

## 1) Allgemein

### SI-Präfixe

| Symbol | Name  |            | Wert              |              |
|--------|-------|------------|-------------------|--------------|
| T      | Tera  | $10^{12}$  | 1.000.000.000.000 | Billion      |
| G      | Giga  | $10^9$     | 1.000.000.000     | Milliarde    |
| M      | Mega  | $10^6$     | 1.000.000         | Million      |
| k      | Kilo  | $10^3$     | 1.000             | Tausend      |
| h      | Hekto | $10^2$     | 100               | Hundert      |
| da     | Deka  | $10^1$     | 10                | Zehn         |
| ---    | ---   | $10^0$     | 1                 | Eins         |
| d      | Dezi  | $10^{-1}$  | 0,1               | Zehntel      |
| c      | Zenti | $10^{-2}$  | 0,01              | Hundertstel  |
| m      | Milli | $10^{-3}$  | 0,001             | Tausendstel  |
| $\mu$  | Mikro | $10^{-6}$  | 0,000.001         | Millionstel  |
| n      | Nano  | $10^{-9}$  | 0,000.000.001     | Milliardstel |
| p      | Piko  | $10^{-12}$ | 0,000.000.000.001 | Billionstel  |

### Einheiten

$$[J] = \left[ \frac{kgm^2}{s^2} \right] = [Nm] = [VA \cdot s] = [CV] = [Ws]$$

$$[C] = [As]$$

### Mathematik

#### Reihen

$$\sum_{i=0}^n q^i = \frac{1 - q^{n+1}}{1 - q} \quad (\text{z.B. für Analog-Digital Wandler})$$

## 2) Grundlagen

### Coulombs LAW

Elektrische Kraft:

$$F = k \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} C$$

### Electric Potential

Gravitational:

$$g = \frac{F}{m_0}$$

$$V = \frac{U}{q_0} \quad [V] \left[ \frac{J}{C} \right]$$

$$I = \frac{\partial Q}{\partial t} \quad [A] \left[ \frac{C}{s} \right]$$

Electrostatic:

$$E = \frac{F}{q_0}$$

Amount of Charge (flow):  $Q = I \cdot t \quad [C]$

### Resistors

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} = \rho \cdot \frac{L}{d \cdot w}$$

Colours (Example): Colour 1: 2, Colour 2: 7, Colour 3: 100 $\Omega$   $\approx 2.7k\Omega$

$\rho$ : Resistivity (Materialabh.  $\rightarrow$  Tabelle)

$L$ : Resistor Length

$A$ : Querschnitt

$d$ : Thickness ( $w$ : Width)

### Ohms LAW

$$U = R \cdot I$$

### Symbols

Voltage Source:



+: Cathode

-: Anode

Diode:

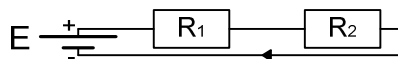


### Leistung (Power)

$$P = \frac{\partial U}{\partial t} = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} \quad [W] \left[ \frac{Nm}{s} \right] \left[ \frac{J}{s} \right]$$

$$I = \frac{\partial Q}{\partial t} \quad [A] \left[ \frac{C}{s} \right]$$

### Widerstand-Serienschaltung



$$R_{Tot} = \sum R_i = R_1 + R_2 + \dots$$

$$I_{Tot} = I_1 = I_2 = \dots \quad I = \frac{E}{R}$$

Voltage Divider Rule:

$$V_i = E \cdot \frac{R_i}{R_{Tot}} = E \cdot \frac{R_i}{\sum R_j} = I_i \cdot R_i$$

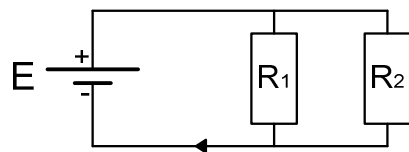
$$P = \sum P_i = P_1 + P_2 + \dots$$

### Kirchhoffs Voltage LAW (KVL):

$$\sum V_i = 0$$

Die Summe der Spannungen um eine Schaltung ergibt Null!

### Widerstand-Parallelschaltung



$$R_{Tot} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots}$$

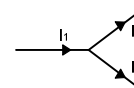
$$G = \frac{1}{R}$$

$$V_{Tot} = V_1 = V_2 = \dots$$

$I_1 \neq I_2 \neq \dots \rightarrow$  Kirchhoffs Current LAW:

### Kirchhoffs Current LAW (KCL):

$$\sum I_{Zu} = \sum I_{Weg}$$



Current Divider Rule:

$$I_i = \frac{R_{Tot} - R_i}{R_{Tot}} \cdot I_{tot}$$

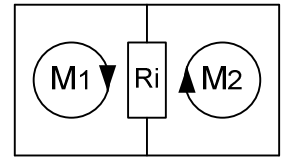
$$n = 2: I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_{Tot}$$

### 3) Schaltungsverfahren (Potentialberechnung)

#### Maschenstromverfahren

**Vorgehen**

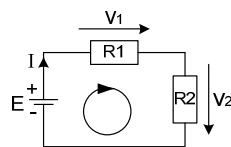
- 1) Ströme definieren (mit Richtung)  
somit auch Spannungsabfälle definieren
- 2) Maschengleichungen aufstellen
- 3) Potential  $v_0 = 0$  definieren
- 4) Restliche Potentiale bestimmen



**Wichtig**

- Ströme fließen immer vom höheren zum tieferen Potential.
- Falls das eingeführte I eine negative Zahl erhält, zeigt eigentlicher Stromfluss in entgegengesetzte Richtung.
- Über einen Widerstand erfolgt in Stromrichtung ein Spannungsabfall.
- **MASCHENRICHTUNG BEACHTEN!**

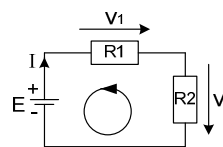
**Richtung**



$$E - R_1 \cdot I - R_2 \cdot I = 0$$

$$E = v_1 + v_2$$

( E geht positiv ein)



$$- E - (-R_2 \cdot I) - (-R_1 \cdot I) = 0$$

$$- E + R_2 \cdot I + R_1 \cdot I = 0$$

( E geht negativ ein)

#### Knotenpotentialverfahren

**Vorgehen**

- 1) Alle Knoten Nummerieren
- 2) Referenzpotential wählen
- 3) Auf jeden Knoten **KCL** anwenden, ausser auf Referenzknoten (bereits bekannt)
- 4) Gleichungssystem lösen

**Wichtig**

- Ströme fließen immer vom höheren zum tieferen Potential, also:

$$I = \frac{v_1 - v_2}{R}$$



→ Einsetzen in KCL:

$$\sum I_{Zu} = \sum I_{Weg}$$

Führt auf die gewünschten Gleichungen.

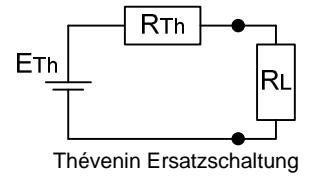
$$\sum_{i=1}^N I_i = 0$$

### 4) Ersatzschaltungen nach Thévenin und Norton

#### Thévenin Prinzip

**Vorgehen**

- Externe Last entfernen
- $R_{Th}$ : 1) Stromquellen entfernen  
2) Spannungsquellen kurzschliessen  
3) Widerstand zwischen Klemmen berechnen
- $E_{Th}$ : Superpositionsprinzip anwenden  
→ Spannung über Klemmen messen



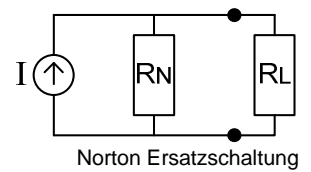
**Maximum Prinzip**  
(?)

$$R_{Th} = R_L \qquad V_L = \frac{E_{Th}}{2}$$

#### Norton Prinzip

**Vorgehen**

- Externe Last entfernen
- $R_N$ : 1) Stromquellen entfernen  
2) Spannungsquellen kurzschliessen  
3) Widerstand zwischen Klemmen berechnen
- $I_N$ : Superpositionsprinzip anwenden  
→ Strom zwischen den Klemmen messen



#### Superpositionsprinzip

Strom & Spannungsquellen ersetzen:



Schaltungen für einzelne Strom- und Spannungsquellen berechnen und mit Superpositionsprinzip zusammenfügen:  $E_{Th} = E_{Th1} + E_{Th2} + \dots$

#### Beziehung Thévenin $\Leftrightarrow$ Norton

**Umrechnung**

$$R_{Th} = R_N$$

$$I_N = \frac{E_{Th}}{R_{Th}} = \frac{E_{Th}}{R_N}$$

### 5) Kondensator

DC: Zu Beginn: Kurzschluss: , mit der Zeit: Leerlauf:   
 AC: Hohe Frequenzen: Kurzschluss, Tiefe Frequenzen (=DC): Leerlauf

**Kapazität**  $C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$  [F]      $\epsilon = \epsilon_1 \cdot \epsilon_0$       $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$

**E-Feld**  $E = \frac{V}{d}$       $C = \frac{Q}{V}$  [C/V]      $\epsilon_1$ : Abhängig vom Material zw. Platte  
 $d$ : Abstand der Platten  
 $A$ : Plattenfläche

**Serieschaltung**      $C_{Ges} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots}$       $Q_1 = Q_2 = \dots$       $U$ : Spannung  
 $Q$ : Charge [C] (Coulomb)

**Parallelschaltung**      $C_{Ges} = C_1 + C_2 + \dots$

**Differential-Darstellung**     Strom:  $i_C = C \cdot \frac{dv_C}{dt}$      Spannung:  $v_C = \frac{1}{C} \cdot \int i_C \cdot dt$          Kleinbuchstaben = ändert sich über die Zeit

**Impedanz**  $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$       $\theta = -90^\circ$      Auf den Strom bezogen, Strom hinkt der Spannung hinterher.    

### 6) Spule (Induktion)

DC: Zu Beginn: Leerlauf:   
 AC: Hohe Frequenzen: Leerlauf, Tiefe Frequenzen (=DC): Kurzschluss

**Induktion**  $L = \mu_0 \cdot \frac{N^2}{l} \cdot A$  [H]          $N$ : Anzahl Windungen  
 $\mu_0$ : Magnetische Feldkonstante:  
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

**Induktion bei einem Toroid (rechteckiger Kern)**      $L = \mu_0 \cdot \frac{N^2 \cdot h}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$          Berechnung für Toroid mit eckigem Kern!  
 $h$ : Höhe  
 $r$ : Radius ( $r_1$  innen,  $r_2$  aussen)

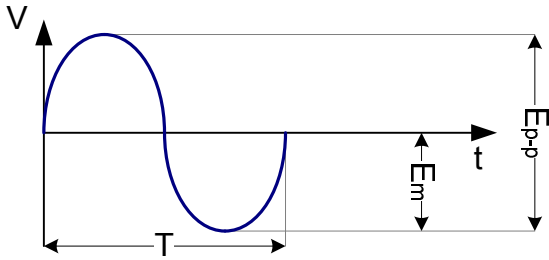
**Serieschaltung**      $L_{Ges} = L_1 + L_2 + \dots$

**Parallelschaltung**      $L_{Ges} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots}$

**Differential-Darstellung**     Strom:  $i_L = \frac{1}{L} \cdot \int v_L \cdot dt$      Spannung:  $v_L = L \cdot \frac{di_L}{dt}$          Kleinbuchstaben = ändert sich über die Zeit

**Impedanz**  $Z_L = j\omega L$       $\theta = 90^\circ$      Auf den Strom bezogen, Strom ist der Spannung voraus.

7) AC Circuits



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

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

- $E_m$ : Amplitude
- $E_{p-p}$ : Wert zw. Max & Min
- $T$ : Periode
- $f$ : Frequenz [Hz]
- $\omega$ : Kreisfrequenz

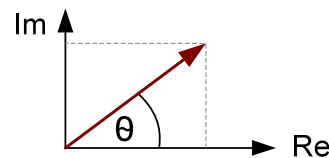
**Schwingkreis**

Serieschwingkreis:  
Parallelschwingkreis:

Kondensator und Spule in Serie.  
Kondensator und Spule parallel.

**Zeigerdarstellung Spannung**

(Spannung kann als Vektor angegeben werden.)



Phasor / Zeiger (Allg.):

$$A = A \cdot e^{j\Phi}$$

Zeitabhängig (Allg.):

$$a(t) = \text{Re}(Ae^{j\Phi} \cdot e^{j\omega t})$$

- Re: Realteil
- Im: Imaginärteil
- $V_0$ : Spannung über Element
- $e(t)$ : Spannung der Quelle

**Zeiger (Spannung)**

$$v(\omega t) = V_m \cdot (\cos(\omega t + \theta) + j \sin(\omega t + \theta)) = V_m \cdot e^{j(\omega t + \theta)} = V_m \cdot \angle(\omega t + \theta)$$

**Zeiger (Strom)**

$$i(\omega t) = I_m \cdot (\cos(\omega t + \theta) + j \sin(\omega t + \theta)) = I_m \cdot e^{j(\omega t + \theta)} = I_m \cdot \angle(\omega t + \theta)$$

**Amplitudengang**

$$V_{m(V_0)} = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2}$$

Serienschaltung:  $V_{m(V_0)} = \left| \frac{V_0}{e(t)} \right| = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2}$

**Phasengang**

$$\angle \theta_{(V_0)} = \arctan\left(\frac{\text{Im}}{\text{Re}}\right)$$

Serienschaltung:  $\angle \theta_{(V_0)} = \angle \left| \frac{Z_0}{\sum Z_i} \right| = \arctan\left(\frac{\text{Im}}{\text{Re}}\right)$

**Impedanzen**

(Komplexe Widerstände)

**Widerstand**

$$Z_R = R \quad \theta = 0$$

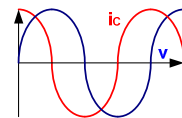
Keine Phasenverschiebung

Strom und Spannung zeigen in die gleiche Richtung.

**Kondensator**

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} \quad \theta = -90^\circ$$

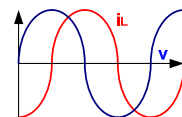
Auf den Strom bezogen, Strom hinkt der Spannung hinterher.



**Spule**

$$Z_L = j\omega L \quad \theta = 90^\circ$$

Auf den Strom bezogen, Strom ist der Spannung voraus.

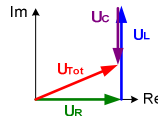
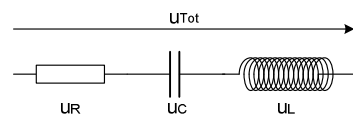


**Impedanzen in Serie**

$$Z_{Tot} = \sum Z_i = Z_1 + Z_2 + \dots$$

Spannung über Impedanz Z:

$$U = \frac{Z}{\sum_1^n Z_n} \cdot E$$



**Impedanzen Parallel**

$$Z_{Tot} = \frac{1}{\sum \frac{1}{Z_i}} = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots}$$

$$n = 2 : Z = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

## 8) Power

**Apparent Power** 
$$S = \frac{I_m \cdot V_m}{2} = \frac{V_m^2}{2|Z|} = \frac{I_m^2}{2} \text{ [VA]}$$

**Average Power** 
$$P = S \cdot \cos(\theta) \text{ [W]}$$

**Reactive Power** 
$$Q = S \cdot \sin(\theta) \text{ [var]}$$

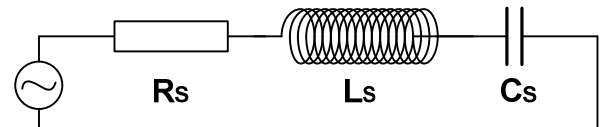
**Power Factor** 
$$F_p = \cos(\theta) = \frac{P}{S}$$

## Series Resonant Circuit

**Resonant Frequency** 
$$f_s = \frac{\omega_s}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

**Quality Factor** 
$$Q = \frac{\omega_s \cdot L}{R_s} = \frac{1}{R_s \cdot \omega_s \cdot C} = \frac{1}{R_s} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

**Bandwidth** 
$$BW_{-3dB} = \frac{R_s}{L} = \frac{\omega_s}{Q}$$

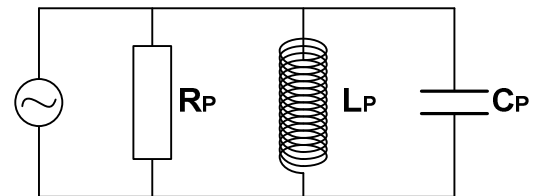


## Parallel Resonant Circuit

**Resonant Frequency** 
$$f_p = \frac{\omega_p}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

**Quality Factor** 
$$Q = R_p \cdot \omega_p \cdot C = \frac{R_p}{\omega_p \cdot L}$$

**Bandwidth** 
$$BW_{-3dB} = \frac{1}{C \cdot R_p} = \frac{\omega_p}{Q}$$



## Frequency Selective Filters

## **9) Index**

**Fehler! Keine Indexeinträge gefunden.**