

6 Elektrotechnische Grundlagen

6.1 Grundgesetze

Ohmsches Gesetz



U Spannung
 I Stromstärke
 R Widerstand

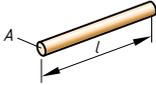
$$[U] = \text{V}$$

$$[I] = \text{A} \quad 1 \text{ A} = 1 \frac{\text{V}}{\Omega}$$

$$[R] = \Omega$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Leiterwiderstand



* Nach DIN 1304:
 für Querschnitt auch S oder q , für elektr. Leitfähigkeit auch σ oder χ .

R Leiterwiderstand
 A^* Leiterquerschnitt
 l Leiterlänge
 γ^* elektr. Leitfähigkeit
 ϱ spezifischer Widerstand
 $1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = 10^{-6} \Omega \text{m}$
 $= 10^{-4} \Omega \text{cm}$
 Bei Nichtleitern und Halbleitern: $[\varrho] = \Omega \cdot \text{m}$

$$[\gamma] = \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$$

$$\gamma_{\text{Cu}} = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$$

$$\gamma_{\text{Al}} = 36 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$$

$$[\varrho] = \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\varrho_{\text{Cu}} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\varrho_{\text{Al}} = 0,0278 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot A^*}; \quad R = \frac{\varrho \cdot l}{A}$$

$$l = R \cdot \gamma \cdot A$$

$$A = \frac{l}{\gamma \cdot R}$$

$$\gamma = \frac{1}{\varrho}$$

Widerstand und Leitwert

R Widerstand (Widerstandswert)
 G Leitwert

$$[G] = \frac{1}{\Omega} = \text{S}$$

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

Widerstand und Temperatur

Metall	α in $1/\text{K}$
Kupfer	0,0039
Aluminium	0,004
Nickelin	0,00015
Konstantan	0,00004

ΔR Widerstandsänderung
 R_ϑ Widerstand bei der Temperatur ϑ
 R_{20} Widerstand bei der Temperatur 20°C
 ϑ Temperatur
 ϑ_1 Anfangstemperatur
 ϑ_2 Endtemperatur
 $\Delta\vartheta$ Temperaturdifferenz
 α Temperaturkoeffizient (Temperaturbeiwert)

$$[\Delta R] = \Omega$$

$$[\Delta\vartheta] = \text{K} = ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$$

$$\Delta R = R_\vartheta - R_{20}$$

$$[\alpha] = \frac{1}{\text{K}} = \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$\Delta R = \alpha \cdot R_{20} \cdot \Delta\vartheta$$

$$R_\vartheta = R_{20} + \Delta R$$

$$R_\vartheta = R_{20} (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta)$$

$$\Delta\vartheta = \frac{R_\vartheta - R_{20}}{\alpha \cdot R_{20}}$$

i Weitere Werte für α , γ und ϱ : Seite 61.

Stromdichte

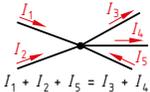
Strombelastbarkeit von isolierten Leitungen: Seite 62.
 *Nach DIN 1304: statt J auch S .

J^* Stromdichte
 I Stromstärke
 A Leiterquerschnitt

$$[J] = \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$J = \frac{I}{A}$$

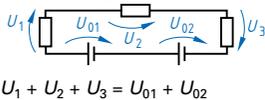
Knotenregel (1. Kirchhoff'sche Regel)



$\sum I_{\text{zu}}$ Summe der zufließenden Ströme
 $\sum I_{\text{ab}}$ Summe der abfließenden Ströme
 I_1, I_2, I_5 zufließende Ströme
 I_3, I_4 abfließende Ströme

$$\sum I_{\text{zu}} = \sum I_{\text{ab}}$$

Maschenregel (2. Kirchhoff'sche Regel)

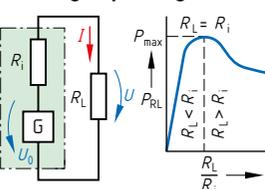


$\sum U_{\text{erz}}$ Summe der Erzeugerspannungen
 $\sum U_{\text{verbr}}$ Summe der Verbraucherspannungen
 U_{01}, U_{02} Erzeugerspannungen (U_{erz})
 U_1, U_2, U_3 Verbraucherspannungen (U_{verbr})

$$\sum U_{\text{erz}} = \sum U_{\text{verbr}}$$

6.2 Anpassung

Leistungsanpassung



R_L Lastwiderstand
 R_i Innenwiderstand
 U Lastspannung
 U_0 Leerlaufspannung, Quellenspannung
 I Laststrom
 I_k Kurzschlussstrom
 P_{max} größte Leistung an R_L

Leistungsanpassung:

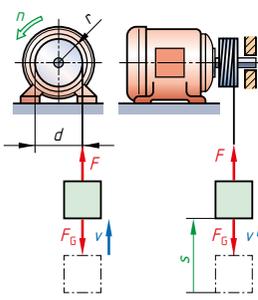
$$R_L = R_i \quad U = \frac{U_0}{2} \quad I = \frac{I_k}{2}$$

$$P_{\text{max}} = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{I_k}{2} \quad P_{\text{max}} = \frac{U_0^2}{4 \cdot R_i}$$

Stromanpassung: $R_L \ll R_i$
 Spannungsanpassung: $R_L \gg R_i$

10.2.6 Mechanische Leistung

Leistung bei geradliniger Bewegung und bei Drehbewegung



- P Leistung
- W Arbeit
- t Arbeitszeit
- F Kraft
- s Kraftweg
- v Umfangsgeschwindigkeit
- n Drehzahl, Umdrehungsfrequenz
- r Radius
- M Drehmoment
- ω Winkelgeschwindigkeit, Drehgeschwindigkeit

$$[P] = \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$$

$$1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W}$$

$$v = 2\pi \cdot n \cdot r$$

$$M = F \cdot r$$

$$\omega = 2\pi \cdot n$$

$$[\omega] = \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \frac{1}{\text{s}}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t}$$

$$P = F \cdot v$$

$$P = F \cdot 2\pi \cdot n \cdot r$$

$$P = M \cdot \omega$$

$$P = M \cdot 2\pi \cdot n$$

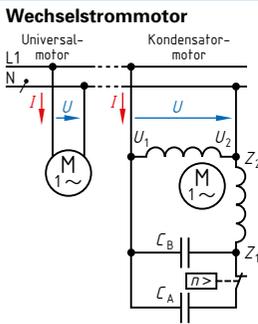


In der Praxis häufig verwendet: P in kW, M in Nm, n in $\frac{1}{\text{min}}$ \implies

$$P = \frac{M \cdot n}{9549}$$

10.3 Umlaufende elektrische Maschinen

10.3.1 Wechselstrommotor und Drehstrommotor



- P_1 zugeführte Leistung
- P_2 abgegebene Leistung
- U_2 Leiterspannung
- I Leiterstrom
- $\cos \varphi$ Wirkfaktor
- η Wirkungsgrad
- Q_{CB} Blindleistung des Betriebskondensators
- C_A Kapazität des Anlaufkondensators
- C_B Kapazität des Betriebskondensators
- ω Kreisfrequenz
- U_C Kondensatorbemessungsspannung

- Universalmotor
- Kondensatormotor

$$P_1 = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_2 = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

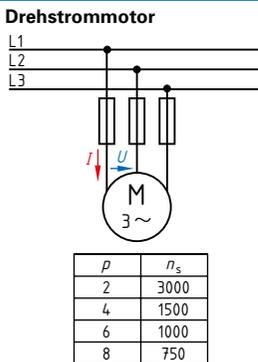
- Kondensatormotor

$$Q_{CB} = 1,3 \frac{\text{kvar}}{\text{kW}} \cdot P_2$$

$$C_B = \frac{Q_{CB}}{\omega \cdot U^2}$$

$$C_A = 3 \cdot C_B$$

$$U_C = 1,35 \cdot U$$



- P_1 zugeführte Leistung
- P_2 abgegebene Leistung
- P_v Verlustleistung
- U Leiterspannung
- I Leiterstrom
- $\cos \varphi$ Wirkfaktor
- η Wirkungsgrad
- n Läuferdrehzahl
- n_s Drehfeldrehzahl
- s Schlupf (in %)
- f_L Frequenz der Läuferspannung
- f Netzfrequenz
- p Polpaarzahl

- Drehstromasynchronmotor
- Drehstromsynchronmotor

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}; \quad P_v = P_1 - P_2$$

- Drehstromasynchronmotor

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \%$$

$$f_L = \frac{f \cdot s}{100 \%$$

$$f_L = f \cdot \frac{n_s - n}{n_s}$$

- Drehstromsynchronmotor

$$n = n_s = \frac{f}{p}$$

10.3.2 Schrittmotor



- α Schrittwinkel
- p Polpaarzahl
- m Strangzahl (Phasenzahl)
- Z_u Schrittzahl/Umdrehung
- n Drehzahl
- f_{sch} Schrittfrequenz

- Vollschrittbetrieb

$$Z_u = 2 \cdot p \cdot m$$

$$\alpha = \frac{360^\circ}{Z_u}$$

$$n = \frac{f_{sch}}{Z_u}$$