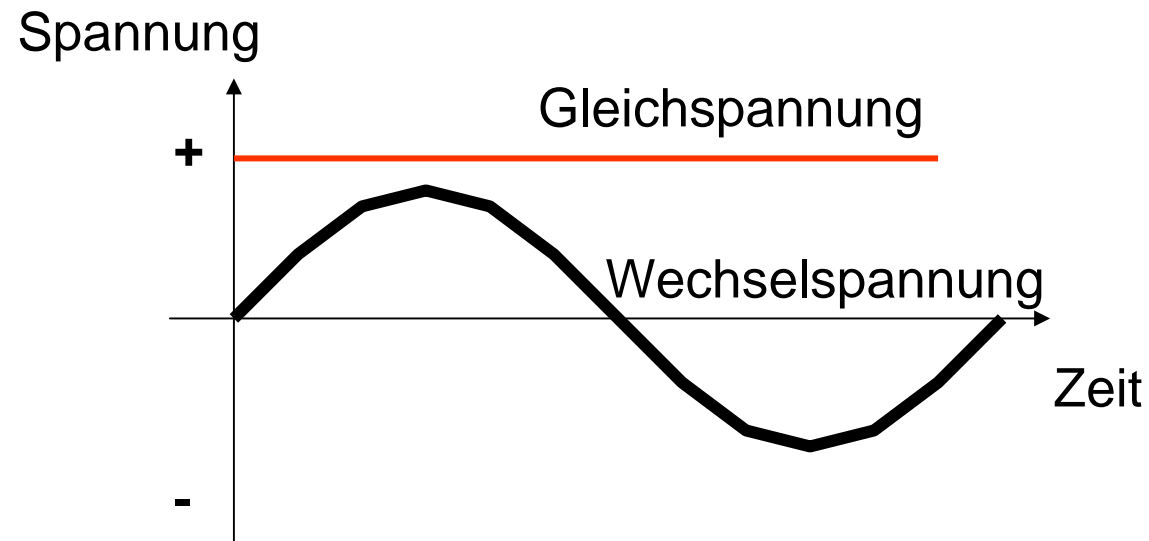
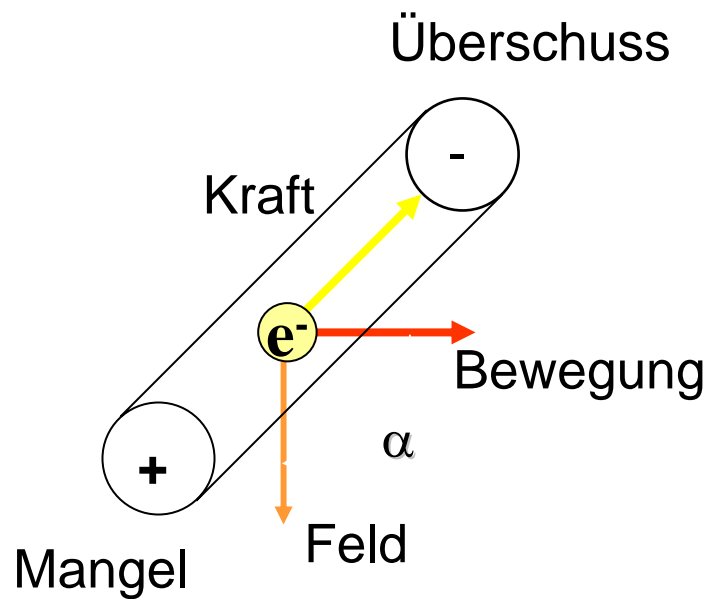


Kapitel 3:

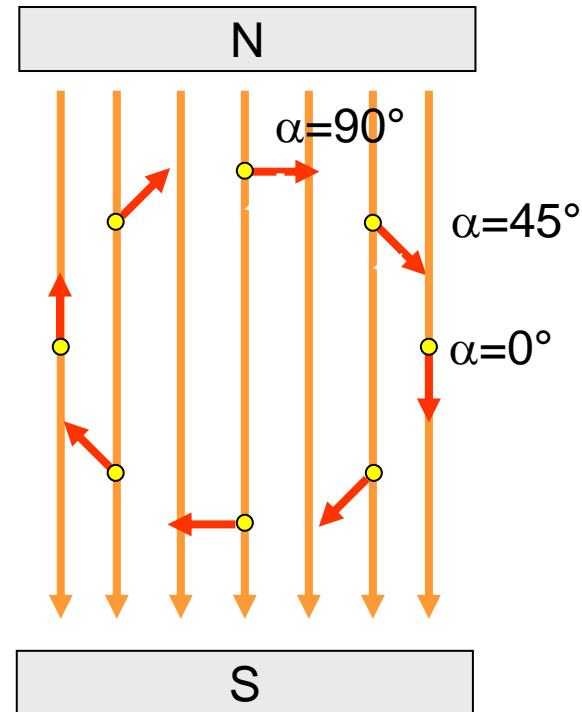
Wechselspannungsnetz

- Kenngrößen
- Wechselstromwiderstand
- Rechnen mit komplexen Zahlen
- Grundsaltungen und Zeigerdiagramme
- CR-Glieder als Hochpassfilter
- RC-Glieder als Tiefpassfilter
- CR-Glieder als Differenzierglieder
- RC-Glieder als Integrierglieder



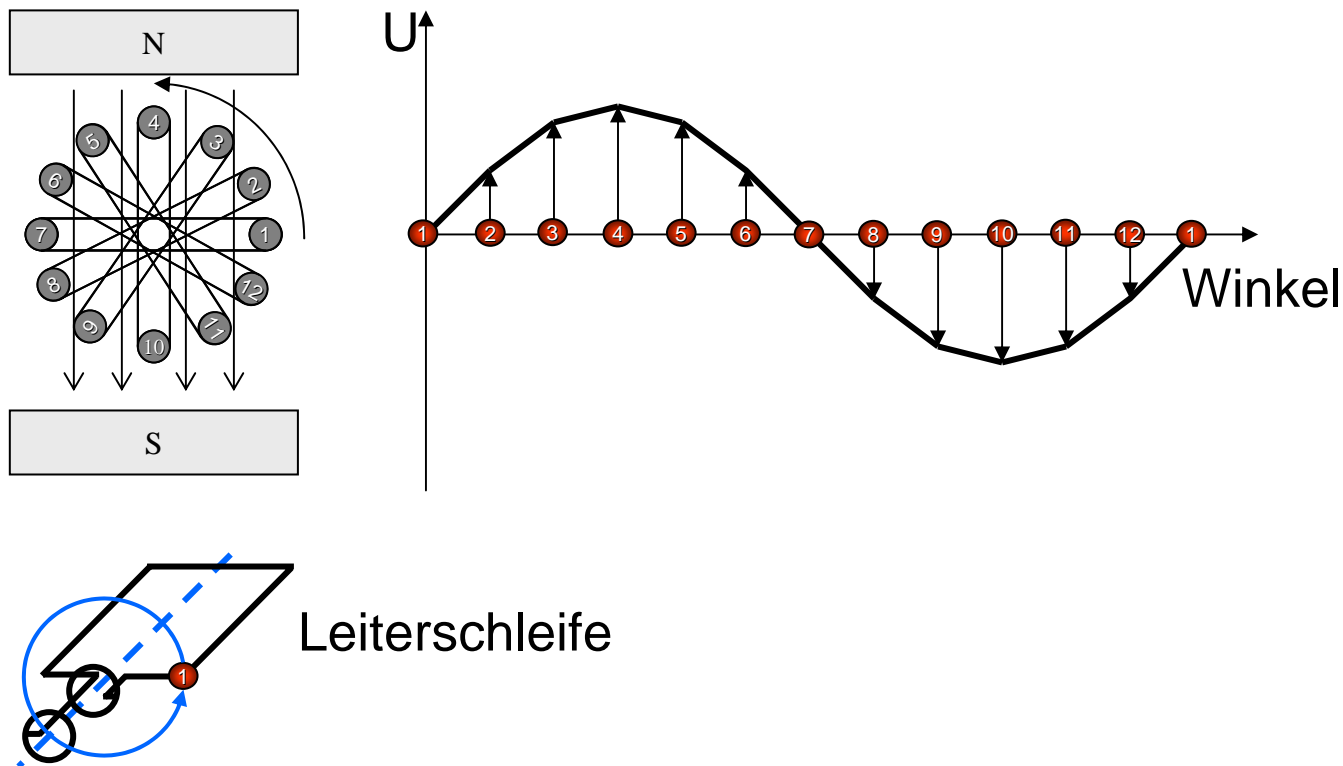


$$F = B \cdot Q \cdot v \cdot \sin \alpha$$
$$F = Q[vB]$$

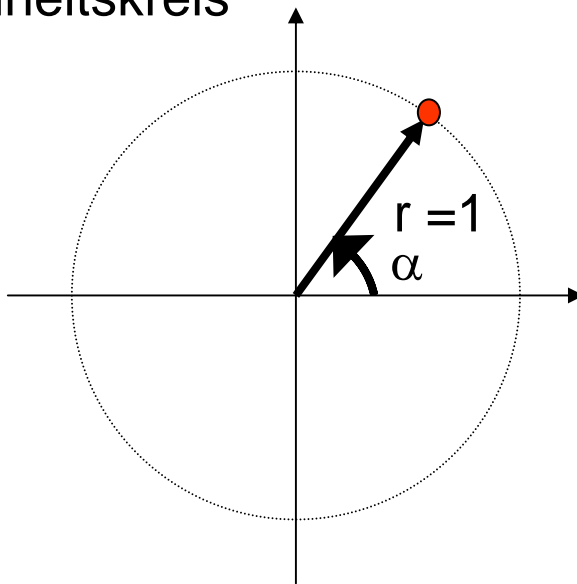


Wechselspannungserzeugung

Leiterschleife im Magnetfeld



Einheitskreis



Bei einer Umdrehung legt der Punkt auf dem Umfang des Kreises einen Weg von:

$$U = 2 \cdot \pi \cdot r$$

zurückgelegt.

Bei $r = 1$ ist der Weg gleich 2π .

Der Vollkreis entspricht 360° oder in Bogenmaß 2π .

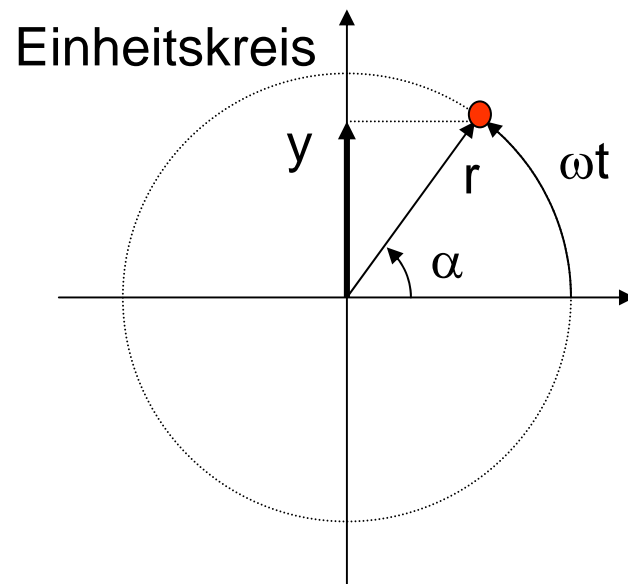
$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

f - Frequenz

T - Zeit für einen Umlauf
oder auch Periodendauer

ω - Kreisfrequenz



$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{T}$$

$$\omega \cdot t = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{T} \cdot t$$

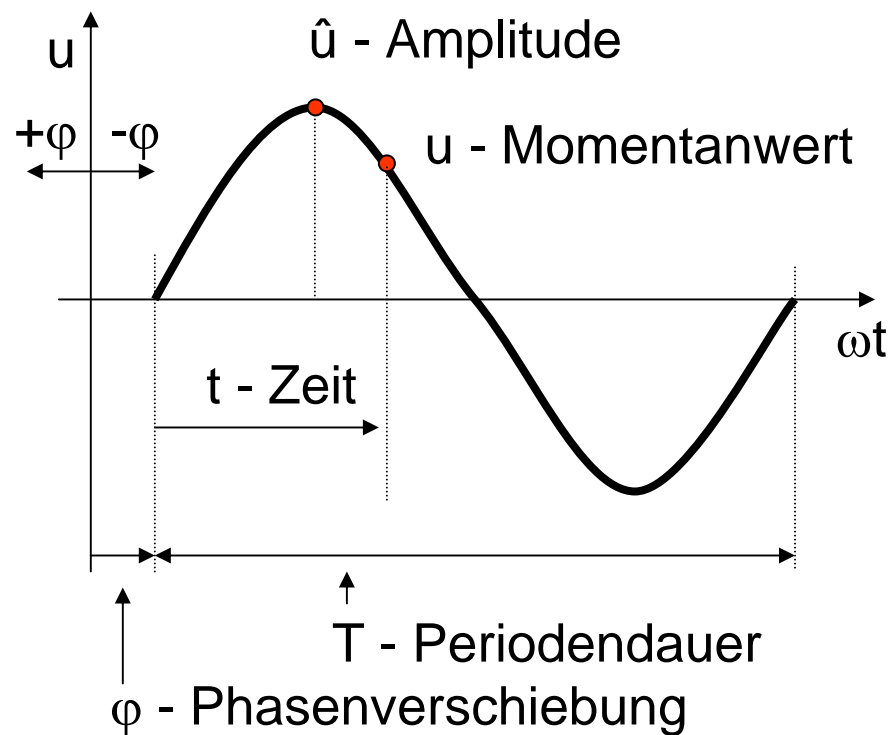
$$\omega \cdot t = 2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T}$$

$$x = \frac{t}{T}$$

$$y = r \cdot \sin(\alpha)$$

$$y = r \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$\sin(\alpha) = \sin(\omega \cdot t)$$



Frequenz

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Augenblicks- oder Momentanwert

$$u = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

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

$$P = U \cdot I$$

$$P = R \cdot I^2$$

$$W = P \cdot t$$

$$W = R \cdot I^2 \cdot T$$

↷

$$R \cdot I^2 \cdot T = R \cdot \int_0^T i^2 \cdot dt$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i^2 \cdot dt}$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \hat{i}^2 \cdot \sin^2(\omega t) dt}$$

$$I = \hat{i} \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t) dt}$$

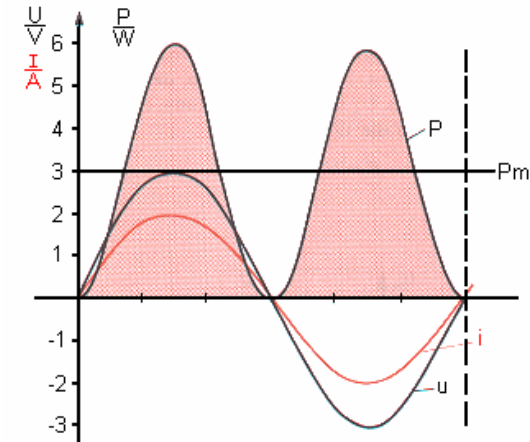
$$I_{eff} = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot \hat{i}$$

↷

$$W = R \cdot \int_0^T i^2 \cdot dt$$

Effektivwert

➡



Der Effektivwert eines Wechselstroms, ist der Wert eines Gleichstroms, der innerhalb einer Periode die gleiche Arbeit wie der Wechselstrom leistet.

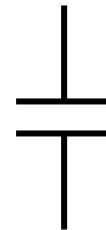
R



L



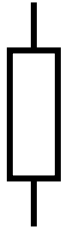
C



In Wechselstromnetzwerken gelten ebenfalls das **Ohmsche Gesetz** und die **Kirchhoffschen Gesetze**. Alle Berechnungen werden auf Basis der **Komplexen Zahlen** durchgeführt.

Wechselstromwiderstand

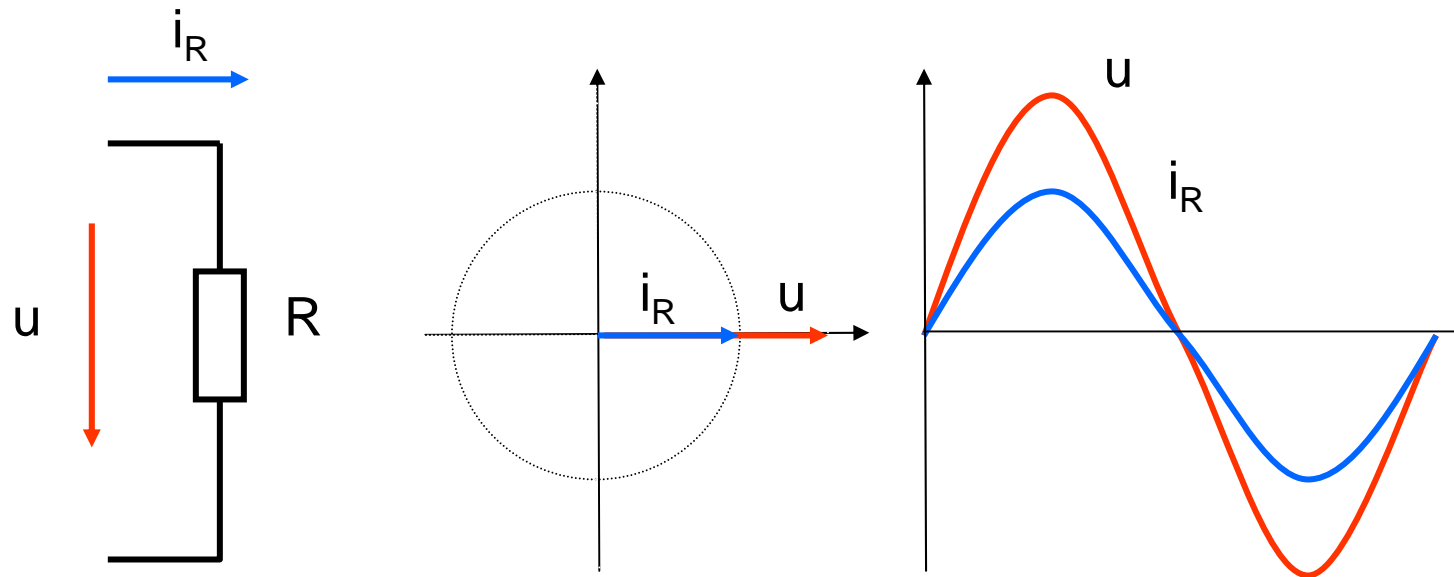
Ohmscher Widerstand



$$u_R = R \cdot i = R \cdot \hat{i} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Wechselstromwiderstand

Ohmscher Widerstand



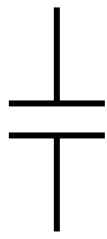
Phasenverschiebung $\varphi = 0$

Ohmscher Widerstand

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

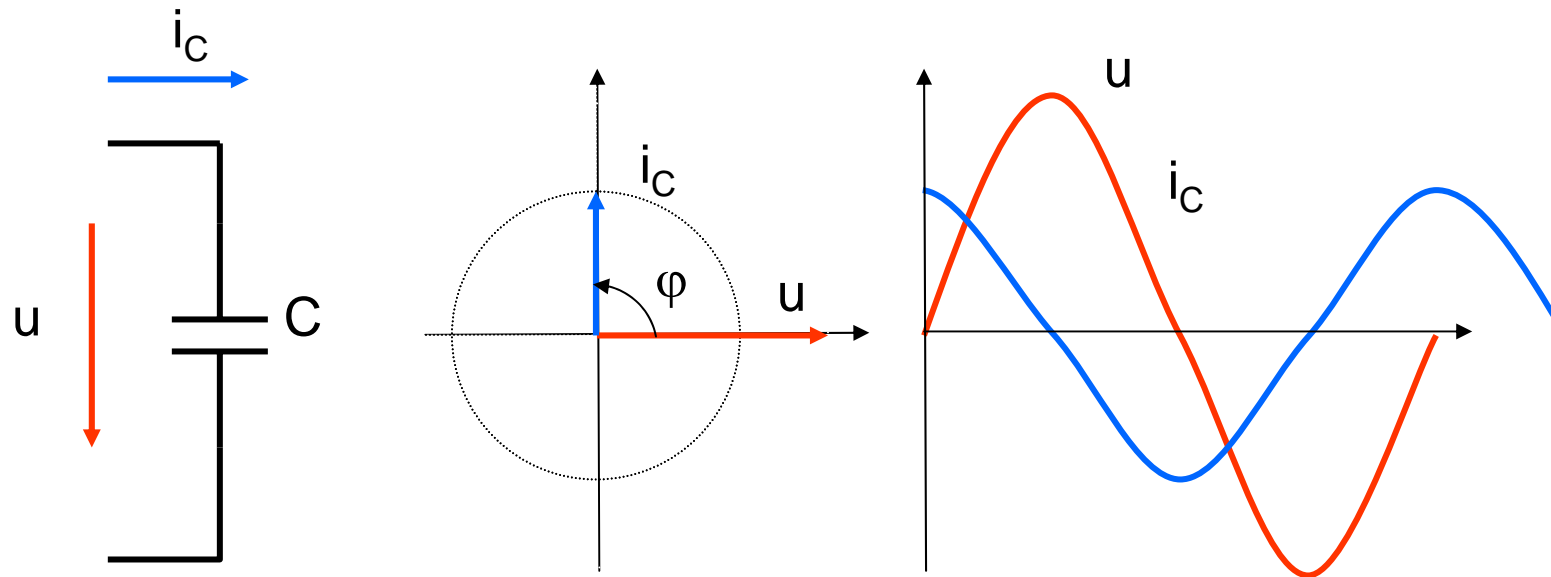
Wechselstromwiderstand

Kapazitiver Widerstand


$$u_C = \hat{u}_C \cdot \sin(\omega \cdot t)$$
$$\cos(\omega \cdot t) = \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$$
$$i_C = C \cdot \frac{du_C}{dt} = C \cdot \frac{d(\hat{u}_C \cdot \sin(\omega \cdot t))}{dt} = C \cdot \omega \cdot \hat{u}_C \cdot \cos(\omega \cdot t) = B_C \cdot \hat{u}_C \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$$
$$\omega \cdot C = B_C = \frac{1}{X_C}$$

Wechselstromwiderstand


Kapazitiver Widerstand



Phasenverschiebung $\varphi = +90^\circ$

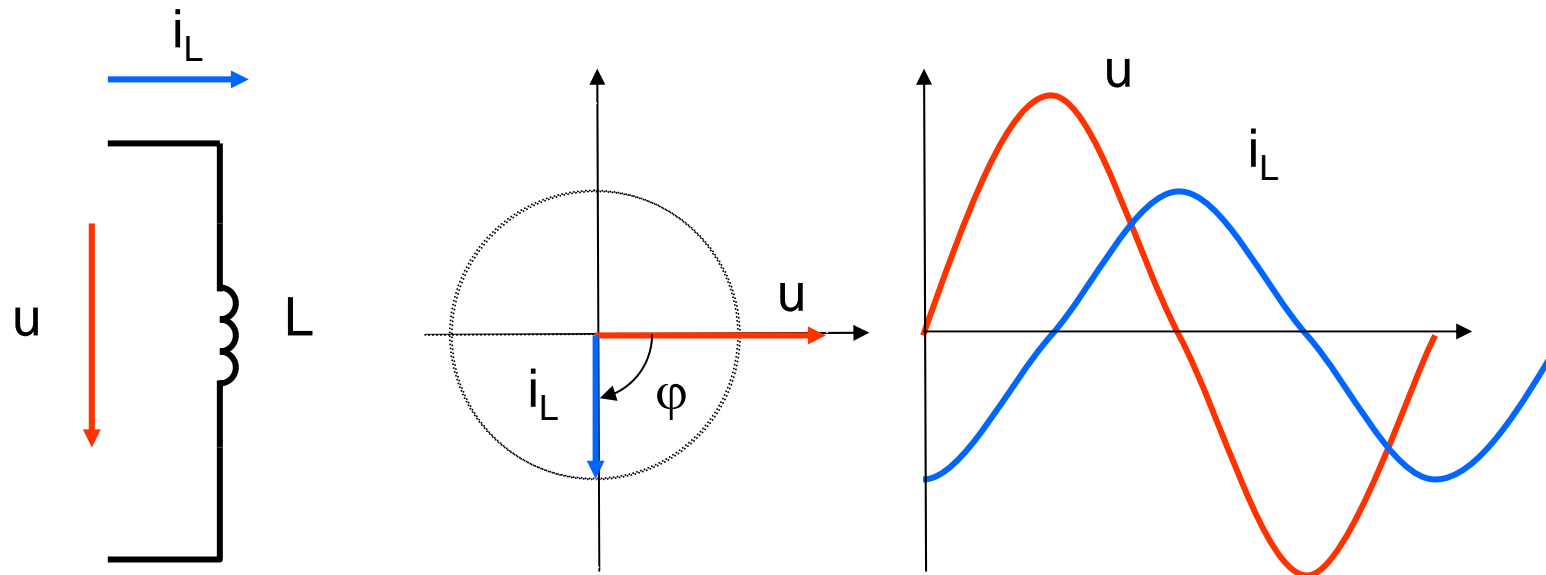
Kapazitiver Blindwiderstand

$$X_C = \frac{U_C}{I_C} \quad X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$


$$i_L = \hat{i}_L \cdot \sin(\omega \cdot t)$$
$$X_L = \omega \cdot L \longleftrightarrow B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{1}{\omega \cdot L}$$
$$u_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} = \omega \cdot L \cdot \hat{i}_L \cdot \cos(\omega \cdot t) = X_L \cdot \hat{i}_L \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$$
$$\cos(\omega \cdot t) = \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Wechselstromwiderstand

Induktiver Widerstand



Phasenverschiebung $\varphi = -90^\circ$

Induktiver Blindwiderstand

$$X_L = \frac{U_L}{I_L} \quad X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

Wechselstromwiderstand

Übersicht



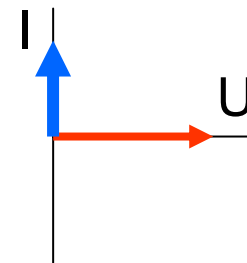
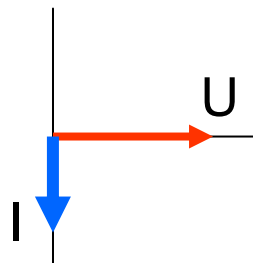
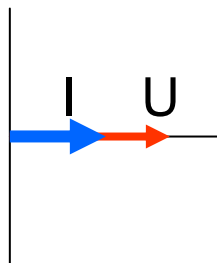
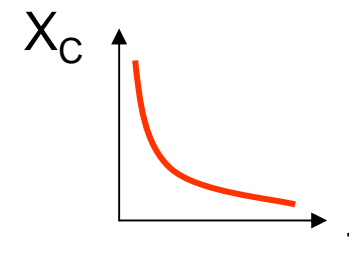
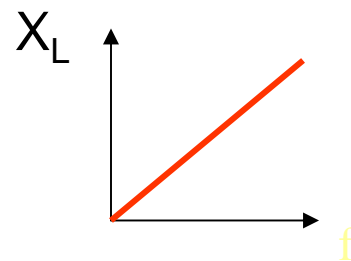
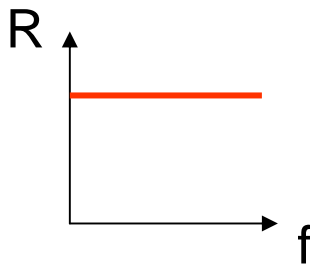
R

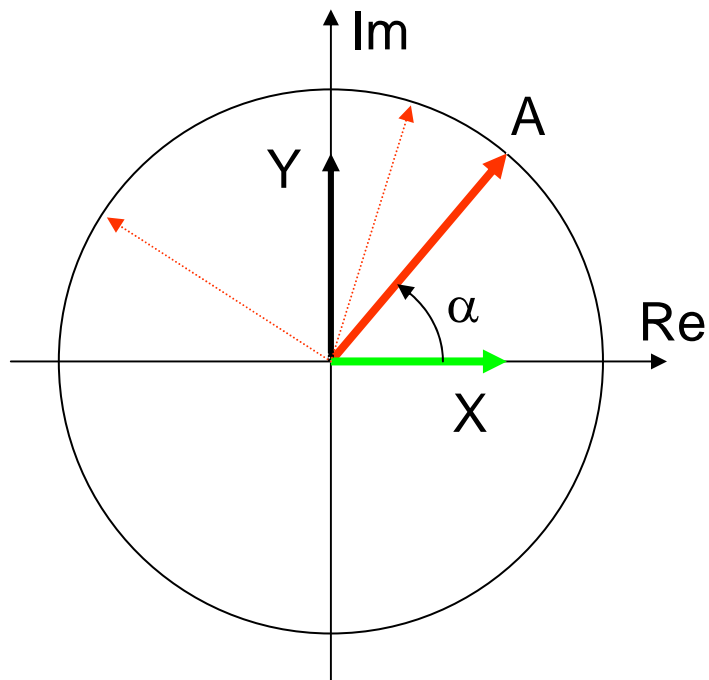


$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$



$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$





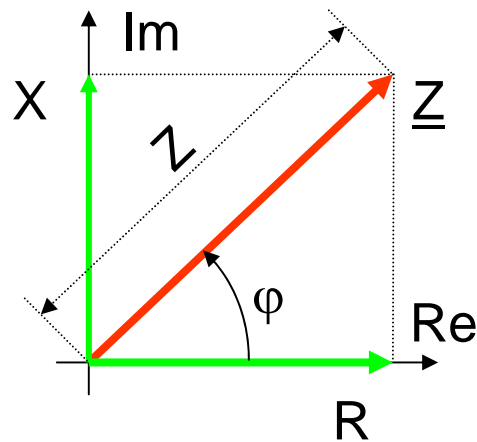
Gaußsche Zahlenebene

$$|A| = 1$$

$$\underline{A} = \cos \alpha + j \cdot \sin \alpha$$

$$X = \cos \alpha$$

$$Y = \sin \alpha$$



$$\underline{Z} = Z \cdot e^{j\varphi}$$

$$\underline{Z} = Z \cdot \cos(\varphi) + j \cdot Z \cdot \sin(\varphi)$$

$$X = Z \cdot \sin(\varphi)$$

$$R = Z \cdot \cos(\varphi)$$

$$\underline{Z} = R + j \cdot X$$

$$\varphi = \arctan \frac{X}{R}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Exponential Form

Trigonometrische Form

Imaginärteil von \underline{Z}

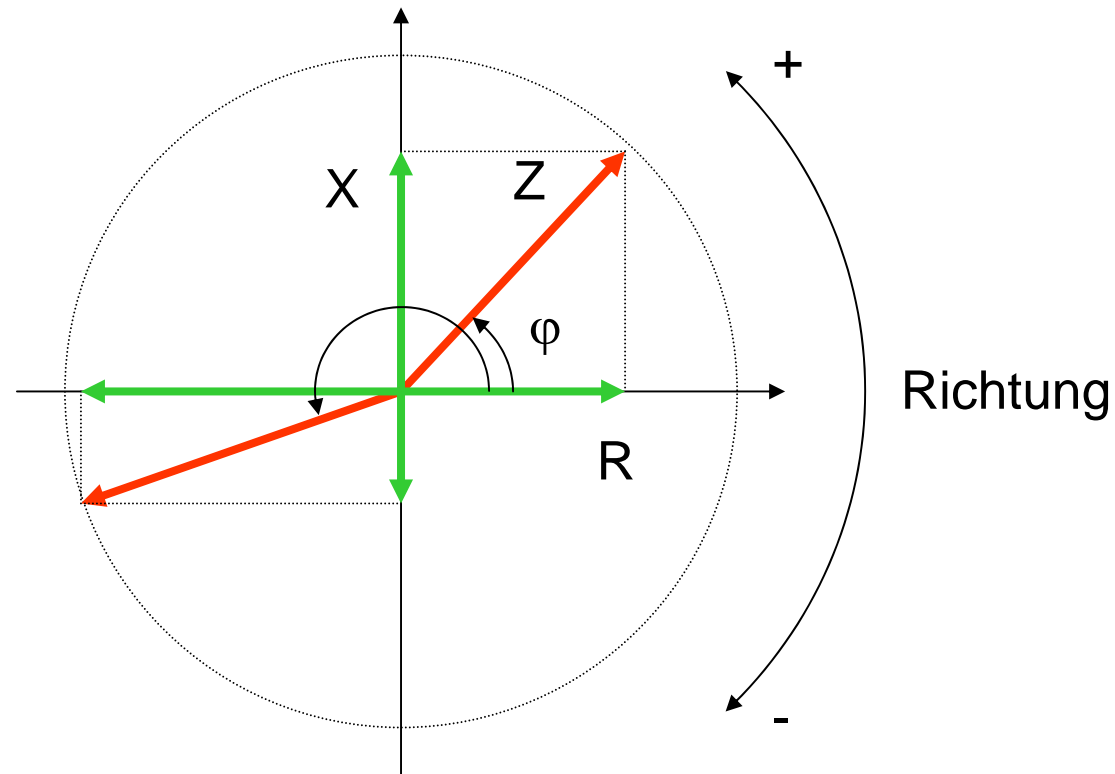
Realteil von \underline{Z}

Algebraische Form

Phasenwinkel

Betrag von \underline{Z}

Komplexe Zahlen setzen sich aus einer **reellen Zahl** und einer rein **imaginären Zahl** zusammen, beispielsweise $\underline{Z} = R + jX$,
R heißt **Realteil** von \underline{Z} ($\text{Re } \underline{Z} = R$) und
X heißt **Imaginärteil** von \underline{Z} ($\text{IM } \underline{Z} = X$).



$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2$$

$$\underline{Z}_1 = Z_1 \cdot e^{j\varphi_1} = Z_1 \cdot \cos(\varphi_1) + j \cdot Z_1 \cdot \sin(\varphi_1) = R_1 + j \cdot X_1$$

$$\underline{Z}_2 = Z_2 \cdot e^{j\varphi_2} = Z_2 \cdot \cos(\varphi_2) + j \cdot Z_2 \cdot \sin(\varphi_2) = R_2 + jX_2$$

$$\underline{Z} = (R_1 + R_2) + j(X_1 + X_2)$$

$$\varphi = \arctan \frac{(X_1 + X_2)}{(R_1 + R_2)}$$

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

$$\underline{Z} = Z \cdot e^{j\varphi}$$

Rechnen mit Komplexen Zahlen

Subtraktion

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 - \underline{Z}_2$$

$$\underline{Z}_1 = Z_1 \cdot e^{j\varphi_1} = Z_1 \cdot \cos(\varphi_1) + j \cdot Z_1 \cdot \sin(\varphi_1) = R_1 + j \cdot X_1$$

$$\underline{Z}_2 = Z_2 \cdot e^{j\varphi_2} = Z_2 \cdot \cos(\varphi_2) + j \cdot Z_2 \cdot \sin(\varphi_2) = R_2 + jX_2$$

$$\underline{Z} = (R_1 - R_2) + j(X_1 - X_2)$$

$$\varphi = \arctan \frac{(X_1 - X_2)}{(R_1 - R_2)}$$

$$Z = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + (X_1 - X_2)^2}$$

$$\underline{Z} = Z \cdot e^{j\varphi}$$

Rechnen mit Komplexen Zahlen

Multiplikation

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2$$

$$\underline{Z}_1 = Z_1 \cdot e^{j\varphi_1} = Z_1 \cdot \cos(\varphi_1) + j \cdot Z_1 \cdot \sin(\varphi_1) = R_1 + j \cdot X_1$$

$$\underline{Z}_2 = Z_2 \cdot e^{j\varphi_2} = Z_2 \cdot \cos(\varphi_2) + j \cdot Z_2 \cdot \sin(\varphi_2) = R_2 + jX_2$$

$$Z = Z_1 \cdot Z_2$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$$

$$\underline{Z} = Z \cdot e^{j\varphi} = Z_1 \cdot Z_2 \cdot e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2}$$

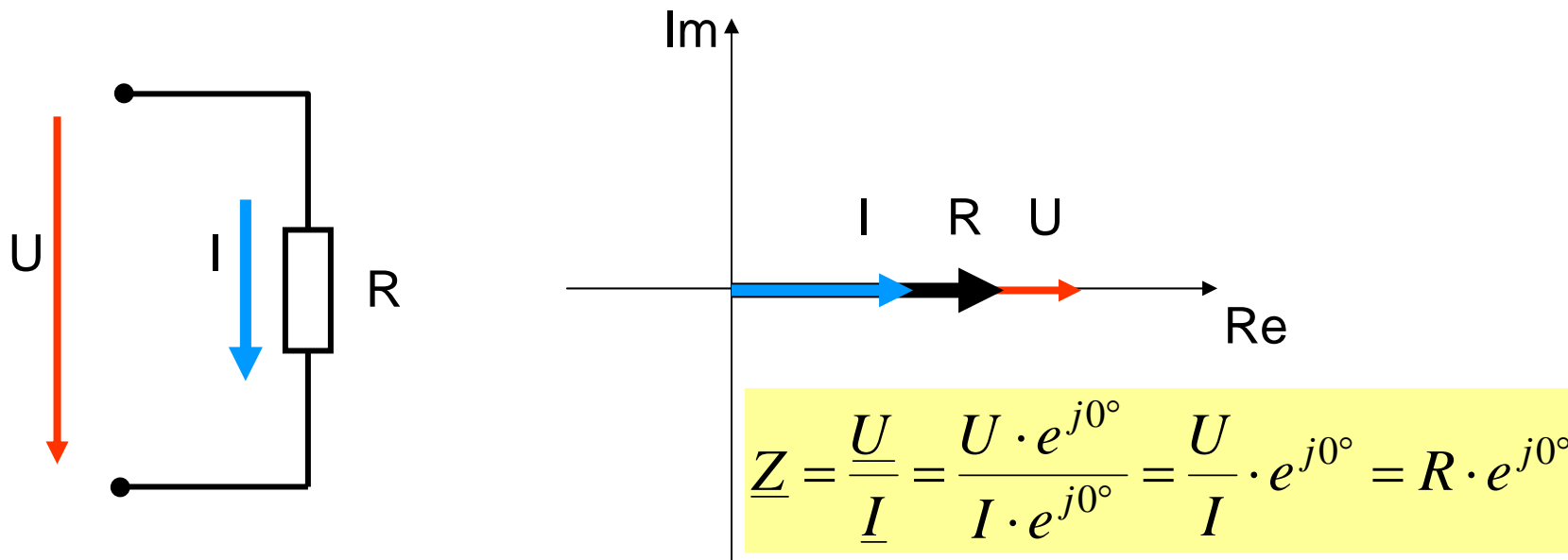
$$\underline{Z}_1 = Z_1 \cdot e^{j\varphi_1} = Z_1 \cdot \cos(\varphi_1) + j \cdot Z_1 \cdot \sin(\varphi_1) = R_1 + j \cdot X_1$$

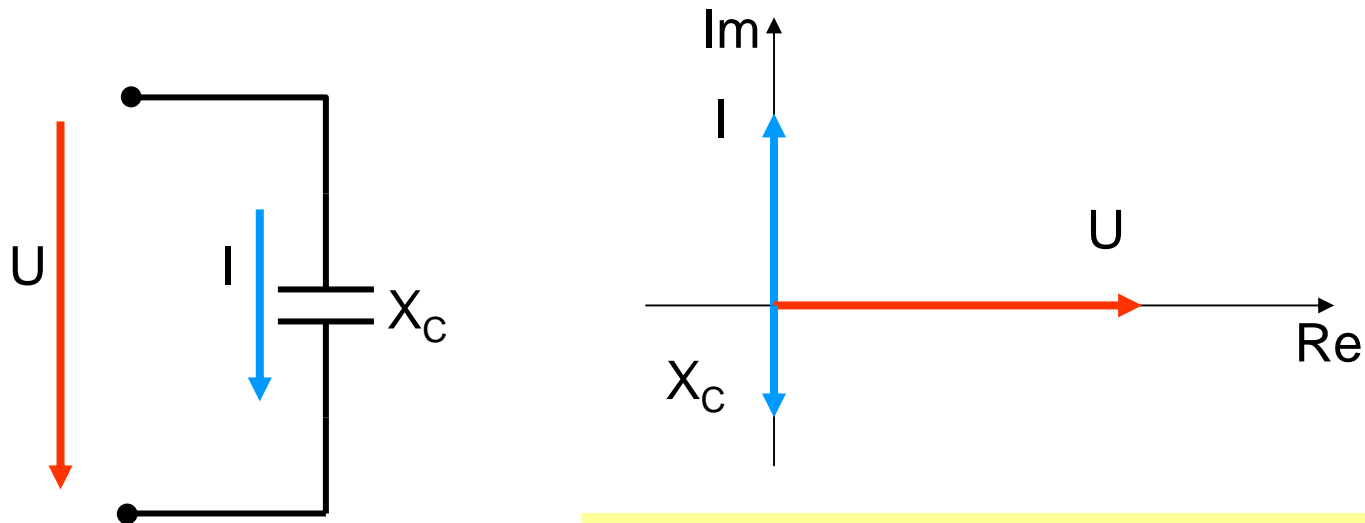
$$\underline{Z}_2 = Z_2 \cdot e^{j\varphi_2} = Z_2 \cdot \cos(\varphi_2) + j \cdot Z_2 \cdot \sin(\varphi_2) = R_2 + jX_2$$

$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2}$$

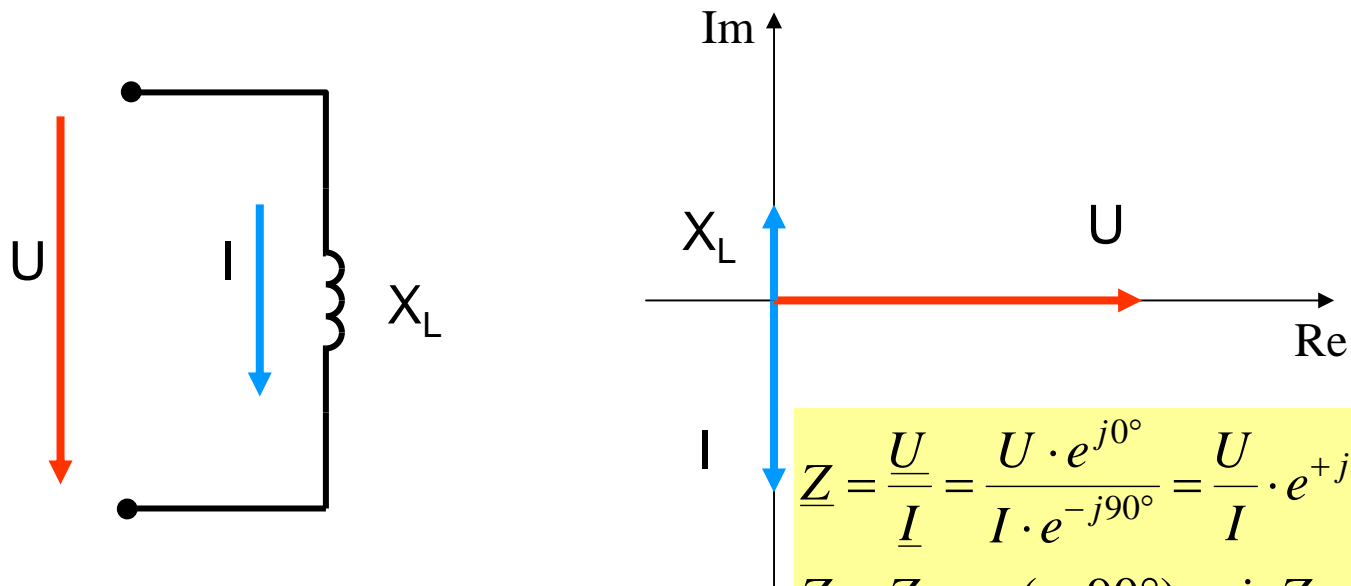
$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$\underline{Z} = \underline{Z} \cdot e^{j\varphi} = \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2} \cdot e^{j(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

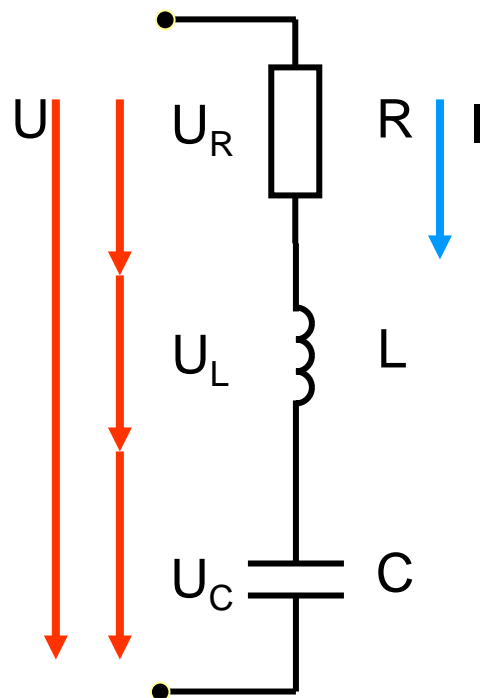




$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = \frac{U \cdot e^{j0^\circ}}{I \cdot e^{+j90^\circ}} = \frac{U}{I} \cdot e^{-j90^\circ} = Z \cdot e^{-j90^\circ}$$
$$\underline{Z} = Z \cdot \cos(-90^\circ) + j \cdot Z \cdot \sin(-90^\circ)$$
$$\underline{Z} = 0 - j \cdot X_C = X_C \cdot e^{-j90^\circ}$$



$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = \frac{U \cdot e^{j0^\circ}}{I \cdot e^{-j90^\circ}} = \frac{U}{I} \cdot e^{+j90^\circ} = Z \cdot e^{+j90^\circ}$$
$$\underline{Z} = Z \cdot \cos(+90^\circ) + j \cdot Z \cdot \sin(+90^\circ)$$
$$\underline{Z} = 0 + j \cdot X_L = X_L \cdot e^{+j90^\circ}$$



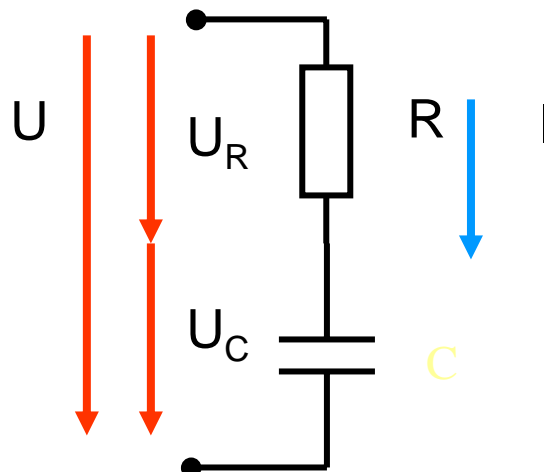
$$\underline{Z} = R + jX_L - jX_C$$

$$\underline{Z} = R + j \cdot (X_L - X_C)$$

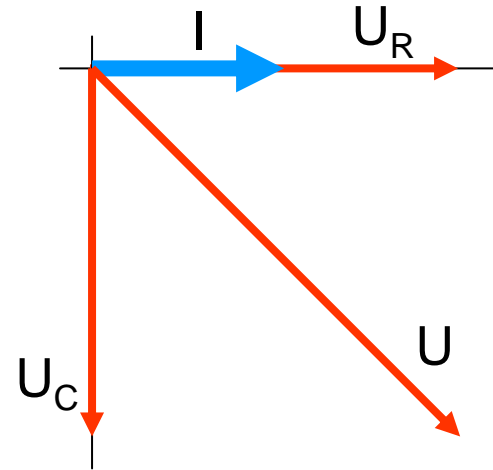
$$\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R}$$

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

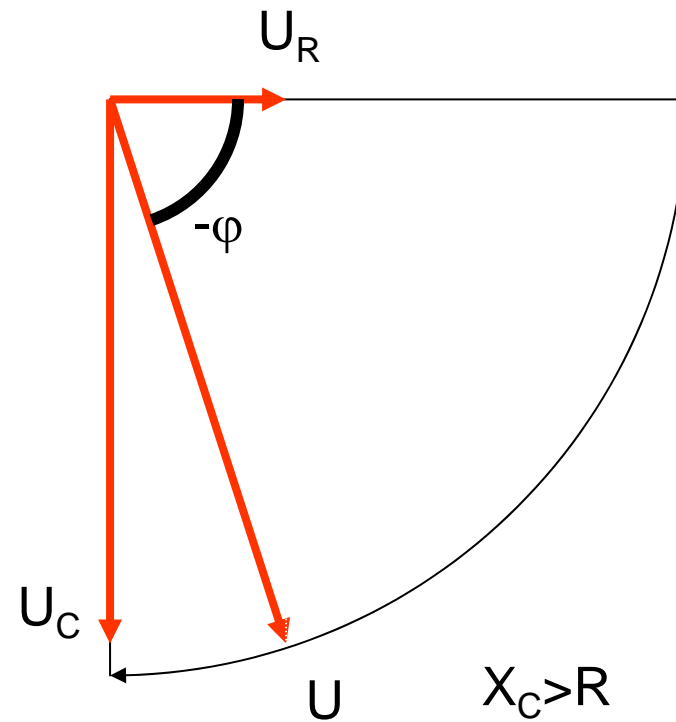
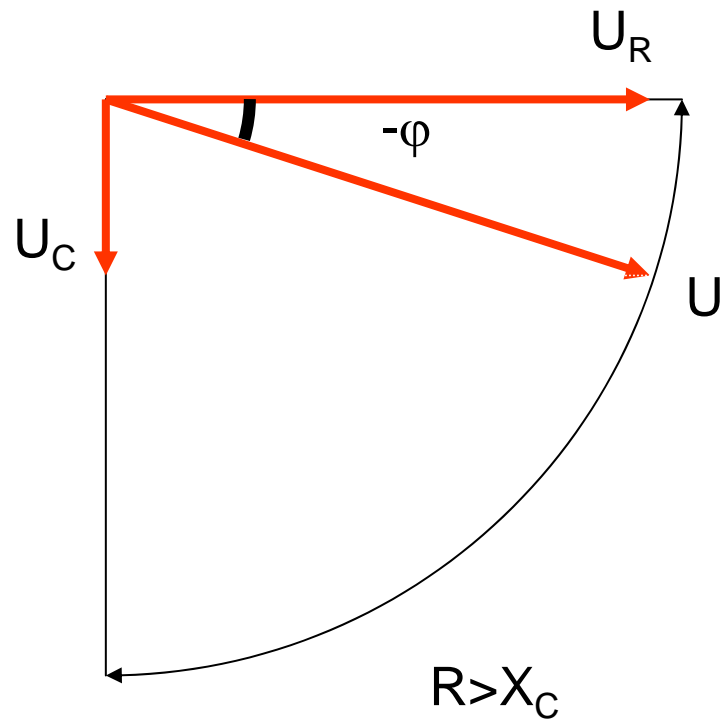
Der Strom über alle Elemente ist gleich.
Der Gesamtspannung ergibt sich aus der
Summe der Teilspannungen.

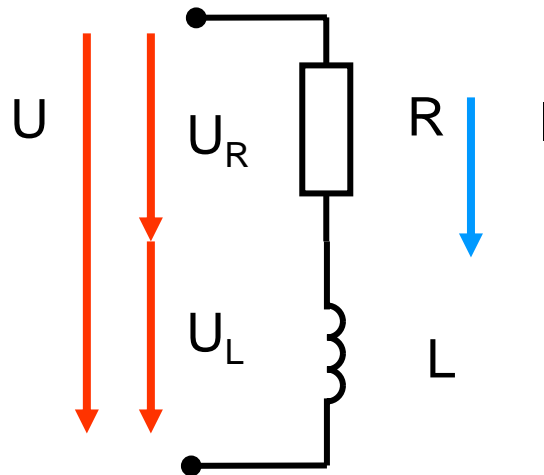


$$\begin{aligned}U &= \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \\U &= \sqrt{I^2 \cdot R^2 + I^2 \cdot X_C^2} \\U &= I \cdot \sqrt{R^2 + X_C^2} \\U &= I \cdot Z\end{aligned}$$

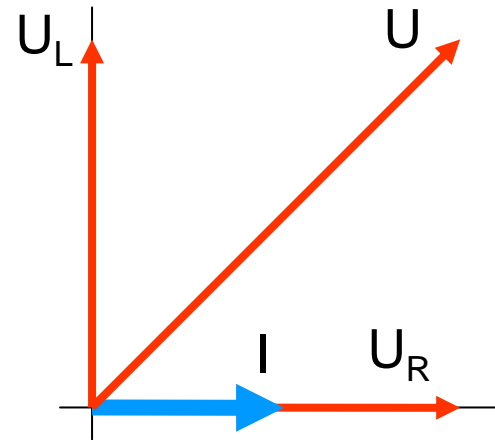


$$\begin{aligned}Z &= \sqrt{R^2 + X_C^2} \\ \varphi &= \arctan \frac{-X_C}{R} \\ \underline{Z} &= Z \cdot e^{j\varphi}\end{aligned}$$

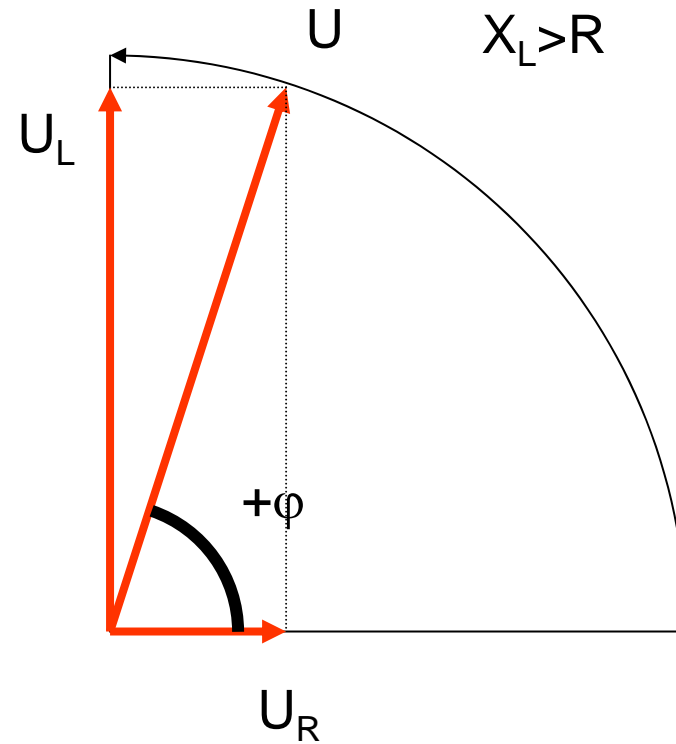
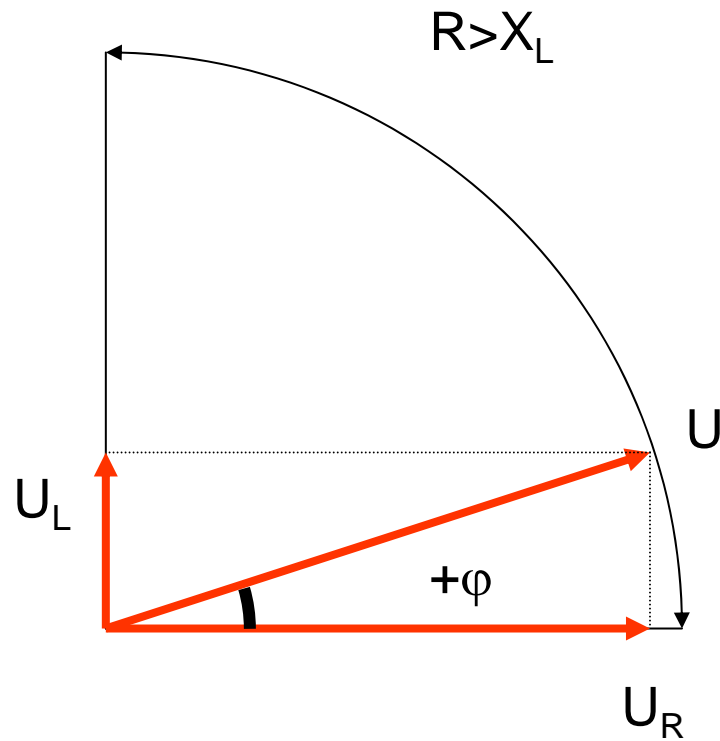


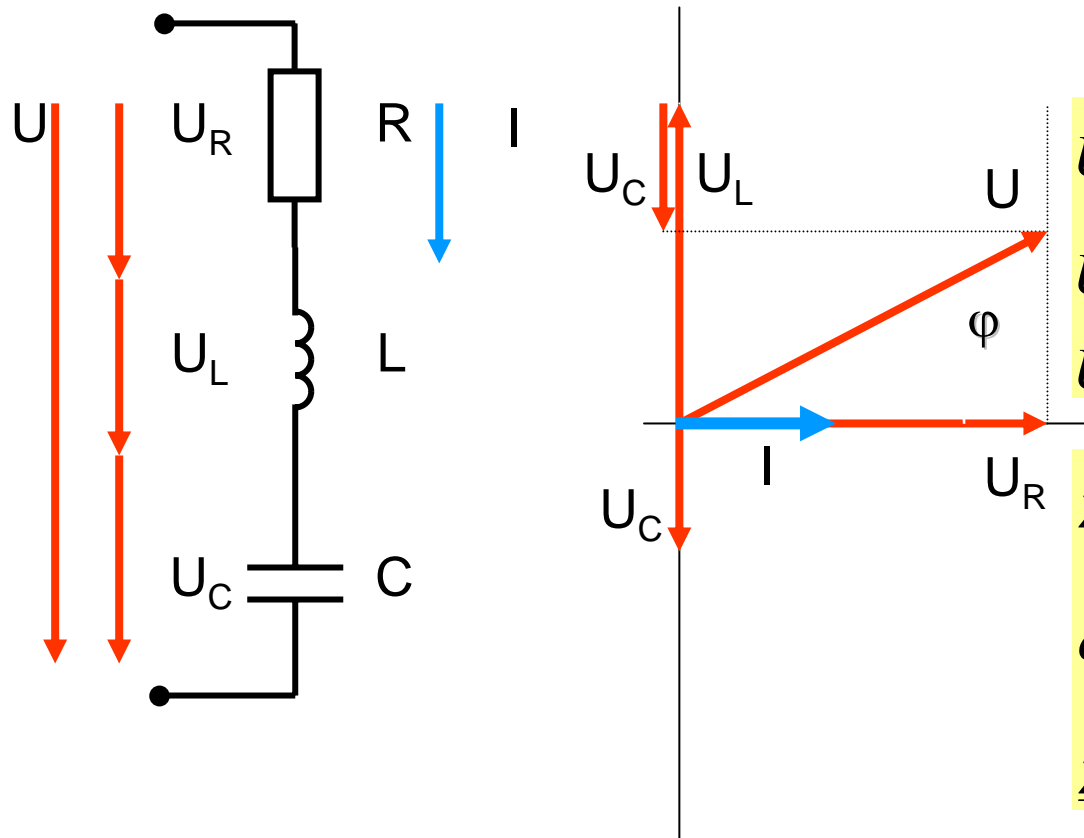


$$\begin{aligned}U &= \sqrt{U_R^2 + U_L^2} \\U &= \sqrt{I^2 \cdot R^2 + I^2 \cdot X_L^2} \\U &= I \cdot \sqrt{R^2 + X_L^2} \\U &= I \cdot Z\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}Z &= \sqrt{R^2 + X_L^2} \\ \varphi &= \arctan \frac{X_L}{R} \\ \underline{Z} &= Z \cdot e^{j\varphi}\end{aligned}$$





$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

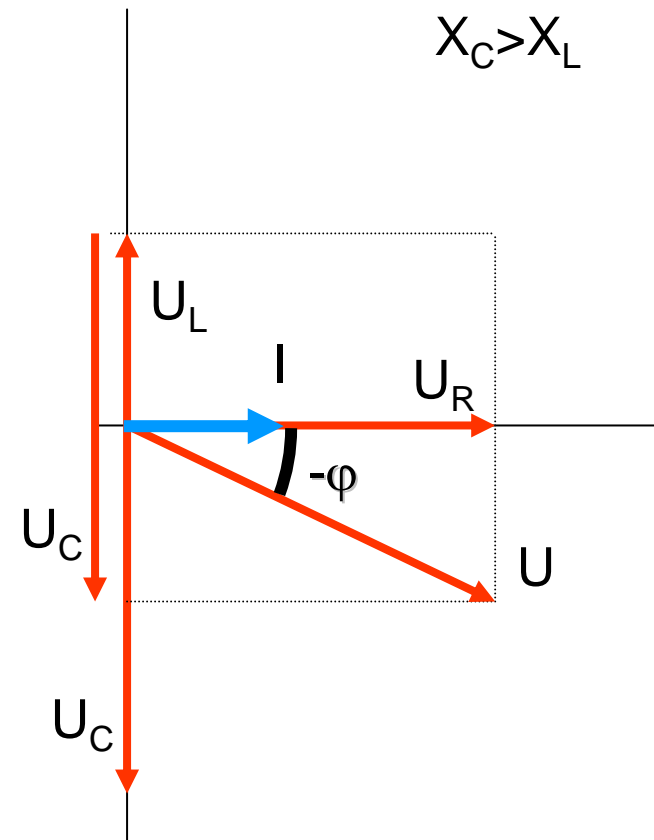
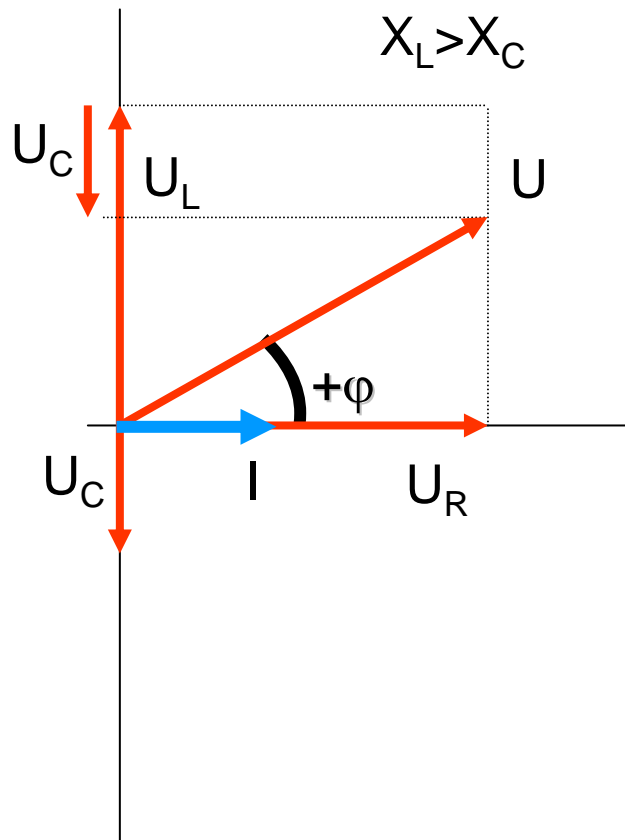
$$U = I \cdot \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$U = I \cdot Z$$

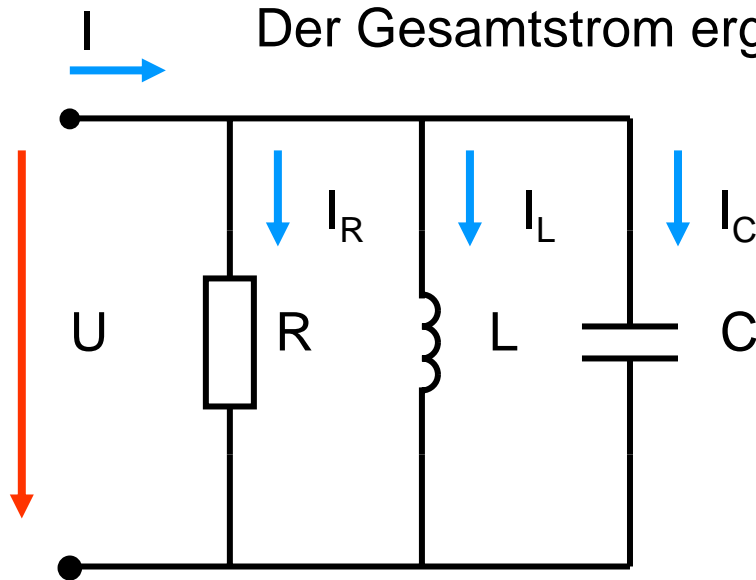
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R}$$

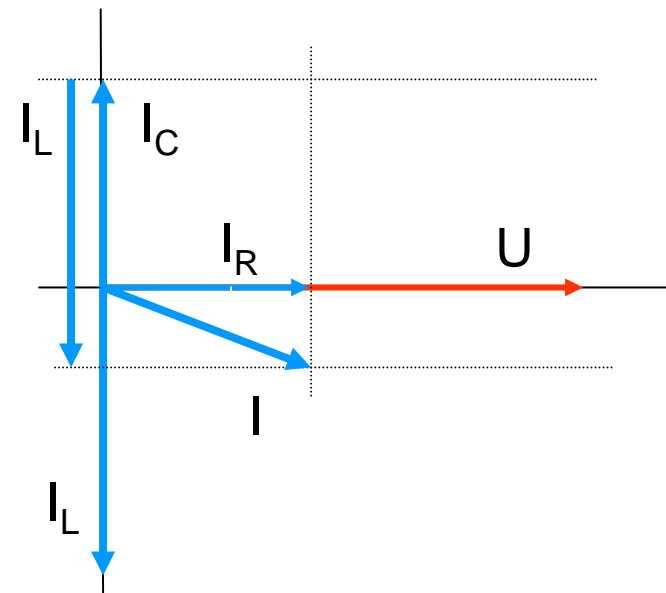
$$\underline{Z} = Z \cdot e^{j\varphi}$$



Die Spannung über allen Elementen ist gleich.
Der Gesamtstrom ergibt sich aus der Summe der Teilströme.



$$\underline{U} = \underline{U}_R = \underline{U}_L = \underline{U}_C$$
$$\underline{I} = \underline{I}_R + \underline{I}_L + \underline{I}_C$$



$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

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

$$\frac{U}{Z} = \sqrt{\left(\frac{U_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{U_C}{X_C} - \frac{U_L}{X_L}\right)^2}$$

$$U = U_R = U_L = U_C$$

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

$$Y = \frac{1}{Z} \quad G = \frac{1}{R}$$

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$$

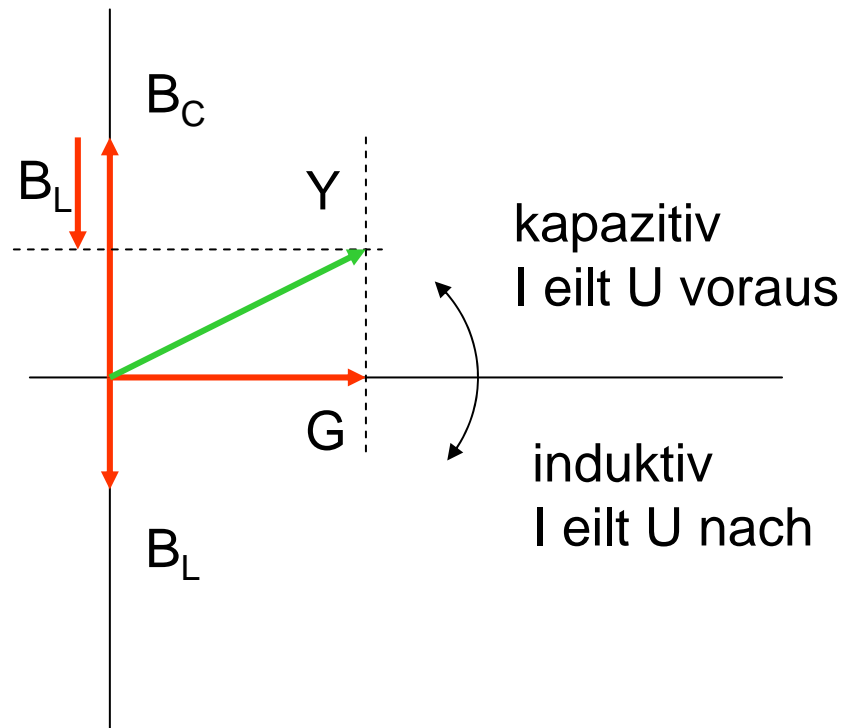
$$B_C = \frac{1}{X_C} \quad B_L = \frac{1}{X_L}$$

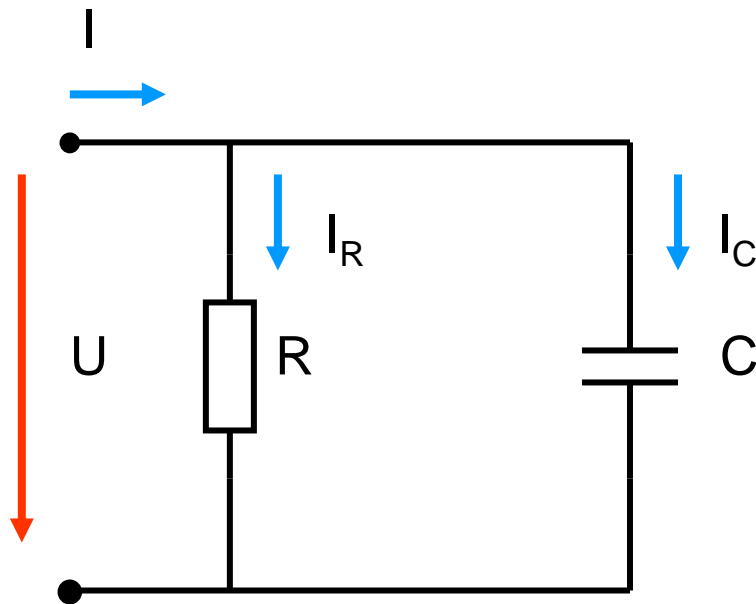
$$\tan \varphi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = \frac{U \cdot (B_C - B_L)}{U \cdot G} = \frac{(B_C - B_L)}{G}$$

$$\varphi = \arctan \frac{(B_C - B_L)}{G}$$

$$\underline{Y} = Y \cdot e^{j\varphi}$$

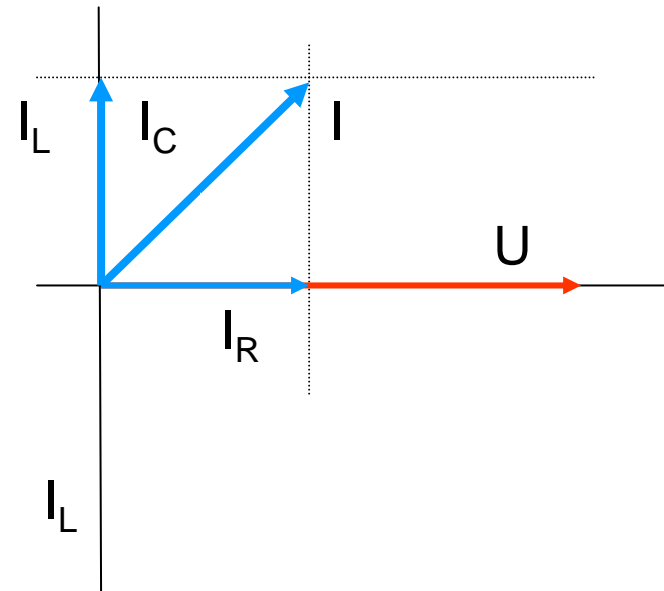
$$\underline{Z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{1}{Y \cdot e^{j\varphi}} = \frac{1}{Y} \cdot e^{-j\varphi}$$





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

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



$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}$$

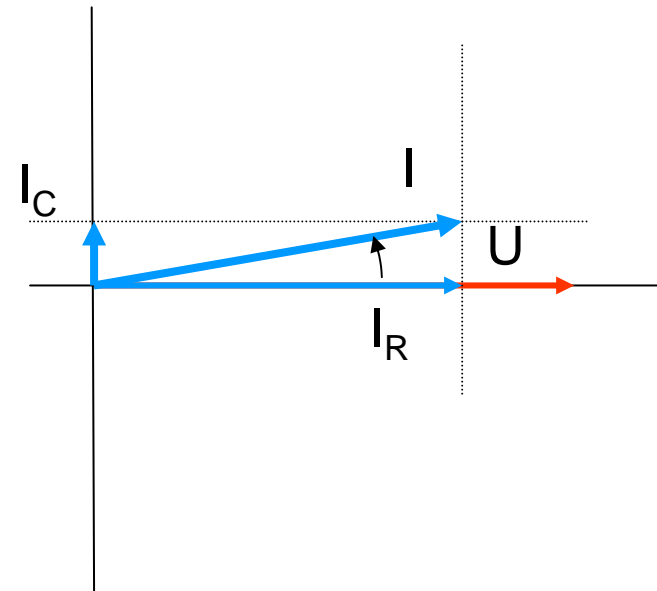
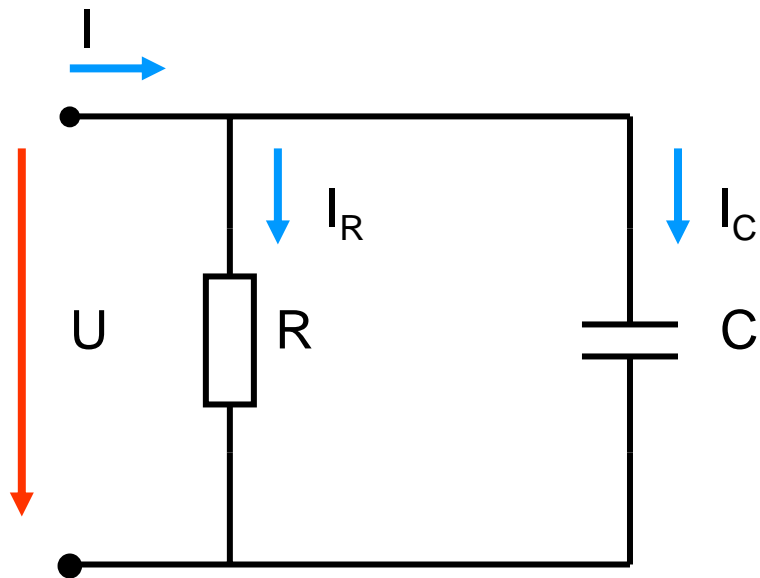
$$Y = \sqrt{G^2 + B_C^2}$$

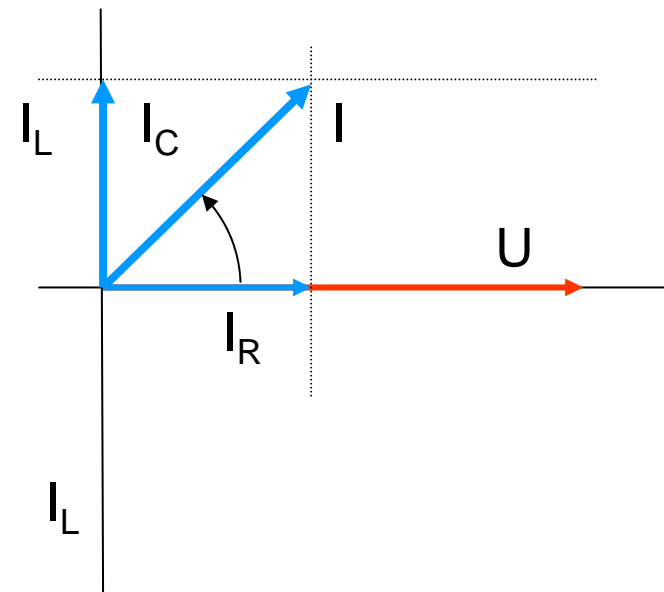
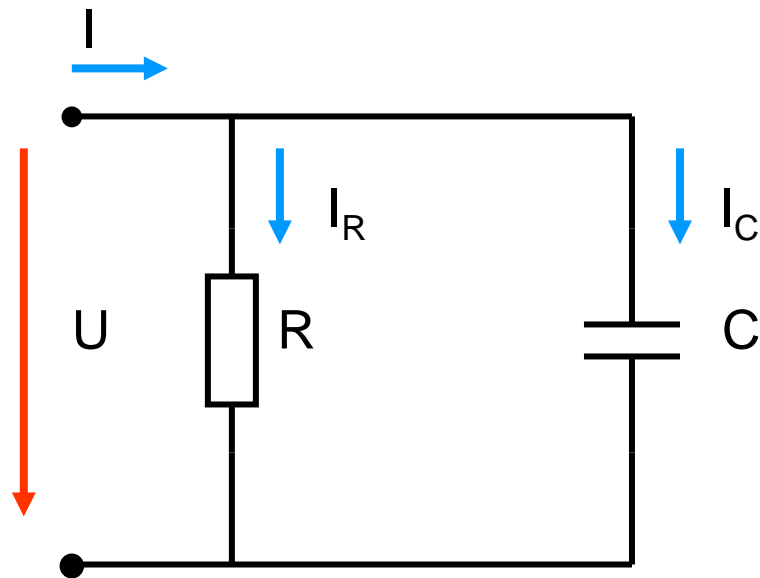
$$\tan \varphi = \frac{I_C}{I_R} = \frac{U \cdot B_C}{U \cdot G} = \frac{B_C}{G}$$

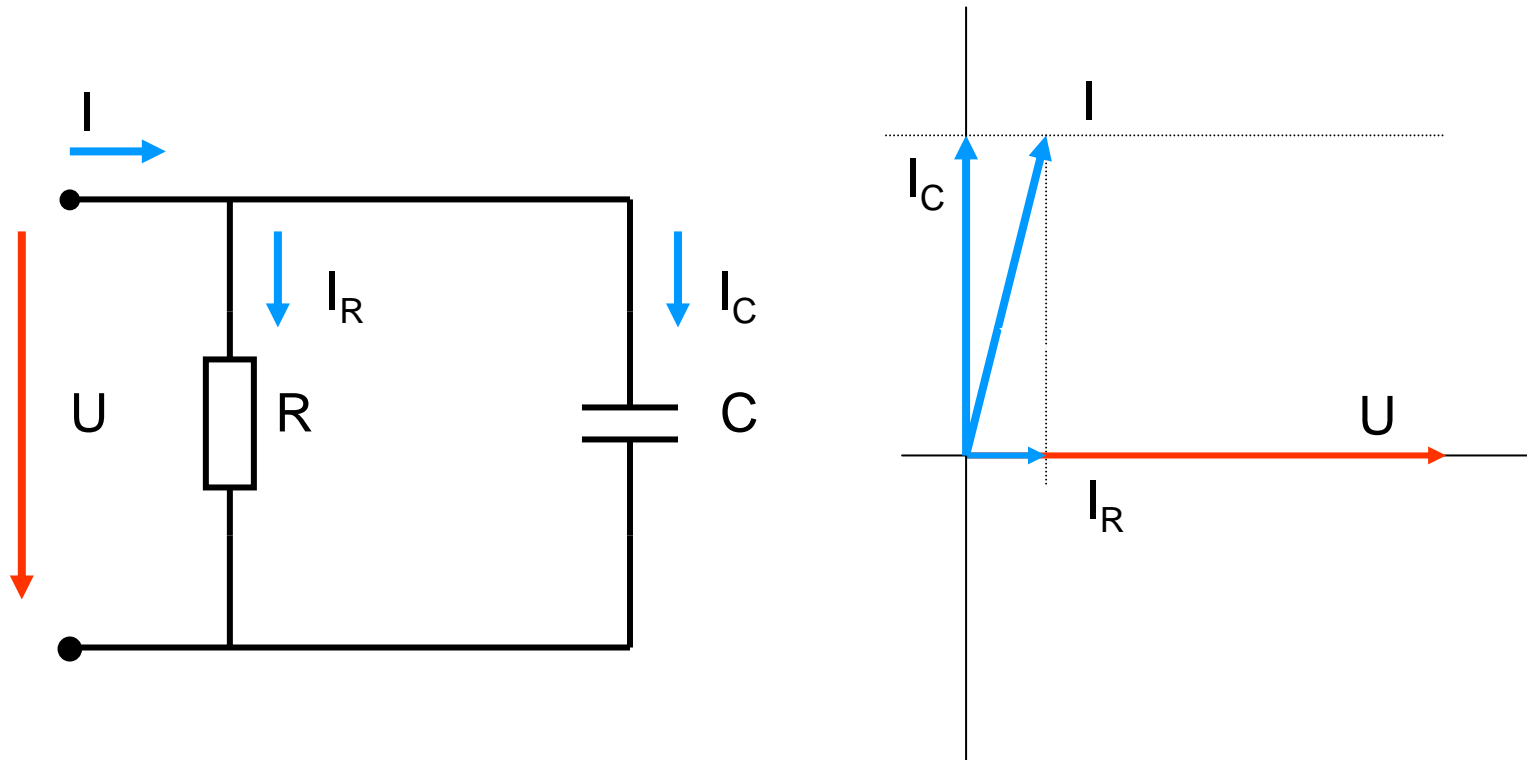
$$\underline{Y} = Y \cdot e^{j\varphi}$$

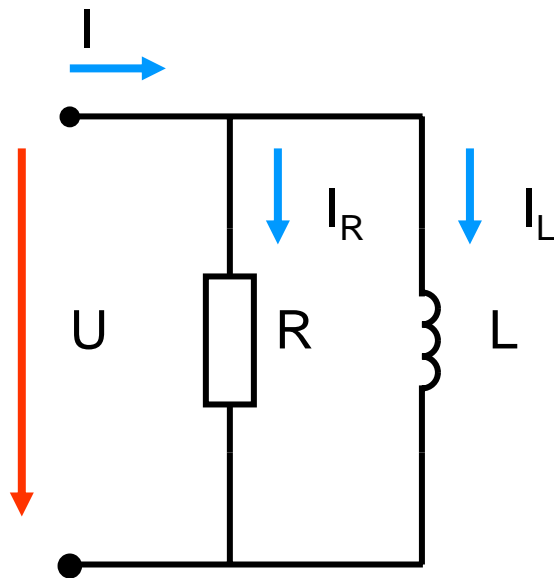
$$\underline{Z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{1}{Y \cdot e^{j\varphi}} = \frac{1}{Y} \cdot e^{-j\varphi}$$

RC Schaltung



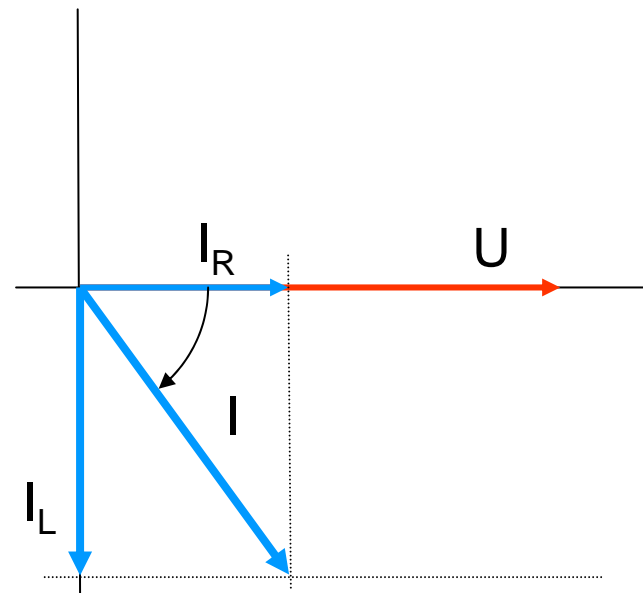




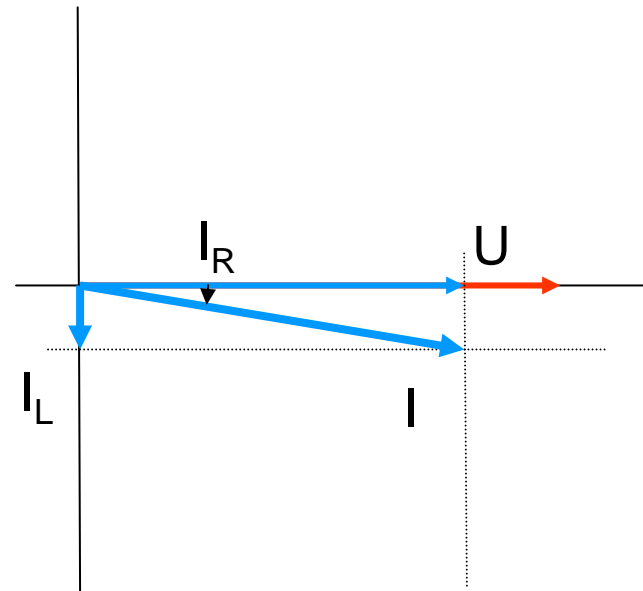
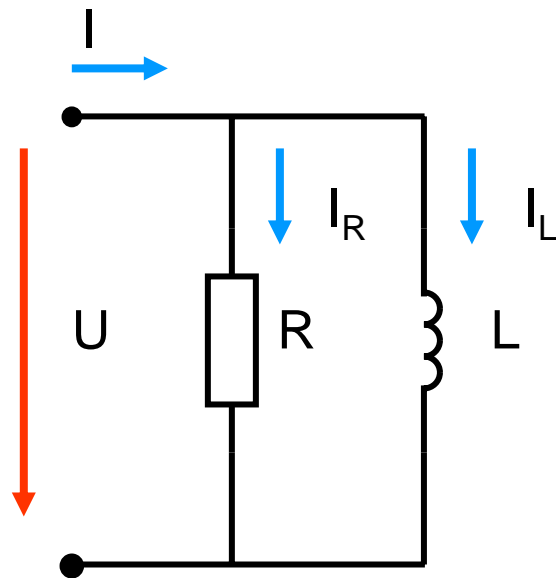


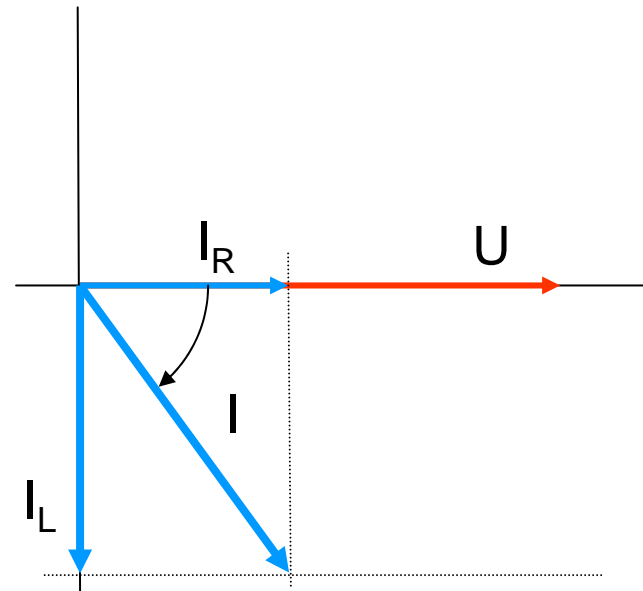
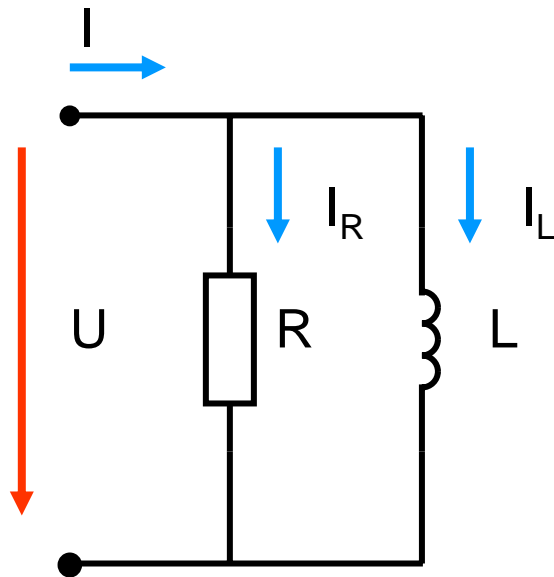
$$\underline{U} = \underline{U}_R = \underline{U}_L$$

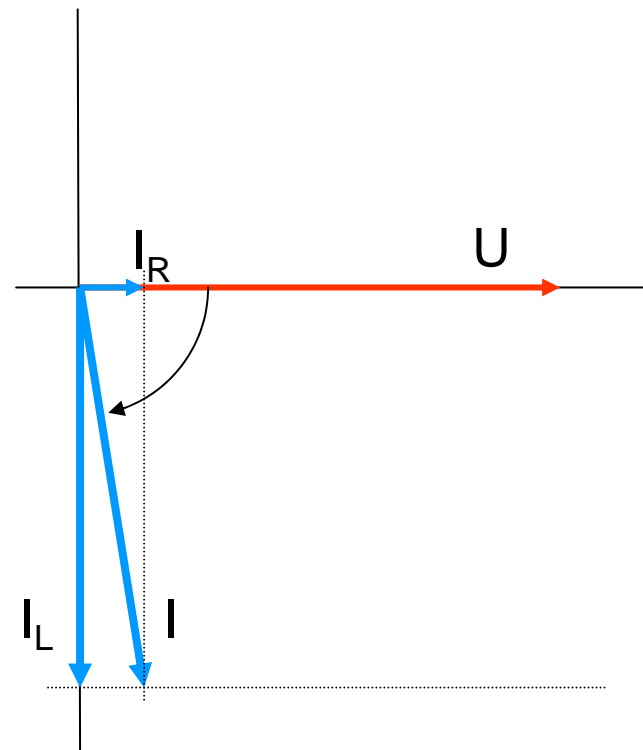
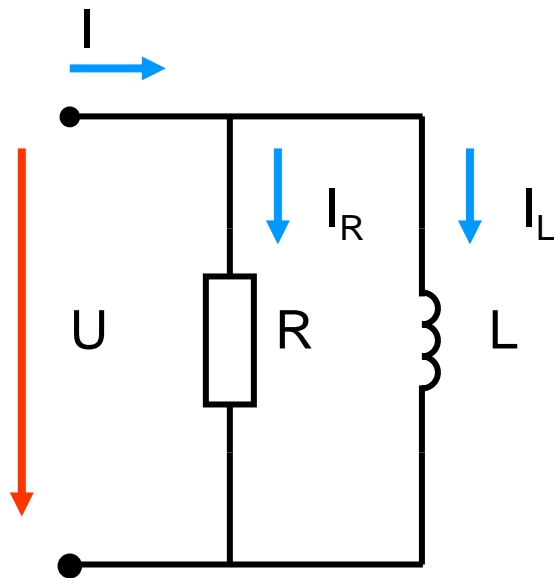
$$\underline{I} = \underline{I}_R + \underline{I}_L$$

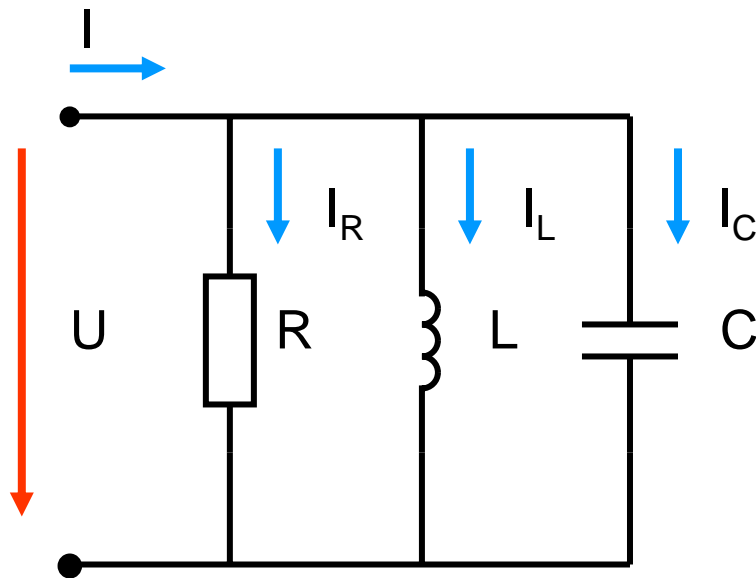


$$I = \sqrt{I_R^2 + (-I_L)^2} \qquad \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(-\frac{1}{X_L}\right)^2}$$
$$Y = \sqrt{G^2 + (-B_L)^2}$$
$$\tan \varphi = \frac{-I_L}{I_R} = \frac{U \cdot (-B_L)}{U \cdot G} = \frac{-B_L}{G}$$
$$\varphi = \arctan \frac{-B_L}{G}$$
$$\underline{Y} = Y \cdot e^{j\varphi} \qquad \underline{Z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{1}{Y \cdot e^{j\varphi}} = \frac{1}{Y} \cdot e^{-j\varphi}$$



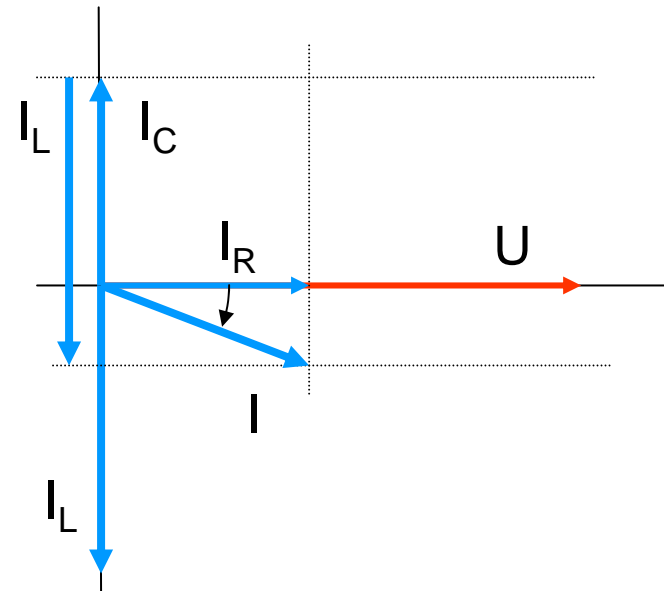






$$\underline{U} = \underline{U}_R = \underline{U}_L = \underline{U}_C$$

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



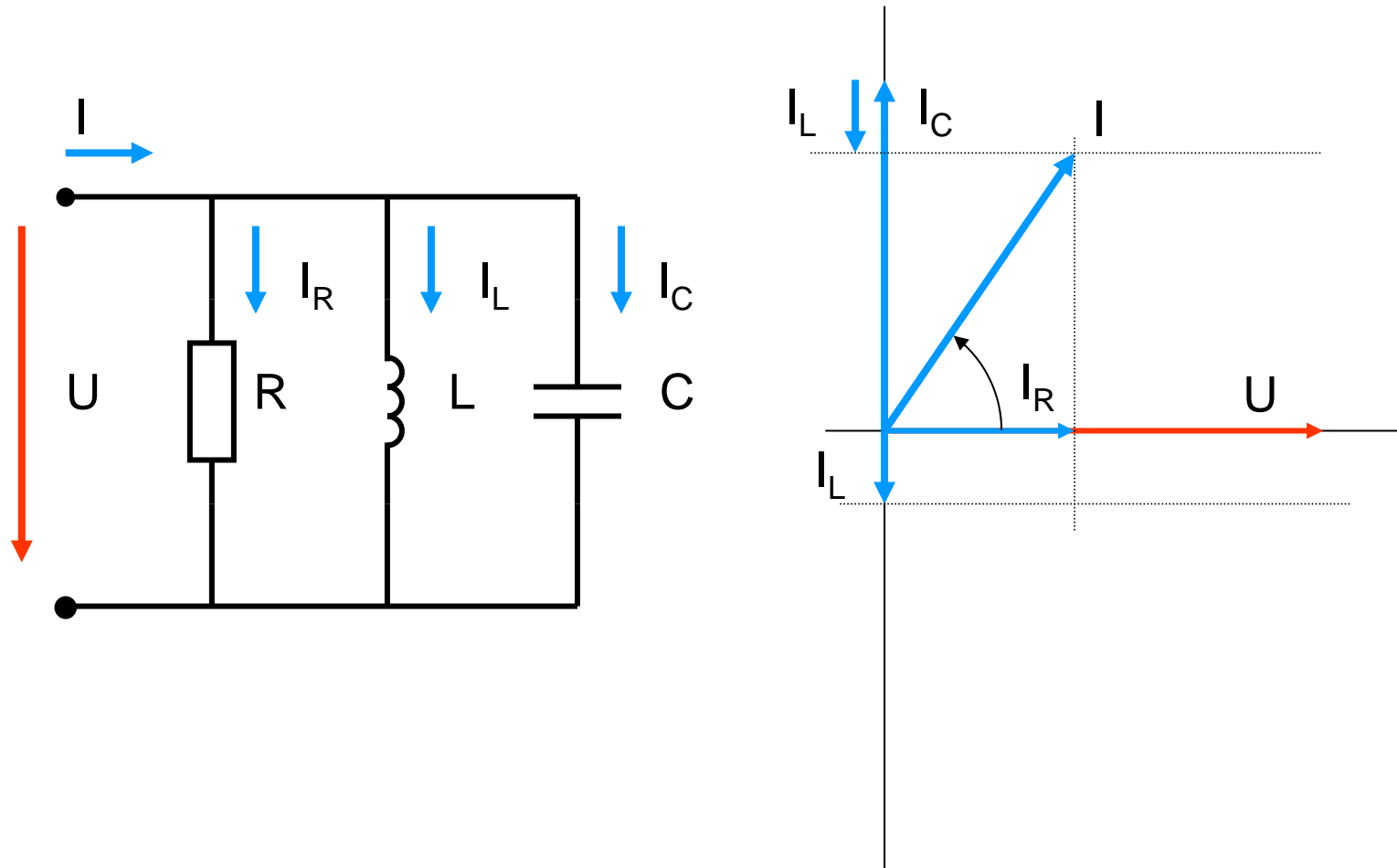
$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} \quad \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}$$

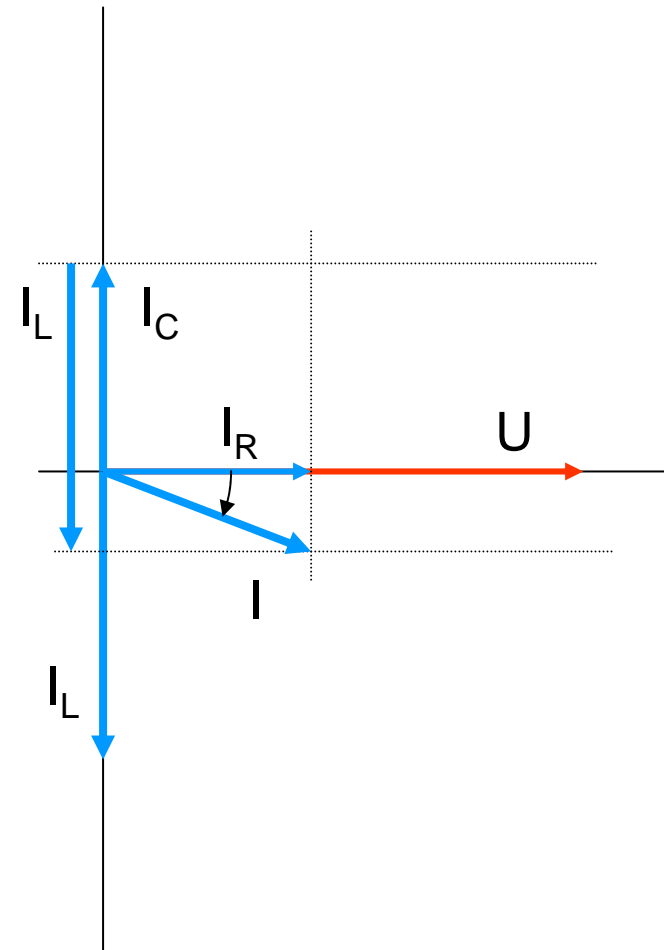
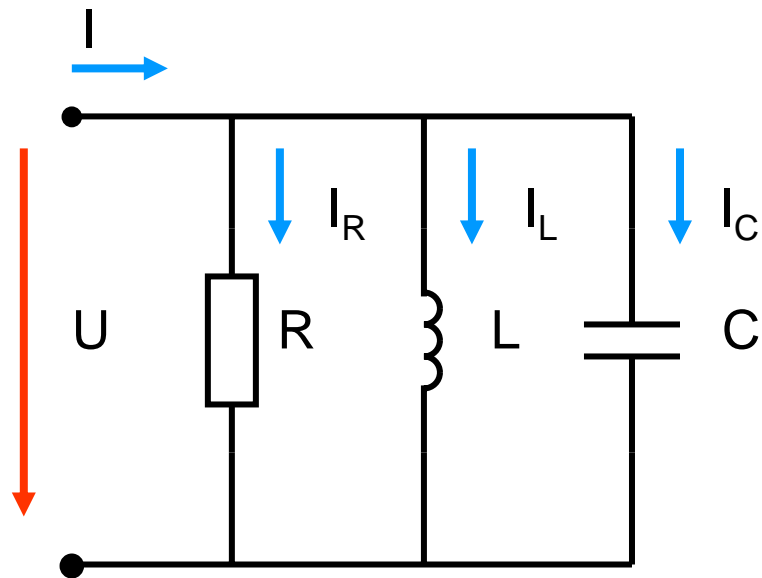
$$Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$$

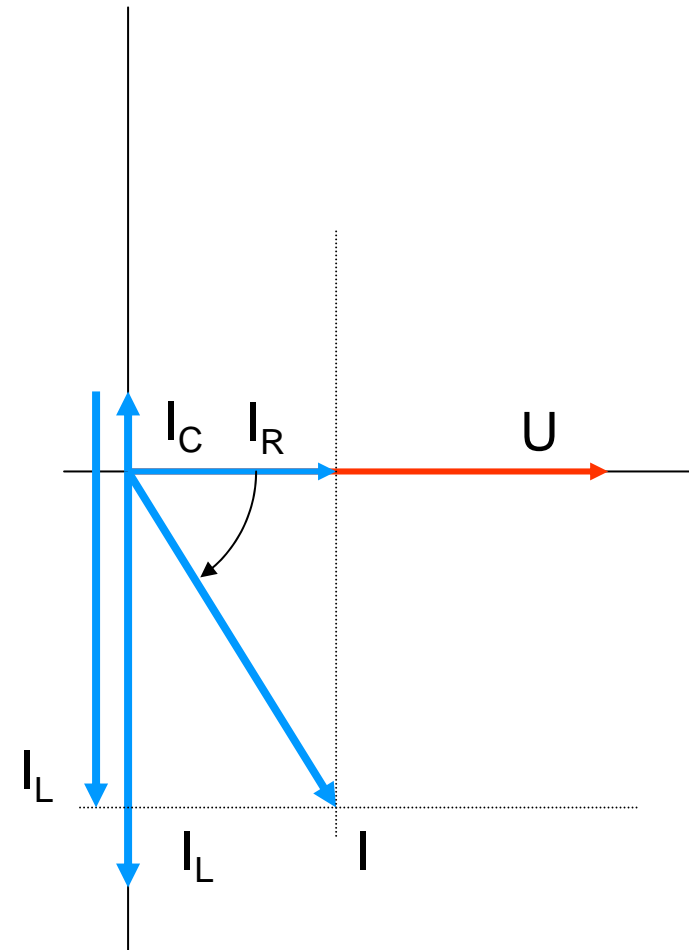
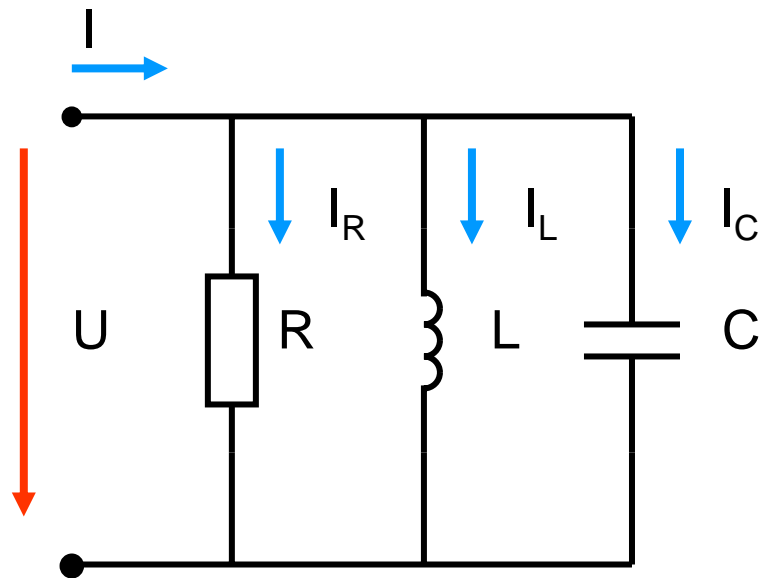
$$\tan \varphi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = \frac{U \cdot (B_C - B_L)}{U \cdot G} = \frac{(B_C - B_L)}{G}$$

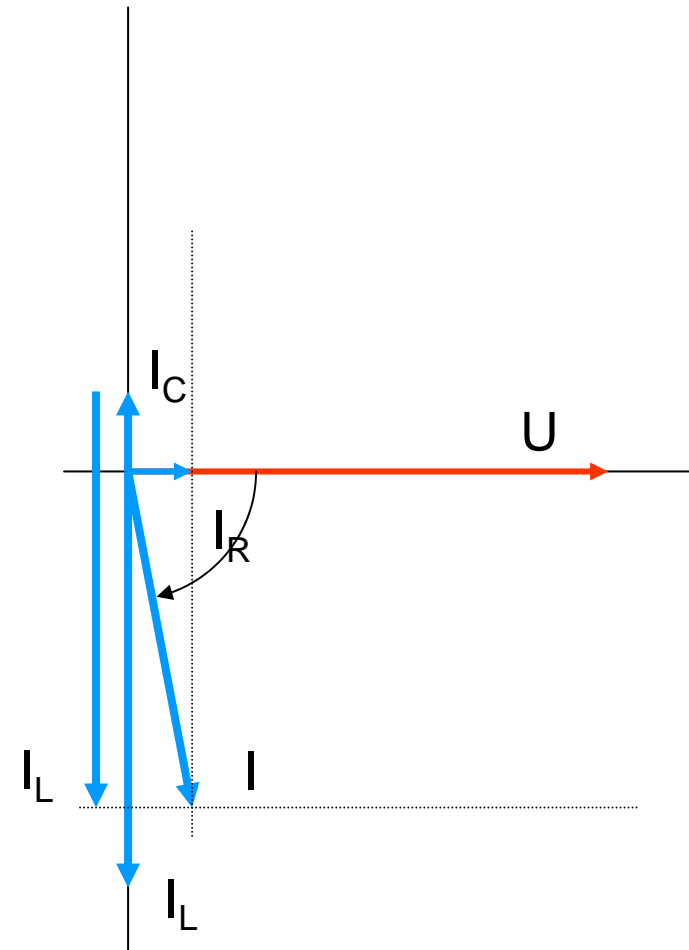
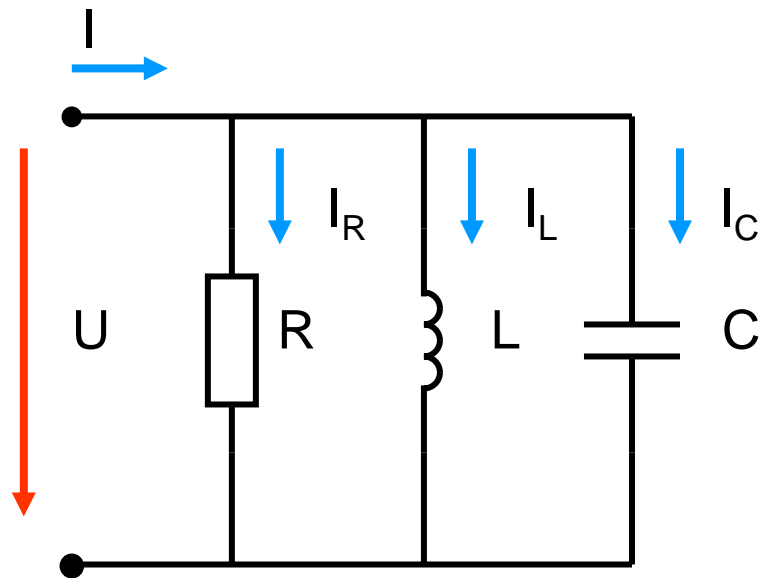
$$\varphi = \arctan \frac{(B_C - B_L)}{G}$$

$$\underline{Y} = Y \cdot e^{j\varphi} \quad \underline{Z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{1}{Y \cdot e^{j\varphi}} = \frac{1}{Y} \cdot e^{-j\varphi}$$









Transformation

Parallelschaltung in Reihenschaltung

$$\underline{Z} = R_R + jX_R = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{1}{G_P - jB_P} \quad \text{mit } G_P + jB_P \text{ erweitern}$$

$$R_R + jX_R = \frac{G_P + jB_P}{G_P^2 + B_P^2} = \frac{G_P}{G_P^2 + B_P^2} + j \frac{B_P}{G_P^2 + B_P^2}$$

$$R_R = \frac{G_P}{Y^2}$$

$$X_R = \frac{B_P}{Y^2}$$

$$j^2 = +1$$

$$j^3 = -1$$

$$j^4 = +1$$

$$\frac{1}{j} = -j$$

Transformation

Reihenschaltung in Parallelschaltung

$$\underline{Y} = G_P - jB_P = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{R_R + jX_R} \quad \text{mit } R_R - jX_R \text{ erweitern}$$

$$G_P - jB_P = \frac{R_R - jX_R}{R_R^2 + X_R^2} = \frac{R_R}{Z^2} - j \frac{X_R}{Z^2}$$

$$G_P = \frac{R_R}{Z^2}$$

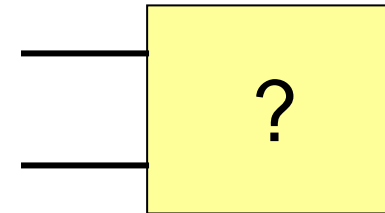
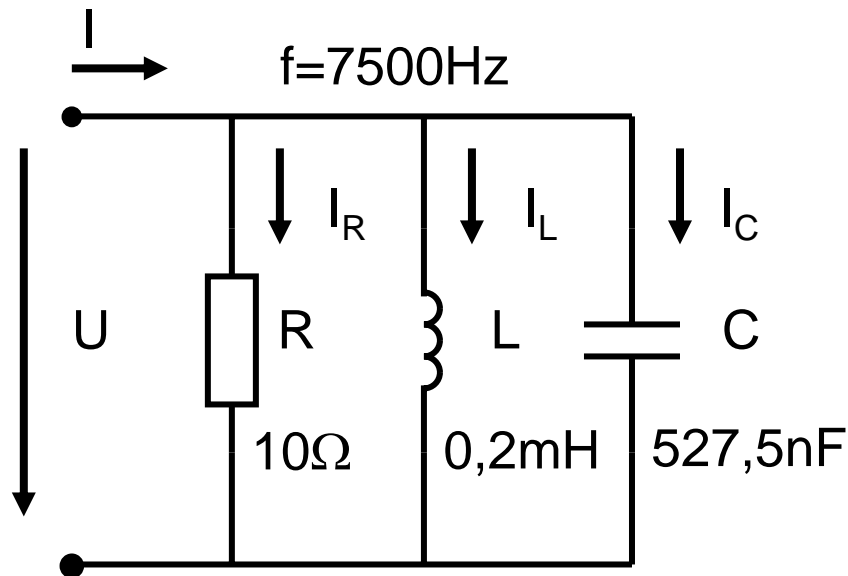
$$B_P = \frac{X_R}{Z^2}$$

$$j^2 = +1$$

$$j^3 = -1$$

$$j^4 = +1$$

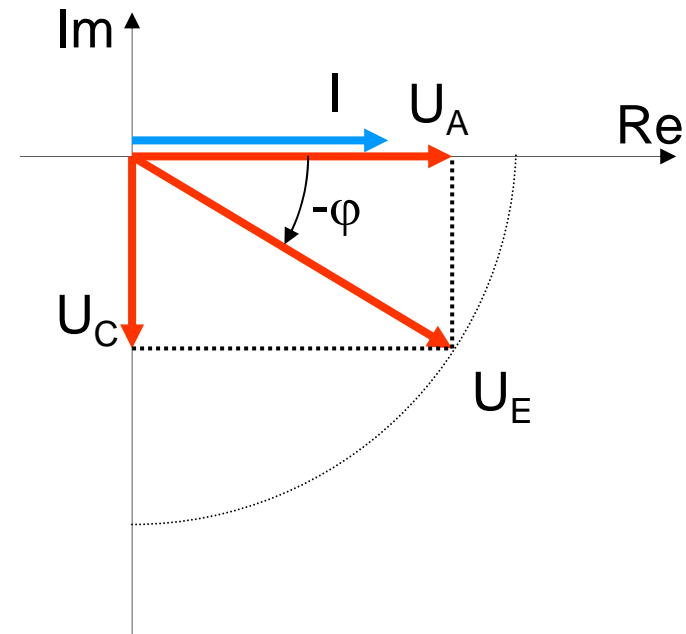
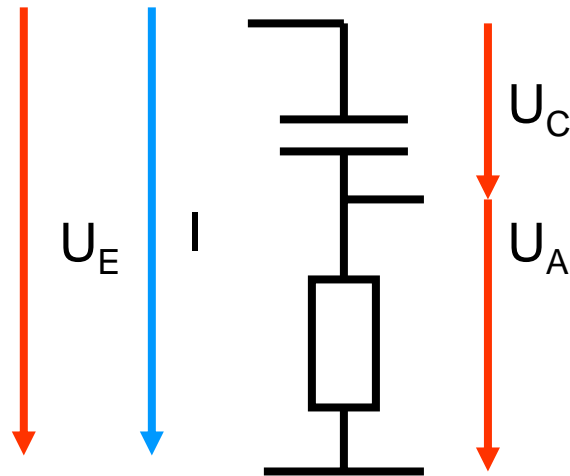
$$\frac{1}{j} = -j$$



Welche Phasenverschiebung ruft die Schaltung bei einer Frequenz von $f=7500\text{Hz}$ zwischen dem Gesamtstrom und der Spannung hervor, und durch welches Blindschaltelement (Kondensator oder Spule) und dem ohmschen Widerstand lässt sich für die angegebene Frequenz die Schaltung ersetzen.

CR - Glied

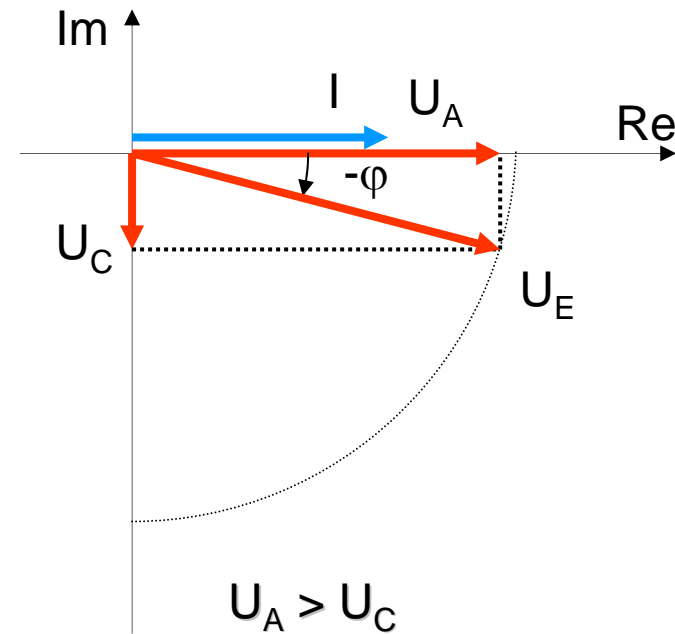
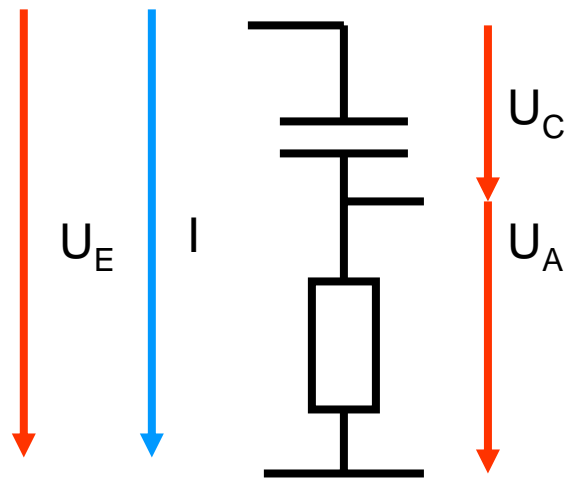
Zeiger am am CR - Glied



$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

CR - Glied

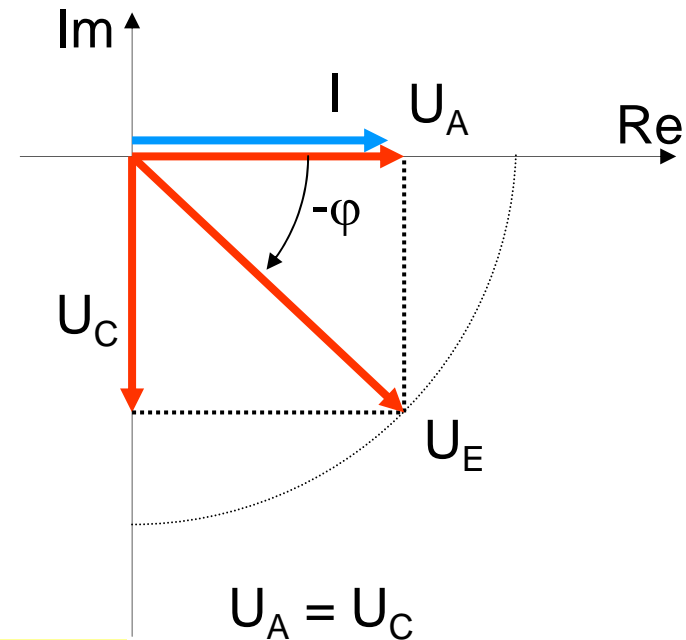
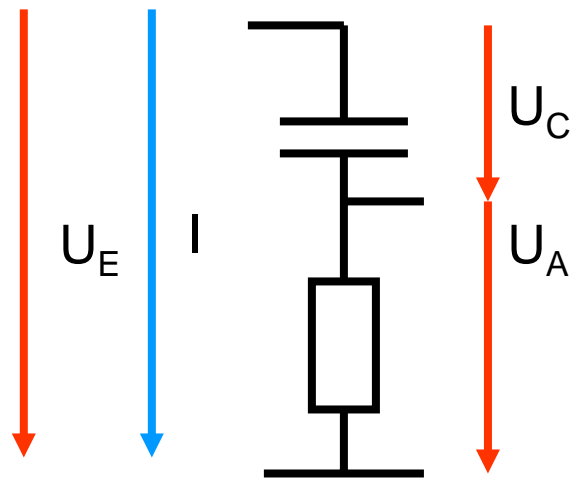
Zeiger am CR - Glied bei $R > X_C$



$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

CR - Glied

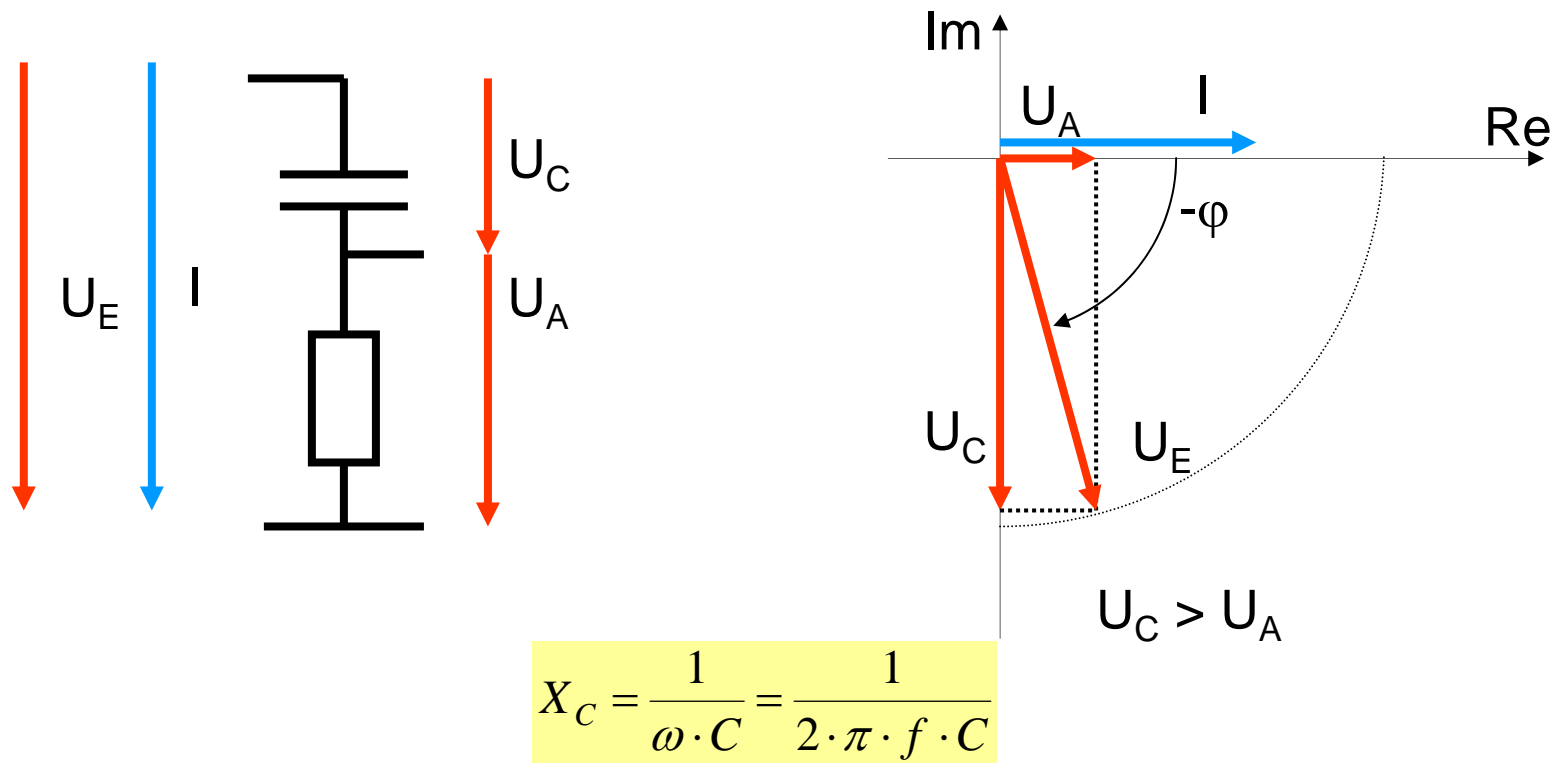
Zeiger am CR - Glied bei $R = X_C$



$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

CR - Glied

Zeiger am CR - Glied bei $R < X_C$



CR - Glied

Zeiger und Berechnungsgleichungen

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

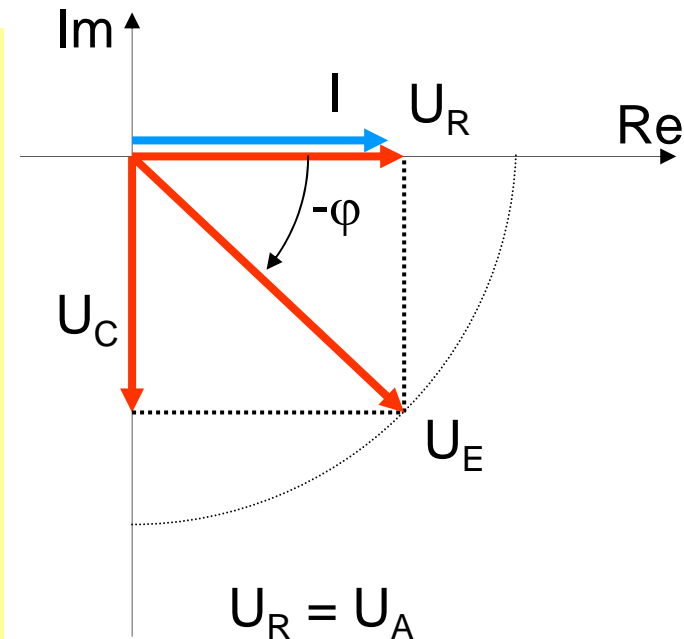
$$\varphi = \arctan \frac{-X_C}{R}$$

$$\underline{Z} = Z \cdot e^{j\varphi} \quad X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$\underline{U}_R = \frac{\underline{Z}_R}{\underline{Z}} \cdot \underline{U}_E$$

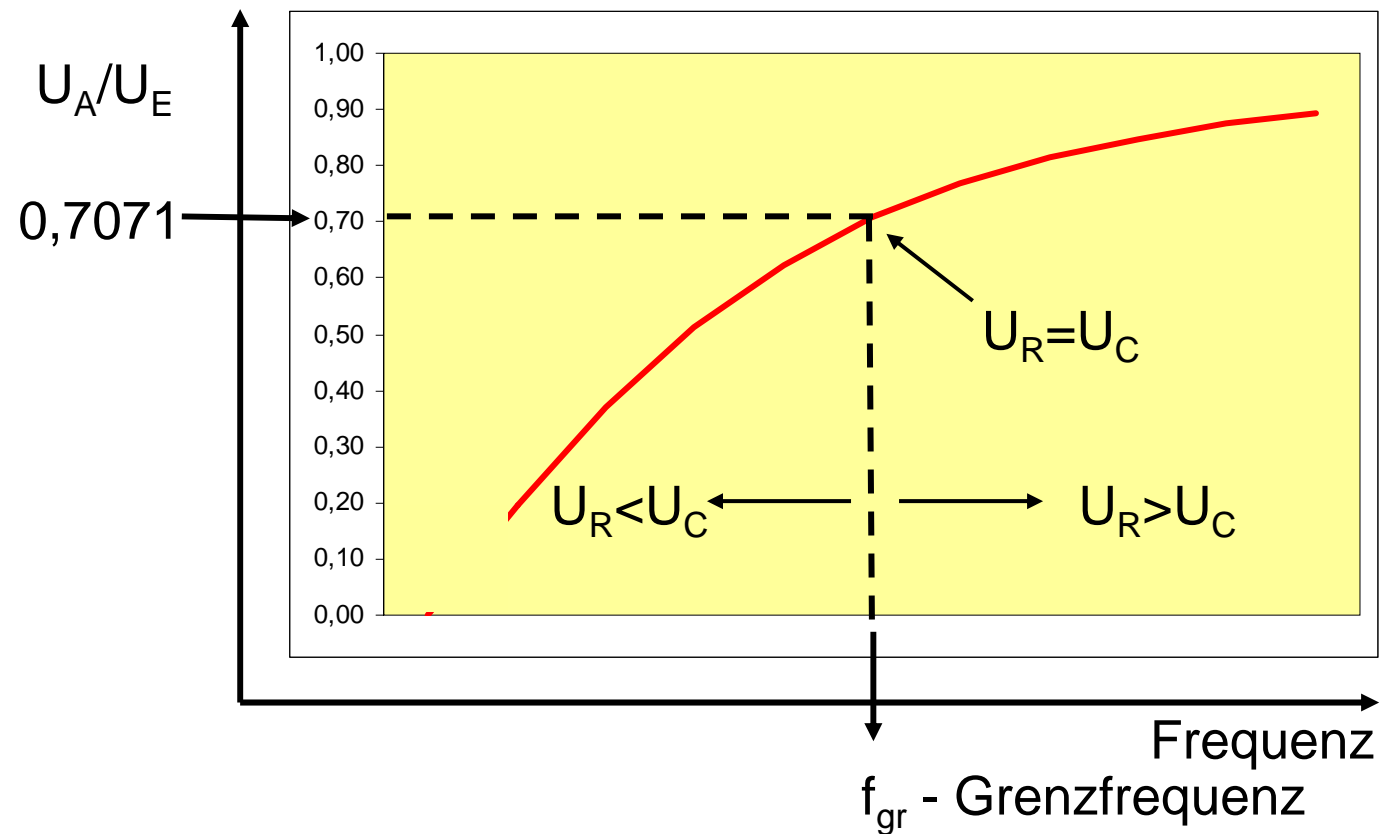
$$\underline{U}_R = \frac{R \cdot e^{j0^\circ}}{Z \cdot e^{-j\varphi}} \cdot U_E \cdot e^{j\varphi_u} = \frac{R}{Z} \cdot U_E \cdot e^{j(\varphi + \varphi_u)}$$

$$\underline{U}_R = \frac{R \cdot U_E}{\sqrt{R^2 + (-X_C)^2}} \cdot e^{j(\varphi + \varphi_u)}$$



CR - Glied

CR - Glied als Hochpassfilter



CR - Glied

Grenzfrequenzberechnung für das Hochpassfilter

$$U_C = U_R$$

$$I \cdot X_C = I \cdot R$$

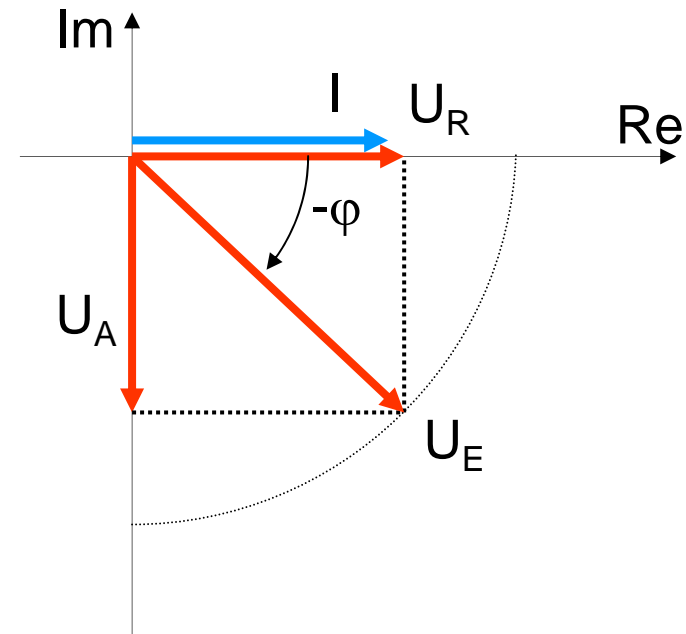
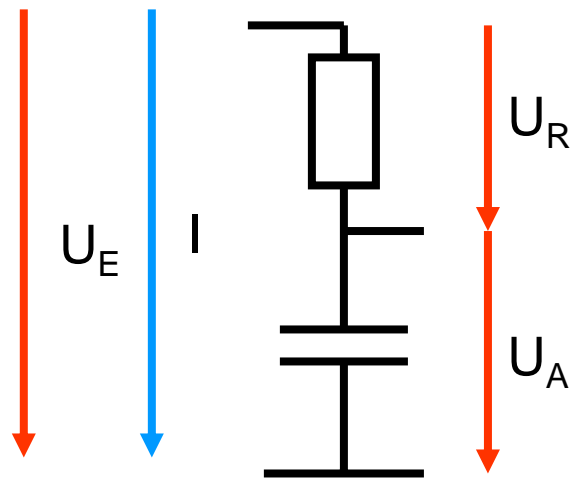
$$X_C = R$$

$$\frac{1}{\omega \cdot C} = R$$

$$f_{gr} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot R}$$

RC - Glied

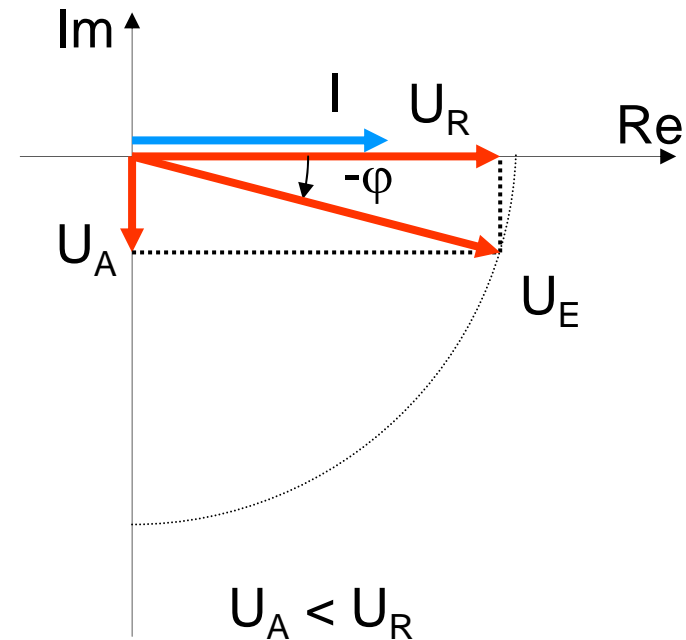
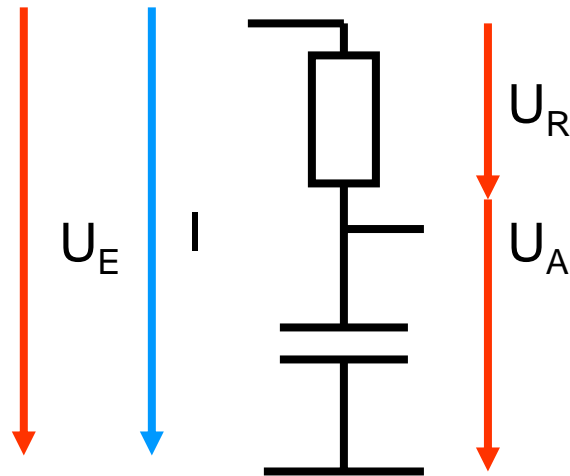
Zeiger am RC - Glied



$$U_C = U_R$$

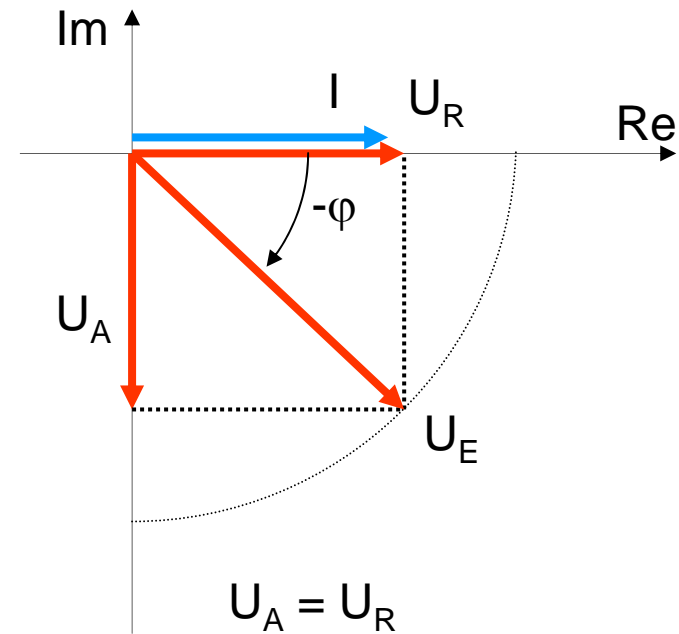
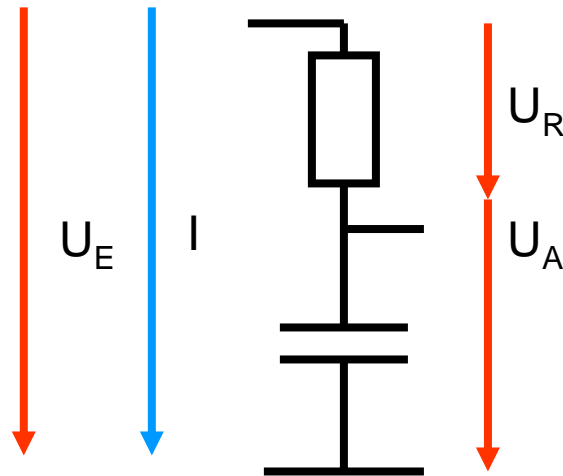
RC - Glied

Zeiger am RC - Glied bei $R > X_C$



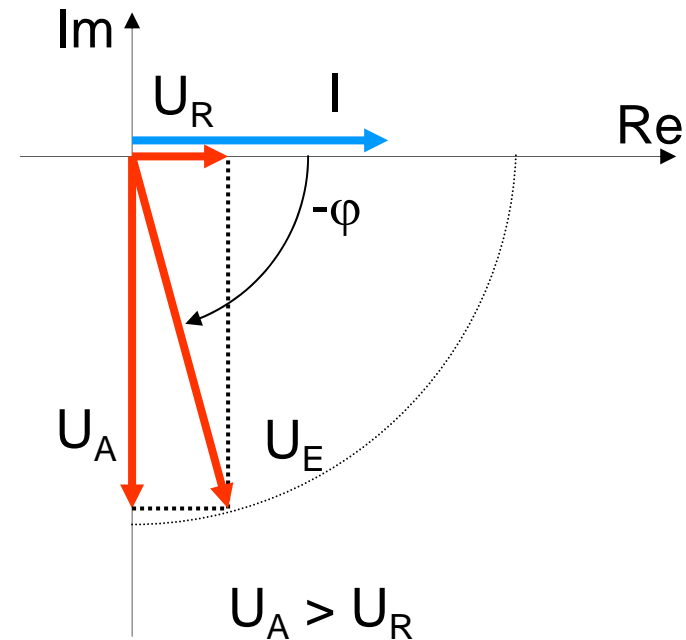
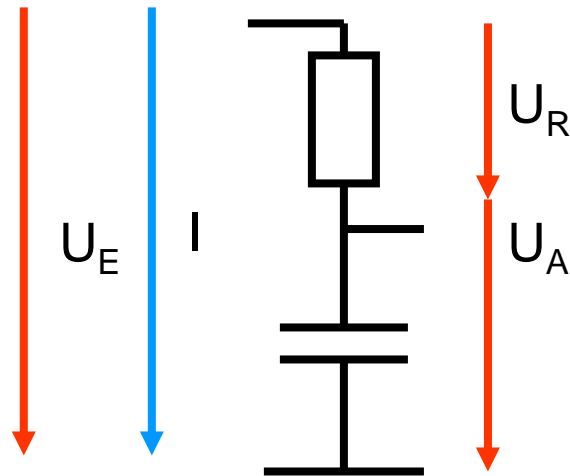
RC - Glied

Zeiger am RC - Glied bei $R = X_C$



RC - Glied

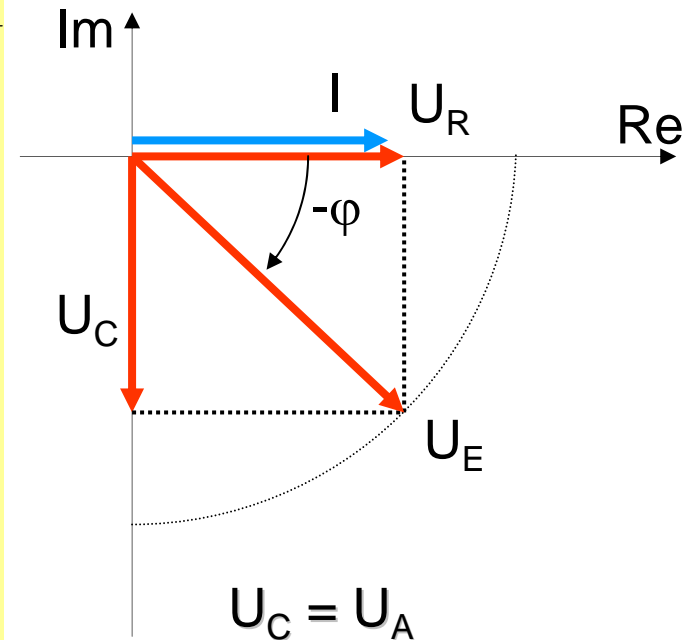
Zeiger am RC - Glied bei $R < X_C$



RC - Glied

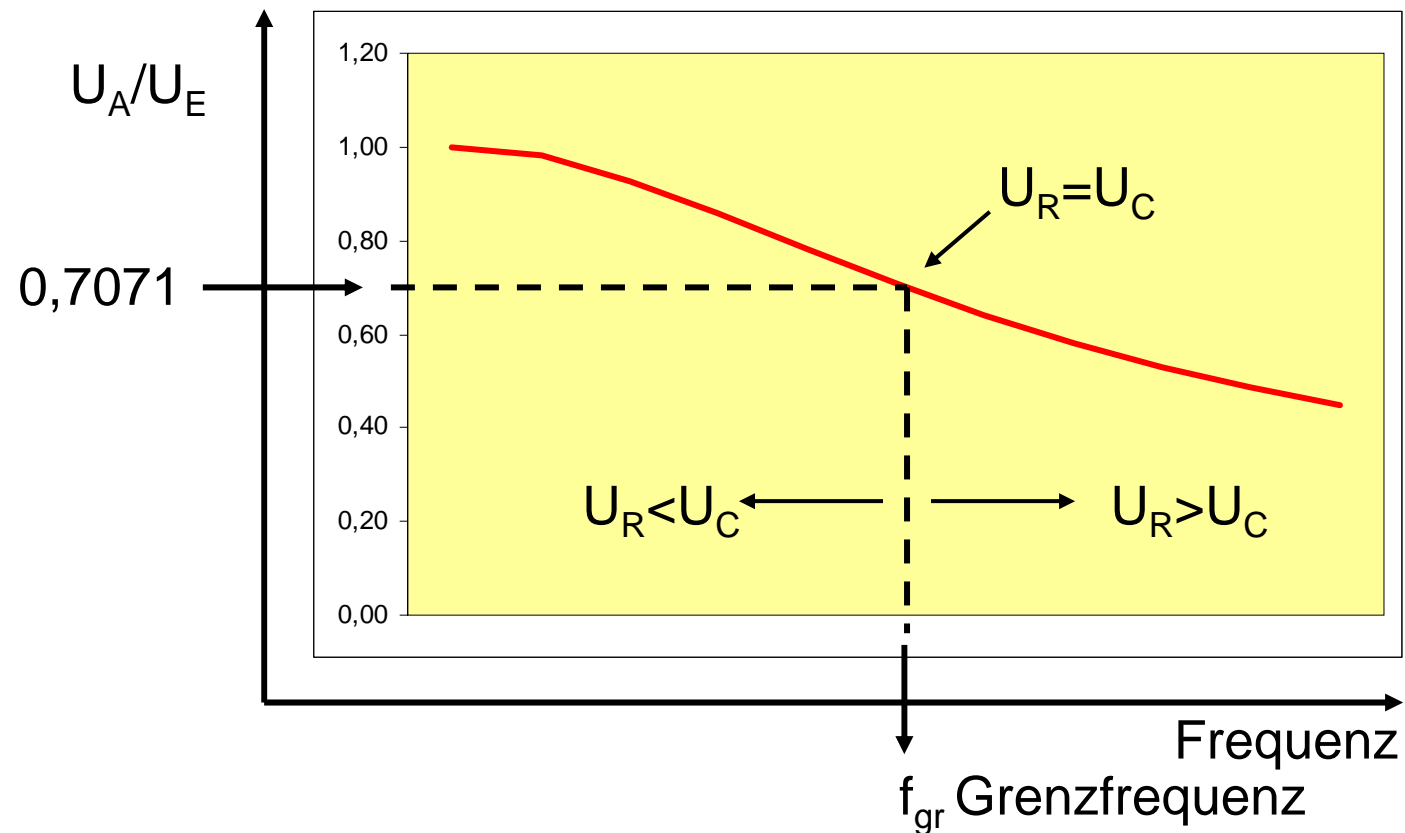
Zeiger und Berechnungsgleichungen

$$Z = \sqrt{R^2 + (-X_C)^2} \quad X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$
$$\varphi = \arctan \frac{-X_C}{R}$$
$$\underline{Z} = Z \cdot e^{j\varphi}$$
$$\underline{U}_C = \frac{\underline{Z}_C}{\underline{Z}} \cdot \underline{U}_E$$
$$\underline{U}_C = \frac{X_C \cdot e^{-j90^\circ}}{Z \cdot e^{-j\varphi}} \cdot U_E \cdot e^{j\varphi_u}$$
$$\underline{U}_C = \frac{X_C}{Z} \cdot U_E \cdot e^{j(-j90^\circ + \varphi + \varphi_u)}$$
$$\underline{U}_C = \frac{X_C \cdot U_E}{\sqrt{R^2 + (-X_C)^2}} \cdot e^{j(-j90^\circ + \varphi + \varphi_u)}$$



RC - Glied

RC - Glied als Tiefpassfilter



RC - Glied

Grenzfrequenzberechnung für das Tiefpassfilter

$$U_C = U_R$$

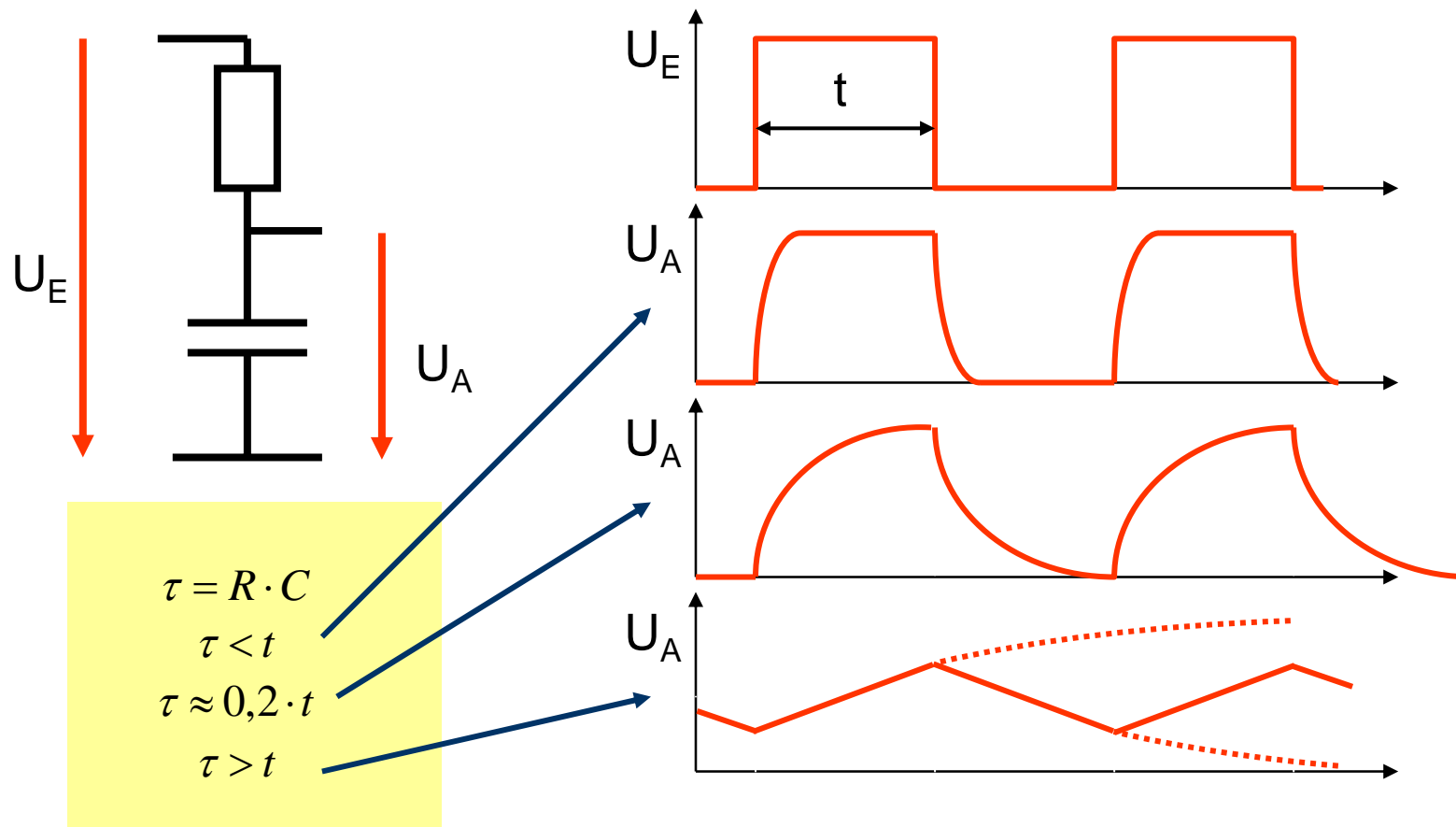
$$I \cdot X_C = I \cdot R$$

$$X_C = R$$

$$\frac{1}{\omega \cdot C} = R$$

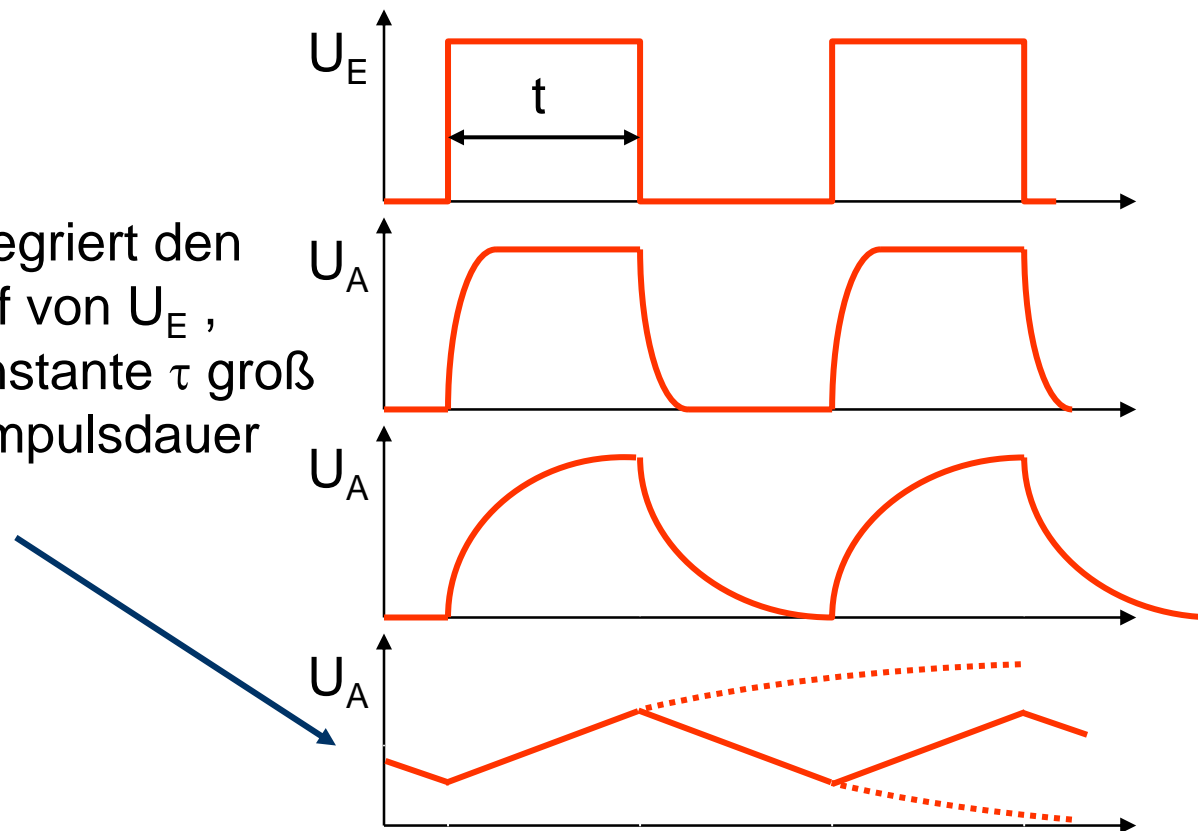
$$f_{gr} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot R}$$

RC - Glied als Integrierglied

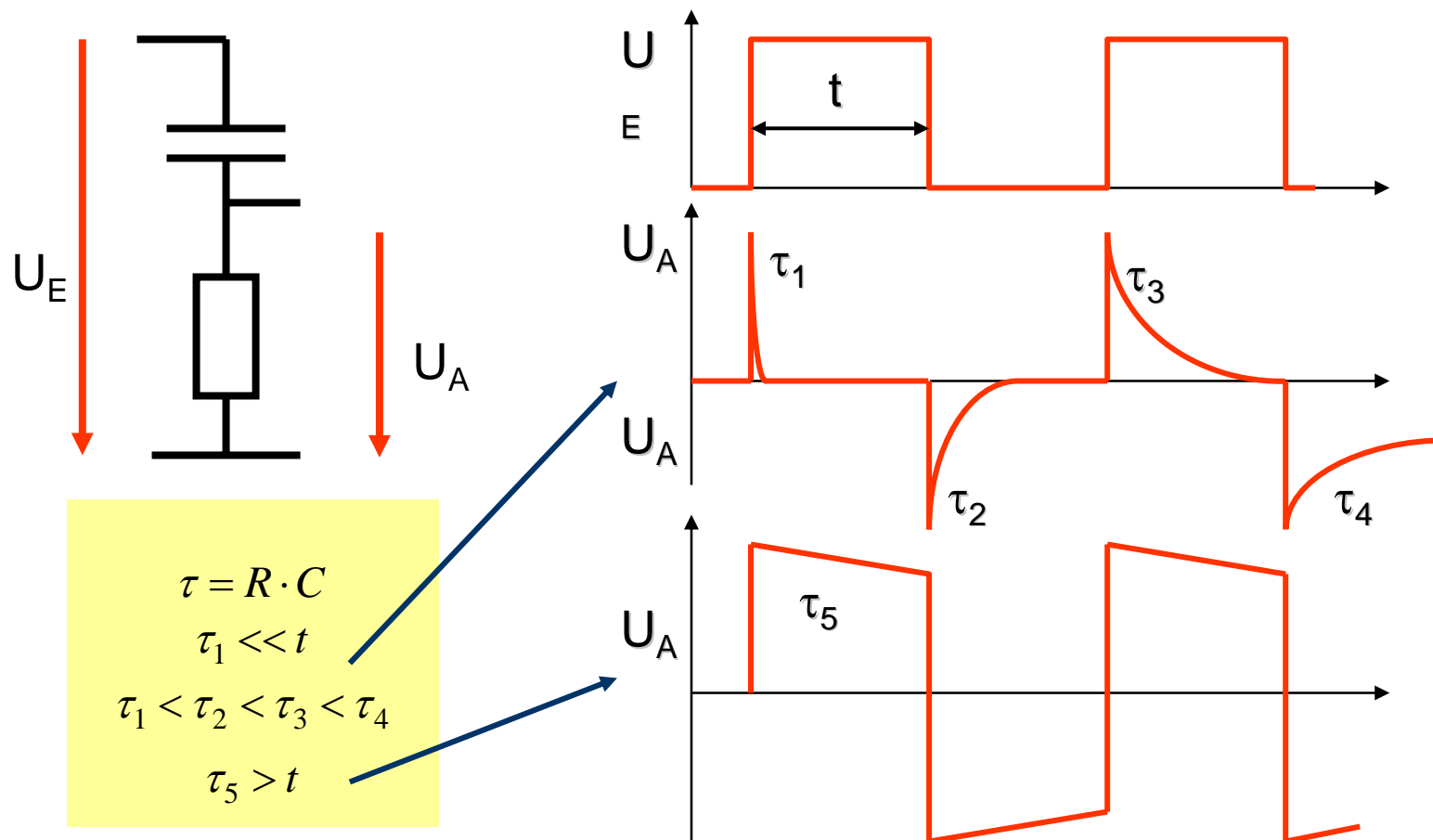


RC - Glied als Integrierglied

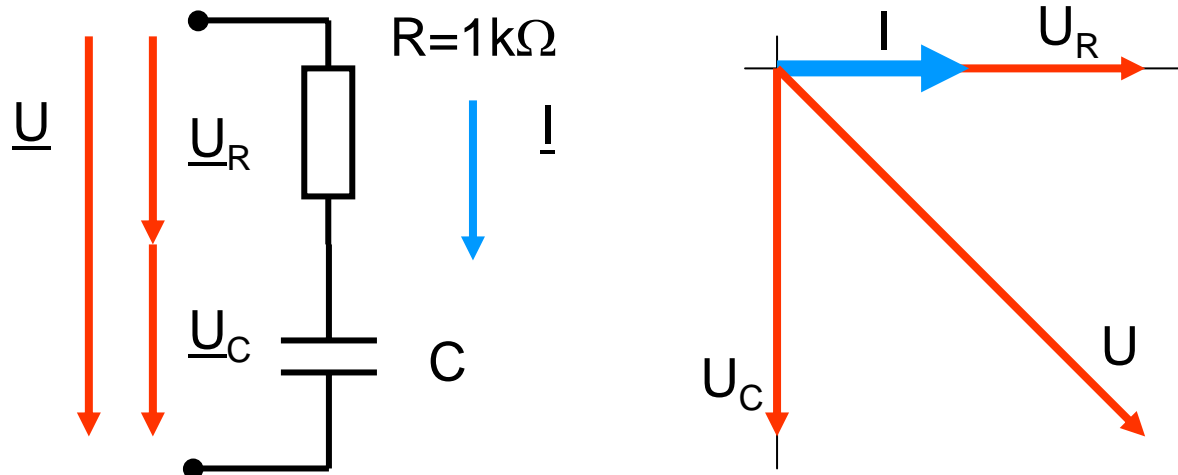
Ein RC-Glied integriert den zeitlichen Verlauf von U_E , wenn die Zeitkonstante τ groß gegenüber der Impulsdauer von U_E ist.



CR - Glied als Differenzierglied



Berechnung von Phasenverschiebungen

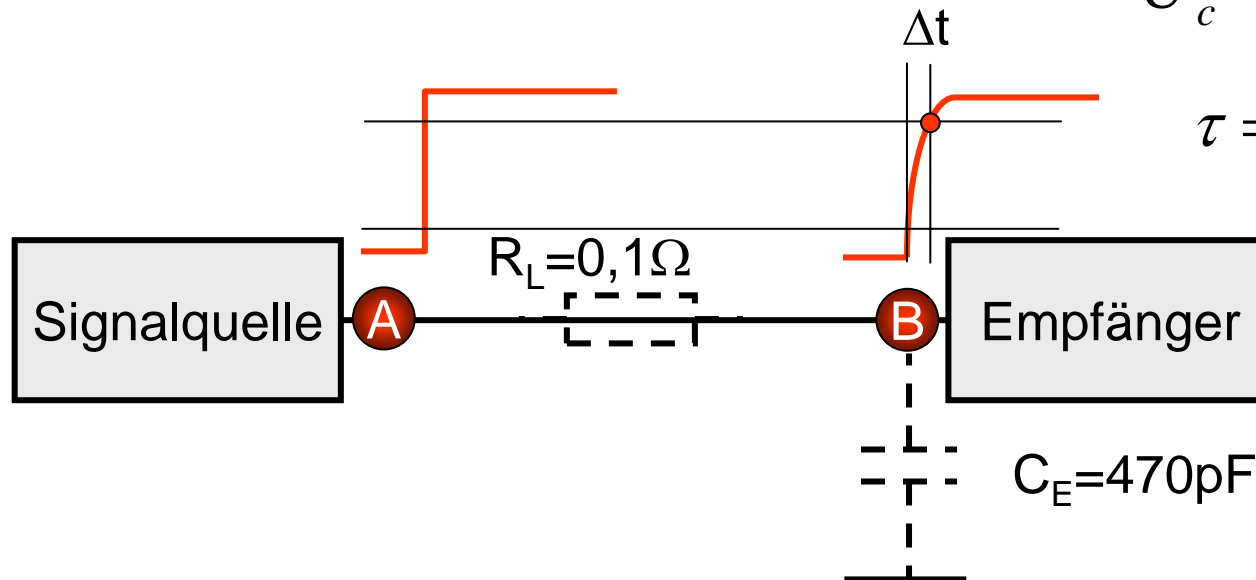


Berechnen Sie C für eine Grenzfrequenz von 1 kHz .
Welche Phasenverschiebung zwischen \underline{U} und \underline{U}_C
ergibt sich für das berechnete C bei einer Frequenz von 20 kHz ?

Berechnung von Laufzeiten in Digitalen Schaltungen

Berechnen Sie die Spannung am Knotenpunkt B,
5 Nanosekunden nach Auftreten einer LH Flanke
Von 0 auf 5V am Knotenpunkt A.

$$U_c = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \right)$$
$$\tau = R \cdot C$$



- Darstellung der Grundgrößen
 - Strom
 - Spannung
 - Frequenz
- Rechnen mit komplexen Zahlen
- Impedanz, Wirk- und Blindwiderstand
- Einfache Netzwerksberechnung
- Elektrisches Verhalten von CR- und RC Gliedern