## 1 Größengleichungen & Maßsysteme

| | | |
|---|---|---|
| Länge | Meter | m |
| Masse | Kilogramm | kg |
| Zeit | Sekunde | s |
| elek. Stromstärke | Ampere | A |
| Temperatur | Kelvin | K |
| Lichtstärke | Candela | cd |
| Stoffmente | Mol | mol |

| **Größe** | | **Umrechnung** |
|---|---|---|
| Kraft | $F$ | $1N = 1\frac{kg \cdot m}{s^2}$ |
| Energie | $W$ | $1J = 1Nm$ |
| Leistung | $P$ | $1W = 1\frac{Nm}{s} = 1\frac{J}{s} = V \cdot A$ |
| Druck | $p$ | $1Pa = 1\frac{N}{m^2}$ |
| Ladung | $Q$ | $1C = 1As$ |
| Spannung | $U$ | $1V = 1\Omega \cdot A = \frac{Nm}{C}$ |
| Widerstand | $R$ | $1\Omega = 1\frac{V}{A}$ |
| Kapazität | $C$ | $1F = 1\frac{As}{V} = 1\frac{C}{V}$ |
| Induktivität | $L$ | $1H = 1\frac{Vs}{A}$ |
| magn. Fluss | $\Phi$ | $1Wb = 1Vs$ |
| magn. Indukt. | $B$ | $1T = 1\frac{Vs}{m^2}$ |

## 2 Gleichstrom-Netzwerke

### 2.1 MSV: Maschenstromverfahren

- Stromquellen $\Rightarrow$ Spannungsquellen
- $G_i \Rightarrow R_i$
- Baum und Maschenumläufe aufstellen

**Hauptdiagonale:**
Summe der Widerstände der Masche
**übrige Elemente:**
gemeinsame Widerstände zweier den Maschen
+ bei gleicher Umlaufrichtung, sonst -
**rechte Seite:**
Summe der Spannungsquellen der Masche
- bei gleicher Umlaufrichtung, sonst +

### 2.2 KPV: Knotenpotentialverfahren

- Spannungsquellen $\Rightarrow$ Stromquellen
- $R_i \Rightarrow G_i$
- Bezugsknoten wählen ($\varphi = 0$)

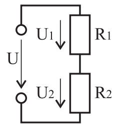
**Hauptdiagonale:**
Summe der Leitwerte der vom Knoten ausgehenden Zweige
**übrige Elemente:**
Leitwerte der Zweige, die die entsprechenden Knoten verbinden (negativ)
**rechte Seite:** Summe der ab$(-)$/-zufließenden$(+)$ Ströme

| | MSV | KPV |
|---|---|---|
| # Gl. | $z-(k-1)$ | $(k-1)$ |
| ges. | Strom | Spannung |
| geg. | Spannung | Strom |

### 2.3 Sonstiges

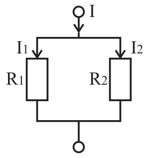
Widerstand: $\frac{U}{I} = R = \frac{l}{\sigma \cdot A} = \rho \cdot \frac{l}{A}$ ; $[R] = \frac{V}{A} = \Omega$
Leitwert: $G = \frac{1}{R}$ = Siemens ($\sigma$: spez. Leitwert, $\rho$: spez. Widerstand); $\frac{1}{\sigma} = \rho$
Leistung: $P = U \cdot I$
Wirkungsgrad: $\eta = \frac{\text{genutzte Leistung}}{\text{gesamte Leistung}} = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{Nutz}} + P_{\text{Verlust}}}$
Leistungsanpassung: $R_i = R_a$
Knotenregel: $\sum I_i = 0$
Maschenregel: $\sum U_i = 0$
**Spannungsteiler:**

$I$ gleich
$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$
$U_{ges} = U_1 + U_2$
$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$



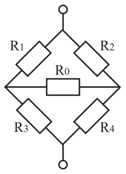

**Stromteiler:**

$U$ gleich
$\frac{I_1}{I_2} = \frac{G_1}{G_2} = \frac{R_2}{R_1}$
$I_{ges} = I_1 + I_2$
$U_{ges} = I_{ges} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$
$\frac{I_1}{I} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{G_1}{G_1 + G_2}$
$I_1 = I_{ges} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$
$I_2 = I_{ges} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

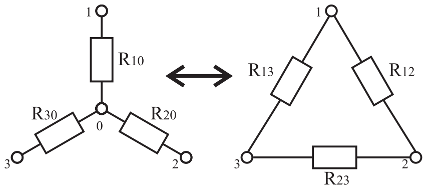



**Abgleichsbedingung Brücke:**

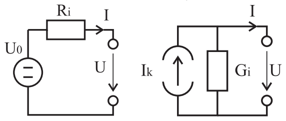
$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \Rightarrow I_Q = 0$




**Stern-/Dreieckstransformation:**
$R_{10} = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}$, sym: $R_\star = R_\Delta / 3$
$R_{12} = R_{10} + R_{20} + \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{30}}$, sym: $R_\Delta = 3R_\star$




**Spannungs-/Stromquellen:**
$U_0 = I_k \cdot R_i \Leftrightarrow I_k = \frac{U_0}{R_i} = U_0 \cdot G_i$ ; $\frac{\Delta U}{\Delta I} = R_i$




## 3 Wechselstrom-Netzwerke

| | |
|---|---|
| $\hat{y}$ | Scheitelwert |
| $\bar{y} = \frac{1}{T}\int_0^T y(t)dt$ | arith. Mittel |
| $y = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T y^2(t)dt}$ | Effektivwert |

### 3.1 sinusförmige Spannungen

$u(t) = \hat{u}\sin(\omega t + \varphi_0)$ $\varphi_0$ Startwinkel $\hat{=}$Verschiebung
$\omega = 2\pi f$, $f = \frac{1}{T}$
$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ Resonanzfrequenz
$U_{eff} = \frac{\hat{U}_{max}}{\sqrt{2}}$ $\quad I = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}$

### 3.2 Leistung und Arbeit

$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} = \frac{W}{t} = \frac{1}{2}\hat{U} \cdot \hat{I}$
$P(t) = u(t) \cdot i(t)$
$W = U \cdot \underbrace{I \cdot t}_{Q}$ (Arbeit)

### 3.3 Kapazitäten

$Q = C \cdot U_c$
$I_C = \frac{dQ}{dt} = C \cdot \frac{dU_C}{dt} = C \cdot \hat{U} \cdot \omega\cos(\omega \cdot t)$
$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d}$ bei Plattenkondensator
$U_C = U_{max} \cdot sin(\frac{2\pi}{T} \cdot t)$
$U_C = \frac{1}{C}\int I_L dt$
Phasenverschiebung +90° = $\frac{\pi}{2}$ „Strom vor Spannung“

| | |
|---|---|
| $w_C(t) = \frac{1}{2}C \cdot u_C^2(t)$ | |
| $\underline{Z}_C = \frac{1}{j\omega C}$ | „Tiefpassfilter“ |
| $\lvert x_C \rvert = \frac{1}{\omega \cdot C}$ | Blindwiderstand |
| $C' = \frac{Kap.}{Laenge}$ | Kapazitätsbelag |

### 3.4 Induktivitäten

$U_L = L \cdot \frac{dI_L}{dt}$
$U_L(t) = U_{max} \cdot sin(\frac{2\pi}{T} \cdot t$
$I_L(t) = \frac{1}{L}\int U_L(t)dt = -\frac{\hat{U}}{\omega L} \cdot \cos(\omega \cdot t)$

Phasenverschiebung -90° = $-\frac{\pi}{2}$ „Spannung vor Strom“

| | |
|---|---|
| $w_L(t) = \frac{1}{2}L \cdot i_L^2(t)$ $\underline{Z}_L = j\omega L$ | „Hochpassfilter“ |
| $\underline{Z}_R = R$ | |
| $\lvert x_C \rvert = \omega \cdot L$ | Blindwiderstand |
| $R' = \frac{R}{l} = \frac{P}{A}$ | Widerstandsbelag |

### 3.5 Bodediagramm

| | |
|---|---|
| $a(\omega) = \pm 20 \cdot \lg \lvert z(\omega) \rvert$ | +Verstärkung,-Dämpfung |
| $\varphi(\omega) = arg(z(\omega)) = \frac{\Im\{\underline{Z}\}}{\Re\{\underline{Z}\}}$ | Phase |

## 4 Elektrische Felder

| | |
|---|---|
| Elementarladung | $e = -1,602 \cdot 10^{-19}C$ |
| Masse Elektron | $m = 9,11 \cdot 10^{-31}kg$ |
| Elektrische Feldstärke | $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$ |
| - Punktladung | $\vec{E} = \frac{1}{2\pi\varepsilon}\frac{Q}{r^2}\vec{e}_r$ |
| Coulombsches Gesetz | $\vec{F} = Q_2\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}\vec{e}_r$ |
| Potenzial | $U = E \cdot d$ |
| Kapazität | $C = \frac{Q}{U} = \varepsilon \cdot \frac{A}{d}$ |
| Plattenkondensator | $Q = D \cdot A$ |
| - Parallelschaltung | $Q_{ges} = Q_1 + Q_2$ |
| - Serienschaltung | $Q = Q_1 = Q_2$ |
| Arbeit | $W = Q \cdot U \cdot I \cdot t$ |

### 4.1 Geschwindigkeit, Beschleunigung, Energie

$E = \frac{1}{2}mv^2 = Q \cdot U \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot Q \cdot U}{m}}$
$F = Q \cdot E = m \cdot a$
$s = \frac{1}{2}at^2$
$\vec{e}_r = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}^2|} = \frac{\vec{r}}{r}$
$v = a \cdot t$, $v = \frac{s}{t}$

## 5 Elektromagnetismus

### 5.1 Magnetisches Feld

| | |
|---|---|
| $\vec{E}$ | elektrische Feldstärke |
| $\vec{D} = \varepsilon \cdot \vec{E}$, $\vec{D} = \frac{1}{4\pi r^2} \cdot Q \cdot \vec{e}_r$ | $\vec{e}_r$ Einheitsvektor |
| $D = \frac{Q}{A}$, $[D] = \frac{C}{m^2}$ | elektrische Flussdichte |
| $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$, $\varepsilon_r = 1 + \chi$ | |
| $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}\,\frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ | |
| $W_{elektr.} = \frac{1}{2}\mu E^2$ | Energiedichte |
| $\vec{H}$, $[H] = \frac{A}{m}$ | magnetische Feldstärke |
| $\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$, $[B] = T$ | magnetische Flussdichte |
| $\Theta = N \cdot I$, $[\Theta] = A$ | mag. Durchflutung |
| $\Theta = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2$ | |
| $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ | |
| $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$ | mag. Feldkonstante |
| $W_{mag.} = \frac{1}{2}\varepsilon H^2$ | Energiedichte |

### 5.2 Durchflutungsgesetz

$H \cdot l = \sum i$, wobei $l$ die Länge ist
Leiter **ohne** Eisenkern: $H = \frac{i}{2\pi r}$, wobei $i$ die Stromstärke und $r$ der Abstand zum Leiter ist. Leiter **mit** Eisenkern: $H = \frac{N \cdot i}{l}$, wobei $N$ Anzahl der Windungen, $i$ der Strom und $l$ die mittlere Feldlinienlänge im Eisenkern ist.

### 5.3 Induktionsgesetz

$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -u_L = -\frac{d}{dt}\oint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = -\frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow u_L = \frac{d\Phi}{dt}$

| | |
|---|---|
| $\Phi = B \cdot A$, $[\Phi] = Wb = T \cdot m^2$ | magnetischer Fluss |
| $\Phi = N \cdot B \cdot A = B \cdot A \cdot cos\Phi$ | bei Spule mit $N$ Windungen |

### 5.4 Magnetischer Widerstand

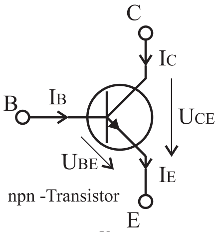
$\Theta = \Phi \cdot R_m$, $R_m = \frac{l}{\mu \cdot A}$, $R_m = R_1 + R_2$ (bei Reihe)
$\Phi = \frac{\Theta}{R_m}$

### 5.5 Magnetische Kraftwirkung

$\vec{F} = \mu \cdot I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$
Falls B,l,F orthogonal: $F = I \cdot l \cdot B$

## 6 Transistor

$B = \frac{I_C}{I_B}$,(Verst.-faktor)
$P_{Verlust} = I_C \cdot U_{CE}$




$I_E \approx I_C$

Arbeitsgerade := Gerade zwischen $(0, \frac{U_B}{R_C})$ und $(U_B, 0)$
Verlustleistungshyperbel: $P_{vmax} = U_{CE} \cdot I_C$

## 7 Komplexes Rechnen

$\underline{z} = x + j \cdot y$: komplexe Zahl $(x = Re, y = Im)$
$\underline{z}^{\star} = x - j \cdot y$ komplex konjugiert
$\underline{z} \cdot \underline{z}^{\star} = |\underline{z}|^2 = x^2 + y^2$
$\tan\varphi = \frac{x}{y} \Rightarrow \varphi = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)$
$\underline{z}_1 \pm \underline{z}_2 = (x_1 \pm x_2) + j(y_1 \pm y_2)$
$\underline{z}_1 \cdot \underline{z}_2 = |\underline{z}_1| \cdot |\underline{z}_2| \cdot (\cos(\varphi_1 + \varphi_2) + j \cdot \sin(\varphi_1 + \varphi_2))$
$\underline{z}_1 / \underline{z}_2 = |\underline{z}_1| / |\underline{z}_2| \cdot (\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + j \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_2))$
$\frac{1}{R + j\omega L} = \frac{R}{R^2 + (\omega L)^2} - j \cdot \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2}$

**komplexe Widerstände:**

$\underline{Z}_R = \frac{U}{\underline{I}} = \frac{\hat{u}}{\hat{i}}$ (Scheinwiderstand/Impedanz)
$\underline{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}$
$\underline{Z}_L = j\omega L$

| | |
|---|---|
| $\underline{Z} = R + jX$ | Impedanz (bei Reihe) |
| $R$ | Resitanz |
| $X$ | Reaktanz |
| $\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = G + jB$ | Admitanz (bei Parallel) |
| $G$ | Konduktanz |
| $B$ | Suszeptanz |

## 8 Trigonometrische Funktionen

$\sin(x \pm y) = \sin x \cos y \pm \cos x \sin y$
$\cos(x \pm y) = \cos x \cos y \mp \sin x \sin y$
$\cos x \cdot \cos y = \frac{1}{2}(\cos(x+y) + \cos(x-y))$
$\sin x \cdot \sin y = \frac{1}{2}(\cos(x-y) - \cos(x+y))$
$\sin x \cdot \cos y = \frac{1}{2}(\sin(x+y) + \sin(x-y))$
$\sin 2x = 2 \cdot \sin x \cdot \cos x$
$\cos 2x = 1 - 2 \cdot \sin^2 x = 2 \cdot \cos^2 x - 1$
$\sin^2 x + \cos^2 x = 1$
$\cos^2 x = \frac{1}{2}(\cos(2x) + 1)$
$\tan x = \frac{\sin x}{\cos x}$ $\quad \cot x = \frac{1}{\tan x}$
$\sin x = 2 \cdot \sin\frac{x}{2} \cdot \cos\frac{x}{2}$ $\quad \cos x = \cos^2\frac{x}{2} - \sin^2\frac{x}{2}$

## 9 Kapazitätsnetzwerke

Parallelschaltung:
$C_{ges} = C_1 + \cdots + C_i = \frac{Q_{ges}}{U}$
$Q_{ges} = Q_1 + \cdots + Q_i = C_1 \cdot U_1 + \ldots C_i \cdot U_i$
$U_1 = U_i = U \Rightarrow Q_{ges} = U \cdot (C_1 + \cdots + C_i)$

Reihenschaltung:
$\frac{1}{C_{ges}} = \sum_{1}^{n} \frac{1}{C_n}$
$Q_{ges} = Q_1 = Q_i$
$U_{ges} = U_1 + \cdots + U_i = \frac{Q}{C_1} + \cdots + \frac{Q}{C_i} = Q \cdot (\frac{1}{C_1} + \cdots + \frac{1}{C_i})$
Hinweis: Für 2 Kapazitäten in Reihe: $C_{ges} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$

## 10 Stromdichte und Driftgeschwindigkeit

| | |
|---|---|
| $J = \frac{I}{A} = n \cdot q \cdot V_D, [J] = \frac{A}{m^2}$ | Stromdichte |
| $I = n \cdot q \cdot A \cdot V_D$ | oder |
| $I = \sigma \cdot E \cdot A$ | |
| $n = \frac{Anz.Ladungstraeger}{Volumen}$ | |
| $q = -e$ | |
| $V_D$ | Driftgeschwindigkeit |
| $\sigma$ | spez. Leitfähigkeit |

## 11 Widerstände

Parallelschaltung:
$U_1 = U_i = U$
$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{I_{ges}}{U} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$
$I_{ges} = I_1 + \cdots + I_i = \frac{U_{ges}}{R_1 + \cdots + R_i}$
Hinweis: Für 2 Widerstände parallel gilt: $R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

Reihenschaltung:
$U_{ges} = U_1 + \cdots + U_i$
$R_{ges} = R_1 + \cdots + R_i$
$I_1 = I_i = I, R_{ges} = \frac{U_{ges}}{I}$

## 12 Zu den Aufgaben

Geradengleichung: Berechnung von $R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$, Geradengleichung $y = m \cdot x + b$ aufstellen (mit Bestimmung der Steigung) und Punkt einsetzen, y-Achse ist U, x-Achse ist I.
Ersatzzweipole: Bei **offenen** Klemmen(I=0) wird Ersatzspannungsquelle und -widerstand bestimmt, bei **Kurzschluss**
Ersatzstromquelle. Ggf.: $G_i = \frac{1}{R_i}$