

# Formelsammlung

für den Funkamateureur

HB9/CEPT

## 1 Elektrizität

$\rho$ : Spezifischer Widerstand [ $\Omega \text{ mm m}^{-1}$ ]  
 $U, I, R, P$ : Spannung, Strom, Widerstand, Leistung  
 $E$ : Feldstärke [ $\text{Vm}^{-1}$ ]

### Leitungswiderstand

Der ohmsche Widerstand eines Körpers lässt sich aus seinen geometrischen Abmessungen und einer materialspezifischen Konstante – dem spezifischen Widerstand  $\rho$  – berechnen.

Für einen in Längsrichtung durchflossenen geraden Leiter mit konstanter Querschnittsfläche  $A$  und der Länge  $l$  gilt:

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

**Rechenbeispiel** Ein Netzteil hat eine Ausgangsspannung von 13.8 V bei einem Laststrom von 20 A. Die Speisung des Verbrauchers erfolgt über ein 3.5 m langes Kabel mit einem Leiterquerschnitt von 6 mm<sup>2</sup>. Der spezifische Widerstand von Kupfer ist 0.0175  $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$ . Wie gross ist die Spannung am Verbraucher?

$$R = 0.0175 \cdot 2 \cdot 3.5 \text{ m} \div 6 \text{ mm}^2 = 0.0204 \Omega$$

### Ohmsches Gesetz

Der als Quotient aus Spannung und Stromstärke definierte elektrische Widerstand ist konstant, also unabhängig von Spannung und Stromstärke.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U^2}{P} = \frac{P}{I^2}$$
$$I = \frac{U}{R} = \frac{P}{U} = \sqrt{\frac{P}{R}}$$
$$U = R \cdot I = \sqrt{P \cdot R} = \frac{P}{I}$$
$$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

**Rechenbeispiel** An welche Spannung darf ein 470 $\Omega$ -Widerstand mit 1/4 W angeschlossen werden?

$$U = \sqrt{470 \Omega \cdot 0.25 \text{ W}} = 10.84 \text{ V}$$

### Wechselstrom

$$u_{SS} = \sqrt{2} \cdot u_{eff.}$$

### Kapazitiver Blindwiderstand $X_C$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

### Induktiver Blindwiderstand $X_L$

$$X_L = 2\pi fL$$

### Dämpfung d / Verstärkung a

$$1 \text{ Dezibel (dB)} \equiv 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_1}{P_2} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{U_1}{U_2} \right)$$

Verstärkung

Dämpfung

$$P_2 = P_1 \cdot 10^{\frac{a}{10}}$$

$$P_2 = P_1 \cdot 10^{-\frac{a}{10}}$$

$$U_2 = U_1 \cdot 10^{\frac{a}{20}}$$

$$U_2 = U_1 \cdot 10^{-\frac{a}{20}}$$

### Feldstärke

$$E = 7 \cdot \frac{\sqrt{P}}{d}$$

## 2 Bauteile

### Spule

$$\tau = \frac{L}{R}, L = U_L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$\tau$ : Zeitkonstante  
 $L$ : Induktivität [ $\text{VsA}^{-1}$ ]

### Kondensator

$$\tau = R \cdot C$$

Laden	Entladen
$1\tau \approx 63,2\%$	$1\tau \approx 36,8\%$
$2\tau \approx 86,5\%$	$2\tau \approx 13,5\%$
$3\tau \approx 95,0\%$	$3\tau \approx 5,0\%$
$4\tau \approx 98,2\%$	$4\tau \approx 1,8\%$
$5\tau \approx 99,3\%$	$5\tau \approx 0,7\%$

### Drehkondensator

mit Parallelkapazität  $C_{par}$

$$f_{min}^2 \cdot (C_{max} + C_{par}) = f_{max}^2 \cdot (C_{min} + C_{par})$$

### Transformator

$N$ : Windungszahl  
 $\hat{u}$ : Übersetzungsverhältnis

$$\hat{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} \iff Z_1 = Z_2 \cdot \hat{u}^2$$

$$\text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{P_2}{P_1} 100\%$$

### 3 Schaltungen

#### Spannungsteiler

Der Spannungsteiler wird im Standardfall beschrieben durch die Reihenschaltung von zwei ohmschen Widerständen.

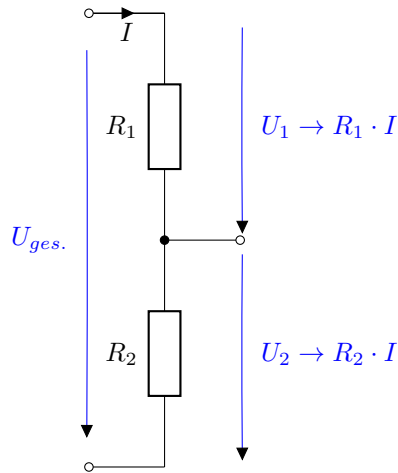


Abbildung 1 – Spannungsteiler

#### Reihen- und Parallelschaltung

Reihenschaltung

Parallelschaltung

$$\begin{aligned} R_{ges} &= R_1 + \dots + R_n & \frac{1}{R_{ges}} &= \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n} \\ \frac{1}{C_{ges}} &= \frac{1}{C_1} + \dots + \frac{1}{C_n} & C_{ges} &= C_1 + \dots + C_n \\ L_{ges} &= L_1 + \dots + L_n & L_{ges} &= \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \dots + \frac{1}{L_n}} \end{aligned}$$

#### Schwingkreis

Im idealen Schwingkreis sind im Resonanzfall die Blindwiderstände von  $L$  und  $C$  gleich groß. Die Resonanzfrequenz errechnet sich mit der Thomson'schen Formel.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \iff C = \frac{1}{(2\pi f_{res})^2 L}$$

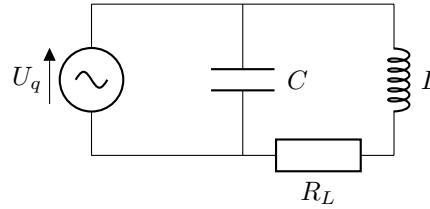


Abbildung 2 – Schwingkreis

Bandbreite

$$b = \frac{f_{res}}{Q} = \frac{R_v}{2\pi L}$$

Schwingkreisgüte

$$Q = \frac{f_{res}}{b} = \frac{f_o + f_u}{2(f_o - f_u)} = \frac{1}{d}$$

$$Q = \frac{Z_{res}}{X_L} = \frac{Z_{res}}{X_C} = \frac{X_L}{R_L} = R_p \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Impedanz

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Grenzfrequenz bei RC-Kombination

$$f_{grenz} = \frac{1}{2\pi R C}$$

**Rechenbeispiel** Die Schaltung aus Abbildung 2 arbeitet in Resonanz. Die Impedanz  $Z$  beträgt  $50 \Omega$ ,  $U = 3 V$ ,  $C = 70 pF$ ,  $L = 60 \mu H$ . Wie groß ist die Spannung über dem Kondensator? Zunächst wird die Resonanzfrequenz ermittelt:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{60 \cdot 10^{-6} H \cdot 70 \cdot 10^{-12} F}} = 2.46 \text{ MHz}$$

Der Strom ergibt sich aus

$$I = \frac{3 V}{50 \Omega} = 60 \text{ mA}$$

Die Spannung über dem Kondensator ist also

$$U = \frac{0.06 A}{2\pi \cdot 2.46 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 70 \cdot 10^{-12} F} = 55.5 V$$

#### Transistor

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$R_C = \frac{U_B - U_{CE} - U_{RE}}{I_C}$$

$$R_1 = \frac{U_B - U_{BE} - U_{RE}}{I_q + I_B}$$

$$R_2 = \frac{U_{BE} + U_{RE}}{I_q}$$

$$P_V = U_{CE} \cdot I_C$$

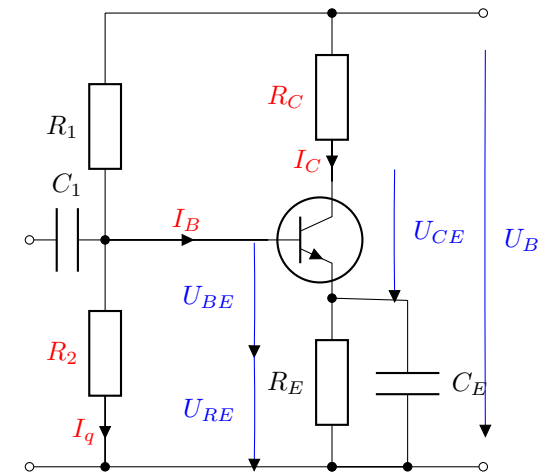


Abbildung 3 – NPN-Emitterschaltung

#### Operationsverstärker

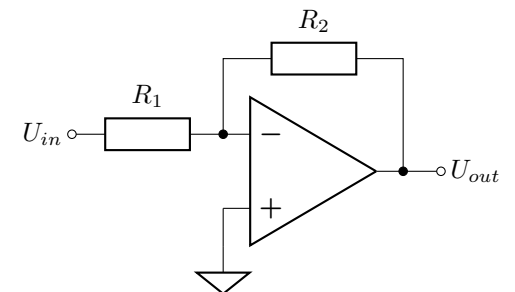
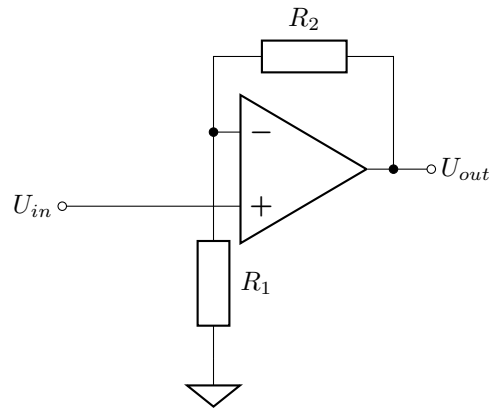


Abbildung 4 – Invertierender Verstärker

$$V = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{U_{out}}{U_{in}}$$



**Abbildung 5** – Nicht-invertierender Verstärker

$$V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

## Bandbreite

$$b_{CW} = \frac{5 \cdot \text{WPM}}{1.2}$$

$$b_{AM} = 2 \cdot f_{NFmax}$$

Modulationsindex bei FM:

$$m = \frac{\Delta f}{f_{NFmax}}$$

## Spiegelfrequenz

Empfangsfrequenz  $f_{HF} = f_{osz} \pm f_{ZF}$

Spiegelfrequenz  $f_{HF,Sp} = f_{osz} \mp f_{ZF}$