

## Wiederholung vom 02.05.2019

- Passive Bauelemente  $R, C, L$
- **Induktivität  $L$** :  $U_L = L \frac{dI}{dt}$
- Kirchhoffsche Regeln
  - Knotenregel:**  $\sum_i I_i = 0$
  - Maschenregel:**  $\sum_i U_i = 0$
- Serienschaltung von Widerständen:  $R_{Ges} = \sum_i R_i$   
Parallelschaltung von Widerständen:  $\frac{1}{R_{Ges}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$
- Aufladen einer Kapazität über einen Widerstand  
charakteristische Zeit:  $\tau = RC$
- Wechselspannungskreis mit **ohmscher** Last

# Themen heute

**Effektivwerte** von Spannung und Strom

Wechselspannungskreise: **induktive** und **kapazitive Last**

**Zeigerdiagramm** in der komplexen Zahlenebene

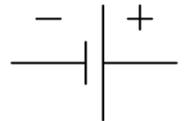
Begriff der **Impedanz**

Bsp: Serienschaltung im Wechselspannungskreis

### 3. Passive Bauelemente und Netzwerke

## Wechselspannungsquelle

bisher:  $U = \textit{konstant}$ , z. B. Batterie



jetzt (auch): Wechselspannungsquellen; hier:  $U(t) = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$

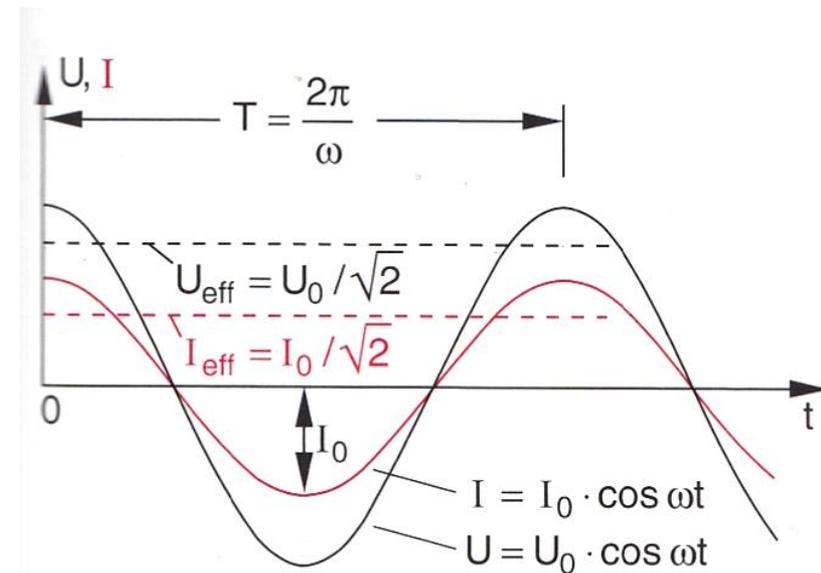


Wechselspannungsquelle mit **Ohmscher Last**  $R$

$$I(t) = \frac{U_0}{R} \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\text{Momentanleistung: } P(t) = U_0 I_0 \cos^2(\omega t + \varphi)$$

$$\text{mittlere Leistung: } \bar{P} = \frac{1}{2} U_0 I_0 = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$$



### 3. Passive Bauelemente und Netzwerke

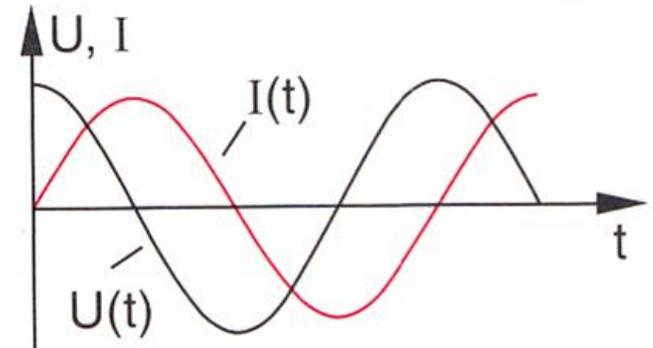
## Induktive und kapazitive Last

i) Wechselspannungsquelle mit **induktiver Last**  $L$ :

$$U(t) = U_0 \cos(\omega t)$$

$$\Rightarrow I(t) = \frac{U_0}{\omega L} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

**induktiver Widerstand**  $R_L$ :  $R_L = i\omega L$

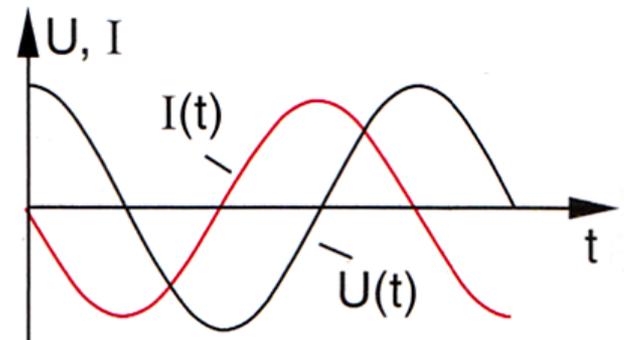


ii) Wechselspannungsquelle mit **kapazitiver Last**  $C$ :

$$U(t) = U_0 \cos(\omega t)$$

$$\Rightarrow I(t) = U_0 \omega C \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

**kapazitiver Widerstand**  $R_C$ :  $R_C = \frac{1}{i\omega C}$



### 3. Passive Bauelemente und Netzwerke

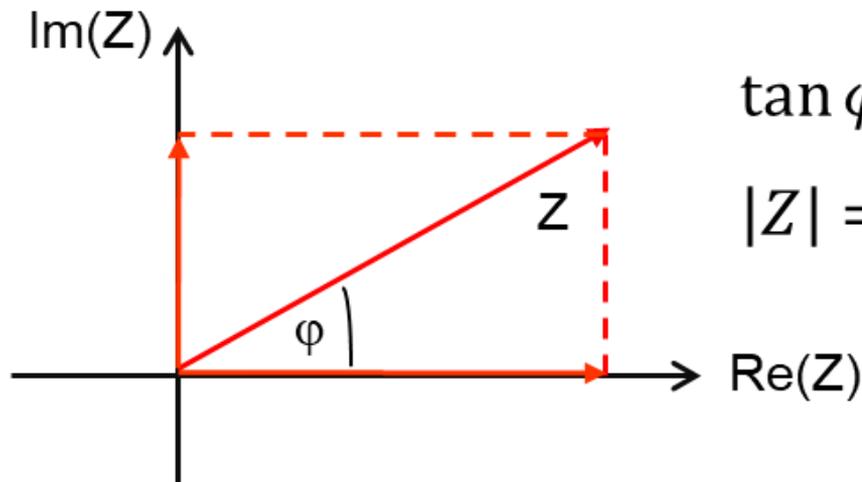
Begriff der **Impedanz**  $Z$  - komplexer Widerstand:

$$U(t) = U_0 e^{i\omega t}$$

$$I(t) = I_0 e^{i(\omega t - \varphi)}$$

$$\text{Impedanz } Z = \frac{U}{I} = |Z| e^{i\varphi}$$

Darstellung im Zeigerdiagramm



$$\tan \varphi = \frac{\text{Im}(Z)}{\text{Re}(Z)}$$

$$|Z| = \sqrt{\text{Re}(Z)^2 + \text{Im}(Z)^2}$$

### 3. Passive Bauelemente und Netzwerke

Beispiel: R, L, C

	Widerstand $Z$	
ohmscher Widerstand $U = RI$	$R$	$Re^{i \cdot 0}$
Spule $U = L\dot{I} = i\omega LI$	$i\omega L$	$\omega L e^{i \cdot \pi/2}$
Kondensator $I = C\dot{U} = i\omega CU$	$1/(i\omega C)$	$1/(\omega C) e^{i \cdot (-\pi/2)}$

Serienschaltung von Impedanzen:  $Z_{Ges} = \sum_i Z_i$

Parallelschaltung von Impedanzen:  $\frac{1}{Z_{Ges}} = \sum_i \frac{1}{Z_i}$

### 3. Passive Bauelemente und Netzwerke

Beispiel: **Serienschaltung** im Wechselspannungskreis

$R - C$  Schaltung:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}$$

$R - L$  Schaltung:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$



*Demo: Wechselstromwiderstand*

## Wiederholung vom 07.05.2019

- **Mittlere Leistung**  $\bar{P} = U_{eff} I_{eff}$
- Induktiver und kapazitiver Widerstand:  
 $R_L = i\omega L; R_C = 1/i\omega C$
- **Impedanz Z:**  $U = ZI$  mit  $Z = |Z|e^{i\varphi}$

Serienschaltung  $Z_{Ges} = \sum_i Z_i$

Parallelschaltung  $\frac{1}{Z_{Ges}} = \sum_i \frac{1}{Z_i}$

# Themen heute

## Wechselstromkreise

**Wirkleistung** und **Blindleistung**

**Bodediagramm** – Bsp. Hoch- und Tiefpassfilter

## Magnetostatik

Magnetfeld, **magnetische Feldstärke  $\vec{B}$** ,  
magnetische Feldlinien

Ladungen im Magnetfeld – **Lorentzkraft**

Bsp.: Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen  
Leiter

**Larmorradius** und **Zyklotronfrequenz**

## Wirkleistung und Blindleistung

Wechselspannungskreis mit Last  $Z = |Z| \cdot e^{i\varphi}$

mittlere Leistung

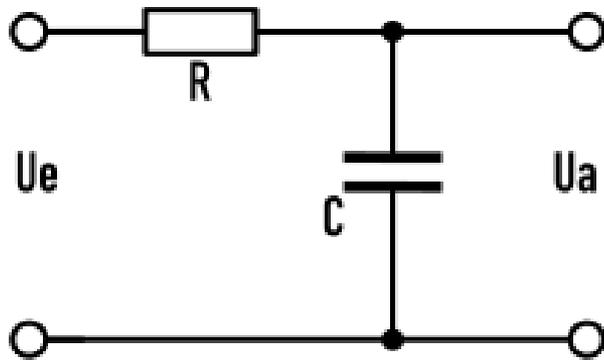
$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T P dt = \frac{1}{2} U_0 I_0 \cos\varphi - i \frac{1}{2} U_0 I_0 \sin\varphi$$

$$P_W = U_{eff} I_{eff} \cos\varphi \dots \text{Wirkleistung} \quad \Leftrightarrow \quad \text{Re}Z \quad \text{Wirkwiderstand}$$

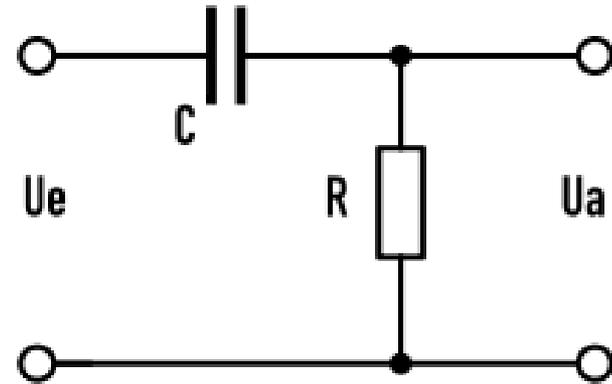
$$Q = U_{eff} I_{eff} \sin\varphi \dots \text{Blindleistung} \quad \Leftrightarrow \quad \text{Im}Z \quad \text{Blindwiderstand}$$

## Hochpass- und Tiefpassfilter

Tiefpass



Hochpass



Übertragungsfunktion  $\frac{U_a}{U_e} = A(\omega) \cdot e^{i\varphi(\omega)}$

$$A(\omega) = 1/\sqrt{1 + (\omega CR)^2}$$

$$\varphi(\omega) = \arctan(\omega CR)$$

$$A(\omega) = 1/\sqrt{1 + 1/(\omega CR)^2}$$

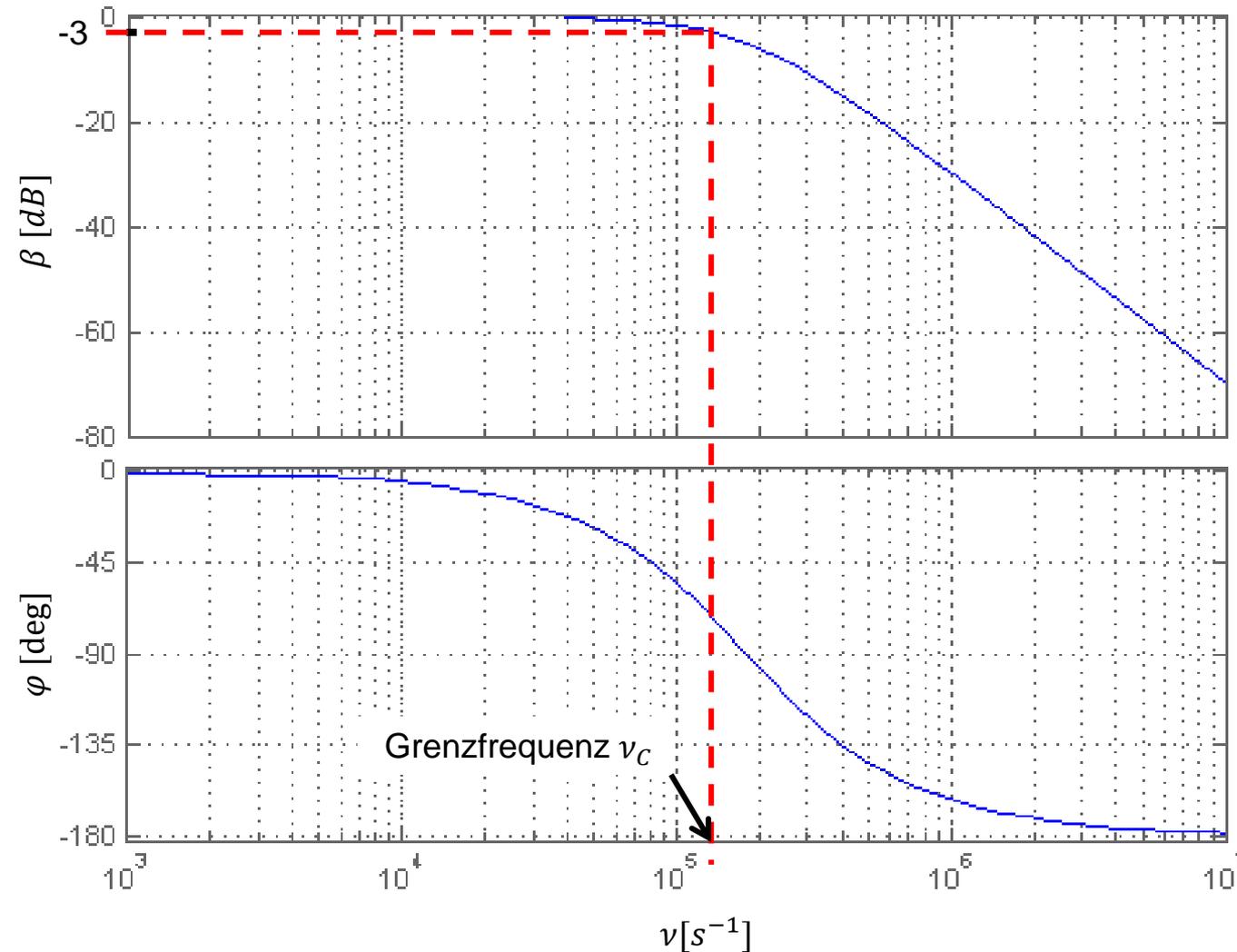
$$\varphi(\omega) = \arctan(1/\omega CR)$$

### 3. Passive Bauelemente und Netzwerke

## Bode Diagramme – Beispiel Tiefpassfilter

$$A(\omega) = 1/\sqrt{1 + (\omega CR)^2}$$

$$\varphi(\omega) = \arctan(\omega CR)$$



$$\beta = 20 \text{ dB } \log_{10}(A)$$

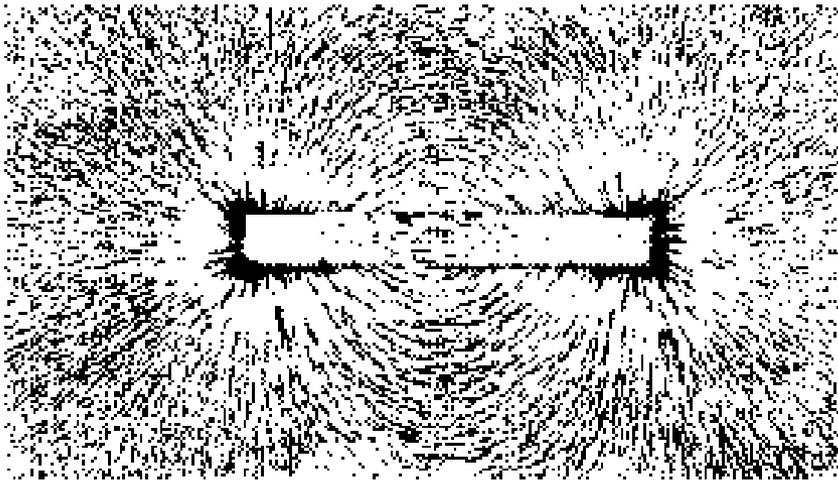
$$\nu = \omega / 2\pi$$

### Permanentmagnete

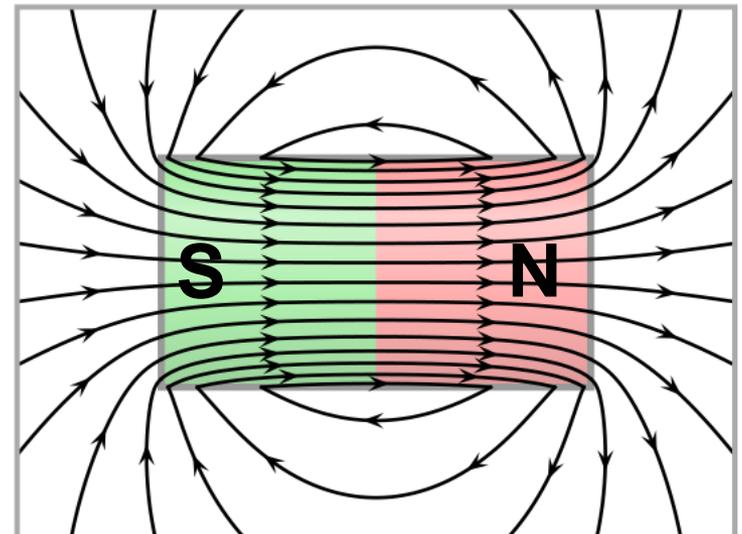
- Kraftwirkung
- ⇒ magnetische Feldstärke  $\vec{B}$
  - ⇒ magnetische Pole
  - ⇒ magnetische Feldlinien



*schwebender Magnet*



*Magnetische Feldlinien*



Quelle Abb.: Wikipedia

Wichtige Beobachtung:

es gibt **keine magnetischen Monopole**

Magnetfelder sind **quellenfrei**:

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (2. \text{ Maxwellgleichung})$$

$$(\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0)$$

### Ladungen im Magnetfeld

Kraft auf bewegte Ladung im Magnetfeld

#### Lorentzkraft

$$\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\Rightarrow \vec{F}_L \perp \vec{v}, \vec{B}$$

$$\Rightarrow [\vec{B}] = 1 \text{ Vsm}^{-2} = 1 \text{ T}$$



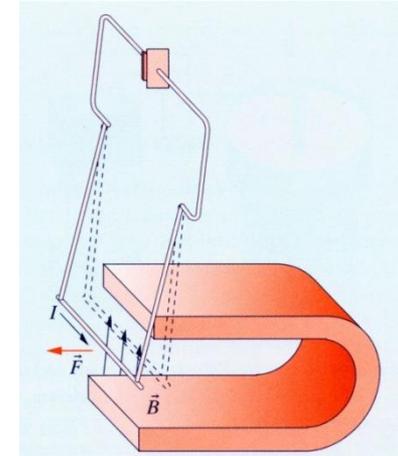
*Fadenstrahlrohr*

## 4. Magnetostatik

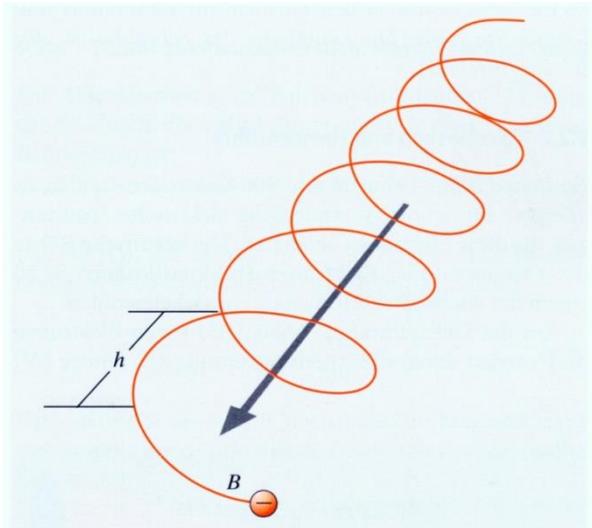
Bsp.: Kraft auf stromdurchflossenen Leiter  
im homogenen Magnetfeld

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{l} \times \vec{B})$$

Leiterschaukel im Magnetfeld



Bsp.: Bahnkurve einer Ladung im homogenen Magnetfeld



⇒ **Larmorradius:**  $R_L = \frac{m \cdot |v_{\perp}|}{q \cdot |\vec{B}|}$

⇒ **Zyklotronfrequenz:**  $\omega_C = \frac{q \cdot |\vec{B}|}{m}$

Schraubenbahn einer Ladung um die  
Magnetfeldlinien eines homogenen Feldes

### Gesamtkraft auf eine Ladung im elektrischen und magnetischen Feld

$$\vec{F} = \vec{F}_{Coulomb} + \vec{F}_{Lorentz}$$

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$