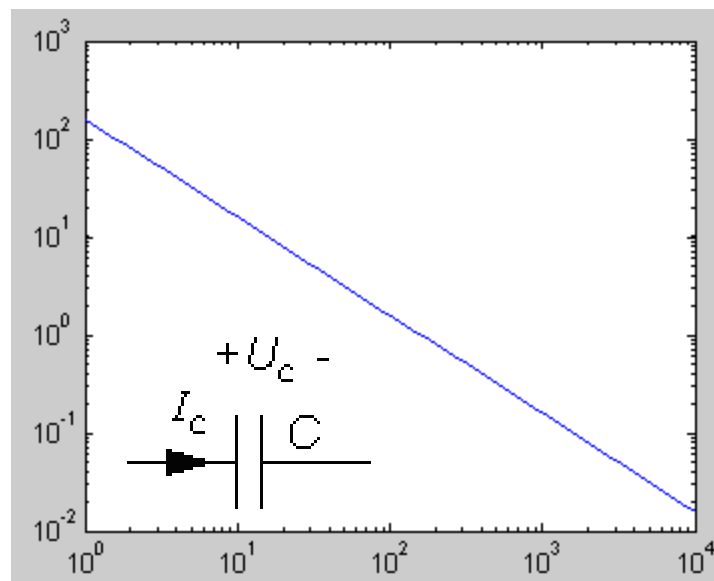
LOG – LOG diagram

$$\log(|X_L|) - scale [\Omega]$$



$$\log(f) - scale [Hz]$$

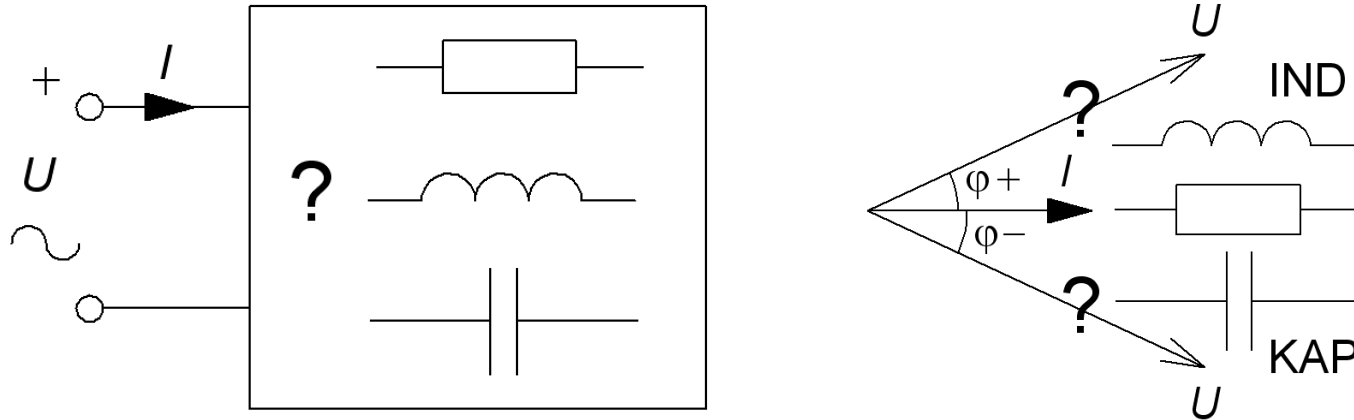
$$\log(|X_C|) - scale [\Omega]$$



$$\log(f) - scale [Hz]$$

Ofta använder elektronikingenjörerna log-log-skala. Spolen och kondensators rektanser får då båda "linjära" samband i ett sådant diagram.

R L C

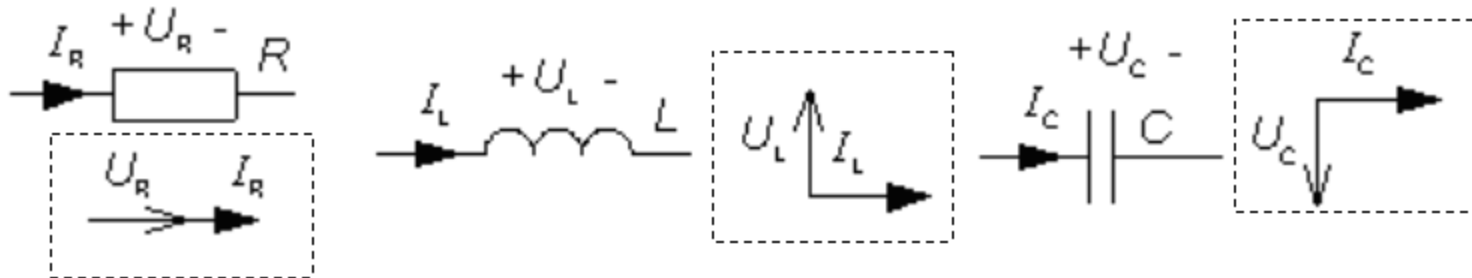


I allmänhet innehåller våra nät en blandning med olika R L och C . Fasvinkeln mellan I och U är då inte $\pm 90^\circ$ utan kan ha vilket mellanliggande värde som helst. En positiv fasvinkel innebär att induktanserna dominerar över kapacitanserna, induktiv karaktär **IND**. En negativ fasvinkel innebär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

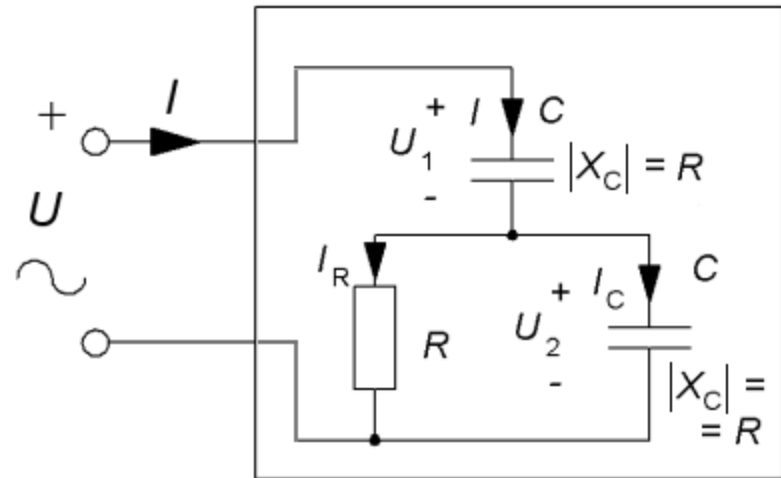
Kvoten mellan spänning U och ström I , växelströmsmotståndet, kallas för **impedans** Z [Ω]. **OHM's växelströmslag:**

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

Visardiagram



För att beräkna växelströmsmotståndet, impedansen, Z hos en sammansatt krets måste man addera strömmar och spänningar som **visare** för att få fram den totala strömmen I och den totala spänningen U .

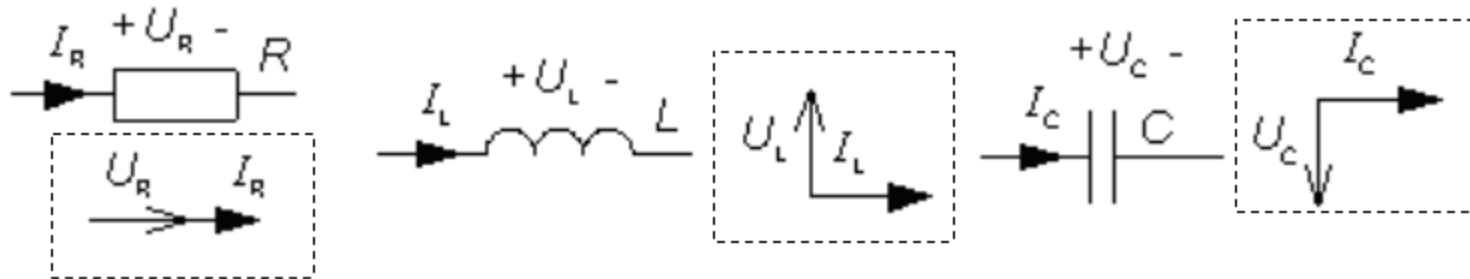


$$Z = \frac{U}{I}$$

Visardiagrammet är vår "blindkäpp" in till växelströmsvärlden!

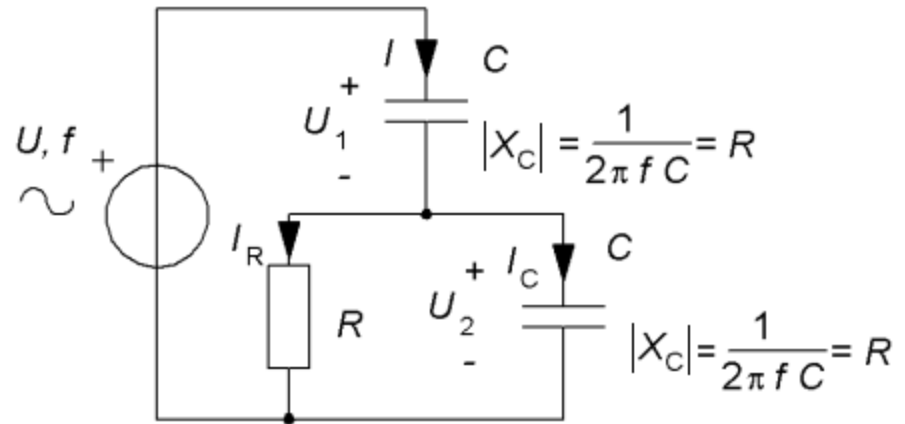
Ex. Visardiagram. (11.5)

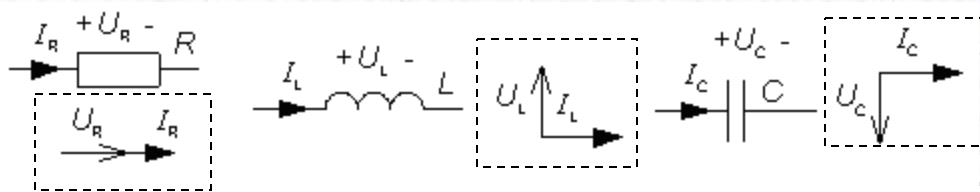
Elementära visardiagram för R L och C



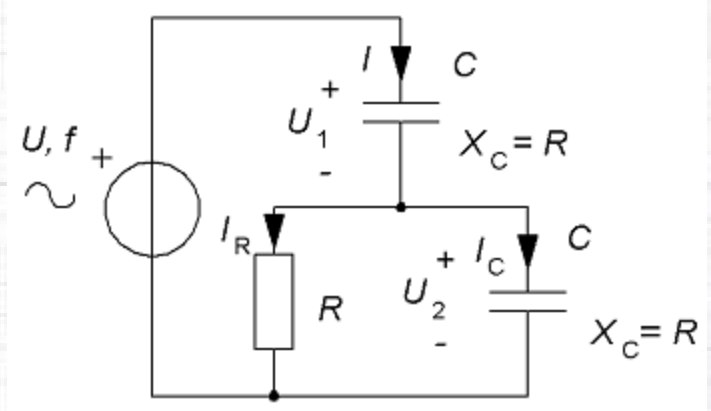
Vid en viss frekvens f har kondensatorernas reaktans $|X_C|$ och resistorn R samma belopp, växelströmsmotståndet R [Ω].

Använd de elementära visardiagrammen för R och C som byggstenar för att rita hela kretsens visardiagram (vid den aktuella frekvensen f).

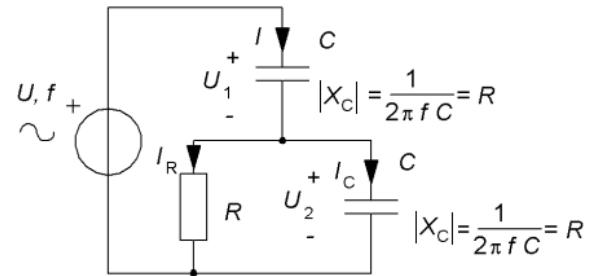
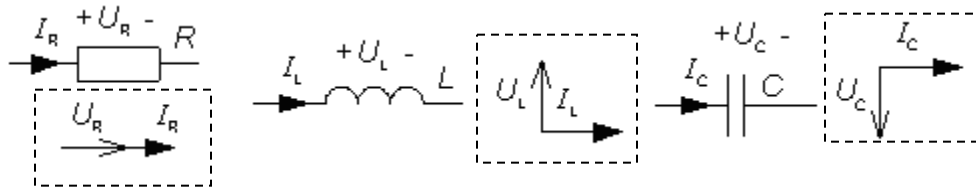




Gör själv ...



Exempel. Visardiagram.



1) U_2 riktfas (= horisontell)

2) $\bar{I}_R \parallel \bar{U}_2 \xrightarrow{U_R} I_R$

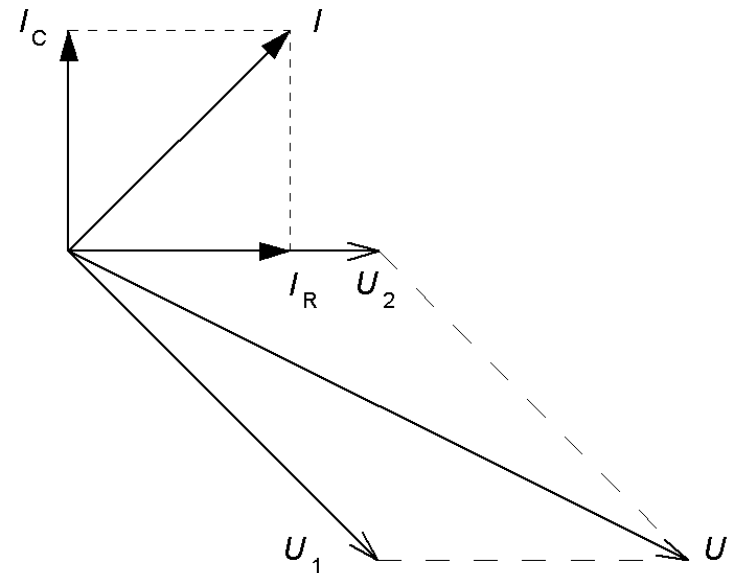
3) $\bar{I}_C \perp \bar{U}_2 \quad I_C = I_R = \frac{U_2}{R}$

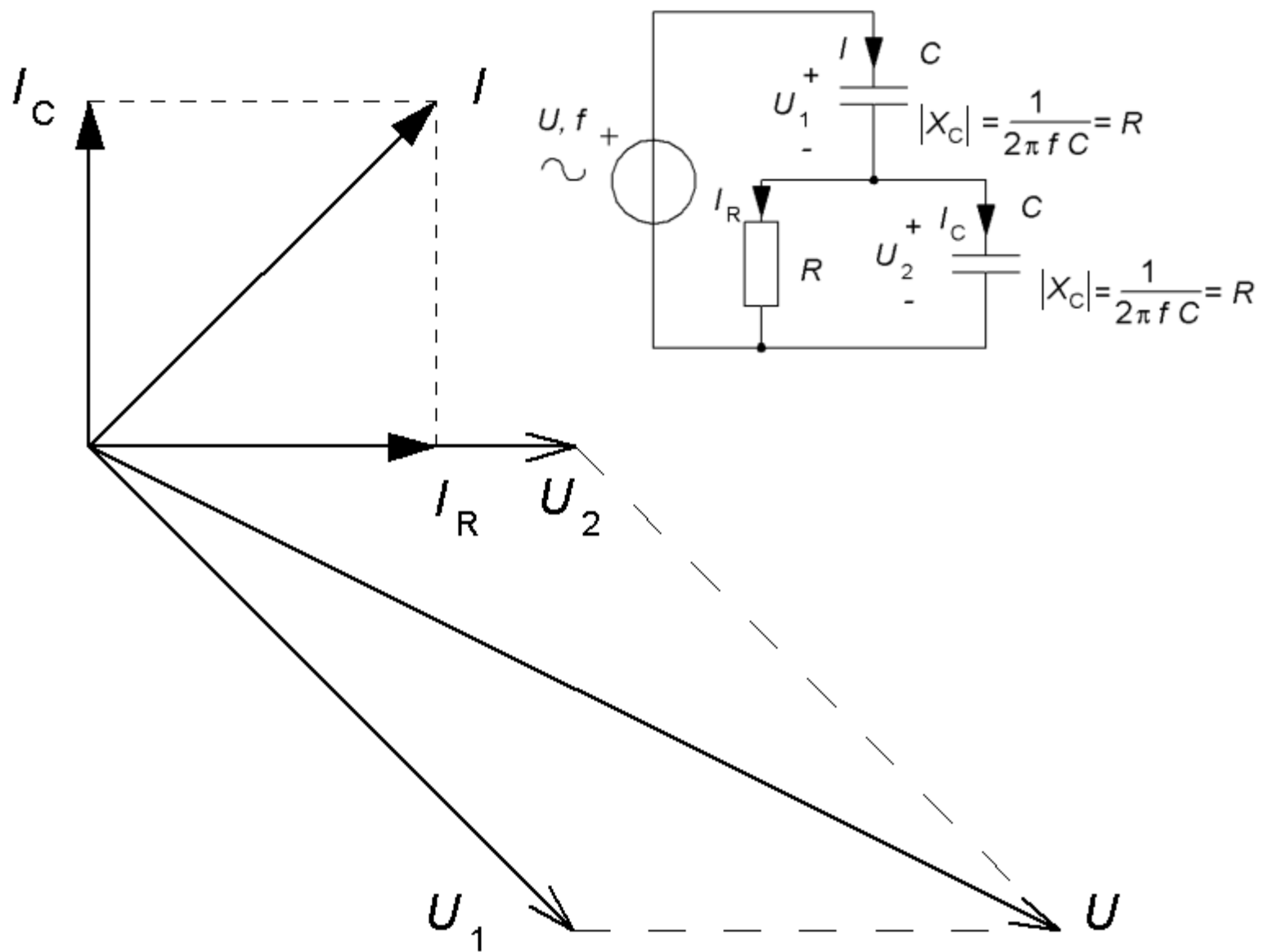
4) $\bar{I} = \bar{I}_R + \bar{I}_C \quad I = \sqrt{2} \cdot I_C$

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

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

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



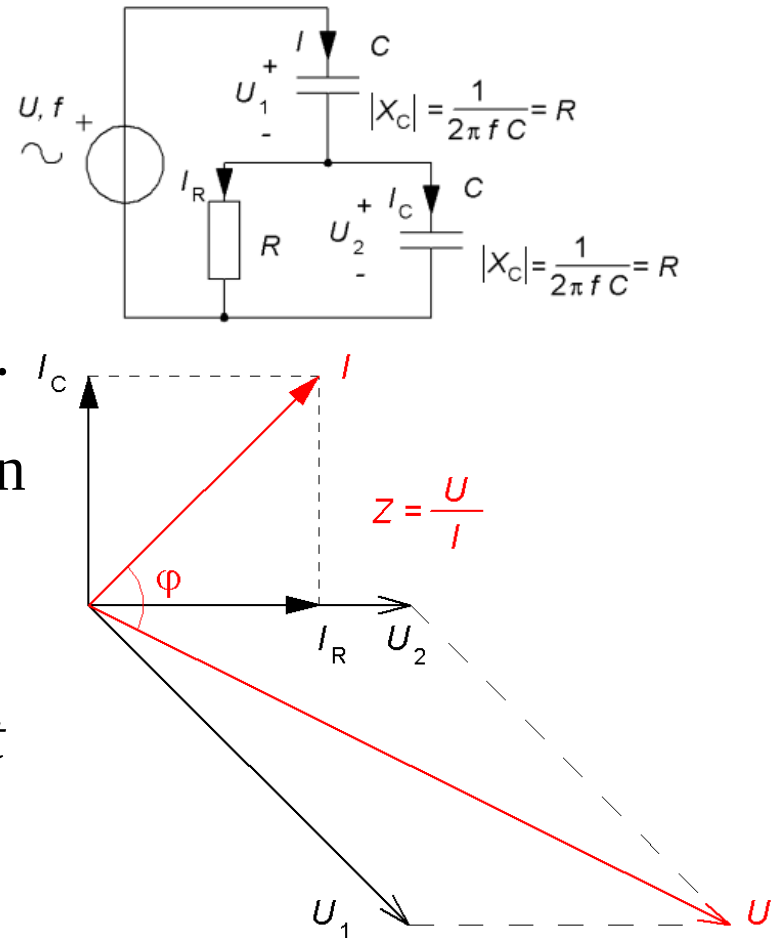


Impedansen Z

Kretsens växelströmsmotstånd, impedansen Z , får man som kvoten av U och I visarna. Impedansens fasvinkel 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)



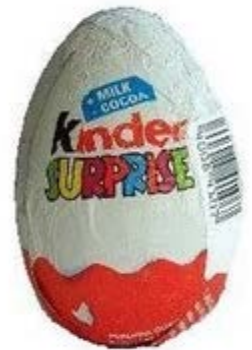
Komplexa visare, $j\omega$ -metoden

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

$$\underline{U}_R = \underline{I}_R \cdot R \quad \varphi = \arg(R) = 0^\circ$$

$$\underline{U}_L = \underline{I}_L \cdot jX_L = \underline{I}_L \cdot j\omega L \quad \varphi = \arg(j\omega L) = +90^\circ$$

$$\underline{U}_C = \underline{I}_C \cdot jX_C = \underline{I}_C \cdot \frac{1}{j\omega C} \quad \varphi = \arg\left(\frac{1}{j\omega C}\right) = -\arg(j\omega C) = -90^\circ$$



Komplexa visare. OHM's lag för Z .

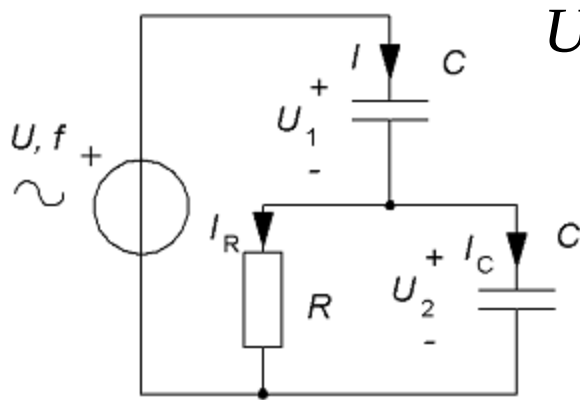
$$\boxed{\underline{U} = \underline{I} \cdot \underline{Z}} \quad \underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} \quad \varphi = \arg(\underline{Z}) = \arg\left(\frac{\underline{U}}{\underline{I}}\right) = \arg(\underline{U}) - \arg(\underline{I})$$

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

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

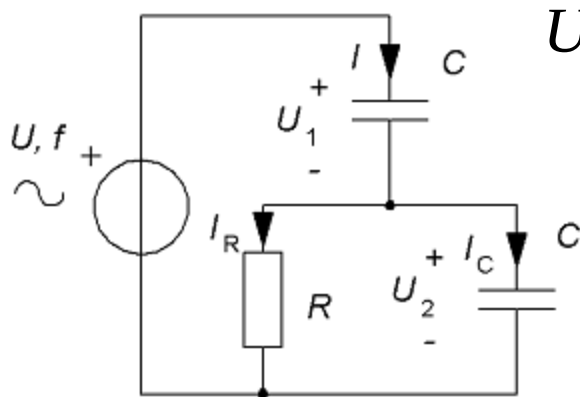
I själva verket blir det fyra användbara samband! • Re, • Im, • Abs, • Arg

Ex. Komplexa visare.



$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

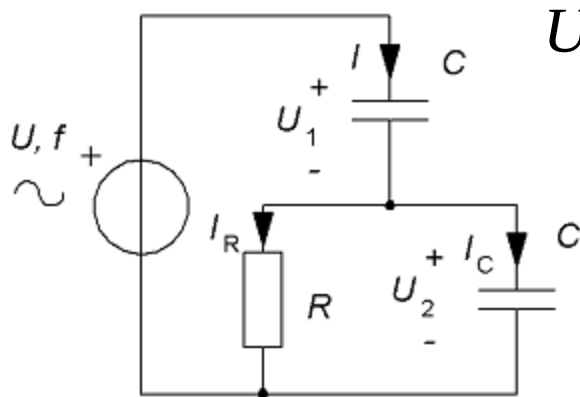
Ex. Komplexa visare.



$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10j$$

Ex. Komplexa visare.

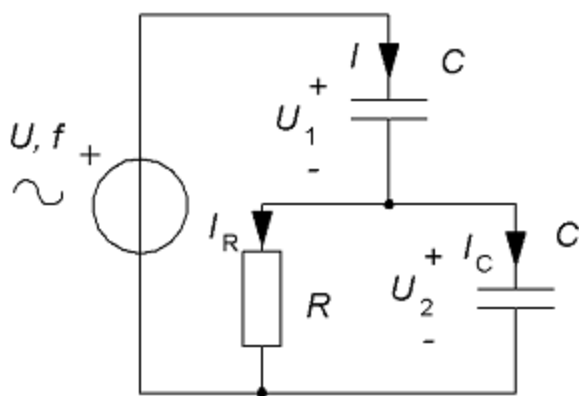


$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10j$$

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

Ex. Komplexa visare.

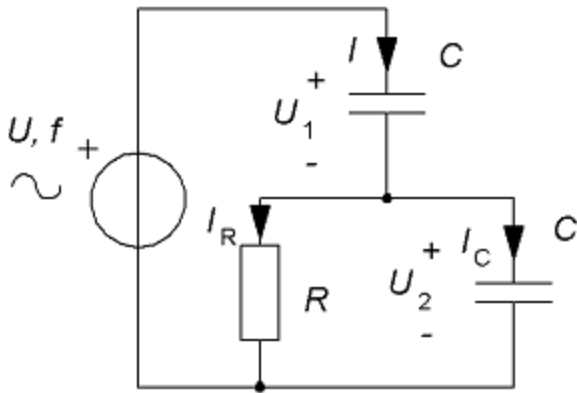


$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10j$$

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

Ex. Komplexa visare. *I*

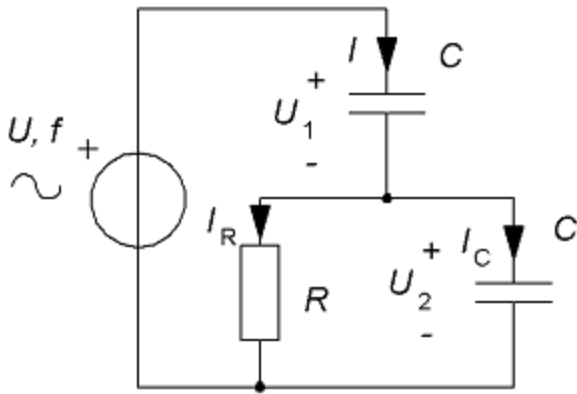


$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10j$$

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

Ex. Komplexa visare. I



$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

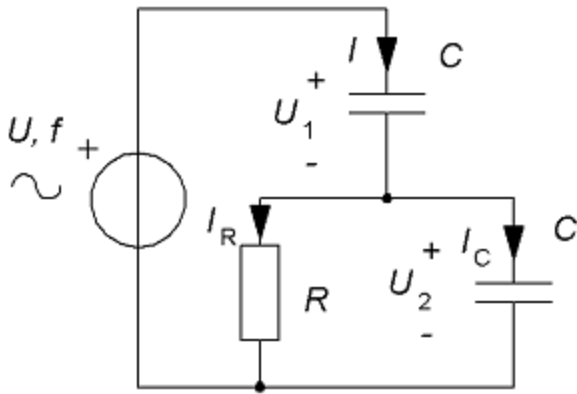
$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10j$$

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

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

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

Ex. Komplexa visare. U_1

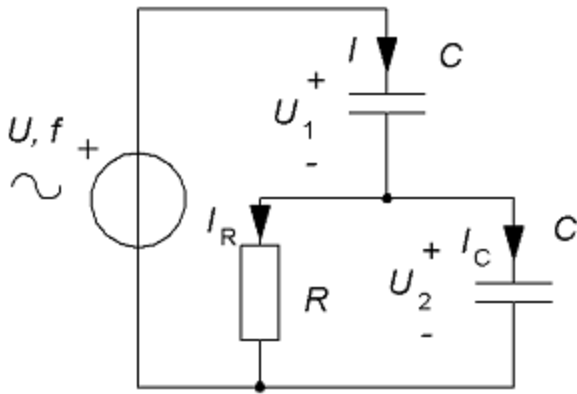


$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10j$$

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

Ex. Komplexa visare. U_1



$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

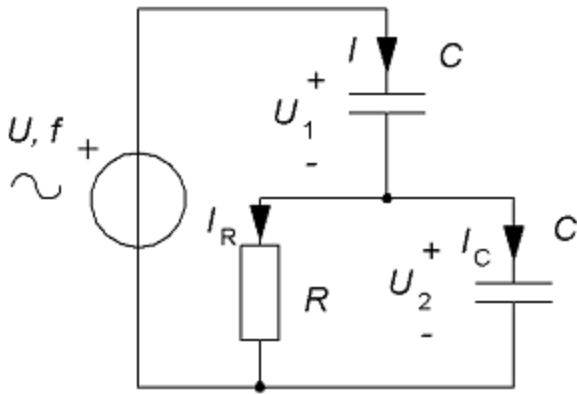
$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10 \text{ j}$$

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

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

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

Ex. Komplexa visare. U_2

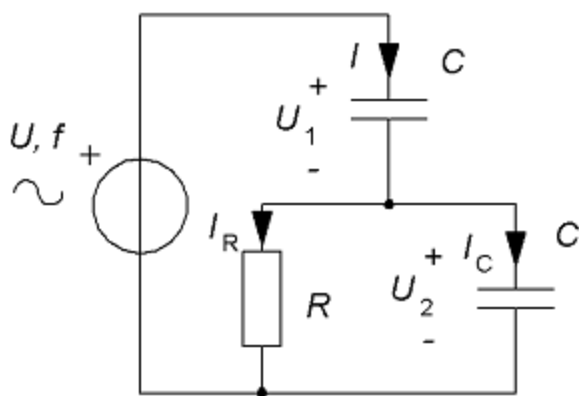


$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10j$$

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

Exempel. Komplexa visare. U_2



Spännings delning:

$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

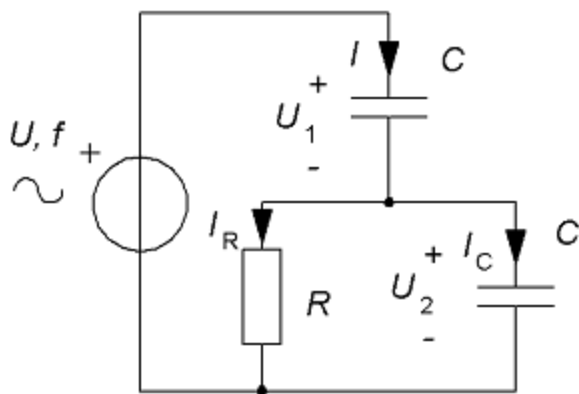
$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10 \text{ j}$$

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

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

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

Ex. Komplexa visare. I_C

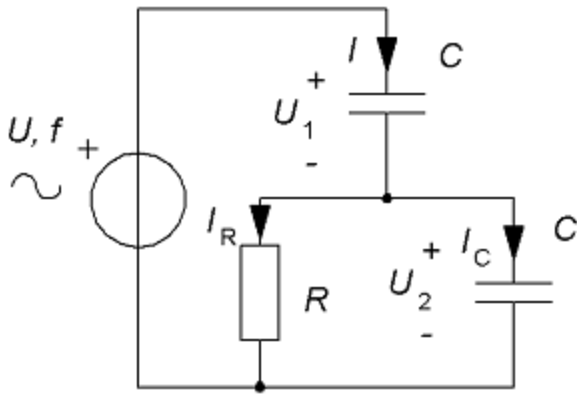


$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10j$$

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

Ex. Komplexa visare. I_C



$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

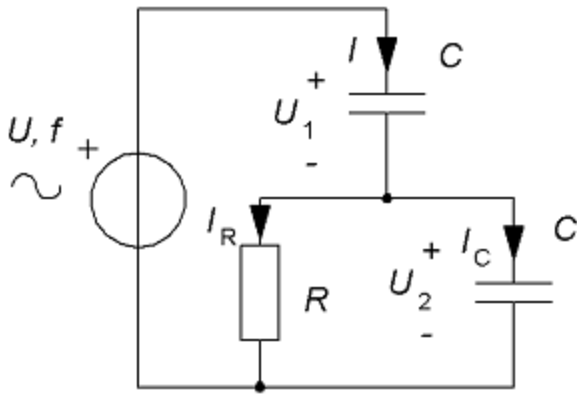
$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10 \text{ j}$$

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

$$\underline{I}_C = \frac{U_2}{\frac{1}{j\omega C}} = \frac{8 + 4 \text{ j}}{-10 \text{ j}} = -0,4 + 0,8 \text{ j}$$

$$I_C = |0,4 + 0,8 \text{ j}| = \sqrt{0,4^2 + 0,8^2} = 0,89$$

Ex. Komplexa visare. I_R

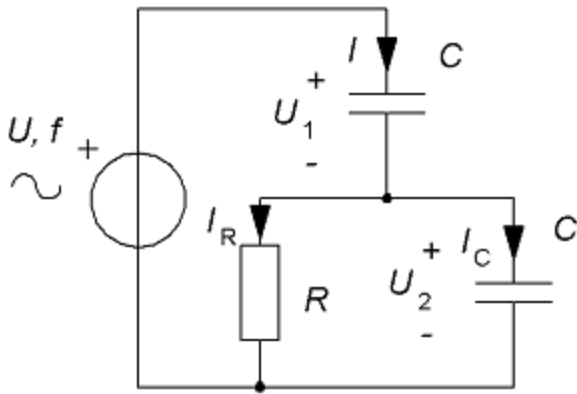


$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10j$$

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

Ex. Komplexa visare. I_R



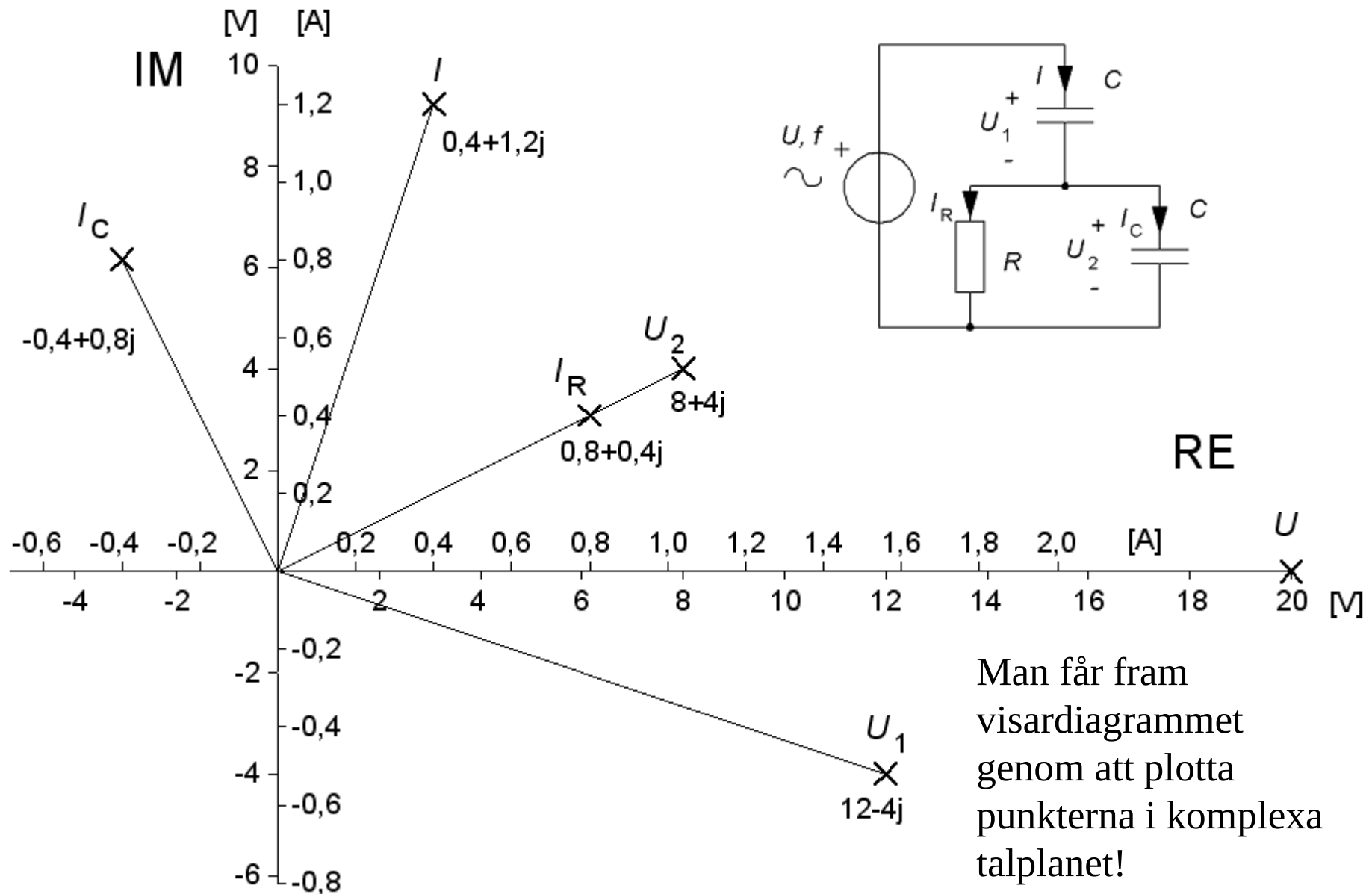
$$U = 20 \text{ V} \quad C = 320 \text{ } \mu\text{F} \quad R = 10 \text{ } \Omega \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{j2\pi \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-6}} = -10j$$

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

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

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

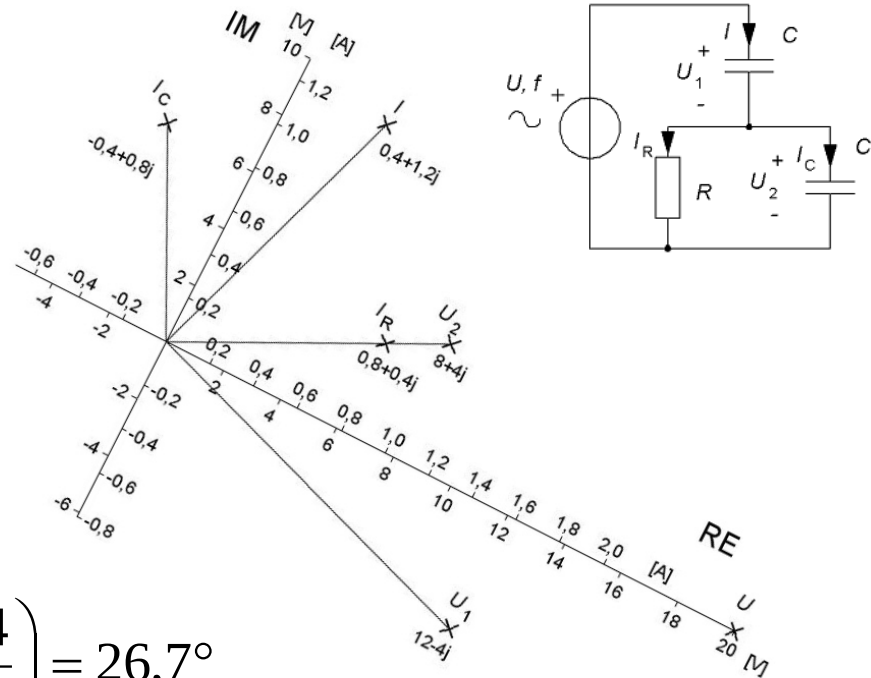


Man får fram
visardiagrammet
genom att plotta
punkterna i komplexa
talplanet!

Vrida diagrammet ...

När vi ritade visardiagrammet var det naturligt att använda $\mathbf{U}_2$ som riktfas (=horisontell), med $j\omega$ -metoden var $\mathbf{U}$ 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.



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

$$\times (\cos(-26,7^\circ) + j \cdot \sin(-26,7^\circ))$$

Multiplikerar man alla komplexa tal med denna faktor så genomförs vridningen!

Sammanfattning

Sinusformade växelstorheter kan representeras som visare, phasors,

”belopp” $\angle$ ”fasvinkel”.

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

Beräkningar gör man oftast bäst med den komplexa metoden, medan visardiagrammen används för att visualisera och förklara växelströmsfenomenen.

Beteckningar

x	ögonblicksvärde
$\hat{X}$	toppvärde
$\underline{X}$	Komplex visare
$X \mid \underline{X}$	Effektivvärde, visarens belopp

