Formelsammlung

für den Funkamateur

HB9/CEPT

1 Elektrizität

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

Leitungswiderstand

Der ohmsche Widerstand eines Körpers lässt sich aus seinen geometrischen Abmessungen und einer materialspezifischen Konstante – dem spezifischen Widerstand ρ – 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^2. Der spezifische Widerstand von Kupfer ist $0.0175\frac{\Omega \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$. Wie gross ist die Spannung am Verbraucher?

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

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 470Ω-Widerstand mit $^1/_4$W angeschlossen werden?

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

Wechselstrom

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

Kapazitiver Blindwiderstand X_C

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Induktiver Blindwiderstand X_L

$$X_L = 2\pi f L$$

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

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

τ: Zeitkonstante L: Induktivität $[VsA^{-1}]$

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 $\widehat{u}$: Übersetzungsverhältnis

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

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

3 Schaltungen

Spannungsteiler

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

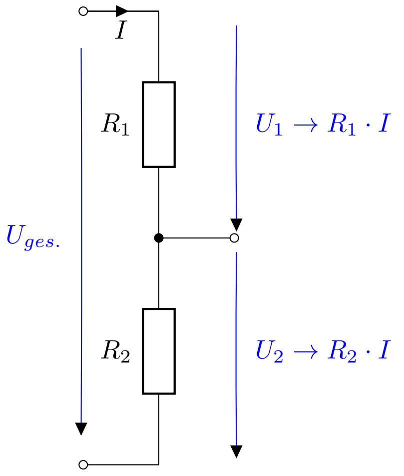

Abbildung 1 – *Spannungsteiler*

Reihen- und Parallelschaltung

Reihenschaltung

$$R_{ges} = R_1 + \cdots + R_n$$

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

$$L_{ges} = L_1 + \cdots + L_n$$

Parallelschaltung

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

$$C_{ges} = C_1 + \cdots + C_n$$

$$L_{ges} = \frac{1}{L_1} + \cdots + \frac{1}{L_n}$$

Schwingkreis

Im idealen Schwingkreis sind im Resonanzfall die Blindwiderstände von L und C gleich groß. Die Resonantfrequenz errechnet sich mit der Thomsonschen Formel.

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

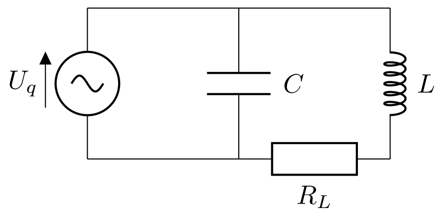

Abbildung 2 – *Schwingkreis*

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 Ω, $U = 3\ V$, $C = 70\ pF$, $L = 60\mu H$. 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

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

Die Spannung über dem Kondensator ist also

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

Transistor

Spannungsverstärkung

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

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

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

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

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

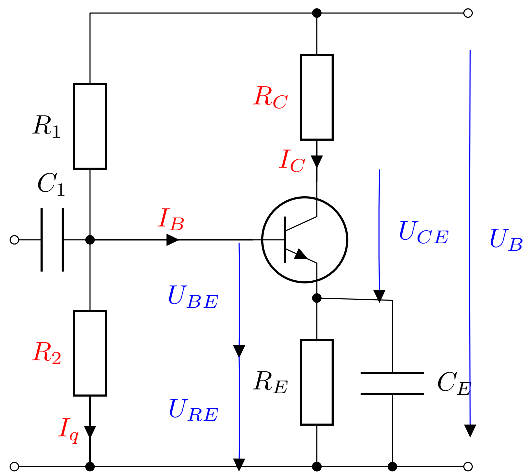

Abbildung 3 – *NPN-Emitterschaltung*

Operationsverstärker

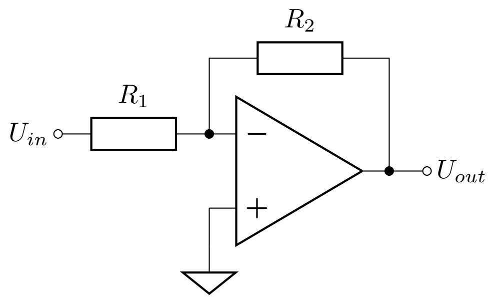

Abbildung 4 – *Invertierender Verstärker*

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

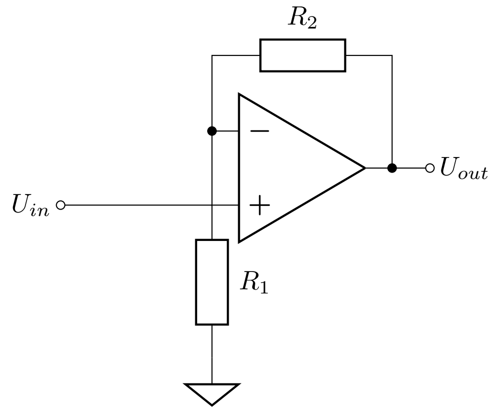

Abbildung 5 – *Nicht-invertierender Verstärker*

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

Bandbreite

$$b_{CW} = \frac{5 \cdot \mathrm{WPM}}{1.2}$$
$$b_{AM} = 2 \cdot f_{NFmax}$$

Modulationsindex bei FM:

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

Spiegelfrequenz

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

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