

ET I Übung 11

Aufbau:

- Fragen zu letzter Woche
 - Nachbesprechen alter Serie
 - Theorie Repetition
- (Pause)
- Alte Prüfungsaufgabe zusammen
 - Tipps



n.ethz.ch/~kursulovic

Mindmap

$U = \text{const.}$

Zeitunabhängige
Spannungen und Ströme

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

Zeitabhängige
Spannungen und Ströme

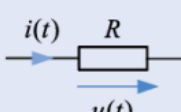
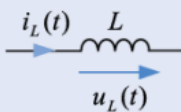
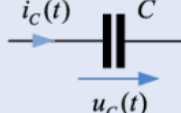
Kenngrößen

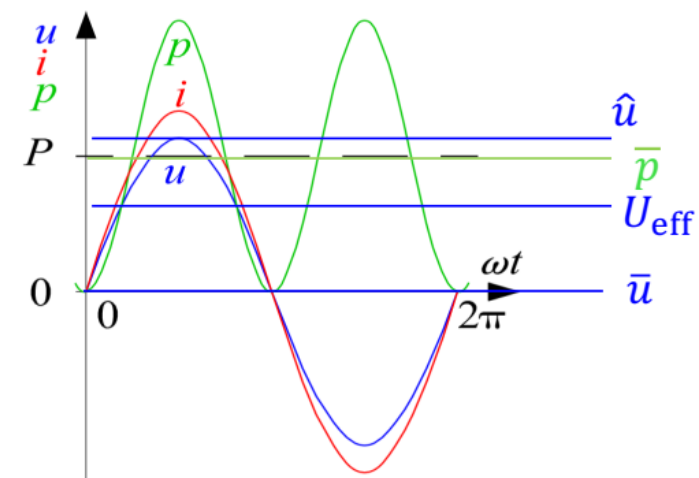
$\hat{u}$ Spitzenwert

u_{ss} Spitze-Spitze-Wert

$\bar{u}$ Mittelwert

U_{eff} Effektivwert

Komponente	Spannung	Strom
	$u(t) = R i(t)$	$i(t) = \frac{1}{R} u(t)$
	$u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$	$i_L(t) = \frac{1}{L} \int u_L(t) dt$
	$u_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt$	$i_C(t) = C \frac{du_C(t)}{dt}$



STROM / SPANNUNG DURCH SPULEN (Induktivitäten) —

Aus Magnetismus wissen wir:

$$U_L(t) = \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{di(t)}{dt} \Rightarrow U_L = L \frac{di(t)}{dt} \xRightarrow{\text{umstellen \& integrieren}} i_L(t) = \frac{1}{L} \int_0^t U_L dt$$

Was heisst das für uns? :

Reminder Aufg. 7 Serie 9 Zündkerze

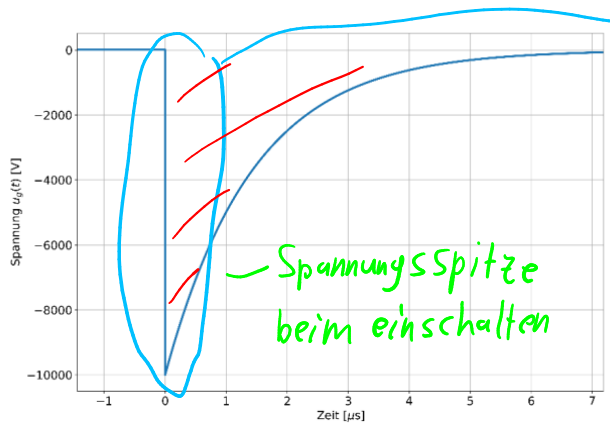


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Zündspannung

Spannung:

⇒ Auf einmal fliesst Strom beim einschalten

⇒ Grosse Flussänderung in Spule (von 0 auf etwas)

⇒ $\frac{di(t)}{dt} \gg$

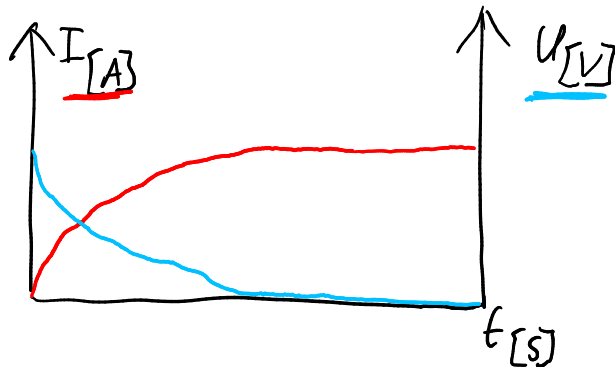
Strom:

⇒ Der Strom steigt stetig in der Spule (Aufbau Magnetfeld)

⇒ Steigt an bis die Spannung wieder 0 ist, danach konst.
(Spulenspannung wirkt der originalspannung entgegen)

⇒ Zuerst kommt die Spannung dann der Strom ⇒ In spulen gilt: Spannung: Voreilend

Strom: Nacheilend

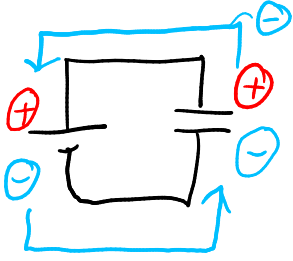


STROM / SPANNUNG DURCH KONDIS (Kapazitäten) - II

Aus den ersten paar Wochen kennen wir die definition des Stromes:

$$i(t) = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dU_C(t)}{dt} \Rightarrow i_C(t) = C \frac{dU_C(t)}{dt} \xrightarrow[\Rightarrow]{\text{umstellen \& integrieren}} U_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt$$

Wir haben gesehen Kondensatoren sind wie Batterien, sie können aufgeladen werden.



Wir haben aus der Elektrostatik gesehen, dass sich Ladungen praktisch instantan übertragen.

Strom:

$\Rightarrow$ Ladungsübertragung mit C ^{lichtgeschw.}

$\Rightarrow$ Nach einiger Zeit sind alle Ladungen auf beide Platten übertragen, $i = 0$

Spannung:

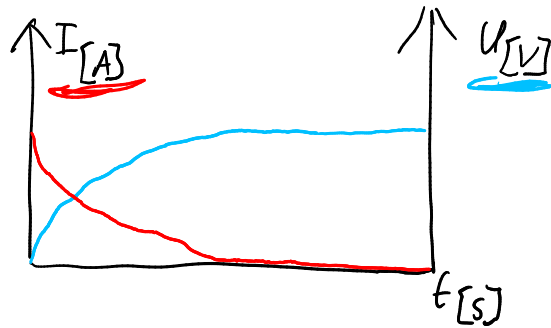
$\Rightarrow$ Der Kondensator hat eine Kapazität zur Ladungsaufnahme

$\Rightarrow$ Je mehr Ladungen übertragen werden, desto höher die Spannung

$\Rightarrow$ Irgendwann ist der Kondensator voll geladen

$\Rightarrow$ Zuerst kommt der Strom dann die Spannung $\Rightarrow$ In Kondis gilt: Strom: Voreilend

Spannung: Nacheilend

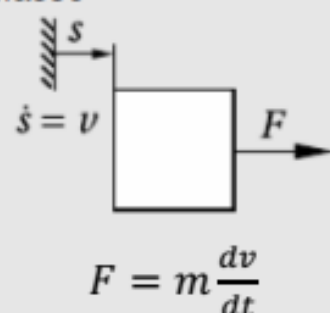


Komponente	Spannung	Strom	Gleichung
	$u(t) = R i(t)$	$i(t) = \frac{1}{R} u(t)$	(7.3)
	$u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$	$i_L(t) = \frac{1}{L} \int u_L(t) dt$	(7.4)
	$u_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt$	$i_C(t) = C \frac{du_C(t)}{dt}$	(7.5)

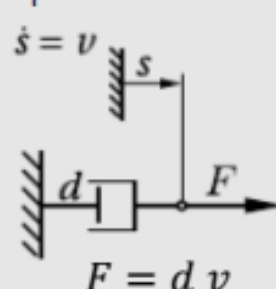
Analogie mechanische und elektrische Bauteile

Mechanisch

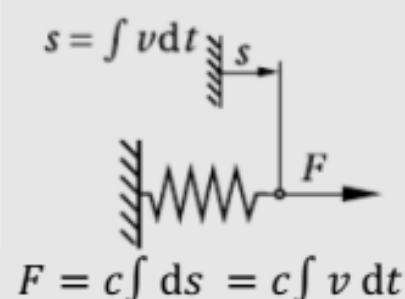
Masse



Dämpfer

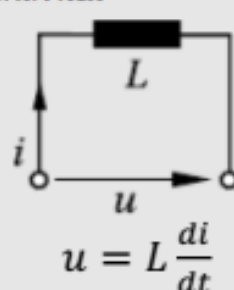


Feder



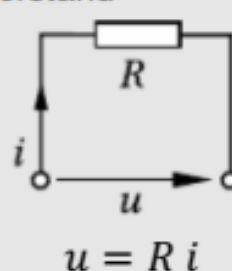
Elektrisch

Induktivität



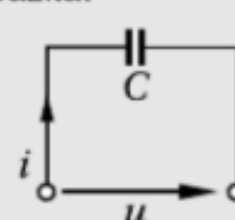
«Trägheit»

Widerstand



«Dämpfung»

Kapazität

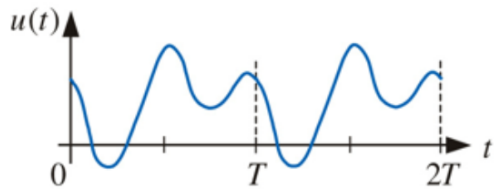


«Federung»

Bilder: «Mechatronik. Komponenten – Methoden – Beispiele», Heimann et al., 4. Auflage

KENNGRÖSSEN IM WECHSELSTROM

Signale können Periodisch sein:

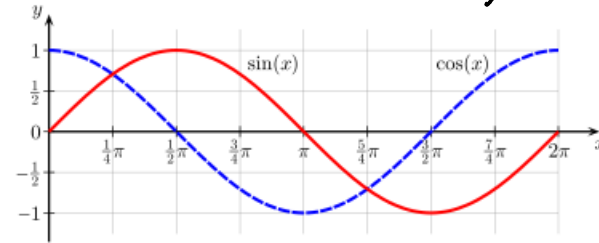


Periodendauer! $T [s]$

frequenz! $f [Hz]$

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

Für sinusförmige Signale:



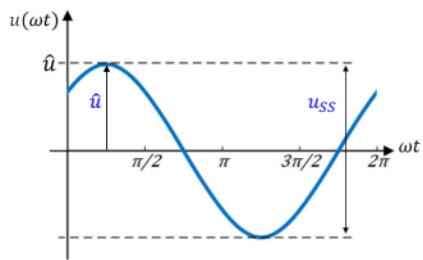
Position! $\varphi [rad]$

Geschwindigkeit! $\omega [\frac{rad}{s}]$

(Kreisfrequenz)

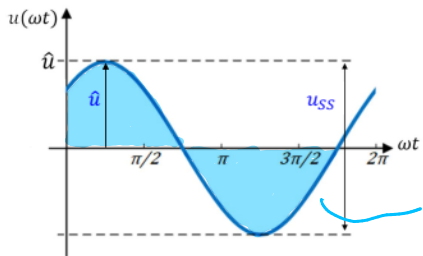
$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

$$(\varphi = \omega \cdot t)$$



Spitzenwert! $\hat{u} = |u|_{max}$

Spitze-Spitze-Wert! $u_{SS} = 2\hat{u}$
(-Tal)



Mittelwert! $\bar{u} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt$ (weniger nützlich)

über eine Periode
hier $\bar{u} = 0$

⇒ Effektivwert! $V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t)^2 dt}$

für sinusförmige! $V_{eff} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$, $I_{eff} = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$

Für Leistung gilt weiterhin!

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

Mittelwert

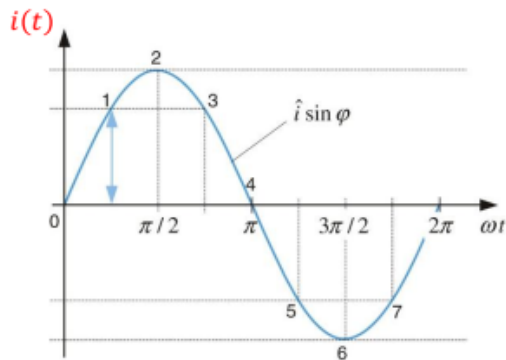
$$\Rightarrow \bar{P} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt = V_{eff} \cdot I_{eff}$$

PUI gilt hiermit weiterhin!

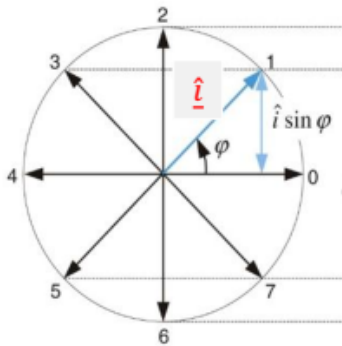
Mindmap

Zeitbereich

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


Frequenzbereich

$$= \operatorname{Re}\{\underline{\hat{u}} \cdot e^{j\omega t}\}$$

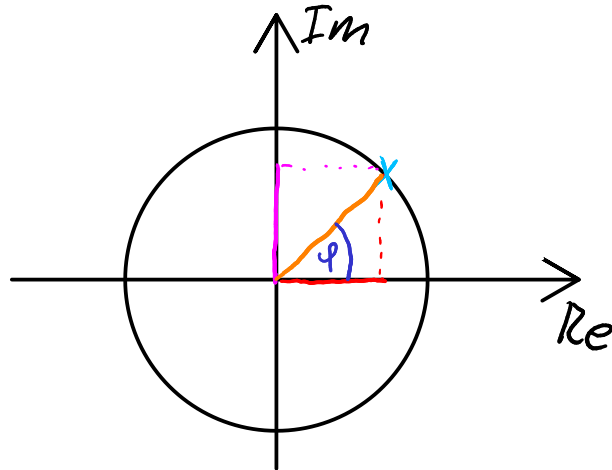

Komplexe Impedanz $\underline{\hat{u}} = \underline{Z} \cdot \underline{\hat{i}}$

Komponente	Spannung	Strom	Impedanz
	$\underline{\hat{u}} = R \underline{\hat{i}}$	$\underline{\hat{i}} = \underline{\hat{u}} / R$	$\underline{Z}_R = R$
	$\underline{\hat{u}} = j\omega L \underline{\hat{i}}$	$\underline{\hat{i}} = \frac{\underline{\hat{u}}}{j\omega L}$	$\underline{Z}_L = j\omega L \stackrel{(8.13)}{=} jX_L$
	$\underline{\hat{u}} = \frac{1}{j\omega C} \underline{\hat{i}}$	$\underline{\hat{i}} = j\omega C \underline{\hat{u}}$	$\underline{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = jX_C$ mit $X_C = -\frac{1}{\omega C}$

Komponente	Spannung	Strom
	$u(t) = R i(t)$	$i(t) = \frac{1}{R} u(t)$
	$u_L(t) = L \frac{d i_L(t)}{dt}$	$i_L(t) = \frac{1}{L} \int u_L(t) dt$
	$u_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt$	$i_C(t) = C \frac{d u_C(t)}{dt}$

REPETITION KOMPLEXE ZAHLEN

Komplexe Ebene:



analog: $s = v \cdot t$

Zwei darstellungsarten eines Punktes

Algebraisch: $z = a + j b$ wobei $\operatorname{Re}\{z\} = a$ und $\operatorname{Im}\{z\} = b$

Polar darstellung:

$$z = r(\cos(\varphi) + j \sin(\varphi)) = r e^{j\varphi} = r e^{j\omega t}, \text{ wobei } \omega \text{ von der Frequenz abhängt.}$$

Algebraisch $\rightarrow$ Polar:

$$r = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \varphi = \operatorname{atan2}\left(\frac{b}{a}\right)$$

Polar $\rightarrow$ Algebraisch:

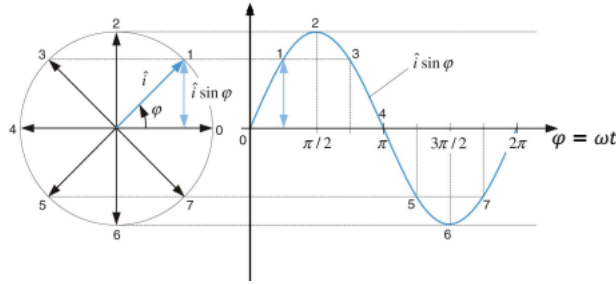
$$a = r \cos(\varphi) \quad b = r \sin(\varphi)$$

Originaler atan ist nur für $[0, \frac{\pi}{2}]$ definiert $\Rightarrow$ Rücksicht nehmen in welchem Quadranten man ist.

*Reminder: Es gilt $\varphi = \omega t$

Die Komplexe Ebene widerspiegelt den Frequenz Raum (Zeiger Raum)

BERECHNUNG VON WECHSELSTROMKREISEN (mit Sinusförmigen Spannungen)



- Wir können also Spannungen/Ströme aus dem Zeitraum $\rightarrow$ Frequenzraum übertragen;

$$i(t) = \underbrace{\hat{i}}_{\text{Amplitude}} \sin(\omega t + \varphi_0) \leftrightarrow \hat{i} e^{j(\omega t + \varphi_0)}$$

- Uns interessiert meist nur der Phasenoffset φ_0

$\Rightarrow$ Wir definieren daher die komplexe Amplitude

$$\underline{\hat{i}} = \hat{i} e^{j\varphi_0}$$

heißt komplex

analog für Spannung

Je nachdem, ob die Spannung/Ström sinus- oder cosinusförmig ist gilt:

$$u(t) = \hat{u} \cos(\omega t + \varphi_0) = \operatorname{Re}\{\underline{\hat{u}} e^{j\omega t}\} \quad \text{bzw.} \quad u(t) = \hat{u} \sin(\omega t + \varphi_0) = \operatorname{Im}\{\underline{\hat{u}} e^{j\omega t}\}$$

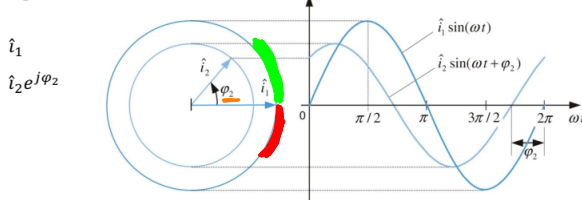
PS:

$$\sin(\omega t + \varphi_0) = \cos(\omega t + \varphi_0 - \frac{\pi}{2})$$

Weiterhin gilt: (wenn $\hat{i}_1$ als referenz)

Zeigernotation

Zeitbereichsnotation



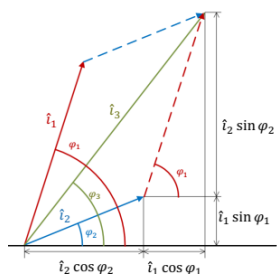
Vorausilend

Nacheilend

Anmerkung! Spannungs & Stromquellen können wie gewohnt superpositioniert werden.

Geometrische addition von Spannungen/Ströme:

* Dabei müssen φ_n und $\hat{i}_n$ entsprechend skaliert werden



Komplexe addition:

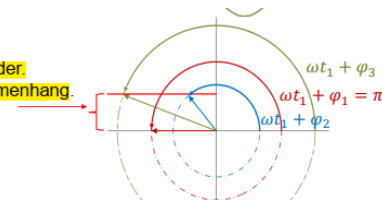
$$\underline{\hat{i}}_3 = \underline{\hat{i}}_1 + \underline{\hat{i}}_2$$

Wir schauen uns hier nur die phasenverschiebung φ_0 und Amplituden $\hat{i}$ zueinander an, nicht den Zustand zu einem bestimmten Zeitpunkt t

Im Zeigerraum:

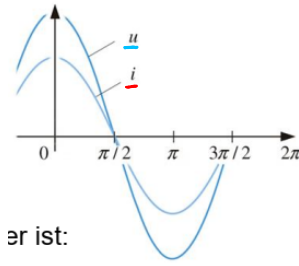
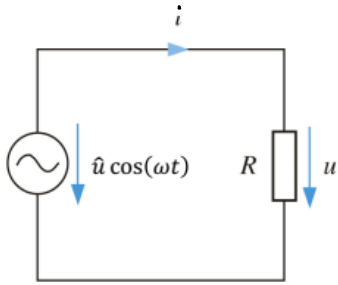
Die Zeiger behalten ihre relative Positionen zueinander.

Man sieht die Amplituden und den zeitlichen Zusammenhang.



KOMPLEXE IMPEDANZEN (frequenzabhängige Widerstände)

Widerstände: $\Rightarrow \underline{u}$ und $\underline{i}$ in phase



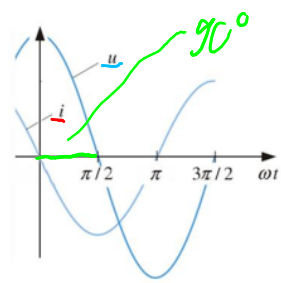
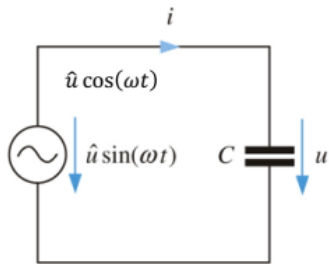
$$\underline{\hat{u}} = R \cdot \underline{\hat{i}}$$

$= \underline{Z}_R$ steht für Impedanz
(R ist nicht von ω bzw f abhängig)

er ist:

Kapazitäten: von oben wissen wir $\underline{i}$ eilt $\underline{u}$ voraus

beim Kondi hergeleitet



$$\underline{u}_{(t)} = \underline{\hat{u}} \cdot e^{j\omega t}, \quad \underline{i}_{(t)} = \underline{\hat{i}} e^{j\omega t} = C \frac{d\underline{u}_{(t)}}{dt} = C j\omega \underline{\hat{u}} e^{j\omega t} \Rightarrow \underline{\hat{u}} = \frac{1}{C j\omega} \underline{\hat{i}} = \underline{Z}_C \underline{\hat{i}}$$

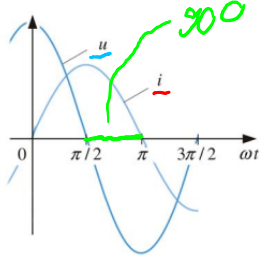
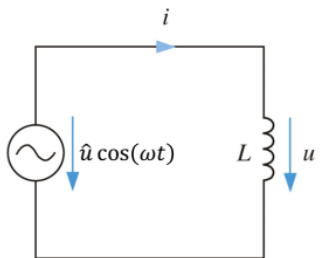
$\Rightarrow \omega \rightarrow 0, \underline{Z}_C \rightarrow \infty$ (Leerlauf)

$\Rightarrow \omega \rightarrow \infty, \underline{Z}_C \rightarrow 0$ (Kurzschluss)

Wobei: $X_C = \frac{1}{\omega C}$ der kapazitive Blindwiderstand ist

und: $B_C = \omega C$ der kapazitive Blindleitwert

Induktivitäten: von oben wissen wir $\underline{i}$ eilt $\underline{u}$ nach



$$\underline{u}_{(t)} = \underline{\hat{u}} e^{j\omega t}, \quad \underline{i}_{(t)} = \underline{\hat{i}} e^{j\omega t} = \frac{1}{L} \int \underline{u}_{(t)} dt = \frac{1}{L j\omega} \underline{\hat{u}} e^{j\omega t} \Rightarrow \underline{\hat{u}} = L j\omega \underline{\hat{i}} = \underline{Z}_L \underline{\hat{i}}$$

$\Rightarrow \omega \rightarrow \infty, \underline{Z}_L \rightarrow \infty$ (Leerlauf)

$\Rightarrow \omega \rightarrow 0, \underline{Z}_L \rightarrow 0$ (Kurzschluss)

Wobei: $X_L = \omega L$ der Induktive Blindwiderstand ist

und: $B_L = \frac{1}{\omega L}$ der Induktive Blindleitwert

ANALOGIEN ZUR GLEICHSTROMRECHNUNG

- Was der Leitwert G zum Widerstand R ist, ist die Admittanz Y zur Impedanz $Z \Rightarrow Y = \frac{1}{Z}$
- URI kann verallgemeinert werden zu: $\underline{U} = Z \underline{I}$

Es gelten nun folgende Beziehungen:

Komponente	Spannung	Strom	Impedanz	Admittanz	Gl.
	$\hat{u} = R \hat{i}$	$\hat{i} = \hat{u} / R$	$Z_R = R$	$Y_R = \frac{1}{R} = G$	(8.28)
	$\hat{u} = j\omega L \hat{i}$	$\hat{i} = \frac{\hat{u}}{j\omega L}$	$Z_L = j\omega L \stackrel{(8.13)}{=} jX_L$	$Y_L = \frac{1}{j\omega L} = jB_L$	(8.29)
				mit $B_L = -\frac{1}{\omega L}$	
	$\hat{u} = \frac{1}{j\omega C} \hat{i}$	$\hat{i} = j\omega C \hat{u}$	$Z_C = \frac{1}{j\omega C} = jX_C$	$Y_C = j\omega C \stackrel{(8.15)}{=} jB_C$	(8.30)
				mit $X_C = -\frac{1}{\omega C}$	

Zeitabhängige Spannung	Komplexe Amplitude <i>zeit unabhängig</i>
$\hat{u} \cos \omega t$	$\underline{\hat{u}} = \hat{u}$
$\hat{u} \cos(\omega t + \varphi_u)$	$\underline{\hat{u}} = \hat{u} e^{j\varphi_u}$
$\hat{u} \sin \omega t = \hat{u} \cos(\omega t - \pi/2)$	$\underline{\hat{u}} = \hat{u} e^{-j\pi/2}$
$\hat{u} \sin(\omega t + \varphi_u)$	$\underline{\hat{u}} = \hat{u} e^{j(\varphi_u - \pi/2)}$

Weiterhin gilt:

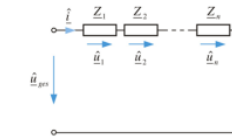
Maschenregel

$$\sum_{\text{Masche}} \hat{u}_j = 0$$

Knotenregel

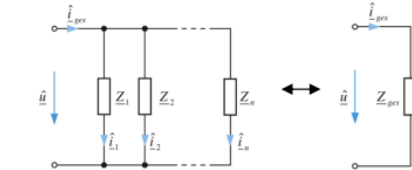
$$\sum_{\text{Knoten}} \hat{i}_j = 0$$

Reihenschaltung:
Impedanz-Addition



$$Z_{\text{ges}} = \sum_{k=1}^n Z_k$$

Parallelschaltung:
Admittanz-Addition



$$Y_{\text{ges}} = \sum_{k=1}^n Y_k$$

$$\frac{1}{Z_{\text{ges}}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{Z_k}$$

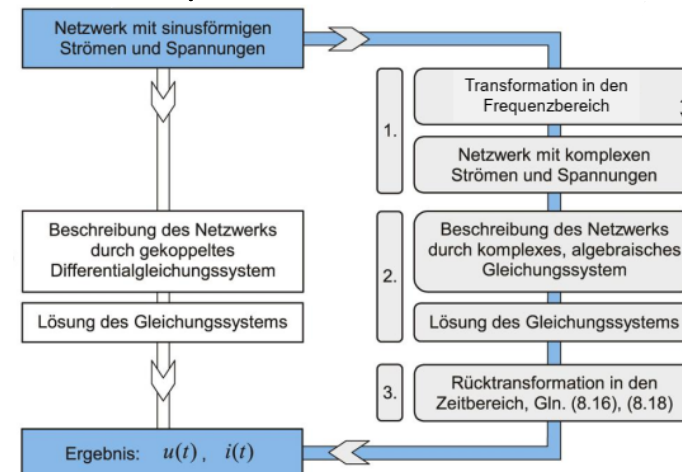
Spannungsteiler

$$\frac{\hat{u}_1}{\hat{u}_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Stromteiler

$$\frac{\hat{i}_1}{\hat{i}_2} = \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Neue Vorgehensweise!



(Siehe Vorlesungsslide für Beispiel)

4. Wechselstrom

6 Punkte

Betrachten Sie die Schaltung in Abb. 7.

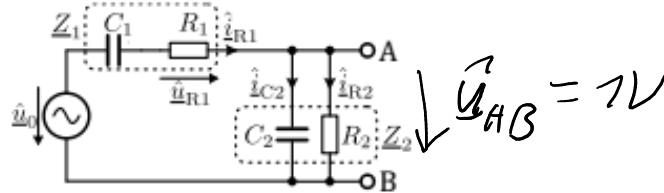


Abb. 7

- (a) Berechnen Sie die komplexen Impedanzen $\underline{Z}_1$, bestehend aus R_1 und C_1 , sowie $\underline{Z}_2$, bestehend aus R_2 und C_2 . (1 P)

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_{R1} + \underline{Z}_{C1} = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}$$

$$\underline{Z}_2 = \frac{\underline{Z}_{R2} \underline{Z}_{C2}}{\underline{Z}_{R2} + \underline{Z}_{C2}} = \frac{\frac{R_2}{j\omega C_2}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} = \frac{R_2}{j\omega C_2 R_2 + 1}$$

Lösung:

$$\underline{Z}_1 =$$

$$\underline{Z}_2 =$$

- (b) Für diese Teilaufgabe gelte $R_1 = R_2 = 0.5 \Omega$, $\omega C_1 = \omega C_2 = 1 \text{ S}$. Vervollständigen Sie das Zeigerdiagramm in Abb. 8. Als Messwert sei die Spannung $\underline{u}_{AB} = 1 \text{ V}$ gegeben. Zeichnen Sie die Größen $\underline{i}_{R1}$, $\underline{i}_{R2}$, $\underline{i}_{C2}$ ein. Beschriften Sie die Zeiger. Hinweis: Starten Sie mit $\underline{i}_{R2}$ und $\underline{i}_{C2}$. (2 P)

$$\underline{i}_{R2} = \frac{\underline{u}_{AB}}{\underline{Z}_{R2}} = 2$$

$$\underline{i}_{C2} = \frac{\underline{u}_{AB}}{\underline{Z}_{C2}} = \frac{1}{j} = -j$$

→ Strom eilt vor

$$\underline{i}_{R1} = \underline{i}_{C2} + \underline{i}_{R2} = \sqrt{5}$$

$$\Rightarrow \underline{u}_{R1} = \underline{Z}_{R1} \cdot \underline{i}_{R1} = \frac{\sqrt{5}}{2}$$

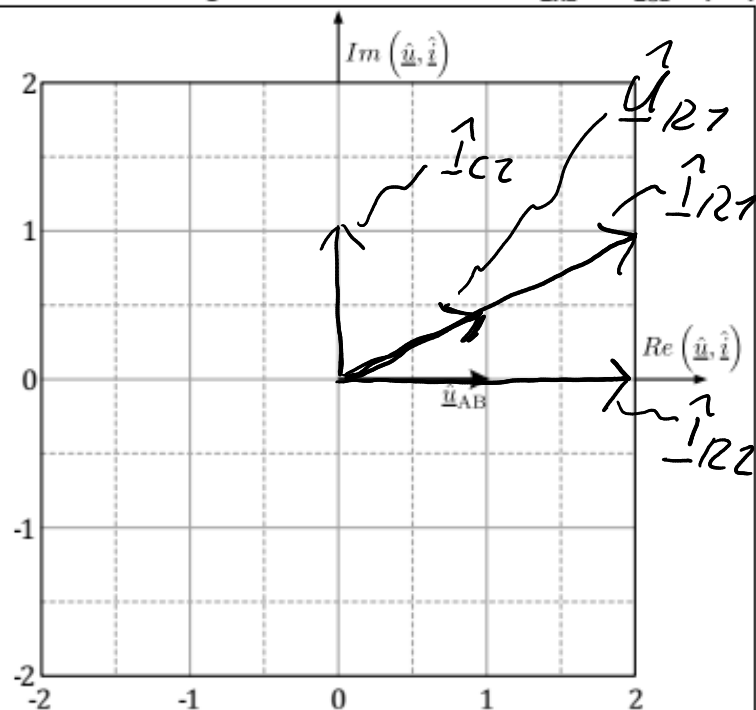
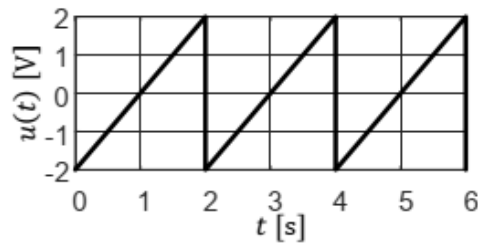


Abb. 8

4. Wechselstrom**9 Punkte**Gegeben sei die zeitabhängige, periodische Spannung $u(t)$ aus Abb. 8.Abb. 8 Zeitabhängige, periodische Spannung $u(t)$.

- (a) Finden Sie die Periodendauer T der Spannung $u(t)$. Geben Sie $u(t)$ als Funktion der Zeit für $0 \leq t < T$ an. (1 P)

T aus diagram $\Rightarrow 2\text{ s}$

$u(t) = 2\frac{V}{s}t - 2V \quad \text{für } t \leq 2$

Lösung:

$T =$

$u(t) =$

- (b) Berechnen Sie den Mittelwert $\bar{u}$ und Effektivwert U_{eff} der Spannung $u(t)$. Vereinfachen Sie numerische Werte so weit wie möglich. (2 P)

oben ersichtlich, dass $\bar{u} = 0$

(kein sin
 $\Rightarrow$ integral)

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{2} \int_0^2 (2\frac{V}{s}t - 2V)^2 dt} = \sqrt{\frac{16}{3} + 4 - \frac{16}{2}} = \sqrt{\frac{32 + 24 - 48}{3}} = \underline{\underline{\frac{2}{\sqrt{3}} V}}$$

integral lösen: $\int 4t^2 + 4 - 8t dt$

$$= \left[\frac{4}{3}t^3 + 4t - \frac{8}{2}t^2 \right]_0^2 = \frac{32}{3} + 8 - \frac{32}{2}$$

Lösung:

$\bar{u} =$

$U_{\text{eff}} =$

Im Folgenden betrachten wir das RLC-Netzwerk in Abb. 9 bestehend aus den Elementen R , L und C . Eine sinusförmige Spannungsquelle $\underline{\hat{u}}_0$ mit Kreisfrequenz ω ist an das Netzwerk angeschlossen. Der Strom $\underline{\hat{i}}_R$ fließt durch den Widerstand R , die Spannung $\underline{\hat{u}}_L$ fällt über der Induktivität L ab.

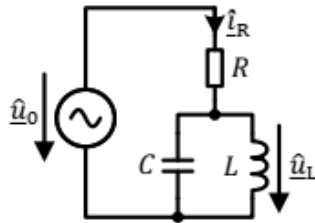


Abb. 9 RLC-Netzwerk

- (c) Berechnen Sie den Strom $\underline{\hat{i}}_R$ und bringen Sie das Resultat in die Form eines einfachen Bruchs von R , C , L und $\underline{\hat{u}}_0$. Verwenden Sie komplexe Wechselstromrechnung. (2.5 P)

$$\Rightarrow \text{Komplex } \underline{Z}_R = R, \quad \underline{Z}_L = j\omega L, \quad \underline{Z}_C = \frac{1}{j\omega C}$$

$$\Rightarrow \underline{\hat{i}}_R = \frac{\underline{\hat{u}}_R}{\underline{Z}_R} \stackrel{(i)}{=} \frac{1 - \omega^2 LC}{R - \omega^2 RLC + j\omega L} \underline{\hat{u}}_0$$

Spannungsteiler:

$$\Rightarrow \underline{\hat{u}}_R = \underline{\hat{u}}_0 \cdot \frac{\underline{Z}_R}{\underline{Z}_{\text{tot}}} = \underline{\hat{u}}_0 \frac{R}{R + \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC}} = \frac{R - \omega^2 RLC}{R - \omega^2 RLC + j\omega L} \underline{\hat{u}}_0 \stackrel{(i)}{=}$$

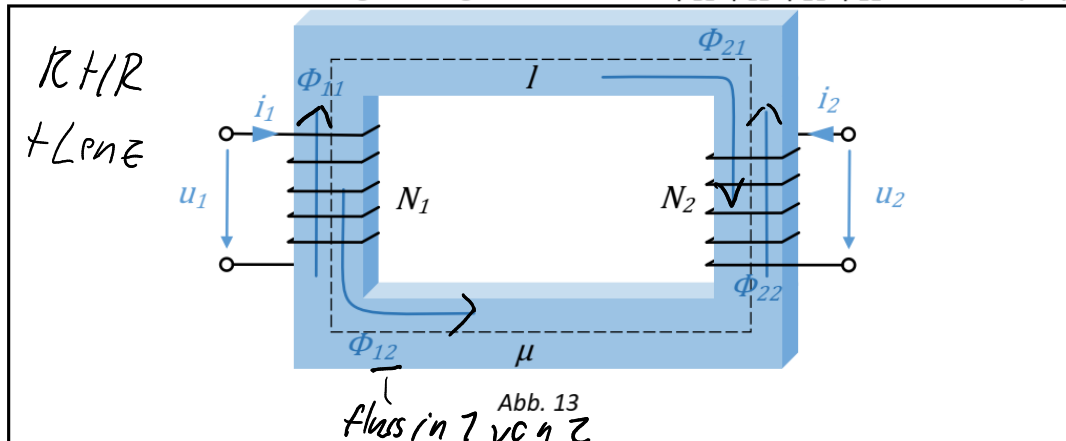
$$\underline{Z}_{\text{tot}} = \underline{Z}_R + \frac{\underline{Z}_L \underline{Z}_C}{\underline{Z}_L + \underline{Z}_C} = R + \frac{j\omega L \cdot \frac{1}{j\omega C}}{j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = R + \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC}$$

Lösung: $\underline{\hat{i}}_R =$

5. Transformator**7 Punkte**

Gegeben ist der Transformator in Abb. 13 mit einer primären Wicklung mit der Windungszahl N_1 und einer sekundären Wicklung mit Windungszahl N_2 . An der Primärwicklung (Sekundärwicklung) liegt die Spannung u_1 (u_2) und der Strom i_1 (i_2) an. Der Kern hat eine mittlere Weglänge von l , die Querschnittsfläche A , die magnetische Permeabilität $\mu = \mu_0 \mu_r$ und ist als verlustlos und streufrei anzunehmen.

(a) Zeichnen Sie in Abb. 13 die Richtung der magnetischen Flüsse $\phi_{11}, \phi_{12}, \phi_{21}, \phi_{22}$ ein. (1 P)



(b) Bestimmen Sie nun die Selbstinduktivitäten der Primär und Sekundärseite (L_{11}, L_{22}) sowie die Gegeninduktivitäten. (L_{12}, L_{21}) (2 P)

$$L_{11} = \frac{N_1^2}{R_m} = \frac{N_1^2}{l} \mu_0 \mu_r A$$

Reluktanz

$$L_{22} = \frac{N_2^2}{l} \mu_0 \mu_r A$$

$$L_{12} = L_{21} = \frac{N_1 \cdot N_2}{l} \mu_0 \mu_r A$$

Lösung:

- $L_{11} =$
- $L_{22} =$
- $L_{21} =$
- $L_{12} =$

setzen ableiten

Legi _____

(c) Aus dem Induktionsgesetz finden wir (Formelsammlung S. 13):

$$\begin{aligned}\hat{u}_1 &= L_{11} \frac{di_1}{dt} - L_{12} \frac{di_2}{dt} \\ \hat{u}_2 &= L_{22} \frac{di_2}{dt} - L_{21} \frac{di_1}{dt}\end{aligned}$$

⇒ Spule ⇒ Spannung verläuft
 ⇒ $i(t) = \hat{I} \sin(\omega t + \varphi_0)$
 ⇒ $i(t) = \text{Im} \{ \hat{I} e^{j\omega t} \}$
 $\hat{u}_2 \cos(\omega t + \varphi_0)$

Nun sei die auf der Primärseite angelegte Spannung $u_1(t) = \text{Re} \{ \hat{u}_1 \cdot e^{j\omega t} \}$. Bestimmen Sie mit komplexer Wechselstromrechnung das Übersetzungsverhältnis $\ddot{u} = \frac{\hat{u}_1}{\hat{u}_2}$. (2 P)

Uns interessiert nur $\hat{u}_1$ und $\hat{u}_2$

$$\Rightarrow \frac{\hat{u}_1}{\hat{u}_2} = \frac{L_{11} \frac{di_1}{dt} - L_{12} \frac{di_2}{dt}}{L_{22} \frac{di_2}{dt} - L_{21} \frac{di_1}{dt}} = \frac{(L_{11} \hat{I}_1 \omega e^{j\omega t} - L_{12} \hat{I}_2 \omega e^{j\omega t}) j e^{j\omega t}}{(L_{22} \hat{I}_2 \omega e^{j\omega t} - L_{21} \hat{I}_1 \omega e^{j\omega t}) j e^{j\omega t}}$$

Inaktivität:

Frey Raum

$$= \frac{\left(\frac{N_1^2 A}{l} \hat{I}_1 - \frac{N_1 N_2 A}{l} \hat{I}_2 \right)}{\left(\frac{N_2^2 A}{l} \hat{I}_2 - \frac{N_2 N_1 A}{l} \hat{I}_1 \right)} = \frac{N_1^2 \hat{I}_1 - N_1 N_2 \hat{I}_2}{N_2^2 \hat{I}_2 - N_1 N_2 \hat{I}_1} = \frac{N_1 (N_2 \hat{I}_1 - N_1 \hat{I}_2)}{N_2 (N_2 \hat{I}_2 - N_1 \hat{I}_1)}$$

Lösung:

$$\ddot{u} = -\frac{N_1}{N_2}$$

(d) Beim idealen Transformator gilt:

$$\frac{\hat{u}_1}{\hat{u}_2} = -\frac{\hat{i}_2}{\hat{i}_1}$$

An der Sekundärseite des Transformators sei gemäss Abb. 14 eine Last R angeschlossen. Was messen Sie für einen Widerstand R_{in} auf der Primärseite? (2 P)

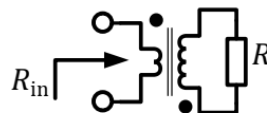


Abb. 14

Lösung:

$$R_{in} =$$

Tips! (Achtung! Diese Serie ist sehr mühsam und hat recht viele Fehler!)

1. Nutze die oben genannten Definitionen. Viel Integrale lösen.
2. Grauenhafte Grammatik. Hab mit dem PhD ein Hühnchen zu rupfen! 
⇒ Generell: Stelle Maschengleichung auf, $i = c \frac{du_c}{dt}$ einsetzen und DGL lösen
3. Gut zum üben Zeitdiagramme zu lesen und Rechnung mit komplexen Werten.