IE1206 Inbyggd Elektronik

F1 → F2 PIC-block Dokumentation, Seriecom Pulsgivare

F3 → Ö1 → KK1 LAB1 *I*, *U*, *R*, *P*, serie och parallell

Pulsgivare, Menyprogram

- ***Start för programmeringsgruppuppgift***

F4 → Ö2 Kirchhoffs lagar Nodanalys Tvåpolsatsen R2R AD

F5 → Ö3 → KK2 LAB2 ***Tvåpol, AD, Komparator/Schmitt***

F6 → Ö4 → F7 → KK3 LAB3 Transienter PWM

Step-up, RC-oscillator

F8 → Ö5 → F9 Visare jω PWM CCP KAP/IND-sensor

Ö6 → F10 → F11 → KK4 LAB4 ***LC-osc, DC-motor, CCP PWM***

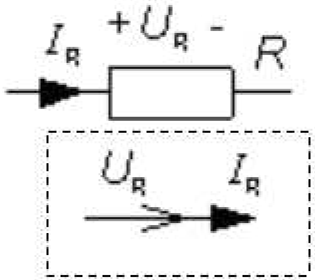
F12 → Ö7 → redovisning LP-filter Trafo + Gästföreläsning

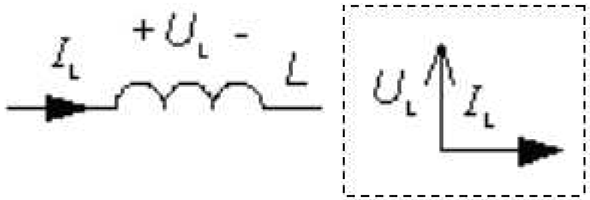
- ***Redovisning av programmeringsgruppuppgift***

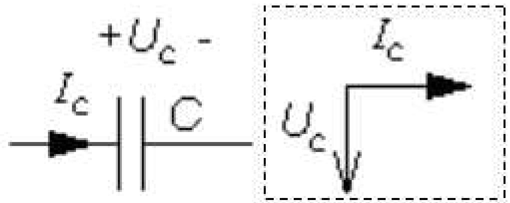
F13 → tentamen Trafo, Ethernetkontakten

William Sandqvist william@kth.se

Phasor - vektor







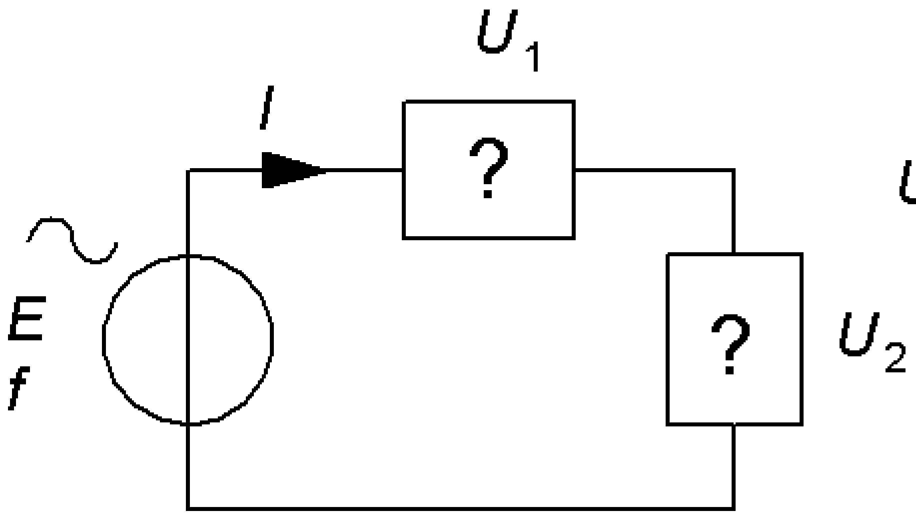
$$\omega = 2\pi\, f$$

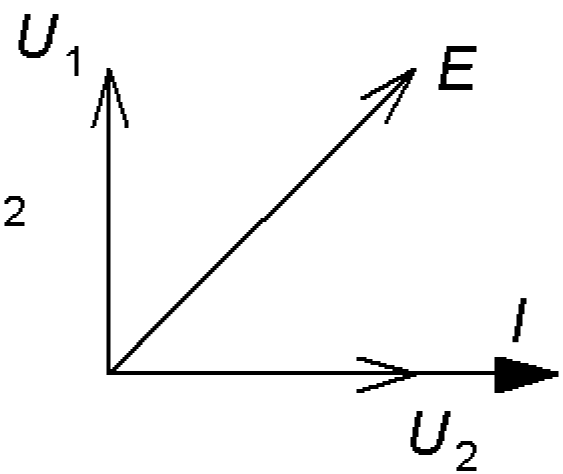
$$\left| X_L \right| = \omega \cdot L$$

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

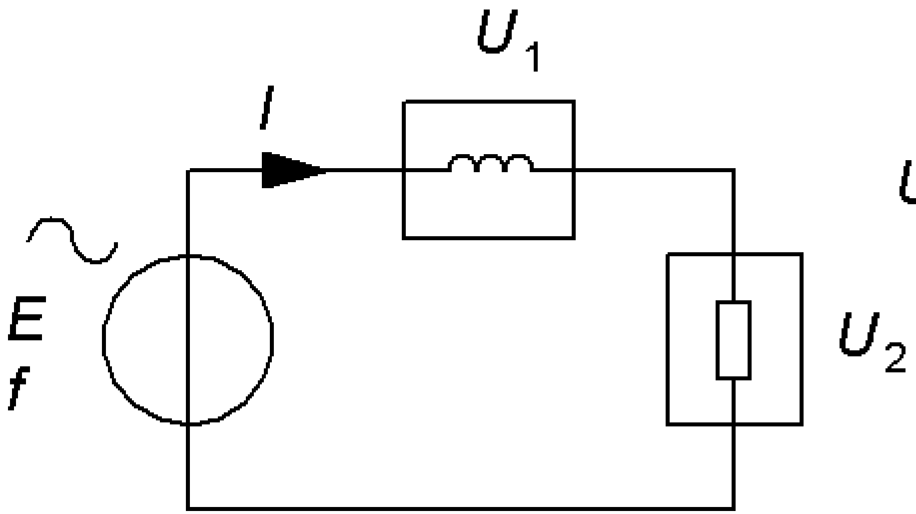
$$\boxed{Z = \frac{U}{I}}$$

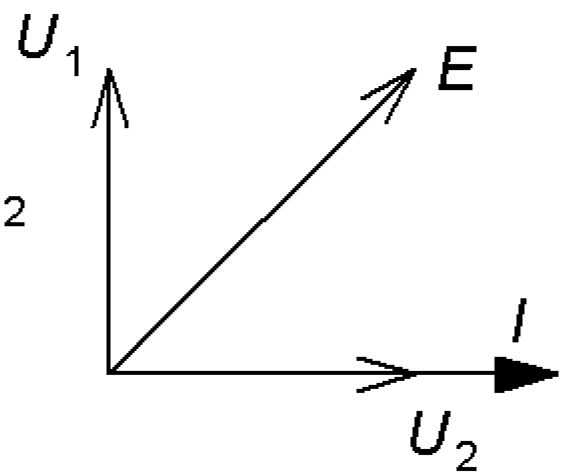
Vad innehåller kretsen ? (11.4)



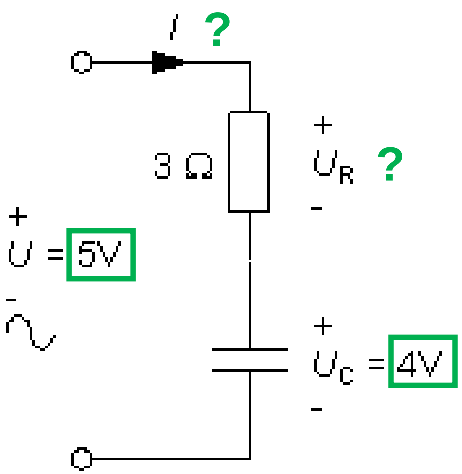


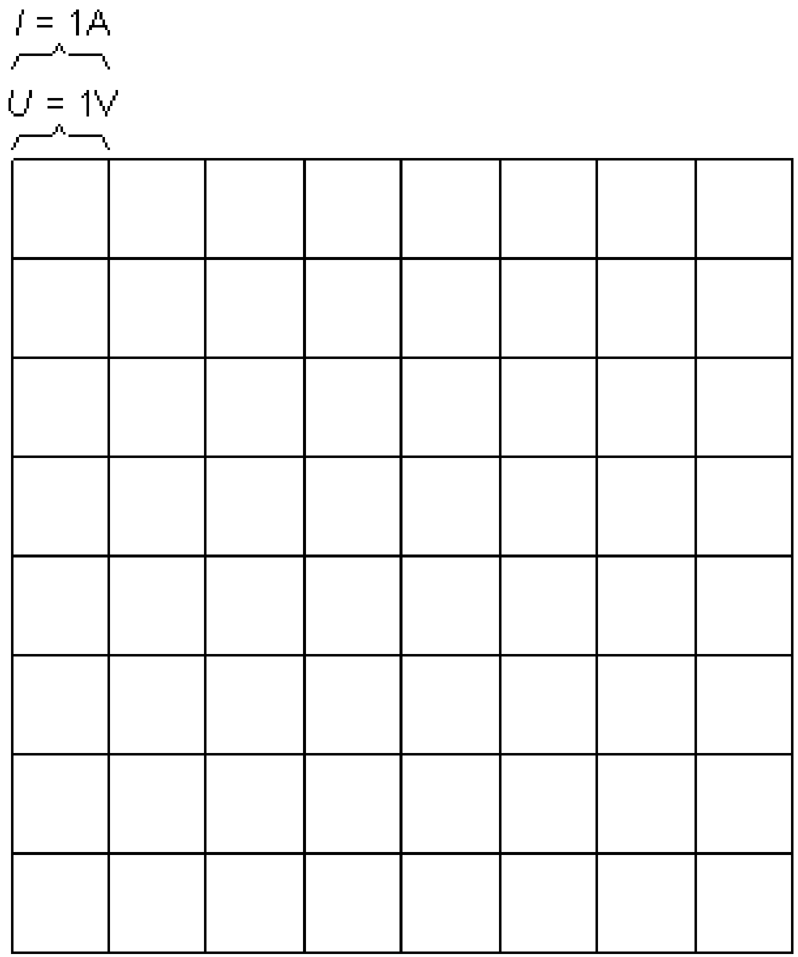
Vad innehåller kretsen ? (11.4)



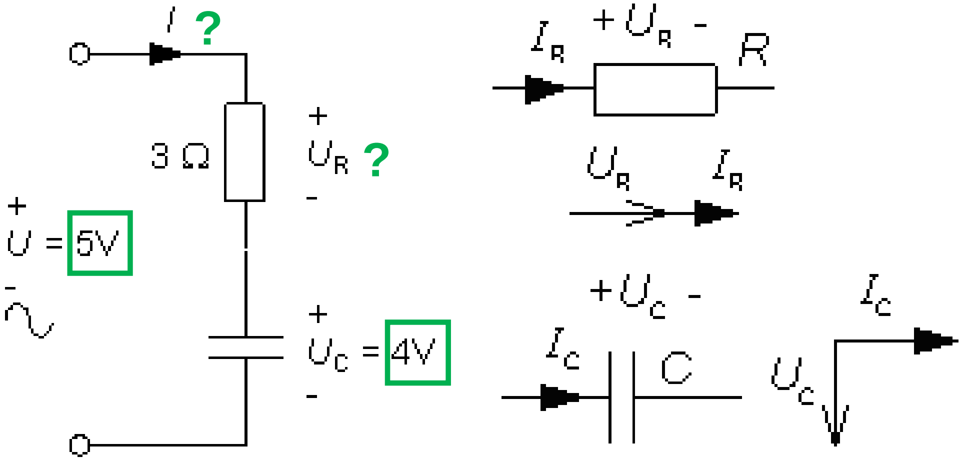


Visardiagram





Visardiagram



$$\underline{I}_R = \underline{I}_C = \underline{I}$$

$$\underline{U}_R \perp \underline{U}_C$$

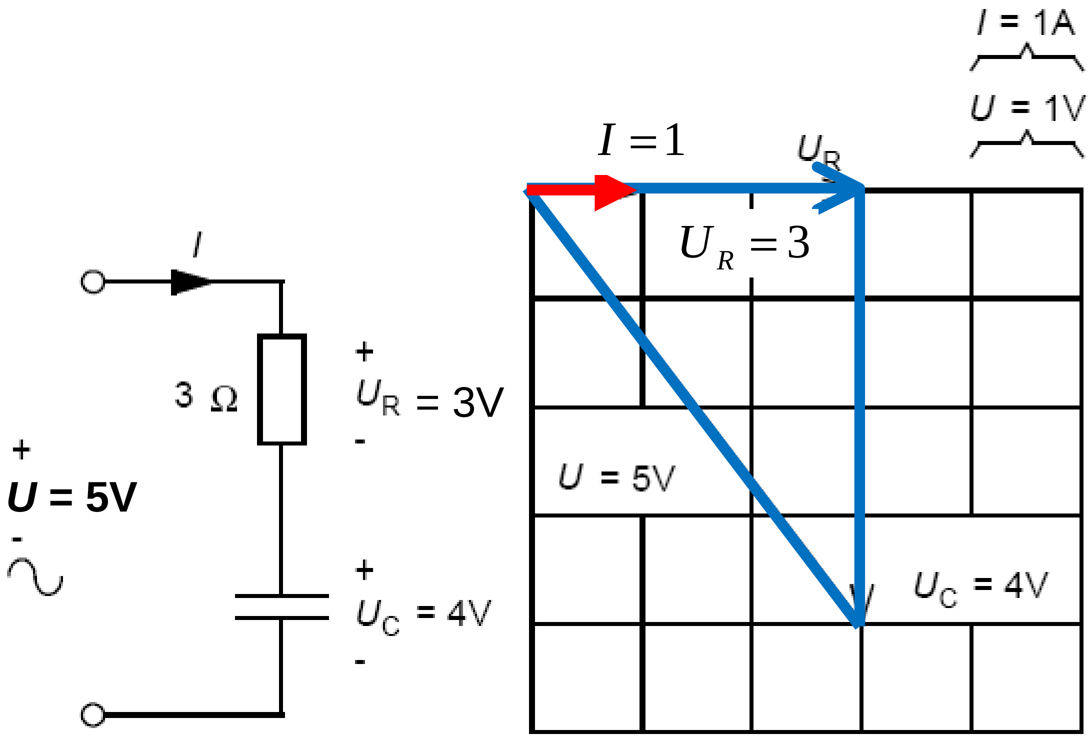
$$U^2 = U_R^2 + U_C^2$$

De två spänningarna är vinkelräta. Pythagoras sats gäller!

$$U_R = \sqrt{U^2 - U_C^2} = \sqrt{5^2 - 4^2} = \boxed{3} \quad I = \frac{U_R}{R} = \frac{3}{3} = \boxed{1}$$

Nu är alla värden kända!

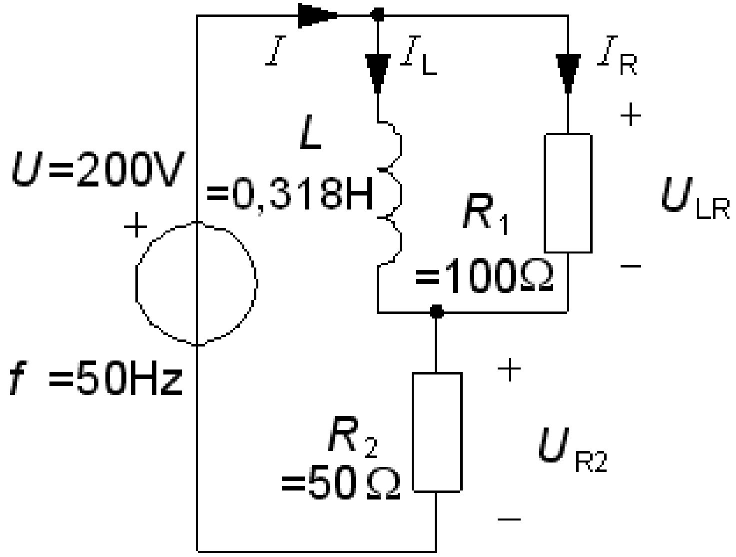
Visardiagram



William Sandqvist william@kth.se

Visardiagram (11.6)

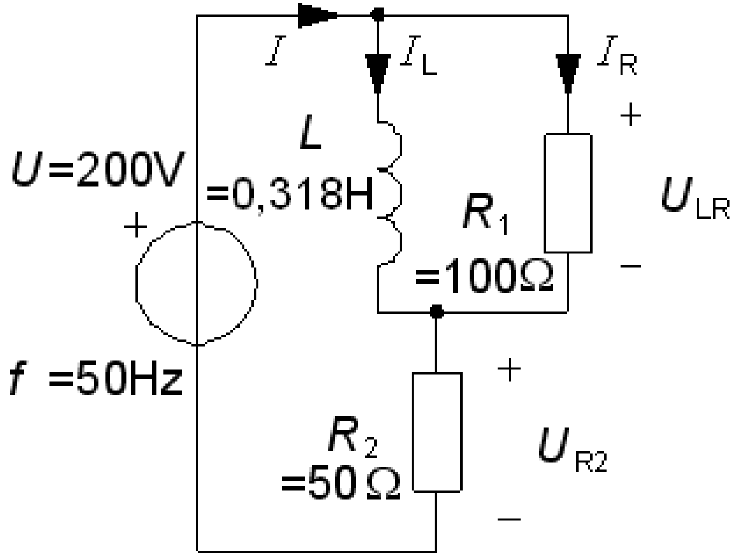
U = 200 V, f = 50 Hz,
L = 0,318 H, R_1 = 100 Ω,
R_2 = 50 Ω.



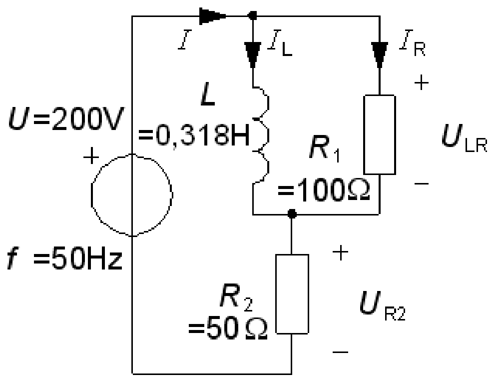
Visardiagram (11.6)

U = 200 V, f = 50 Hz,
L = 0,318 H, R_1 = 100 Ω,
R_2 = 50 Ω.

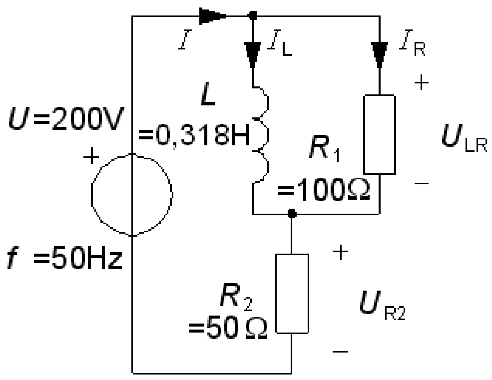
$|X_L| = \omega \cdot L = 2\pi \cdot 50 \cdot 0{,}318$
$= 100\ \Omega$



Visardiagram (11.6)

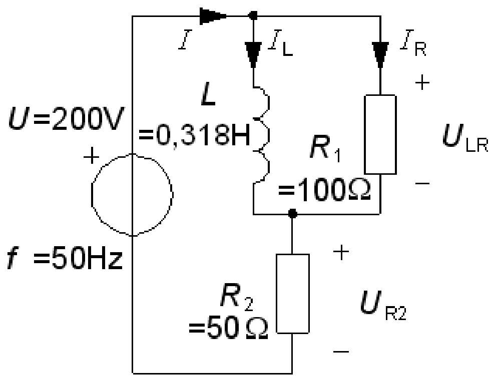


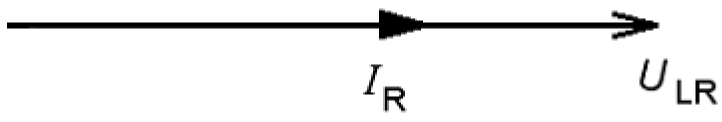
Visardiagram (11.6)



Välj U_{LR} som riktfas (= horisontell).

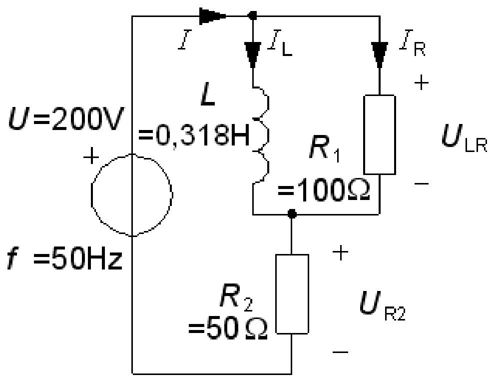
Visardiagram (11.6)

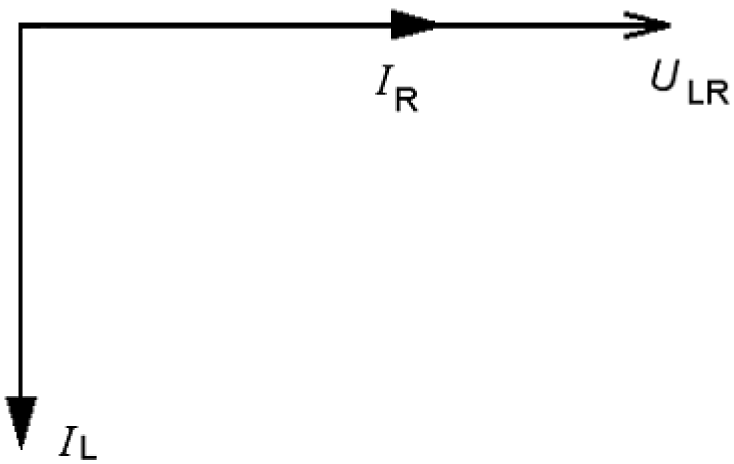




Strömmen I_R har samma riktning som U_{LR}.

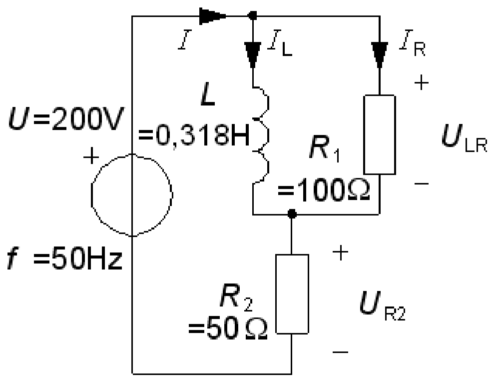
Visardiagram (11.6)

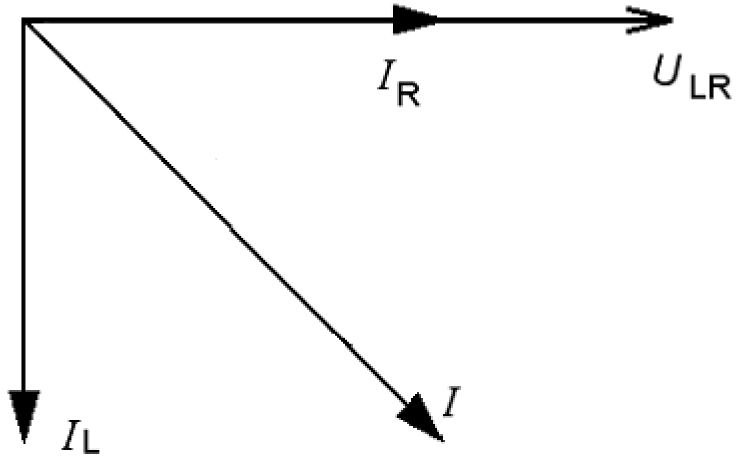




Strömmen I_L ligger 90° efter U_{LR} och har lika lång visare som I_R eftersom R_1 och L har samma växelströmsmotstånd.
($|X_L| = 100\ \Omega$, $R_1 = 100\ \Omega$)

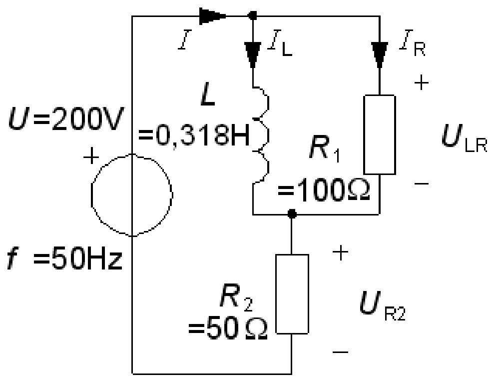
Visardiagram (11.6)

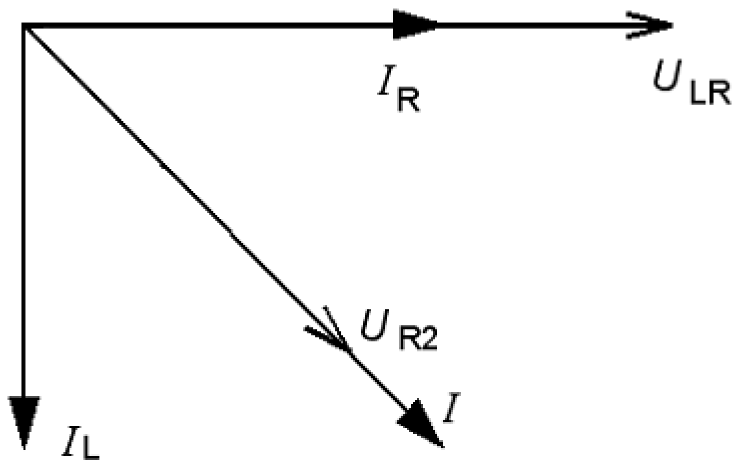




De två strömmarna I_R och I_L kan adderas vektoriellt till strömmen I. I blir $\sqrt{2}$ ggr. längre än I_R eller I_L (enligt pythagoras sats).

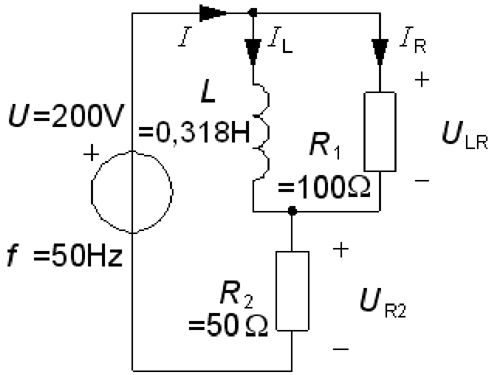
Visardiagram (11.6)

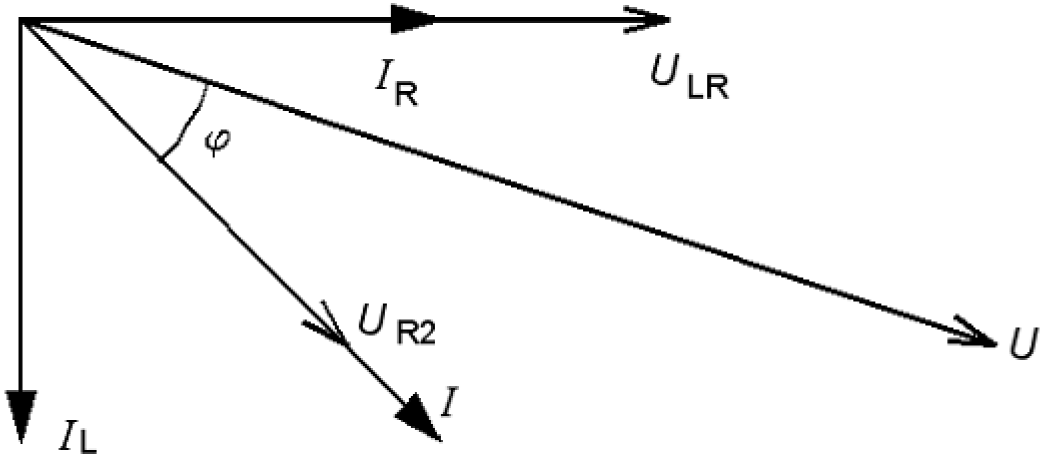




Strömmen I passerar genom den nedre resistorn R_2.
Spänningsfallet U_{R2} får samma riktning som I.
U_{LR} har längden $I_R \cdot 100$, U_{R2} har längden $I \cdot 50$.
Eftersom $I = I_R \cdot \sqrt{2}$ blir $U_{R2} = U_{LR} / \sqrt{2}$.

Visardiagram (11.6)





Spänningen U kan slutligen fastställas som vektorsumman av U_{LR} och U_{R2}.

- Fasvinkeln φ är vinkeln mellan U och I.
- Z är kvoten mellan längderna på U och I.

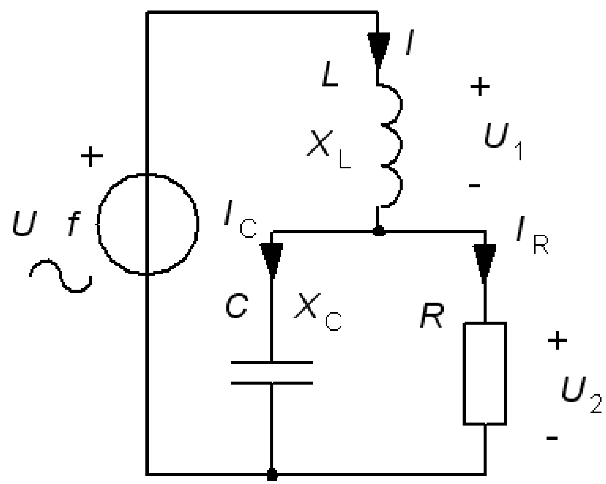
Strömmen efter spänningen – induktiv karaktär

William Sandqvist william@kth.se

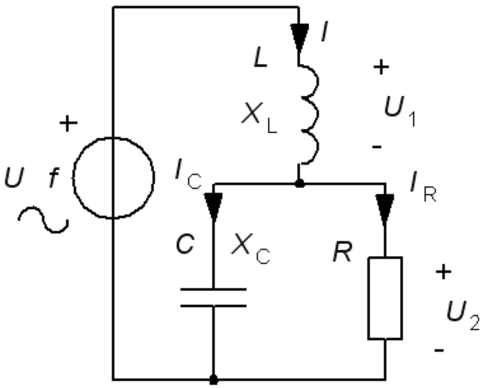
Visardiagram (11.7)

Rita visardiagram för kretsen i figuren. Vid frekvensen f gäller att $|X_C| = R$ och $|X_L| = R/2$.

U_2 är lämplig riktfas.

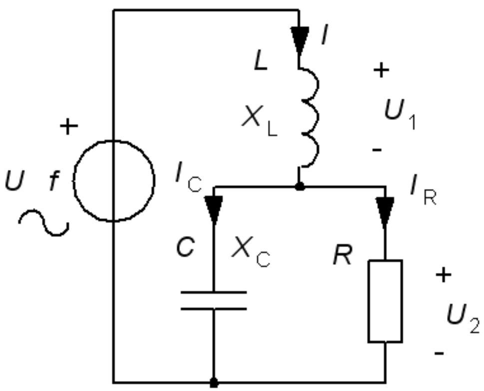


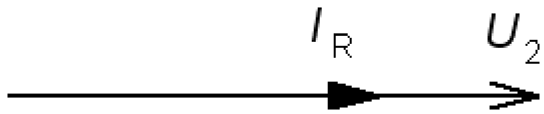
Visardiagram (11.7)



Börja med U_2 som riktfas (= horisontel).

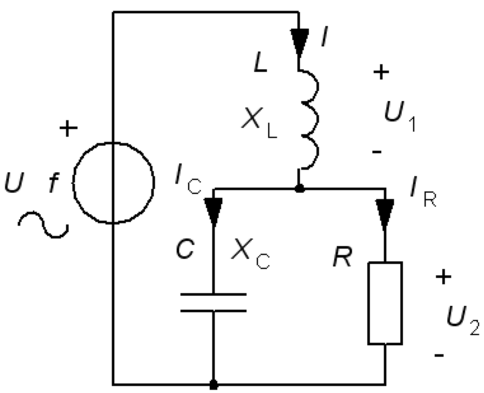
Visardiagram (11.7)

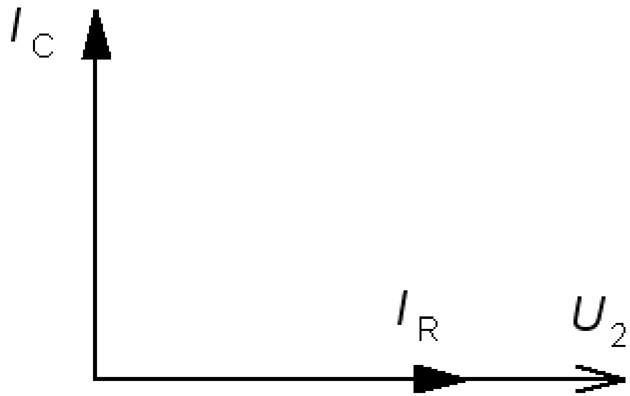




Strömmen I_R har samma riktning som U_2.

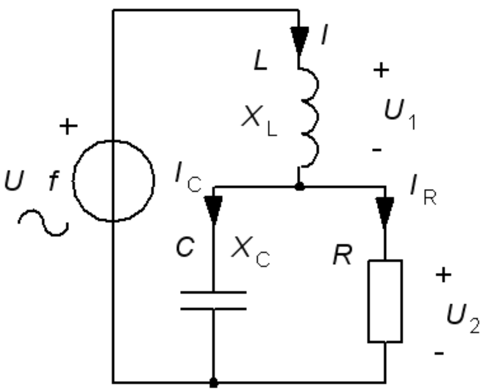
Visardiagram (11.7)

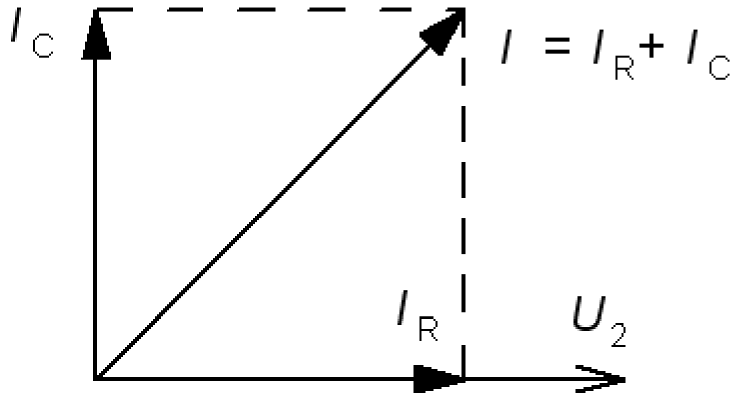




Strömmen I_C ligger 90° före U_2 och är lika stor som I_R eftersom $X_C = R$.

Visardiagram (11.7)

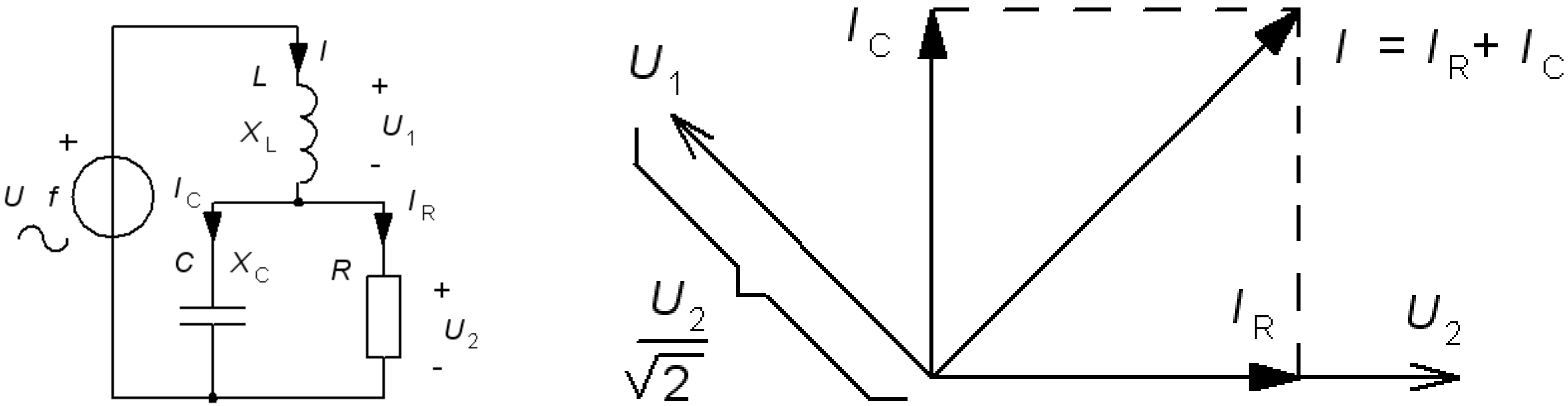




Strömmarna I_C och I_R summeras ihop till I.

I är $\sqrt{2}$ ggr. längre än I_C eller I_R (enligt pythagoras sats).

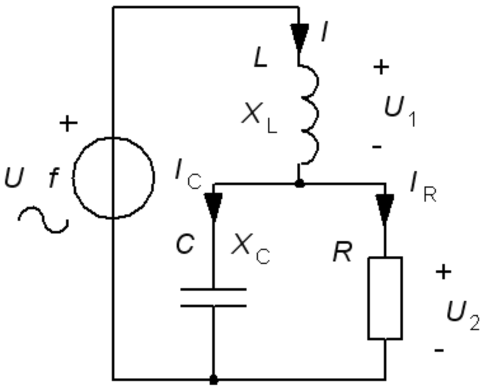
Visardiagram (11.7)

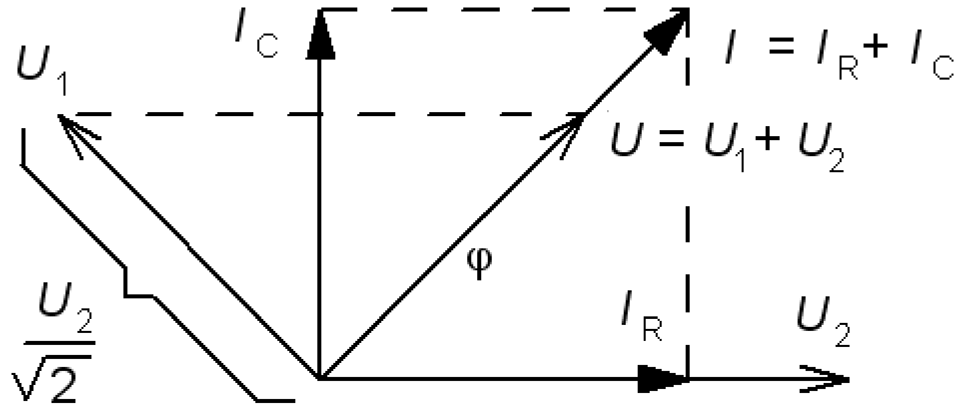


U_1 ligger 90° före *I*.

Längden är $U_1 = I \cdot X_L = \sqrt{2} \cdot I_R \cdot R/2 = I_R \cdot R/\sqrt{2}$

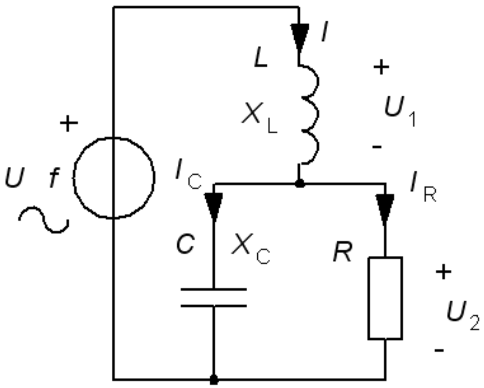
Visardiagram (11.7)

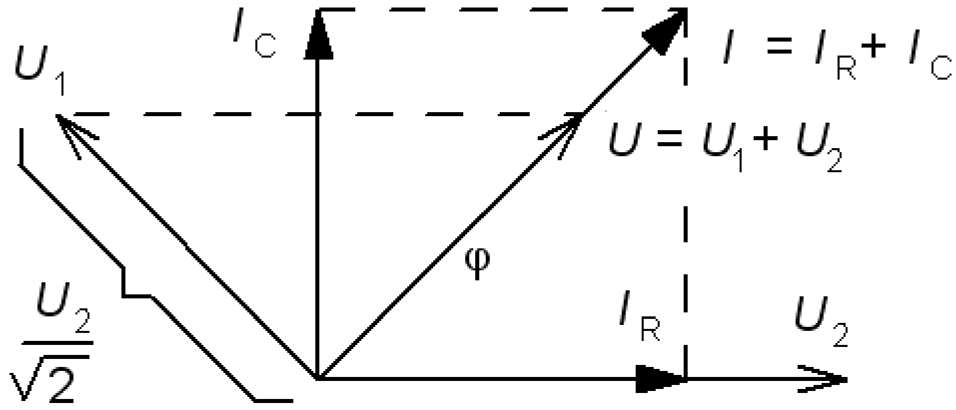




Spänningarna U_1 och U_2 summeras ihop till spänningen U.

Visardiagram (11.7)





Man kan se i diagrammet att U blir lika stor som U_1.
Vinkeln $\varphi = 0$ och därför är U och I i fas.

Induktiv eller kapacitiv karaktär?

William Sandqvist william@kth.se

Komplexa visare, jω-metoden

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

$$\underline{U}_{\mathrm{R}} = \underline{I}_{\mathrm{R}} \cdot R$$

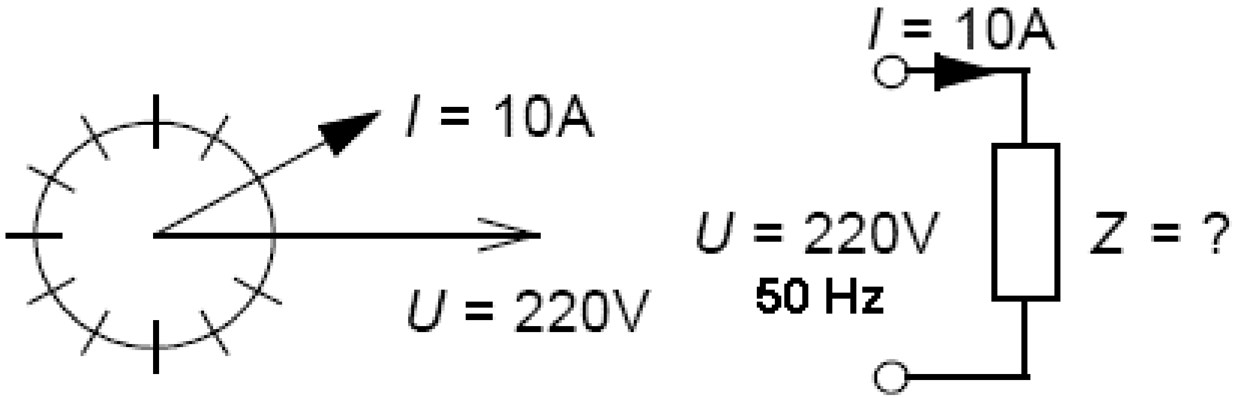
$$\underline{U}_{\mathrm{L}} = \underline{I}_{\mathrm{L}} \cdot \mathrm{j}X_{\mathrm{L}} = \underline{I}_{\mathrm{L}} \cdot \mathrm{j}\omega L \qquad X_{\mathrm{L}} = \omega L$$

$$\underline{U}_{\mathrm{C}} = \underline{I}_{\mathrm{C}} \cdot \mathrm{j}X_{\mathrm{C}} = \underline{I}_{\mathrm{C}} \cdot \frac{1}{\mathrm{j}\omega C} \qquad X_{\mathrm{C}} = -\frac{1}{\omega C} \qquad \omega = 2\pi \cdot f$$

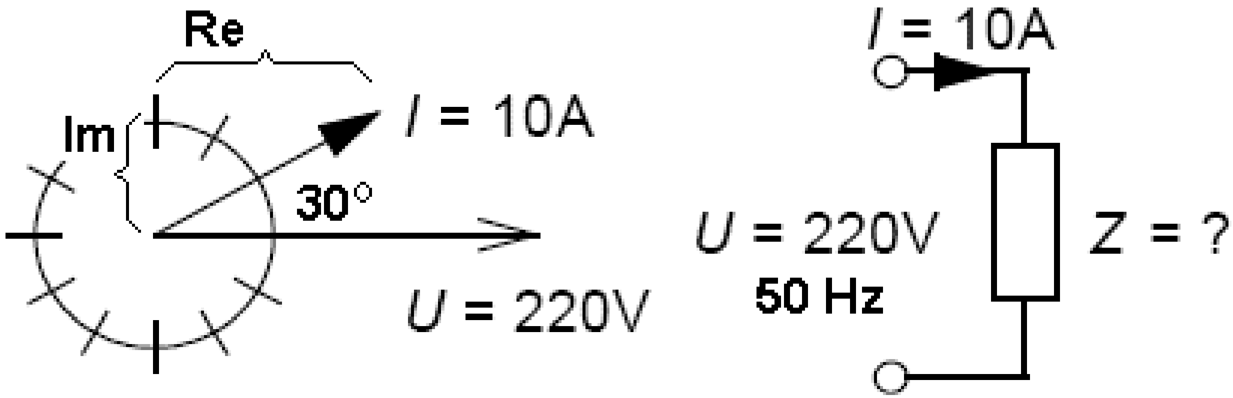
Komplexa visare. OHM's lag för Z.

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

jω Impedans (12.2)

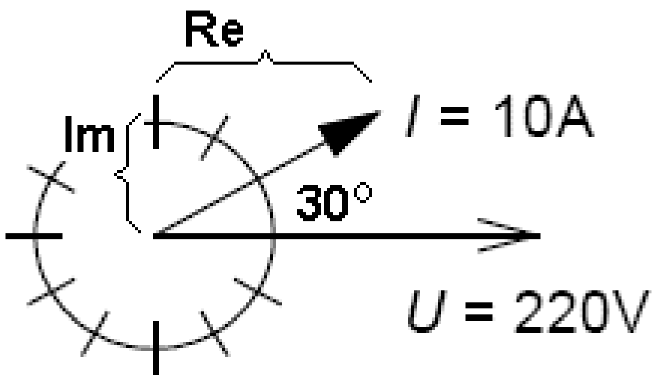


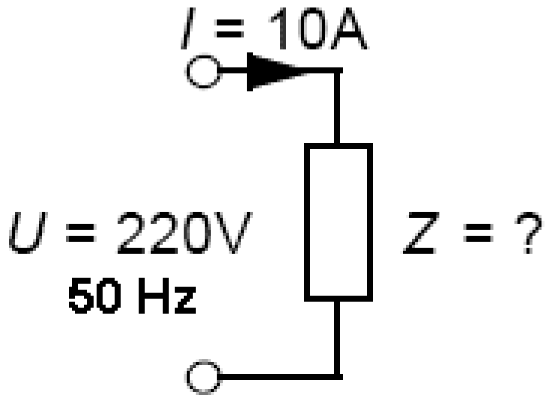
jω Impedans (12.2)



Man kan tänka sig visardiagrammet i **komplexa talplanet**, man delar upp *I* i realdel och imaginärdel:

jω Impedans (12.2)

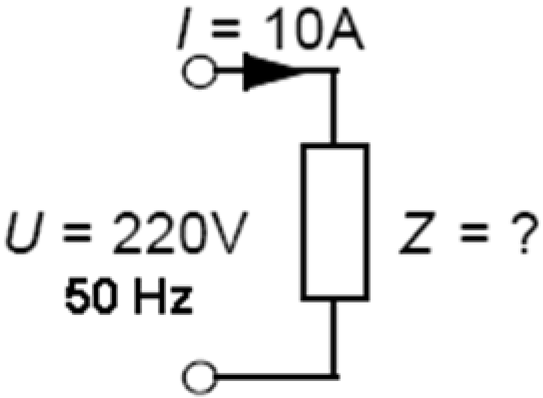




$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = \frac{220}{10 \cdot \left(\cos(30°) + \mathrm{j} \cdot \sin(30°)\right)} =$$

$$= \frac{220}{8{,}6 + 5\mathrm{j}} \cdot \frac{(8{,}6 - 5\mathrm{j})}{(8{,}6 - 5\mathrm{j})} = \frac{1892 - 1100\mathrm{j}}{99} = 19{,}1 - 11{,}1\mathrm{j}$$

jω Impedans (12.2)



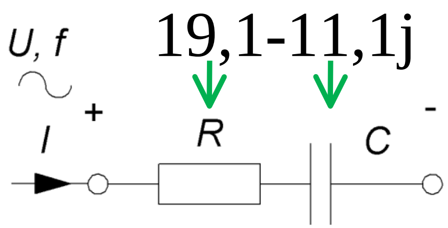
$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = 19{,}1 - 11{,}1\text{j}$$

- En tänkbar lösning är då en seriekrets med R och C

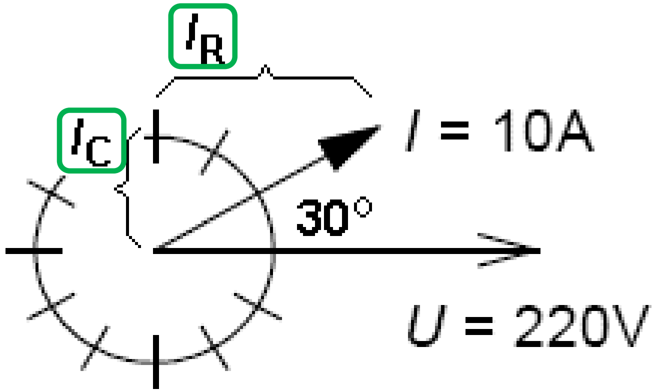
$$R = 19{,}1\,\Omega \qquad X_C = -\frac{1}{\omega C} = -11{,}1$$

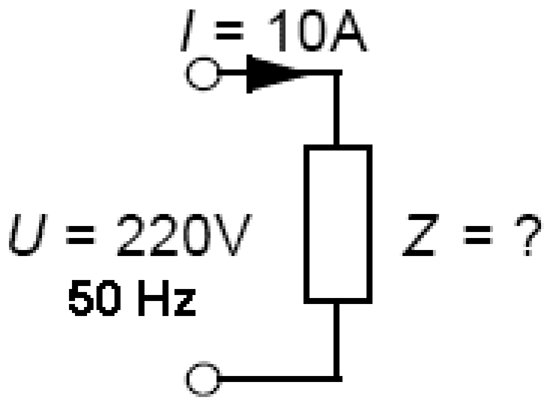
Kondensatorn har negativ reaktans.

$$C = -\frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot (-11{,}1)} = 287\ \mu\text{F}$$

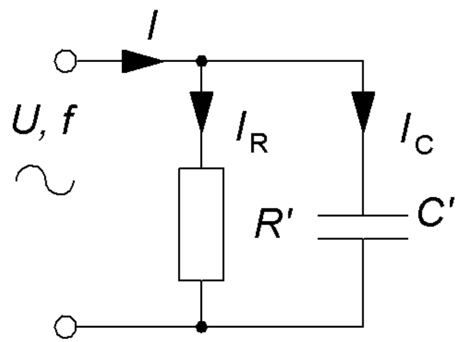


jω Impedans (12.2)



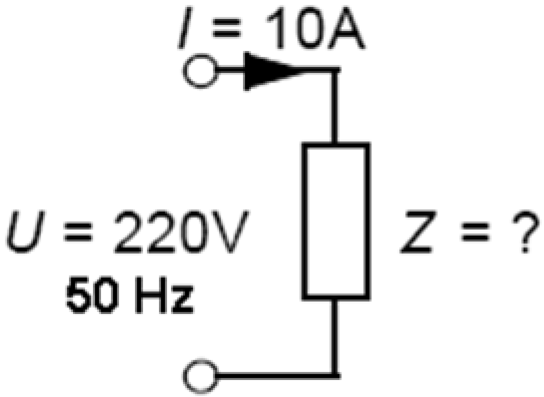


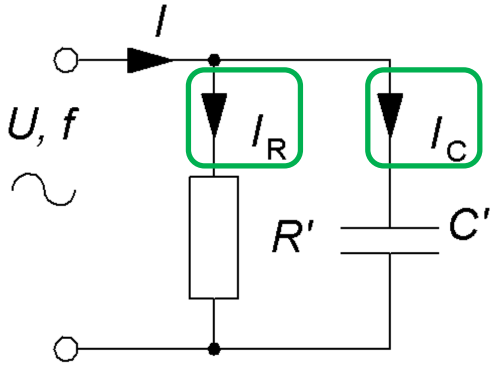
• En *annan* tänkbar lösning är en parallellkrets med *R’* och *C’* man tänker då I uppdelad i två **strömkomposanter** $\boxed{I_R}$ och $\boxed{I_C}$ som är vinkelräta mot varandra.



William Sandqvist william@kth.se

jω Impedans (12.2)



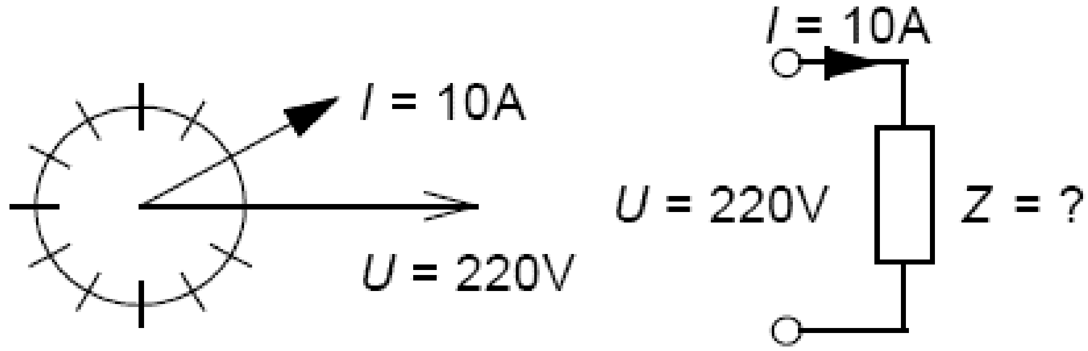


$$R' = \frac{U}{\boxed{I_{\mathrm{R}}}} = \frac{U}{I\cos 30^\circ} = \frac{220}{10 \cdot 0{,}87} = 25{,}3\,\Omega$$

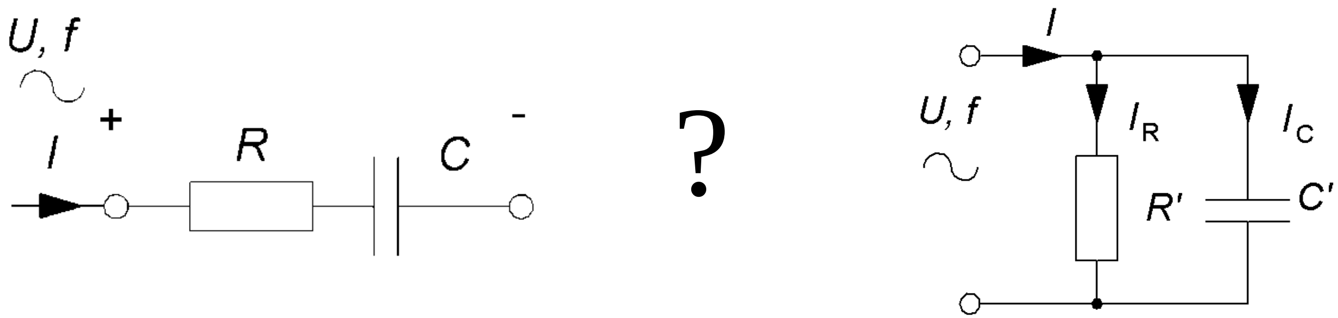
$$|X'_{\mathrm{C}}| = \frac{U}{\boxed{I_{\mathrm{C}}}} = \frac{U}{I\sin 30^\circ} = \frac{220}{10 \cdot 0{,}5} = 44\,\Omega$$

$$\left|X'_C\right| = \frac{1}{\omega C'} \quad \Rightarrow \quad C' = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 44} = 72{,}6\,\mu\mathrm{F}$$

jω Impedans (12.2)

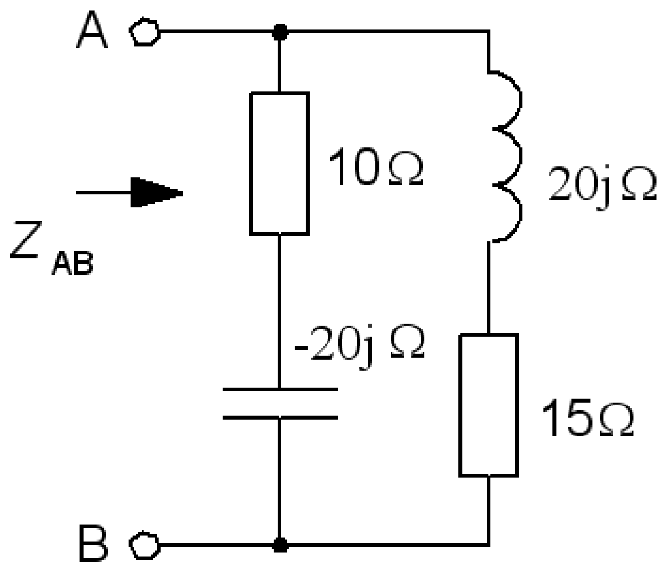


Finns det något sätt att ta reda på vilken av de två föreslagna kretsarna som *Z* *egentligen* innehåller?



Komplex impedans (12.6)

Bestäm den komplexa impedansen Z_{AB} för nätet.

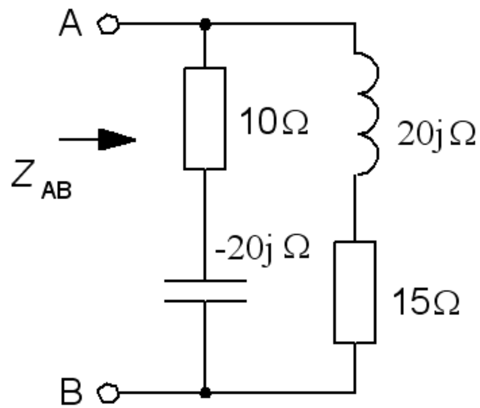


Komplex sifferräkning …

$$\underline{Z}_{AB} = \frac{(15 + j20) \cdot (10 - j20)}{15 + j20 + 10 - j20} =$$

$$= \frac{550 - j100}{25} =$$

$$= 22 - j4 \ \ [\Omega]$$

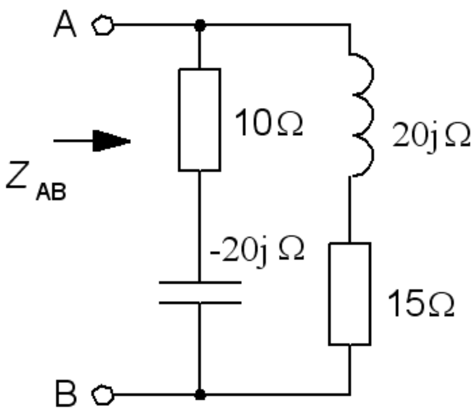


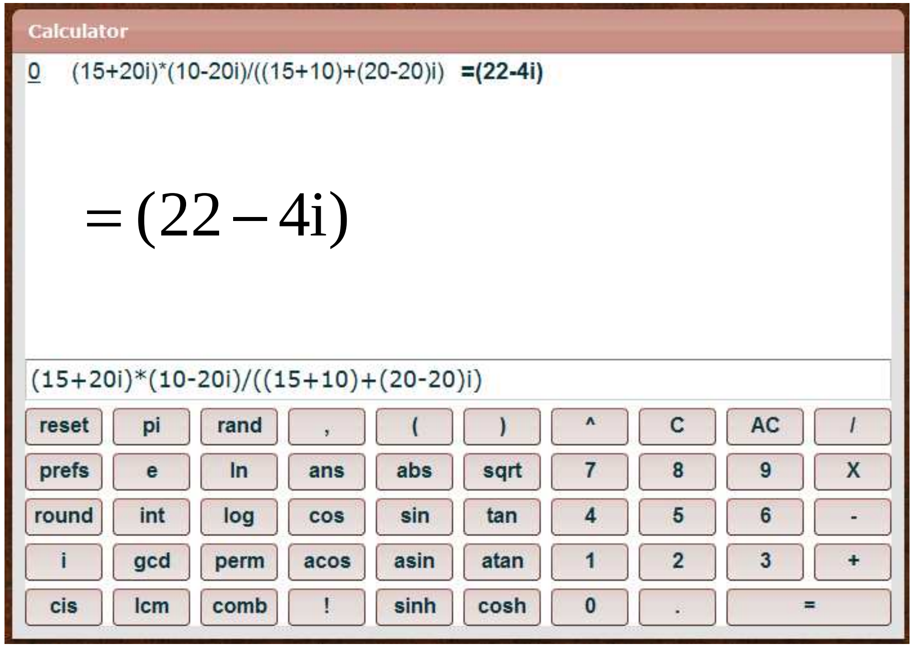
Här slapp vi förlänga med nämnarens komplexkonjugat, det brukar annars göra beräkningarna jobbiga …

William Sandqvist william@kth.se

Komplex sifferräkning …

$$\underline{Z}_{AB} = \frac{(15 + j20)\cdot(10 - j20)}{15 + j20 + 10 - j20} =$$



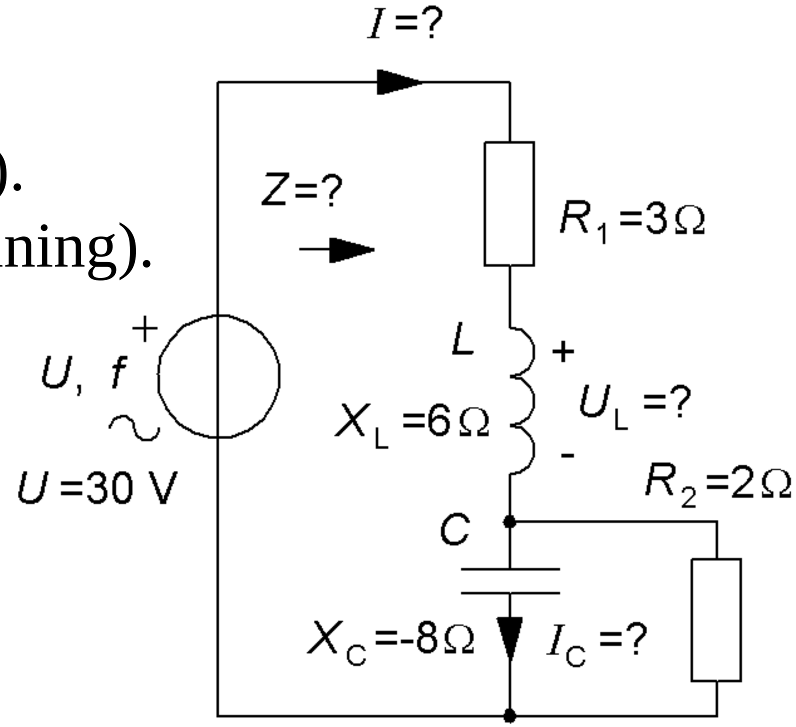


$$= (22 - 4i)$$

Online Scientific Calculator – länk från kurswebben.

Med ”jobbiga” beräkningar! (12.9)

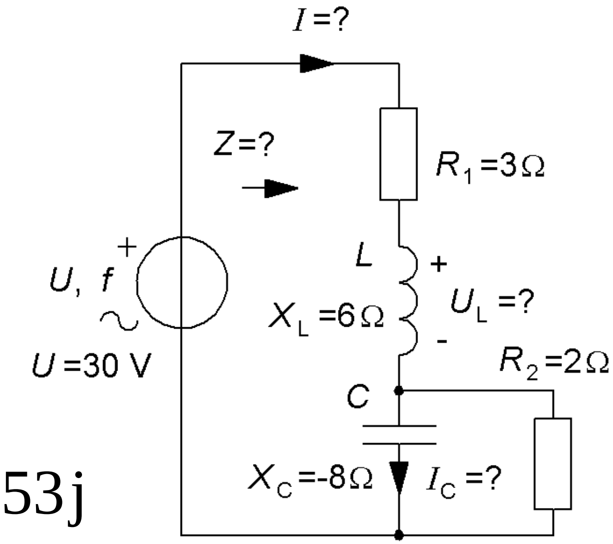
- Beräkna impedansen *Z*.
- Beräkna strömmen *I*.
- Beräkna I_C (strömgrening).
- Beräkna U_L (spänningsdelning).



Beräkna impedansen Z

$$\underline{Z}_{R\|C} = \frac{2\cdot(-8\mathrm{j})}{2-8\mathrm{j}}\cdot\frac{(2+8\mathrm{j})}{2+8\mathrm{j}} =$$

$$= 1{,}88 - 0{,}47\,\mathrm{j}$$



$$\underline{Z} = R_1 + \mathrm{j}X_L + \underline{Z}_{R\|C} =$$

$$= 3 + 6\,\mathrm{j} + (1{,}88 - 0{,}47\,\mathrm{j}) = 4{,}88 + 5{,}53\,\mathrm{j}$$

$$Z = \sqrt{4{,}88^2 + 5{,}53^2} = 7{,}38\ \Omega$$

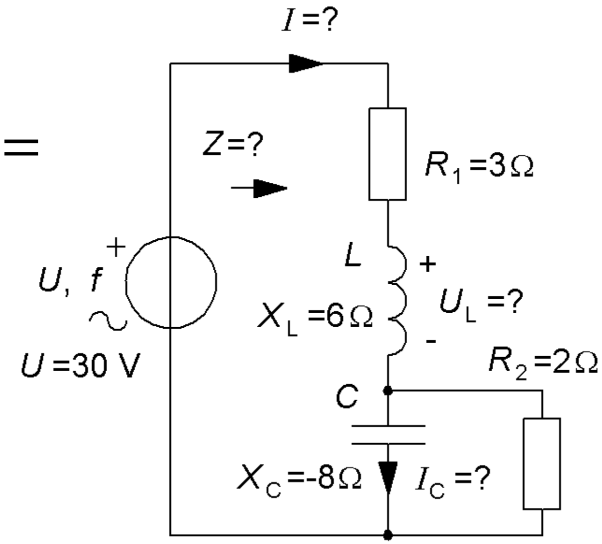
Beräkna strömmen *I*

Vi låter U vara riktfas, reell

$$\underline{I} = \frac{U}{\underline{Z}} = \frac{30}{4{,}88 + 5{,}53\mathrm{j}} \cdot \frac{(4{,}88 - 5{,}53\mathrm{j})}{(4{,}88 - 5{,}53\mathrm{j})} =$$

$$= \frac{146{,}5 - 165{,}9\,\mathrm{j}}{4{,}88^2 + 5{,}53^2} = 2{,}7 - 3\mathrm{j}$$

$$I = \sqrt{2{,}7^2 + 3^2} = 4\ \mathrm{A}$$

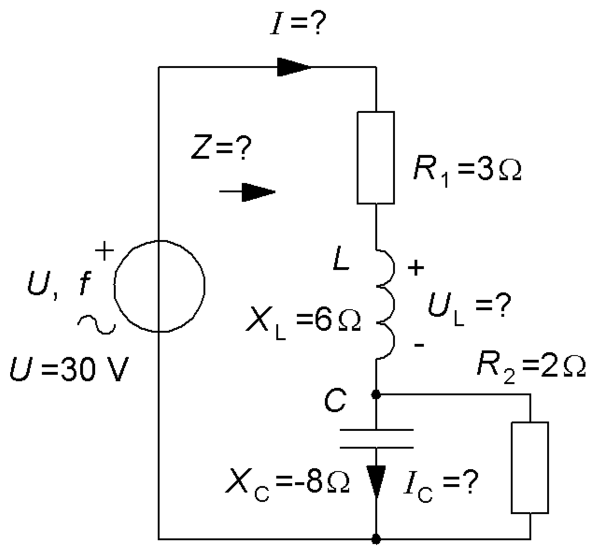


Beräkna strömmen I_C

$$\underline{I}_C = \underline{I}\,\frac{R_2}{R_2 + \mathrm{j}X_C} = (2,7-3\mathrm{j})\cdot\frac{2}{2-8\mathrm{j}} =$$

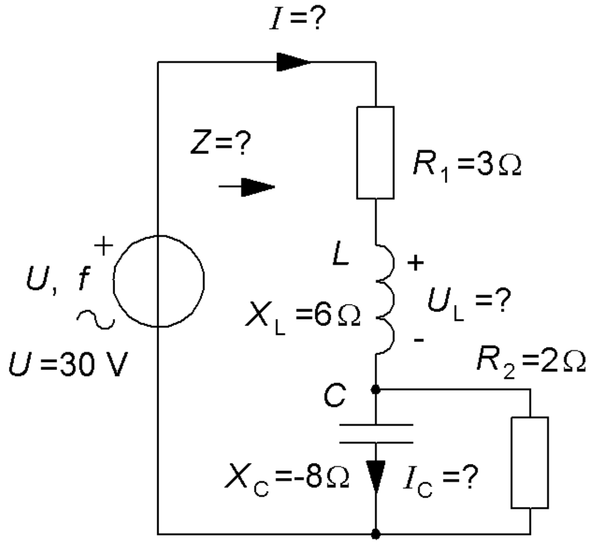
$$= \frac{(2,7-3\mathrm{j})\cdot 2}{2-8\mathrm{j}}\cdot\frac{(2+8\mathrm{j})}{(2+8\mathrm{j})} = 0,86+0,46\mathrm{j}$$

$$I_C = \sqrt{0,86^2+0,46^2} = 0,98\ \mathrm{A}$$



U_L $\boxed{\text{komplexkonjugat}}$ metoden?

$$\underline{U}_L = U \frac{\mathrm{j}X_L}{\mathrm{j}X_L + \underline{Z}_{R||C} + R_1} =$$



$$= 30 \frac{6\mathrm{j}}{6\mathrm{j} + (1{,}88 - 0{,}47\mathrm{j}) + 3} =$$

$$= 30 \frac{6\mathrm{j}}{4{,}88 + 5{,}53\mathrm{j}} \cdot \boxed{\frac{(4{,}88 - 5{,}53\mathrm{j})}{(4{,}88 - 5{,}53\mathrm{j})}} = 18{,}3 + 16{,}2\mathrm{j}$$

$$U_L = \sqrt{18{,}3^2 + 16{,}2^2} = 24{,}4\ \mathrm{V}$$

Belopp och fasvinkel

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2 \qquad \left|\underline{Z}\right| = \left|\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2\right| = \left|\underline{Z}_1\right| \cdot \left|\underline{Z}_2\right|$$

$$\arg(\underline{Z}) = \arg(\underline{Z}_1) + \arg(\underline{Z}_2)$$

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2} \qquad \left|\underline{Z}\right| = \left|\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2}\right| = \frac{\left|\underline{Z}_1\right|}{\left|\underline{Z}_2\right|}$$

$$\arg(\underline{Z}) = \arg(\underline{Z}_1) - \arg(\underline{Z}_2)$$

U_L $\boxed{\text{belopp}}\angle\boxed{\text{fasvinkel}}$ metoden?

Belopp ∠ fasvinkel metoden ger ofta enklare räkningar, men numera klarar de flesta matematikprogram komplexa tal direkt …

$$\underline{U}_L = U\frac{\mathrm{j}X_L}{\mathrm{j}X_L + \underline{Z}_{R||C} + R_1} = 30\frac{6\mathrm{j}}{6\mathrm{j} + (1{,}88 - 0{,}47\mathrm{j}) + 3} =$$

$$= 30\frac{6\mathrm{j}}{4{,}88 + 5{,}53\mathrm{j}} = \boxed{30\frac{6}{\sqrt{4{,}88^2 + 5{,}53^2}}}\frac{\angle \boxed{90^\circ}}{\angle\, \boxed{\arctan\left(\frac{5{,}53}{4{,}88}\right)}} =$$

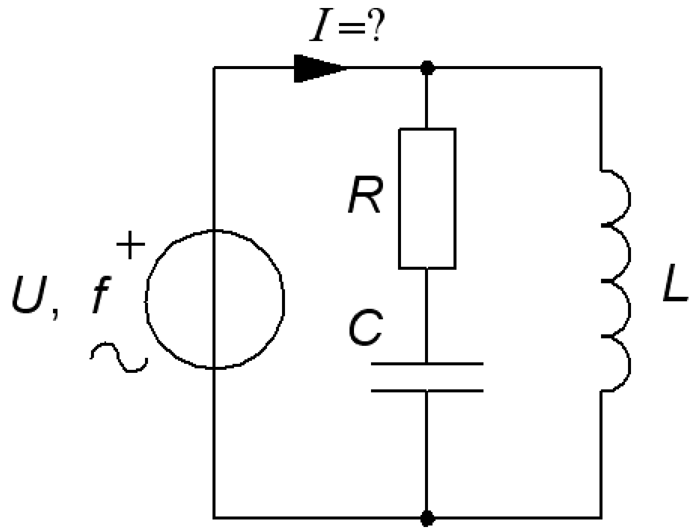
$$= 30\frac{6}{7{,}38}\angle(90^\circ - 48{,}6^\circ) = \boxed{24{,}4}\angle\boxed{41{,}4^\circ}$$

$$U_L = 24{,}4\ \text{V}$$

Ställ upp komplexa strömmen *I*. (12.7)

Ställ upp komplexa strömmen *I* (med *U* som riktfas).

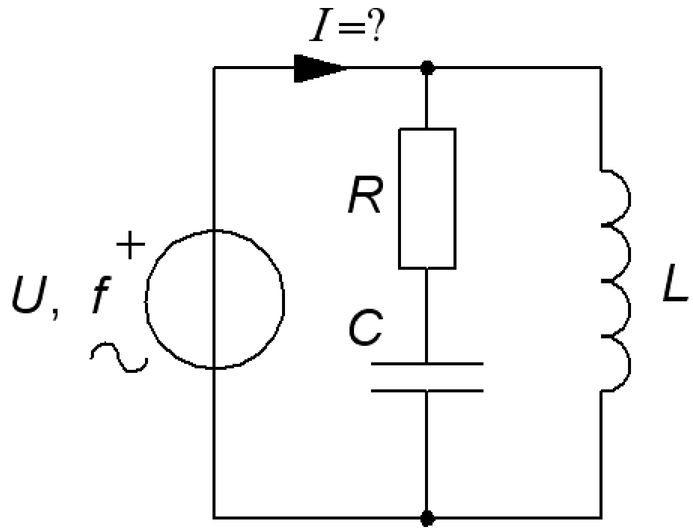
Observera! Man behöver inte alltid ange svaret på formen *a*+j*b*. Samma information, men med mindre möda, finns om svaret uttryckes som en kvot av komplexa tal. Belopp och argument kan vid behov tas från nämnare och täljare direkt.



Ställ upp komplexa strömmen *I*. (12.7)

Ställ upp komplexa strömmen *I* (med *U* som riktfas).

Observera! Man behöver inte alltid ange svaret på formen *a*+j*b*. Samma information, men med mindre möda, finns om svaret uttryckes som en kvot av komplexa tal. Belopp och argument kan vid behov tas från nämnare och täljare direkt.

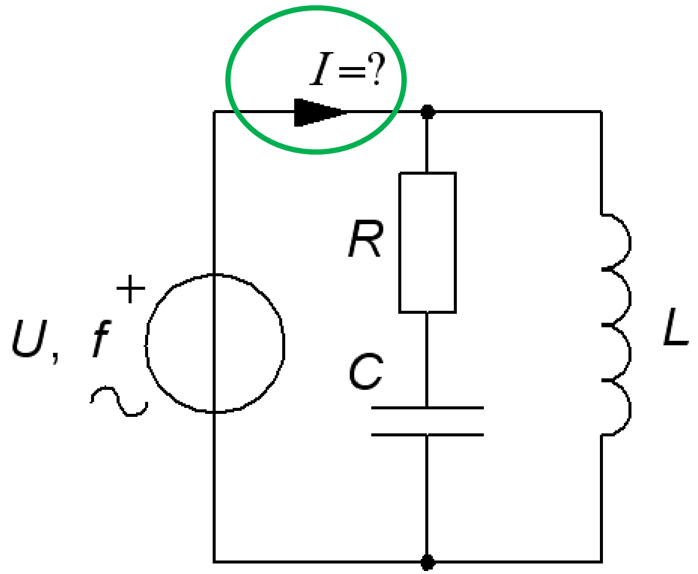


$$\underline{I} = \frac{a + \mathrm{j}b}{c + \mathrm{j}d} \quad I = \frac{|a + \mathrm{j}b|}{|c + \mathrm{j}d|} \quad \arg(\underline{I}) = \arg(a + \mathrm{j}b) - \arg(c + \mathrm{j}d)$$

OBSERVERA!

Ställ upp komplexa strömmen *I*. (12.7)

Ställ upp komplexa strömmen *I* (med *U* som riktfas).



$$\underline{Z} = \frac{(R + \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}) \cdot \mathrm{j}\omega L}{R + \mathrm{j}\omega L + \frac{1}{\mathrm{j}\omega C}} = \frac{\frac{L}{C} + \mathrm{j}\omega LR}{R + \mathrm{j}(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$$

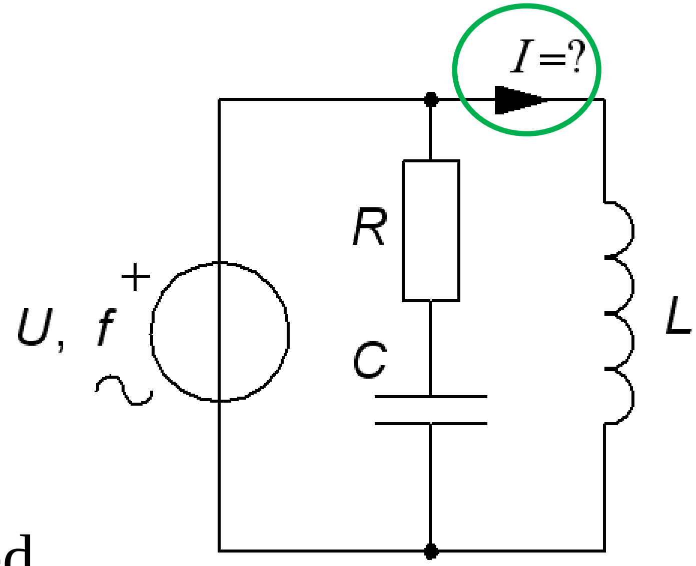
$$\underline{I} = \frac{U}{\underline{Z}} = U \frac{R + \mathrm{j}(\omega L - \frac{1}{\omega C})}{\frac{L}{C} + \mathrm{j}\omega LR}$$

Tillräckligt förenklat!

Att det är *U* som är riktfas syns av att vi låter spänningen vara ett reellt tal!

Ställ upp komplexa strömmen *I*. (12.8)

Ställ upp komplexa strömmen *I* till spolen (med *U* som riktfas).



Nu blir det enklare! Spänningen *U* ligger direkt över parallellgrenen med induktansen *L*. (Vi behöver inte bry oss om *R* och *C*)

$$\underline{I} = \frac{U}{\mathrm{j}\omega L} = -\mathrm{j}\frac{U}{\omega L}$$