

# Netzwerke und Schaltungen II

## Übung 1 Effektiv/ Gleichrichtwert



# ADMINISTRATIVES

# Übungsplan

## Über mich:

- Oliver Baumgartner
- Ihr könnt mich immer erreichen unter: [obaumgartner@ethz.ch](mailto:obaumgartner@ethz.ch)
- Ich studiere im 4. Semester Elektrotechnik

## Übungsstunde (Freitag 10-12 Uhr):

- Zusammenfassung der relevanten Theorie
- Beispielaufgaben
- Zeit für individuelle Fragen/individuelles Arbeiten

Die Übungsaufgaben können in Moodle abgegeben werden

Nr.	Inhalt der Übung	Besprechung
U-01	Effektiv/Gleichrichtwert	21.2.
U-02	Komplexe Wechselstromrechnung – Impedanzen & Zeigerdiagramme	28.2.
U-03	Komplexe Wechselstromrechnung – Filter/Resonanzkreis	07.3.
U-04	Übertragungsfunktion, Schwingkreis & Bodeplot	14.3.
U-05	Leistungsanpassung, Blindleistung & Dreiphasensystem	21.3.
U-06	Superposition / Impedanztransformation	28.3.
U-07	Maschenstromverfahren	04.4.
U-08	Knotenpotentialverfahren	11.4.
	Karfreitag / Osterferien	
U-09	Überlagerungsprinzip / Fourierreihen (Harmonische Analyse)	02.5.
U-10	Schaltvorgänge in $RCL$ -Netzwerken	09.5.
U-11	Netzwerksberechnung mit Laplace-Transformation	16.5.
U-12	Laplace-Transformation & Übertragungsfunktion & Bodeplot	23.5.
U-13	Operationsverstärkerschaltungen	30.5.

## **Zweigeteilte Prüfung:**

- **Aufgaben wie in den Übungsserien (ca. 80% der Punkte)**
  - **Zusätzliches Übungsmaterial auf Moodle**
- **Multiple-Choice Aufgaben**
  - **Zu jeder Übungsserie ein Multiple-Choice Quiz auf Moodle**
  - **Empfehlung: Multiple-Choice Quiz während dem Semester schon lösen und Fragen in der Übungsstunde und der Präsenzstunde stellen!**

- **Erlaubte Taschenrechner**
  - <https://hpe.ee.ethz.ch/education/allowed-pocket-calculators.html>
- **Nur die offizielle Zusammenfassung ist erlaubt**
  - Daher am besten schon jetzt verwenden!
  - Änderungsvorschläge können per Email gestellt werden
  - Updates sind während dem Semester möglich
- **Ich habe den HP Prime G2 benutzt. Sehr advanced für analytische Lösungen. Wenn das Interesse da ist, kann ich den Taschenrechner in der Mitte vom Semester näher zeigen.**

## Allowed Pocket Calculators

Below you find a list of the allowed pocket calculators for the lectures: NUS II, PES I and PES II as well as "Fundamental of Electric Machines" and "Design and Control of Electric Machines"

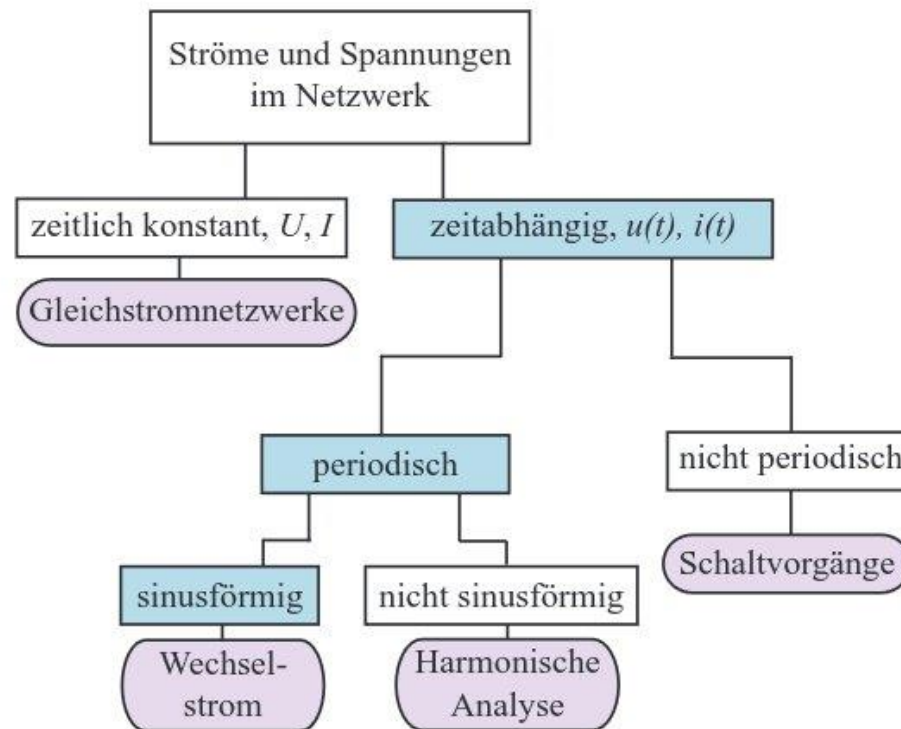
- Texas Instruments TI-30X Pro (Multiview or Mathprint) / TI-30X Plus / TI-30XS / TI-30XIIS / TI-30 Eco RS
- Texas Instruments TI-34 (Multiview)
- Texas Instruments TI-36X Pro
- Texas Instruments Voyage 200
- Texas Instruments TI82 STATS (ohne IR-Schnittstelle)
- Texas Instruments TI83 Plus
- Texas Instruments TI-83 Premium CE
- Texas Instruments TI-83 Premium CE Python Edition => Allowed ONLY in EXAM MODE (Programmes turned off!)
- Texas Instruments TI84 Plus, TI84 Plus C and TI-84 Plus CE-T
- Texas Instruments TI-84 Plus CE-T Python Edition => Allowed ONLY in EXAM MODE (Programmes turned off!)
- Texas Instruments TI89 und TI89 Titanium
- Texas Instruments Nspire CAS or CX CAS or CX or CX II or CX II CAS or CX II-T CAS - each without WIRELESS interface / network Adapter!! (The adapter is plugged in the calculator at the top - see TI-webpage)
- Casio Classpad 330 Plus
- Casio Classpad FX-CP400 / Casio Classpad II FX-CP400
- Casio Graph 35+
- Casio FX CG 20 / FX CG 50
- Casio fx-95ES PLUS
- Casio FX-115ES PLUS
- Casio FX-570ES Plus
- Casio FX-87DE X
- Casio FX-991DE / Casio FX-991MS / Casio FX-991ES / Casio FX-991ES PLUS / Casio FX-991DE PLUS / Casio FX-991DE X / Casio FX-991EX
- Casio FX-9860G / Casio FX-9860II SD (Franz.: Graph95)
- Casio FX-9750 GA Plus
- Casio FX-9750 GII
- Casio CFX-9850GC Plus
- Hewlett-Packard HP 10s+
- Hewlett-Packard HP 33s / HP 35s
- Hewlett-Packard HP 48G / HP 48GX / HP 48G+ / HP 48gII (each without Infrared interface)
- HP Prime G1 and G2 Graphing Calculator (without WIRELESS Adapter)
- Sharp EL-520X

- Die Aufgaben sind in Moodle als Simulationsmodelle verfügbar
- Auf Moodle ist Lizenz für PLECS-Simulationssoftware verfügbar
- Simulationsaufgaben nicht Teil der Übungen und nicht klausurrelevant



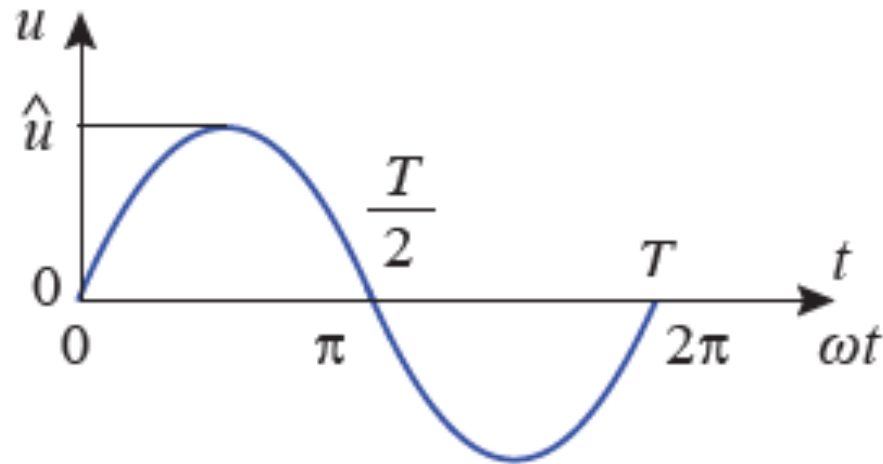
# THEORIE FÜR DIE ÜBUNG

- Wir werden hauptsächlich periodische, sinusförmige Wechselstrom behandeln





- Scheitelwert bzw. Spitzenwert  $\hat{u}$
- Periodendauer  $T$
- Frequenz  $f = \frac{1}{T}$
- Winkelgeschwindigkeit  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$



$$\rightarrow u(t) = \hat{u} \sin(2\pi f t) = \hat{u} \sin(\omega t)$$

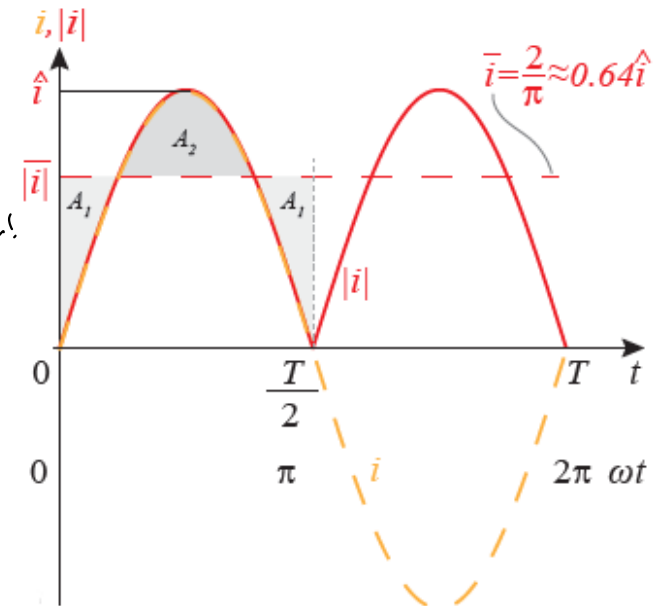
- Wie können wir sinusförmige Wellen beschreiben?

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

- Gleichrichtwert  $|\bar{u}| = \frac{1}{T} \int_{t=t_0}^{t=t_0+T} |u(t)| dt$

↙ gleich viel Leistung in Widerstand wie Gleichstrom!

- Effektivwert  $U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t=t_0}^{t=t_0+T} u(t)^2 dt}$



Für sinusförmige Signale gilt:

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) dt = \frac{1}{T} \left[ \frac{T}{2\pi} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \right]_0^T = 0$$

$$|\bar{u}| = \frac{1}{T} \int_0^T |\hat{u} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)| dt = \frac{\hat{u}}{T} \int_0^T \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) dt = \frac{\hat{u}}{T} \left[ -\frac{T}{2\pi} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \right]_0^T = -\frac{\hat{u}}{\pi} \left( \cos\left(\frac{2\pi T}{T}\right) - \cos(0) \right) \\ = -\frac{\hat{u}}{\pi} (-1 - 1) = \frac{2}{\pi} \hat{u}$$

Effektivwert:  $W = \int_0^T p dt = \int_0^T i(t)^2 R dt \Rightarrow P_{Ac} = \frac{W}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 R dt$

$$P_{dc} = I^2 R = \frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 R dt = P_{Ac} \Rightarrow I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

$\Rightarrow$  Sinusförmig:  $I_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

# Phasenverschiebung

Die Phase gibt an, wie stark die Welle vom Nulldurchgang verschoben ist. Eine positive Phase gibt eine Verschiebung nach links an.

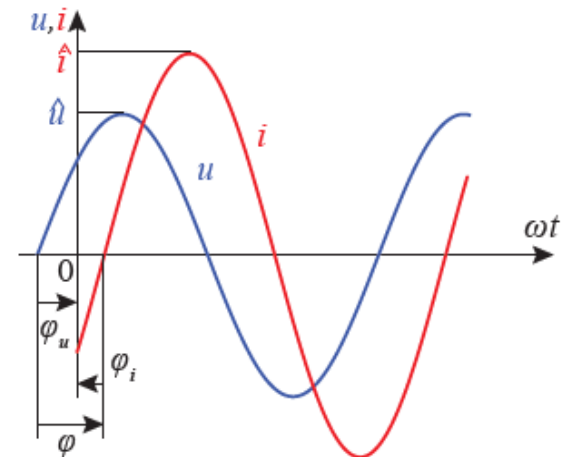
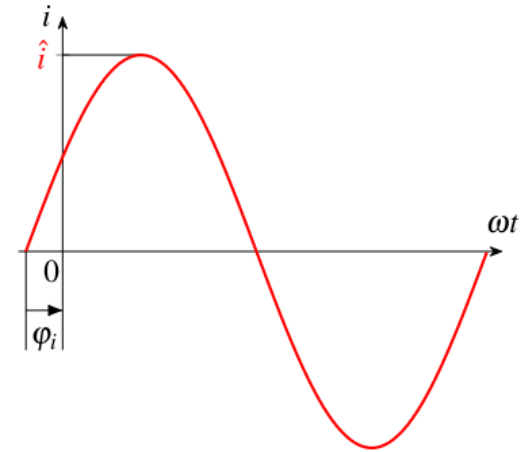
Phasenverschiebung:

$$u(t) = \hat{u} \sin(\omega t + \varphi_u) = \hat{u} \cdot \cos(\omega t + \varphi_u - \frac{\pi}{2})$$

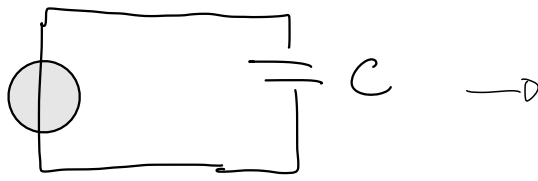
$$i(t) = \hat{i} \sin(\omega t + \varphi_i) = \hat{i} \cdot \cos(\omega t + \varphi_i - \frac{\pi}{2})$$

$$\Rightarrow \varphi = \varphi_u - \varphi_i$$

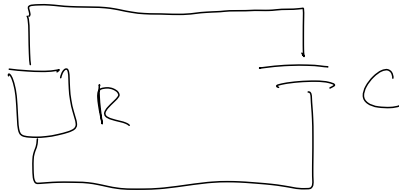
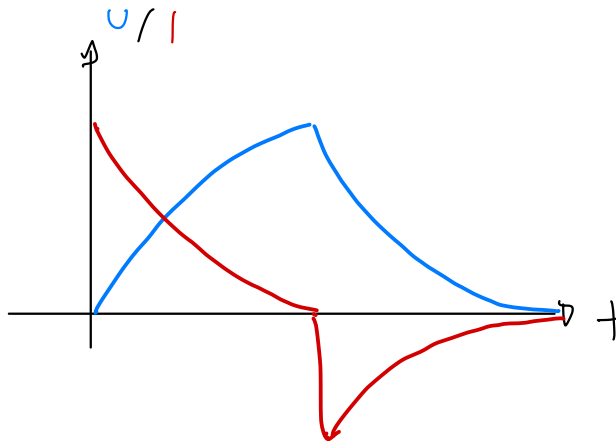
"Die Spannung eilt vor"



# Recap: Kondensator und Spule



aufgelad  
entladen



$$i.) \quad U = R \cdot I \rightarrow U(t) = R \cdot i(t)$$

$$ii.) \quad i_C(t) = \frac{dU_C(t)}{dt} \cdot C$$

$$U_C(t) = \frac{\int i_C(t) dt}{C}$$

$$iii.) \quad i_L(t) = \frac{1}{L} \int U_L(t) dt$$

$$U_L(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

Sinusförmig:

$$\text{Spule: } U_L = L \cdot \frac{di(t)}{dt} = L \cdot \frac{d\hat{i} \sin(\omega t)}{dt} = \hat{i} \omega L \cos(\omega t) = \hat{i} \omega L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$\text{Kondensator: } i = C \cdot \frac{dU(t)}{dt} = C \cdot \frac{d\hat{U} \sin(\omega t)}{dt} = \underbrace{\omega C \hat{U} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})}_{\text{Strom eilt vor}}$$

Spannung eilt dem Strom um 90° vor

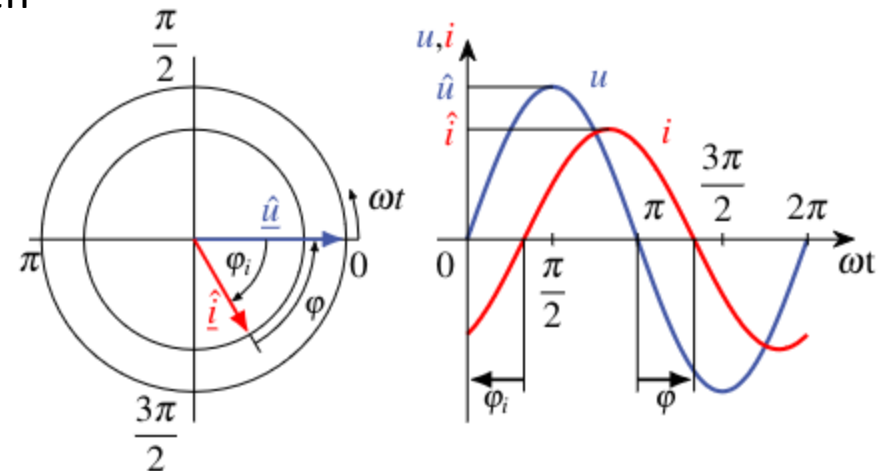
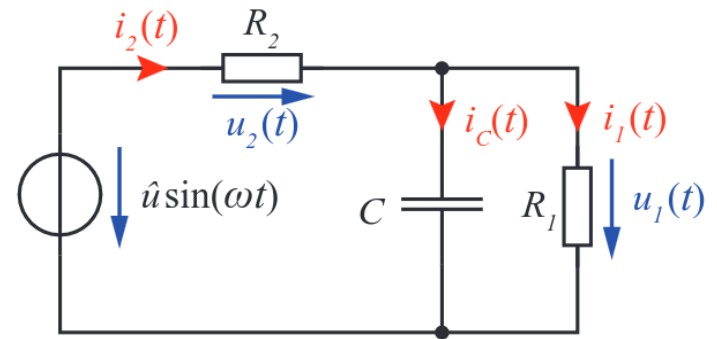
⇒ "Induktivität Strom kommt spät"

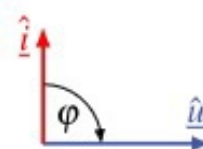
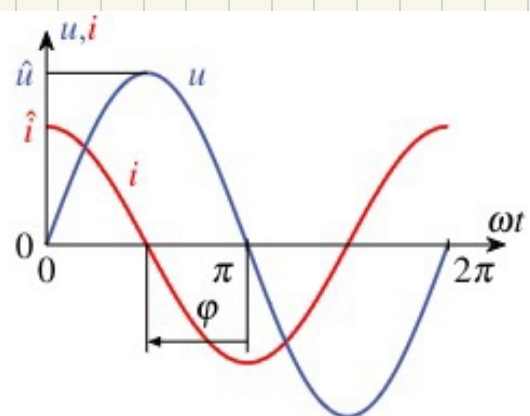
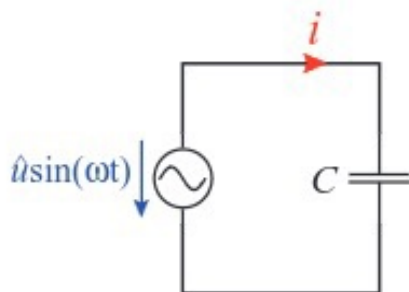
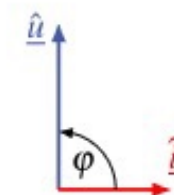
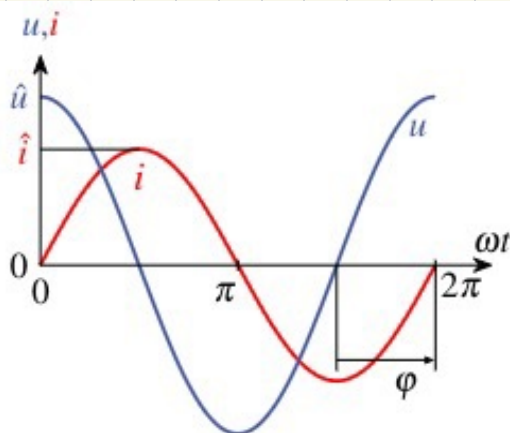
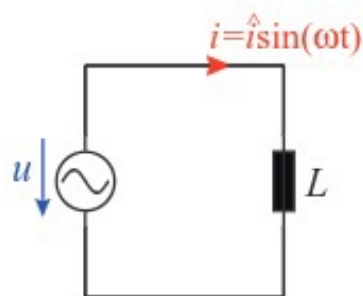
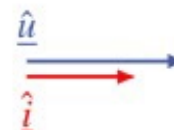
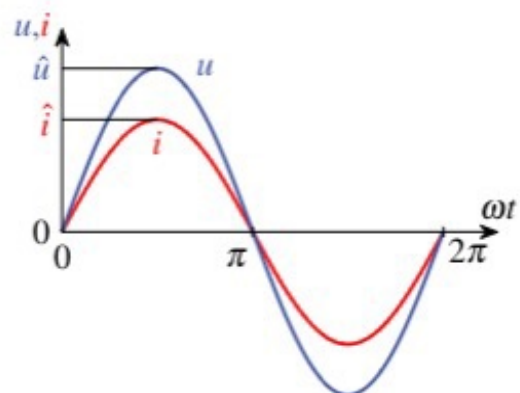
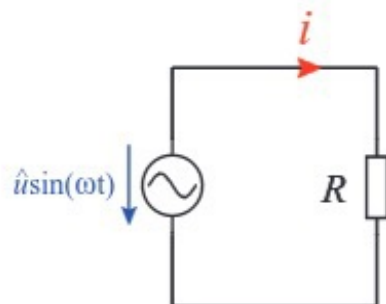
Wie können wir die Phasendifferenz mit einbeziehen?

-> Wir müssen nur den Scheitelwert und die Phase kennen. Da die Winkelgeschwindigkeit bei allen Grössen gleich gross ist!

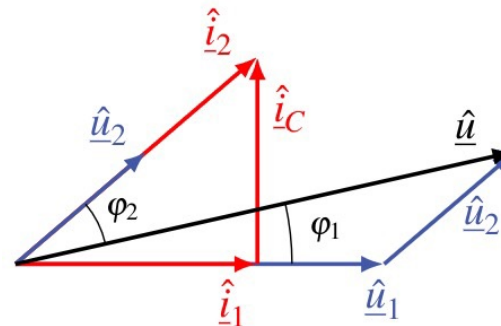
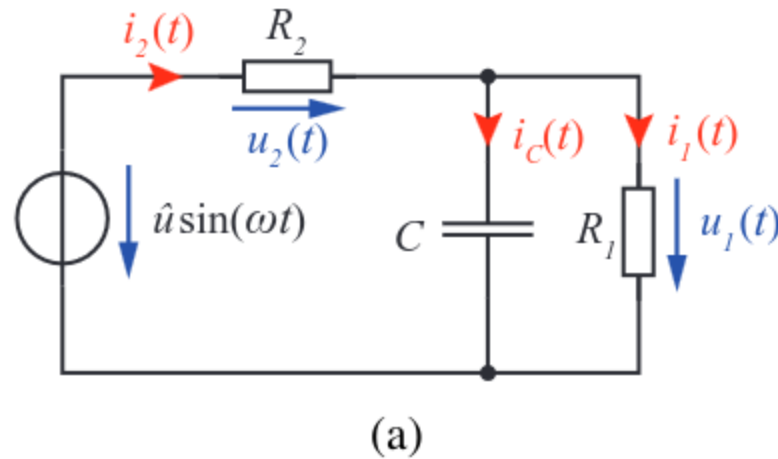
Daher können wir die Spannung als Zeiger in einer Ebene darstellen.

Wir können natürlich alle Zeiger drehen um einen fixen Betrag und bekommen eine äquivalente Aussage





- Konstruieren wir folgendes Zeigerdiagramm



-> Leider wird diese graphische Berechnung ungenau



1. Der Zeiger  $\underline{\hat{u}}_1$  für die Spannung über  $R_1$  wird als **Bezugszeiger** in die horizontale Achse gelegt. Der Spannungswert selbst ist noch unbekannt.
2. Der **Strom  $i_1$  ist in Phase mit  $u_1$**  ( $\rightarrow$  Zeiger haben gleiche Richtung).
3. Der Strom durch den Kondensator  $i_C(t)$  hat die **Amplitude  $\hat{i}_C = \omega C \hat{u}_1 = \omega C R_1 \hat{i}_1$**  und eilt gegenüber  $u_1(t)$  ( $=u_C$ ) um  $\pi/2$  vor. Damit ist auch das Verhältnis  $\hat{i}_C/\hat{i}_1$  bekannt.
4. Gemäss der Knotengleichung  $i_2(t) = i_C(t) + i_1(t)$  folgt der Zeiger  $\hat{i}_2$  über die **geometrische Addition der Stromzeiger  $\hat{i}_C$  und  $\hat{i}_1$** .
5. Die **Spannung über  $R_2$  ist in Phase zu  $i_2$** , d.h. die beiden Zeiger sind parallel. Für die Amplitude gilt:  $\hat{u}_2 = R_2 \hat{i}_2 = (R_2 \hat{i}_2)/(R_1 \hat{i}_1) \hat{u}_1$ , d.h. das Verhältnis der Länge der beiden Spannungszeiger  $\hat{u}_2/\hat{u}_1$  ist bekannt.
6. Aus der Maschengleichung  $\hat{u} \sin(\omega t) = u_1(t) + u_2(t)$  folgt der **Spannungszeiger  $\hat{u}$  als geometrische Summe der Zeiger für die Teilspannungen**.
7. Aus der **bekannten Länge von  $\hat{u}$**  folgen die anderen Spannungswerte.

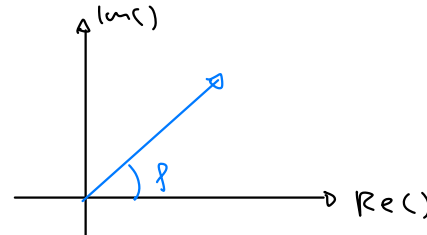
# Exponentialform

Wohl wir ein Signal  $v(t) = \hat{v} \sin(\omega t + \varphi)$  als Zeiger darstellen können wir die auch darstellen als:  $\underline{\hat{v}} = \hat{v} e^{j\varphi} \cdot (e^{j\omega t})$  und dann  $v(t) = \operatorname{Im}\{\underline{\hat{v}}\}$  oder

$$v(t) = \hat{v} \sin\left(\omega t + \arctan \frac{\operatorname{Im}\{\underline{\hat{v}}\}}{\operatorname{Re}\{\underline{\hat{v}}\}}\right)$$

Intuitiver:  $v(t) = \operatorname{Re}\{\underline{\hat{v}}\}$

$$v(t) = \hat{v} \cos(\omega t + \varphi)$$



---

$$i_c(t) = \frac{d}{dt} v_c(t) \cdot C \Rightarrow \frac{d}{dt} v_c(t) = \operatorname{Re}\left(\frac{d}{dt}(\hat{v} e^{j\omega t})\right) = \operatorname{Re}(\hat{v} j\omega e^{j\omega t})$$

$$\boxed{\frac{d}{dt} \Rightarrow j\omega} \quad \underline{\hat{i}}_c = j\omega \cdot \underline{\hat{v}}_c \cdot C$$

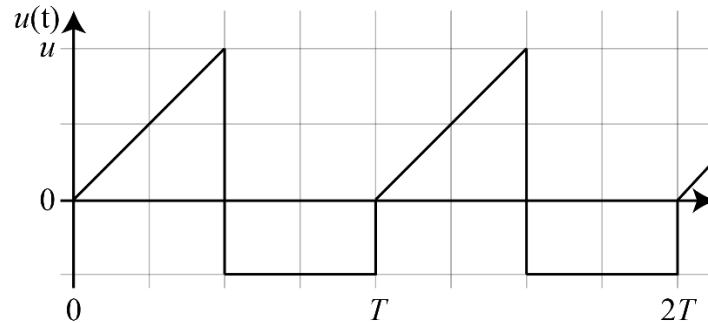
$$\underline{\hat{v}}_c = \frac{1}{j\omega} \cdot \underline{\hat{i}}_c \cdot \frac{1}{C}$$

$$\boxed{\int \cdot dt \Rightarrow \frac{1}{j\omega}}$$

# BEISPIELAUFGABE

Bestimmen Sie für die gezeigte Spannung

- Mittelwert  $\bar{u}$
- Gleichrichtwert  $|\bar{u}|$
- Effektivwert  $U$
- Spitze-Spitze-Wert  $u_{ss}$



=> Offizielle Lösung auf Moodle

Gegeben:

$$i(t) = \hat{i} \cos(\omega t), \hat{i} = 1\text{A}, \omega = 1000\text{Hz}, R = 2\Omega, L = 1\text{mH}$$

- Berechnen Sie im Zeitbereich  $u_R(t)$  und  $u_L(t)$
- Zeichnen Sie  $\underline{\hat{u}}_L$ ,  $\underline{\hat{u}}_R$  und  $\underline{\hat{i}}$
- Zeichnen Sie  $\underline{\hat{u}}_0$
- Ermitteln Sie  $u_o(t = 0\text{s})$  und  $i(t = 0\text{s})$
- Ermitteln Sie  $u_o(t = T/8)$  und  $i(t = T/8)$

⇒ Offizielle Lösung auf Moodle

