| ***Symbol*** | ***Bedeutung*** | ***Einheit*** | ***Berechnung*** |
|---|---|---|---|
| $Q$, $q(t)$ | Ladung | 1 As = 1 C (Coulomb) | $q(t) = Q_0 + \int_{t_0}^{t} i(\tau)d\tau$<br>$q(t) = Q_0 + I(t - t_0)$ für Gleichstrom<br>$Q = \int_A \vec{D}d\vec{A}$<br>$= DA$ im homogenen Feld<br>$Q = CU$<br>$\sum_i Q_i = konst.$ Ladungserhaltungssatz |
| $I$, $i(t)$ | Stromstärke | 1 A<br>$[\omega] = 1\,\mathrm{s}^{-1}$<br>$[f] = 1\,\mathrm{Hz}$ | $i(t) = \frac{dq}{dt}$<br>$I = \int_A \vec{J}d\vec{A}$<br>$= JA$ ($\vec{J} \parallel \vec{A}$ und $J$ konst über $A$); im linienhaften Leiter $l >> A$<br>$I = \frac{U}{R}$<br>**Wechselstrom:**<br>Momentanwert: $i(t) = \hat{I}\sin(\omega t + \varphi_i)$ $\varphi_i$ ...Phasenwinkel<br>$\omega = 2\pi f = 2\pi\frac{1}{T}$<br>Gleichrichtwert: $\bar{I} = \frac{2}{\pi}\hat{I}$<br>Effektivwert: $I = \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{I}$ $\hat{I}$...max. Amplitude |
| $U$, $u(t)$ | Elektr. Spannung | 1 V<br>$[\omega] = 1\,\mathrm{s}^{-1}$<br>$[f] = 1\,\mathrm{Hz}$ | $U = RI$<br>$U = \frac{\Delta W_{el}}{Q}$<br>$U = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E}d\vec{l}$<br>$= El$ ($\vec{E} \parallel \vec{l}$ und $E$ konst über $l$); im linienhaften Leiter $l >> A$<br>**Wechselstrom:**<br>Momentanwert: $u(t) = \hat{U}\sin(\omega t + \varphi_u)$ $\varphi_u$ ...Phasenwinkel<br>$\omega = 2\pi f = 2\pi\frac{1}{T}$<br>Gleichrichtwert: $\overline{U} = \frac{2}{\pi}\hat{U}$<br>Effektivwert: $U = \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{U}$ $\hat{U}$...max. Amplitude<br>Widerstand: $u_R = Ri;\quad \hat{U}_R = R\hat{I};\quad \varphi_{u_R} = \varphi_i$<br>Induktivität: $u_L = L\frac{di}{dt} = \hat{U}_R\sin\left(\omega t + \varphi_i + \frac{\pi}{2}\right)$<br>$\hat{U}_L = \omega L\hat{I}$<br>Kapazität: $u_c = \hat{U}_C\sin(\omega t + \varphi_{u_C})$<br>$\hat{U}_C = \frac{1}{\omega C}\hat{I};\quad \varphi_{u_C} = \varphi_i - \frac{\pi}{2}$ |

| ***Symbol*** | ***Bedeutung*** | ***Einheit*** | ***Berechnung*** |
|---|---|---|---|
| $R$ | Elektr. Widerstand | $1\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}} = 1\,\Omega = 1\frac{1}{\mathrm{S}}$ | $R = \frac{U}{I}$<br>$R = \rho\frac{l}{A}$ im homogenen Feld |
| $X$ | Blindwiderstand (Reaktanz) | $1\,\Omega$ | **Wechselstrom (Reihenschaltung):**<br>$X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$<br>Induktiv: $X_L = \omega L$<br>Kapazitiv: $X_C = -\frac{1}{\omega C}$ |
| $Z$ | Scheinwiderstand (Impedanz) | $1\,\Omega$ | **Wechselstrom (Reihenschaltung):**<br>$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ |
| $\varphi$ | Phasenverschiebung | – | **Wechselstrom (Reihenschaltung):**<br>$\varphi = \arctan\frac{X}{R}$ |
| $\vec{J}$ | Elektr. Stromdichte | $1\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{mm}^2}$ | $J = \frac{dI}{dA_\perp}$<br>$\vec{J} = \gamma\vec{E}$ $\gamma$...elektr. Leitfähigkeit, $[\gamma] = 1\frac{\mathrm{S}}{\mathrm{m}}$<br>$\vec{J} = \frac{\vec{E}}{\rho}$ $\rho = \frac{1}{\gamma}$...spezif. Widerstand, $[\rho] = 1\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{S}}$ |
| $\vec{E}$ | Elektr. Feldstärke | $1\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}$ | $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$ |
| $W_{el}$ | Elektr. Arbeit | 1 VAs = 1 Ws = 1 Nm | $W_{el} = QU = Q\int_{P_1}^{P_2}\vec{E}d\vec{l}$<br>$W_{el} = \int_{P_1}^{P_2}\vec{F}d\vec{l}$<br>$= Fl$ ($\vec{F}\parallel\vec{l}$ und $F$ konst über $l$); im linienhaften Leiter $l >> A$ |
| $P_{el}$ | Elektr. Leistung | 1 VA = 1 W | $P_{el} = \frac{dW_{el}}{dt} = \frac{dQ}{dt}U$<br>$P_{el} = UI$<br>$\sum_i P_i = 0$ Leistungserhaltungssatz |
| $\eta$ | Wirkungsgrad | – | $\eta = \frac{W_{abgegeben}}{W_{zugegeben}} = \frac{P_{abgegeben}}{P_{zugegeben}}$ |
| $G$ | Elektr. Leitwert | $1\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{V}} = 1\,\mathrm{S} = \frac{1}{\Omega}$ (Siemens) | $G = \frac{I}{U} = \frac{1}{R}$ |
| $\rho$ | Spezifische Leitfähigkeit | $1\,\Omega\mathrm{m} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{S}}$ | $\rho = \frac{1}{\gamma}$<br>$\rho = \frac{RA}{l}$ im homogenen Feld<br>$\rho(T) = \rho(T_0)(1 + \alpha_{T_0}\Delta T)$<br>$\rho(T) = \rho_{20}(1 + \alpha_{20}\Delta T + \beta_{20}\Delta T^2)$ für große Temperaturen |
| $\Psi_d$ | Elektr. Fluß | 1 As = 1 C | $\Psi_d = Q_{getrennt}$<br>$\Psi_d = \int_A \vec{D}d\vec{A}$ |

| *Symbol* | *Bedeutung* | *Einheit* | *Berechnung* | |
|---|---|---|---|---|
| $\vec{D}$ | Elektr. Flußdichte | $1\frac{\mathrm{As}}{\mathrm{m}^2}$ | $D = \frac{d\Psi_d}{dA_\perp}$<br>$\vec{D} = \varepsilon\vec{E}$ | |
| $\varepsilon$ | Rel. Permittivität | $1\frac{\mathrm{As}}{\mathrm{Vm}}$ | $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$ | $\varepsilon_0$...abs. Permittivität im Vakuum |
| $C$ | Kapazität | $1\frac{\mathrm{As}}{\mathrm{V}} = 1\,\mathrm{F}$ (Farad) | $C = \frac{Q}{U}$<br>$C = \frac{\varepsilon A}{d}$ | im homogenen Feld; $d$...Plattenabstand |
| $\Phi$ | Magnet. Fluß | 1 Vs = 1 Wb (Weber) | $\Phi = \int_A \vec{B}d\vec{A}$<br>$= BA$ | im homogenen Feld |
| $\vec{B}$ | Magnet. Flußdichte | $1\frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{m}^2} = 1\,\mathrm{T}$ (Tesla) | $\vec{B} = \mu\vec{H}$ | |
| $\vec{F}_L$ | Lorenzkraft | 1 N | $\vec{F}_L = Q(\vec{v} \times \vec{B})$<br>$F_L = Q \cdot v \cdot B$ | $v$...Geschwindigkeit<br>für $\vec{v} \perp \vec{B}$ |
| $V$ | Magnet. Spannung | 1 A | $V = \frac{dW_{mag}}{dQ}$<br>$V = \int_l \vec{H}d\vec{l}$<br>$= Hl$<br>$V = R_m\Phi$ | im homogenen Feld |
| $H$ | Magnet. Feldstärke | $1\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}}$ | $H = \frac{dV}{dl}$ | |
| $\mu$ | Rel. Permeabilität | $1\frac{\mathrm{As}}{\mathrm{Vm}}$ | $\mu = \mu_r \mu_0$<br>$\mu_r < 1$ für diamagnetische Stoffe<br>$\mu_r > 1$ für paramagnetische Stoffe | $\mu_0$...abs. Permeabilität im Vakuum |
| $R_m$ | Magnet. Widerstand | $1\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Wb}} = 1\frac{1}{\mathrm{H}}$ | $R_m = \frac{V}{\Phi}$<br>$R_m = \frac{l}{\mu A}$ | im homogenen Feld |
| $\Psi$ | Verketteter Fluß | 1 Vs | $\Psi = \sum_i \Phi_{i_{umfaßt\ vorz.}} \hat{=} 2\Phi_1 - \Phi_2$<br>$\Psi = LI$<br>$\Psi = \int u(t)dt$ | |
| $L$ | Induktivität | 1 Ωs = 1 H (Henry) | $L = \frac{\Psi}{I}$<br>$L = \frac{\mu N^2 A}{l}$ | $N$...Anzahl Windungen der Spule; $l \gg A$ |

| | elektrisch Symbol [Einheit] | elektrisch Berechnung | magnetisch Symbol [Einheit] | magnetisch Berechnung |
|---|---|---|---|---|
| **Strom / Fluß** | $I$ [A] | $I = \int_A \vec{J} d\vec{A}$ | $\Phi$ [Vs = Wb] | $\Phi = \int_A \vec{B} d\vec{A}$ |
| **Spannung** | $U$ [V] | $U = RI$<br>$U = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} d\vec{l}$ | $V$ [A] | $V = R_m \Phi$<br>$V = \int_{P_1}^{P_2} \vec{H} d\vec{l}$ |
| **Widerstand** | $R\left[\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}} = \Omega\right]$ | $R = \frac{U}{I}$<br>$R = \frac{l}{\gamma A}$ | $R_m\left[\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Wb}} = \frac{1}{\mathrm{H}}\right]$ | $R_m = \frac{V}{\Phi}$<br>$R_m = \frac{l}{\mu A}$ |
| **Feldstärke** | $\vec{E}\left[\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}\right]$ | $E = \frac{U}{l}$ (im homogenen Feld) | $\vec{H}\left[\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{m}}\right]$ | $H = \frac{V}{l}$ (im homogenen Feld) |
| **Strom- / Flußdichte** | $\vec{J}\left[\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{mm}^2}\right]$ | $\vec{J} = \gamma \vec{E}$ | $\vec{B}\left[\frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{m}^2} = \mathrm{T}\right]$ | $\vec{B} = \mu \vec{H}$ |

**Knotensatz (1. Kirchhoffscher Satz):**

$$\sum_i Q_i = \text{konst.}$$

$$\sum_i I_{i_{vorzeichen}} = 0$$

bzw. $$\sum_i I_{i\uparrow} = \sum_i I_{i\downarrow}$$

allg. $$\oint \vec{J} d\vec{A} = 0$$

**Maschensatz (2. Kirchhoffscher Satz):**

Für jede Masche gilt:

$$\sum_i U_{i_{vorzeichen}} = 0$$

**Spannungsteilerregel** (Reihenschaltung)**:**

$$I = I_1 = I_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{U_1}{U_{ges}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

**Stromteilerregel** (Parallelschaltung)**:**

$$U = U_1 = U_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{I_1}{I} = \frac{R_{ers_P}}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

| | Reihenschaltung | Parallelschaltung |
|---|---|---|
| **Strom** | $I = I_1 = I_2 = \ldots = I_n$ | $I = I_1 + I_2 + \ldots + I_n$ |
| **Spannung** | $U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$ | $U = U_1 = U_2 = \ldots = U_n$ |
| **Widerstände** | $R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$ | $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$ |
| **Kondensator** | $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}$ | $C = C_1 + C_2 + \ldots + C_n$ |
| **Spulen (Induktivitäten)** | $L = L_1 + L_2 + \ldots + L_n$ | $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots + \frac{1}{L_n}$ |

**Wechselstrom im komplexen:**

$$j := \sqrt{-1}$$

$$\underline{u}_1 = \hat{U}_1\left[\cos\left(\omega t + \varphi_{u_1}\right) + j\sin\left(\omega t + \varphi_{u_1}\right)\right]$$
$$= \hat{U}_1 e^{j\left(\omega t + \varphi_{u_1}\right)}$$
$$u_1 = \mathrm{Im}\left(\underline{u}_1\right)$$

Komplexe Amplitude: $\underline{\hat{U}}_1 = \hat{U}_1 e^{j\varphi_{u_1}}$

Kompexer Effektivwert: $\underline{U}_1 = U_1 e^{j\varphi_{u_1}}$

**Rechenregeln im**

| **Reellen** | | **Komplexen** |
|---|---|---|
| Knotensatz | $\sum i_{v_{vorz}} = 0$ | $\sum \underline{\hat{I}}_{v_{vorz}} = 0$ |
| Maschensatz | $\sum u_{v_{vorz}} = 0$ | $\sum \underline{\hat{U}}_{v_{vorz}} = 0$ |
| Widerstand | $\hat{U} = Z\hat{I}$ | $\underline{\hat{U}} = \underline{Z}\underline{\hat{I}}$ |
| | mit $Z_R = R$ | mit $\underline{Z}_R = R$ |
| | $Z_L = \omega L$ | $\underline{Z}_L = \omega L$ |
| | $Z_C = -\frac{1}{\omega C}$ | $\underline{Z}_C = \frac{1}{\omega C}$ |
| Induktivität | $u_L = L\frac{di_L}{dt}$ | $\underline{u}_L = j\omega L\underline{i}$ |
| Kapazität | $u_C = \frac{1}{C}\int i_C dt$ | $\underline{u}_C = \frac{1}{j\omega C}\underline{i}$ |