

Grundlagen der Elektro- und Digitaltechnik

Physikalische Grundlagen

Wichtige Größen

- Spannung (U) [Volt, V] = $\frac{J}{C}$
- Strom (I) [Ampere, A] = $\frac{C}{s}$
- Widerstand (R) [Ohm, Ω] = $\frac{V}{A}$
- Leistung (P) [Watt, W] = $V \cdot A$
- Kapazität (C) [Farad, F] = $\frac{A \cdot s}{V}$
- Induktivität (L) [Henry, H] = $\frac{V \cdot s}{A}$
- Ladung (q) [Coulomb, C] = $A \cdot s$
- Kraft (F) [Newton, N] = $kg \cdot \frac{m}{s^2}$
- Energie = Arbeit (E = W) [Joule, J] = $N \cdot m$
- Elektronenvolt (eV) = $1.602176634 \times 10^{-19} J$
- Frequenz (f) [Hertz, Hz] = $\frac{1}{s}$
- Magnetische Flussdichte (B) [Tesla, T] = $\frac{N}{A \cdot m}$
- Kelvin (K): Absolute Temperatur in Celsius + 273.15

Wichtige Konstanten

- Erdbeschleunigung (g) = $9.81 \frac{m}{s^2}$
- Lichtgeschwindigkeit (c) = $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$
- Elektrische Feldkonstante (ϵ_0) = $8.854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$
- Magnetische Feldkonstante (μ_0) = $1.26 \times 10^{-6} \frac{Tm}{A}$
- Gravitationskonstante (γ) = $6.67430 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kgs^2}$
- Elementarladung (e) = $1.602176634 \times 10^{-19} C$
- Elektronenmasse (m_e) = $9.10938356 \times 10^{-31} kg$
- Plancksche Konstante (h) = $6.62607015 \times 10^{-34} Js$
- Boltzmann-Konstante (k) = $1.380649 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$
- Wien'sche Verschiebungskonstante (b) = $2.8977729 \times 10^{-3} m \cdot K$
- Stefan-Boltzmann-Konstante (σ) = $5.670374419 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

Beschleunigung

	t	s	v	a
t	-	$s = \frac{v^2}{2a}$	$v = \sqrt{2as}$	$a = \frac{v^2}{2s}$
s	$t = \frac{v}{a}$	-	$v = at$	$a = \frac{v}{t}$
v	$t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$	$s = \frac{at^2}{2}$	-	$a = \frac{2s}{t^2}$
a	$t = \frac{2s}{v}$	$s = \frac{vt}{2}$	$v = \frac{2s}{t}$	-

Wurf mit Vektoren

- $\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z - g \cdot t \end{pmatrix}$
- $\vec{s}(t) = \begin{pmatrix} s_x + v_x \cdot t \\ s_y + v_y \cdot t \\ s_z + v_z \cdot t - \frac{1}{2}g \cdot t^2 \end{pmatrix}$

Kräfte

Gewichtskraft

Vektor	Zahlwert
$\vec{F}_G = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -m \cdot g \end{pmatrix}$	$F_G = m \cdot g$

m: Masse [kg], h: Höhe [m]

Federkraft

Vektor	Zahlwert
$\vec{F}_s = -k \cdot (\vec{x} - L) \cdot \frac{\vec{x}}{ \vec{x} }$	$F_s = -k \cdot (x - L)$

k: Federkonstante [$\frac{N}{m}$], L: Ruhelänge [m],
x: Auslenkung [m]

Gravitationskraft zwischen Massen

Vektor	Zahlwert
$\vec{F}_{12} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{ \vec{r}_1 - \vec{r}_2 ^2} \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{ \vec{r}_1 - \vec{r}_2 }$	$F_{12} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$

m_1, m_2 : Massen [kg],

r_1, r_2 : Orte der Massen [m], r: Abstand der Massen [m]

$\vec{n}_{12} = \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|}$: Einheitsvektor von Masse 2 zu Masse 1

Kraft zwischen Ladungen (Coulomb-Kraft)

Vektor	Zahlwert
$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{ \vec{r}_1 - \vec{r}_2 ^2} \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{ \vec{r}_1 - \vec{r}_2 }$	$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$

q_1, q_2 : Ladungen [C],

r_1, r_2 : Orte der Ladungen [m]

Energie

- Potentielle Energie: $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$
- Kinetische Energie: $E_{kin} = \frac{1}{2}m \cdot v^2$
- Federenergie: $E_s = \frac{1}{2}k(x - L)^2$
- Potentielle Energie einer Ladung bei einer Spannung: $E_{pot.el} = Uq$
- Potential: $\varphi = \frac{\text{Potentielle Energie der Menge X}}{\text{Menge X}}$

Veränderungsraten

- $v(t) = \frac{ds(t)}{dt} = \int a(t)dt$
- $a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = \frac{d^2s(t)}{dt^2}$
- $s(t) = \int v(t)dt$
- $I(t) = \frac{dq(t)}{dt}$

Elektrische Grundlagen

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \quad [1]$$

Ohmsches Gesetz

- $U = U_R = R \cdot I$
- $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$
 - ρ : spezifischer Widerstand [Ωm]
 - l : Länge des Leiters [m]
 - A : Querschnittsfläche des Leiters [m^2]
- $P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$

Knotenregel (1. Kirchhoffsche Regel)

Ein Knoten ist ein Verbindungspunkt mehrerer Leiter.

$$\sum I_{ein} = \sum I_{aus}$$

Maschenregel (2. Kirchhoffsche Regel)

Eine Masche ist ein geschlossener Weg in einem Netzwerk.

$$\sum U_{Quelle} = \sum U_{Verbraucher}$$

Reihenschaltung

- $R_{gesamt} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
- $I_{gesamt} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$
- $U_{gesamt} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$
- Spannungsteiler: $U_2 = U_{gesamt} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

Parallelschaltung

- $\frac{1}{R_{gesamt}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
- $I_{gesamt} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
- $U_{gesamt} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$

Lastwiderstand

$$P_{last} = U_0^2 \cdot \frac{R_{last}}{(R_i + R_{last})^2} = I^2 \cdot R_{last}$$

Kondensator / RC-Kreis

- $C = \frac{q}{U}$ (Kapazität) [F]
- $E_{el} = \frac{1}{2}CU^2$
- $I(t) = \frac{U_0 - U_C(t)}{R} = \frac{U_0}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$
- $U_C(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$
- $X_C = \frac{1}{\omega C}$ (Kapazitiver Blindwiderstand) [Ω]
 - Kann nicht direkt mit R addiert werden
- $\tau = R \cdot C$ (Zeitkonstante) [s]
 - 63.2% der Endladung in τ bei Ladevorgang
 - 36.8% der Anfangsladung in τ bei Entladen
- $\omega = 2\pi f$ (Kreisfrequenz) [Hz]
- $f_g = \frac{1}{2\pi\tau}$ (Grenzfrequenz) [Hz]

Induktivität

- $L = \frac{N \cdot \Phi}{I}$ (Induktivität) [H]
- $U_L(t) = L \frac{dI(t)}{dt} = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$
- $E_{mag} = \frac{1}{2}LI^2$
- $I(t) = I_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$
- $X_L = \omega L$ (Induktiver Blindwiderstand) [Ω]

– Kann nicht direkt mit R addiert werden

- $\tau = \frac{L}{R}$ (Zeitkonstante) [s]
 - Gilt analog zum Kondensator
- $\omega = 2\pi f$ (Kreisfrequenz) [Hz]
- $f_g = \frac{1}{2\pi\tau}$ (Grenzfrequenz) [Hz]

LC-Kreis

- $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{T}$ (Frequenz) [Hz]
- $T = \frac{1}{f}$ (Periodendauer) [s]

RL-Kreis

- $I(t) = I_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ (Anlaufstrom) [A]
- $I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ (Abklingstrom) [A]
- $\tau = \frac{L}{R}$ (Zeitkonstante) [s]

Schwingkreis / RLC-Kreis

- $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ (Frequenz) [Hz]
- $T = \frac{1}{f}$ (Periodendauer) [s]
- $\tau = \frac{2L}{R}$ (Abklingzeit / Zeitkonstante) [s]
 - Zeit bis zur Amplitudenabsenkung auf $\frac{1}{e}$ des Anfangswertes (ca. 36.8%)
- Wenn $R^2 < \frac{4L}{C}$: Unterkritisch
- Wenn $R^2 = \frac{4L}{C}$: Kritisch
 - Schnellstes Abklingen ohne Überspringen
- Wenn $R^2 > \frac{4L}{C}$: Überkritisch
 - Exponentielles Abklingen ohne Schwingung

Tief- und Hochpass

- Tiefpass: $U_{out} = U_{in} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$
- Hochpass: $U_{out} = U_{in} \cdot \frac{\omega RC}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$
- Grenzfrequenz: $f_g = \frac{1}{2\pi RC}$

Signale

Grundlegende Begriffe

- Amplitude (A): Maximaler Ausschlag eines Signals
- Periodendauer (T): Zeit für eine vollständige Schwingung [s]
- Frequenz (f): Anzahl der Schwingungen pro Sekunde [Hz]

$$f_n = n \cdot \frac{1}{T}$$

- Kreisfrequenz (ω): Winkelgeschwindigkeit [rad/s]

$$\omega_n = 2\pi f_n$$

- Phasenverschiebung (φ): Zeitliche Verschiebung eines Signals [rad]

$$\varphi = \omega \cdot t_{\text{Verschiebung}}$$

- Serieschaltung: Signale werden addiert
- Parallelschaltung: Signale werden gemittelt

Wichtige Signale

- Sinus: $y(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$
- Rechteck: $y(t) = \begin{cases} A & 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ -A & \frac{T}{2} \leq t < T \end{cases}$
- Dreieck: $y(t) = \begin{cases} \frac{4A}{T}t - A & 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ -\frac{4A}{T}t + 3A & \frac{T}{2} \leq t < T \end{cases}$
- Sägezahn: $y(t) = \frac{2A}{T}t - A$

Fourierzerlegung

- Fourierreihe:

$$g(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(\omega_n t) + b_n \sin(\omega_n t))$$

- Fourierkoeffizienten:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} g(t) \cos(\omega_n t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} g(t) \sin(\omega_n t) dt$$

Amplituden- und Phasendarstellung

- Amplituden- und Phasendarstellung:

$$g(t) = A_n \cdot \sin(\omega_n t + \varphi_n)$$

- Zusammenhang der Darstellungen:

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\varphi_n = \arctan\left(\frac{a_n}{b_n}\right) = \arcsin\left(\frac{b_n}{A_n}\right) = \arccos\left(\frac{a_n}{A_n}\right)$$

Inverse Fouriertransform

$$g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

Digitaltechnik

Halbleiter

- n-Halbleiter: Überschuss an Elektronen (Donatoren)
- p-Halbleiter: Überschuss an Löchern (Akzeptoren)
- pn-Übergang: Verbindung von p- und n-Halbleiter

Dotierung / Doping

- n-Dotierung: Zugabe von Elementen der 5. Hauptgruppe (z.B. Phosphor, Arsen)
- p-Dotierung: Zugabe von Elementen der 3. Hauptgruppe (z.B. Bor, Gallium)

Halbleiterbauelemente

Diode

- Leitet Strom in Durchlassrichtung (Anode zu Kathode)
- Sperrt Strom in Sperrrichtung (Kathode zu Anode)
- Kennlinie: Exponentielles Verhalten













Transistor (MOSFET)

- Steuerung des Stromflusses zwischen Drain und Source durch Spannung am Gate
- Leitet Strom, wenn Spannung am Gate über Schwellenspannung liegt

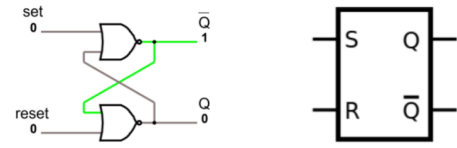
Open Drain

- Ausgang ist nur mit Drain verbunden
- Benötigt externen Pull-Up-Widerstand (Spannungsteilungsformel)
- Ermöglicht mehrere Ausgänge, die einen Bus teilen

Logische Gatter

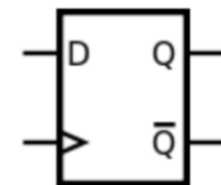
Gatter	IEC-Norm (Europa)	ANSI-Standard (USA)	Wahrheitstabelle															
NOT		 out	<table><tr><th>A</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	Y	0	1	1	0									
A	Y																	
0	1																	
1	0																	
AND		 out	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	B	Y																
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
OR		 out	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
A	B	Y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
NAND		 out	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	Y																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
NOR		 out	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
A	B	Y																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	0																
XOR		 out	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	Y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																

RS-Flip-Flop



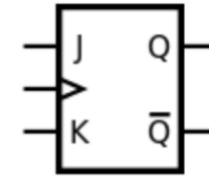
- Setzt Ausgang Q auf 1, wenn S=1 und R=0
- Setzt Ausgang Q auf 0, wenn S=0 und R=1
- Beibehaltung des Zustands, wenn S=0 und R=0
- Ungültiger Zustand, wenn S=1 und R=1

D-Flip-Flop



- Überträgt Eingang D auf Ausgang Q bei Taktflanke
- Verhindert ungewollte Änderungen des Ausganges

JK-Flip-Flop



- Setzt Ausgang Q auf 1, wenn J=1 und K=0
- Setzt Ausgang Q auf 0, wenn J=0 und K=1
- Toggle-Zustand, wenn J=1 und K=1
- Beibehaltung des Zustands, wenn J=0 und K=0

Parasiteneffekte

- Kapazitive Kopplung: Unerwünschte elektrische Verbindung zwischen Leitungen
- Induktive Kopplung: Unerwünschte magnetische Verbindung zwischen Leitungen
- Übersprechen: Signalübertragung von einer Leitung auf eine andere
- Signalreflexion: Rückkehr eines Signals aufgrund von Impedanzänderungen

Sensoren

aktive Sensoren

- Wandeln physikalische Größen direkt in elektrische Signale um
- Häufige Kalibrierung erforderlich
- Beispiele: Thermoelemente, Photovoltaikzellen

passive Sensoren

- Ändern ihre elektrischen Eigenschaften in Abhängigkeit von physikalischen Größen
- Benötigen eine externe Spannungsquelle zur Messung
- Höhere Genauigkeit und Stabilität
- Beispiele: Widerstandsthermometer, Fotowiderstände

AD-Wandler

- Wandeln analoge Signale in digitale Signale um
- Wichtige Parameter:
 - Auflösung (Bits)
 - Abtastrate (Samples pro Sekunde)
 - Eingangsspannungsbereich

Elektrische und Magnetische Felder

Coulomb-Gesetz

Siehe Kraft zwischen Ladungen Seite 1.

$$\vec{F}_{12} = \vec{E} \cdot q_p$$

Elektrisches Feld

- Elektrische Feldstärke:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{|\vec{r} - \vec{r}_q|^2} \frac{\vec{r} - \vec{r}_q}{|\vec{r} - \vec{r}_q|} \quad \left[\frac{N}{C} \right] = \left[\frac{V}{m} \right]$$

- Elektrisches Potential:

$$\varphi = \frac{E_{pot}}{q} \quad [V]$$

- Spannung zwischen zwei Punkten:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Magnetisches Feld

- Magnetische Kraft:

$$\vec{F}_{mag} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B} = I \cdot |\vec{l}| \cdot |\vec{B}| \cdot \sin(\theta) \quad [N]$$

l: Leiterlänge im Magnetfeld [m]

θ : Winkel zwischen Leiter und Magnetfeld

- Lorentzkraft:

– Kraft auf eine bewegte Ladung im Magnetfeld:

– Entspricht der Zentripetalkraft bei Kreisbewegung im Magnetfeld

$$\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} = \frac{mv^2}{r} \quad [N]$$

- Magnetische Flussdichte:

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}_{mag}}{q \cdot \vec{v} \sin(\theta)} \quad [T]$$

- Wenn $\vec{v} \perp \vec{B}$ gilt:

$$m = \frac{q \cdot |\vec{B}| \cdot r}{v} \quad (\text{Masse des Teilchens}) [kg]$$

- Strom ist immer senkrecht zum Magnetfeld

Elektromagnetische Kraft und Feldenergie

- Kraft auf eine Ladung im elektromagnetischen Feld:

$$\vec{F}_{el\,mag} = q(\vec{E}(\vec{r}) + \vec{v} \times \vec{B}(\vec{r})) \quad [N]$$

- Energiedichte des elektromagnetischen Feldes:

$$w = \frac{\epsilon_0}{2} |\vec{E}|^2 + \frac{\epsilon_0 c^2}{2} |\vec{B}|^2 \quad \left[\frac{J}{m^3} \right]$$

- Energie in einem Volumen V:

$$\varepsilon = \int_V w \, dV \quad [J]$$

Elektrodynamik

Der Fluss

- Elektrischer Fluss:

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \left[\frac{Nm^2}{C} \right]$$

- Wenn \vec{E} homogen und senkrecht zur Kugeloberfläche ist

$$\Phi_E = 4\pi r^2 \cdot |\vec{E}| = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$|\vec{E}| = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

r: Abstand von der Ladung [m]

Integration entlang von Linien

- Arbeit eines Kraftfeldes entlang einer Linie:

$$W = \int_A^B \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{s} \quad [J]$$

- Spannung zwischen zwei Punkten:

$$U_{AB} = \int_A^B \vec{E}(\vec{r}) \cdot d\vec{s} \quad [V]$$

Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters

- Magnetfeld um einen gestreckten Leiter:

$$|\vec{B}(\vec{r})| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad [T]$$

- Magnetfeld von Spulen:

$$|\vec{B}| = \mu_0 \mu_r \frac{N}{L} I \quad [T]$$

N: Windungszahl, L: Länge der Spule [m],

μ_r : relative Permeabilität des Spulenkerens

Induktion

Induktionsgesetz

- Induzierte Spannung in einer Leiterschleife:

$$U_{ind} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad [V]$$

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = A \cdot B \cdot \cos(\theta) \quad [Wb]$$

- Magnetischer Fluss im Dynamo:

$$\Phi = A_1 \cdot E = A_2 \cdot E \cdot \cos(\theta)$$

A_1 : Fläche der Spule [m²],

A_2 : Fläche des Rotors [m²],

θ : Winkel zwischen Magnetfeld und Flächennormalen $\theta = \omega t$

- Induzierte Spannung im Dynamo:

$$U_{ind} = A \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \quad [V]$$

Effektivwert

- Effektivwert einer Sinusspannung:

$$U_{eff} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \quad [V]$$

Senden und Empfangen von Signalen

- Antennenlänge für eine Frequenz:

$$l_{Ant} = \frac{c}{f} \quad [m]$$

- Dipolantenne:

$$- l_{Ant} = \frac{\lambda}{2}$$

- Orientierung der Antenne senkrecht zur Ausbreitungsrichtung

- Sendeleistung:

$$P_{senden} = \frac{U_{eff}^2}{R_{ant}} \quad [W]$$

R_{ant} : Antennenwiderstand $[\Omega]$

- Empfangene Leistung:

$$P_{empfangen} = P_{senden} \cdot \left(\frac{l_{Ant}}{4\pi r} \right)^2 \quad [W]$$

r: Abstand zwischen Sender und Empfänger $[m]$

Transformator

- Spannungsverhältnis (N=Windungszahl):

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

- Stromverhältnis:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

- Leistung:

$$P_1 = P_2$$

Glasfaser

- Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium:

$$c_{Medium} = \frac{c_0}{n_M} \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

- Wellenlänge im Medium:

$$\lambda_{Medium} = \frac{\lambda_0}{n_M} \quad [m]$$

Elektromagnetische Wellen

Wellengleichung

- Ausbreitungsgeschwindigkeit:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \cdot 10^8 \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

- Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [m], \quad f = \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{T} \quad [Hz]$$

- Wellengleichung:

$$E_z(y, t) = E_0 \cdot \sin(2\pi ft - ky) \quad \left[\frac{V}{m} \right]$$

$$B_x(y, t) = B_0 \cdot \sin(2\pi ft - ky) \quad [T]$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}; \text{ Wellenzahl } \left[\frac{1}{m} \right]$$

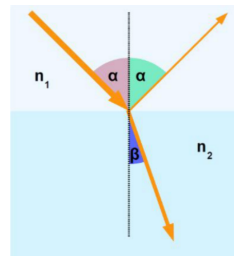
E_0 : elektrische Feldstärke Amplitude $\left[\frac{V}{m} \right]$

B_0 : magnetische Flussdichte Amplitude $[T]$

y: Ausbreitungsrichtung $[m]$

Lichtbrechung

- Snellius'sches Brechungsgesetz:



$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

- Brechungsindex:

$$n_M = \frac{c_0}{c_{Medium}}$$

- Totalreflexion tritt auf, wenn der Einfallswinkel größer ist als der kritische Winkel:

$$\sin(\theta_{krit}) = \frac{n_2}{n_1}$$

Wellenphänomene

Interferenz

- Konstruktive Interferenz addiert die Amplituden
- Destruktive Interferenz subtrahiert die Amplituden

Diffraction

- Beugung tritt auf, wenn die Wellenlänge in der Größenordnung der Hindernisgröße liegt
- Aus dem Interferenzmuster können Rückschlüsse auf die Wellenlänge gezogen werden

Dispersion

- Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit von der Frequenz
- Ursache für die Aufspaltung von Licht in seine Spektralfarben

Signal to Noise Ratio

- Verhältnis von Nutzsignal zu Störsignal:

$$SNR = \frac{P_{Signal}}{P_{Rauschen}} \quad [\text{Einheitlos}]$$

Intensität von Wellen

- Intensität:

$$I = \frac{P}{A} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

- Intensität in Abhängigkeit von der Entfernung (Kugelwelle):

$$I(r) = \frac{P_{senden}}{4\pi r^2} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Absorption

- Lambert-Beer'sches Gesetz:

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

α : Absorptionskoeffizient $\left[\frac{1}{m} \right]$,

x: Eindringtiefe $[m]$

Umrechnung aus dB: $\alpha \approx \frac{\alpha_{dB}}{4.343}$

Dezibel

- Pegel in Dezibel:

$$Q = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad [dB]$$

$$I_0: \text{Referenzintensität} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Wechselspannung

Grundgrößen

- Effektivwert:

$$U_{eff} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \quad [V]$$

- Kreisfrequenz:

$$\omega = 2\pi f \quad \left[\frac{rad}{s} \right]$$

- Phasenwinkel:

$$\varphi = \omega \cdot t_{Verschiebung} \quad [rad]$$

- Zeitfunktion der Spannung:

$$U(t) = U_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad [V]$$

- Scheinleistung:

$$S = U_{eff} \cdot I_{eff} \quad [W]$$

- Wirkleistung:

$$P = U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos(\varphi) \quad [W]$$

- Blindleistung:

$$Q = U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \sin(\varphi) \quad [VAR]$$

Thermische Strahlung

Absorption, Emission, Reflexion

- Absorptionsgrad (α): Absorbierte Strahlung
- Emissionsgrad (ε): Emittierte Strahlung
- Reflexionsgrad (ρ): Reflektierte Strahlung
- $\alpha + \varepsilon + \rho = 1$
- Für Schwarze Körper gilt: $\alpha = \varepsilon = 1$ und $\rho = 0$
- Für graue Körper gilt: $\alpha = \varepsilon < 1$ und $\rho > 0$

$$S(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda) \cdot S_{\text{schwarz}}(\lambda, T) \quad \left[\frac{W}{m^2 m sr} \right]$$

Plancksches Strahlungsgesetz

Beschreibt die spektrale Strahldichte eines Schwarzen Körpers bei gegebener Temperatur.

$$S(f, T) = \frac{2h\pi f^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hf}{k_B T}} - 1} \quad \left[\frac{W}{m^2 Hz sr} \right]$$

$$S(\lambda, T) = \frac{2h\pi c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \quad \left[\frac{W}{m^2 m sr} \right]$$

h : Plancksches Wirkungsquantum $[Js]$,
 k_B : Boltzmann-Konstante $\left[\frac{J}{K} \right]$,
 c : Lichtgeschwindigkeit $\left[\frac{m}{s} \right]$,
 f : Frequenz $[Hz]$,
 λ : Wellenlänge $[m]$,
 T : absolute Temperatur $[K]$

Wien'sches Verschiebungsgesetz

Wird verwendet, um die Wellenlänge des Maximums der Strahlung eines Schwarzen Körpers bei gegebener Temperatur zu bestimmen.

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad [m]$$

b : Wien'sche Verschiebungskonstante $[m \cdot K]$,
 T : absolute Temperatur $[K]$

Stefan-Boltzmann-Gesetz

Beschreibt die Gesamtstrahlungsleistung eines Schwarzen Körpers in Abhängigkeit von seiner Temperatur.

$$P = \sigma A T^4 \quad [W]$$

σ : Stefan-Boltzmann-Konstante $\left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$,
 A : Oberfläche des Körpers $[m^2]$,
 T : absolute Temperatur $[K]$

Thermische Strahlungsbilanz

$$I_{E,rad} = \sigma \varepsilon A (T^4 - T_{Umgebung}^4) \quad [W]$$

$I_{E,rad}$: Nettostrahlungsleistung $[W]$,
 ε : Emissionsgrad des Körpers,
 A : Oberfläche des Körpers $[m^2]$,
 T : absolute Temperatur des Körpers $[K]$,
 $T_{Umgebung}$: absolute Temperatur der Umgebung $[K]$

Wärmeleitung

$$I_{E,cond} = A h (T_{inner} - T_{outer}) \quad [W]$$

$I_{E,cond}$: Wärmeleitungsleistung $[W]$,
 A : Querschnittsfläche $[m^2]$,
 h : Wärmeleitkoeffizient $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$,
 T_{inner} : Innentemperatur $[K]$,
 T_{outer} : Außentemperatur $[K]$

Maxwellsche Gleichungen

- Gaußsches Gesetz für die Elektrizität:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{innen}}{\varepsilon_0}$$

- Gaußsches Gesetz für den Magnetismus:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

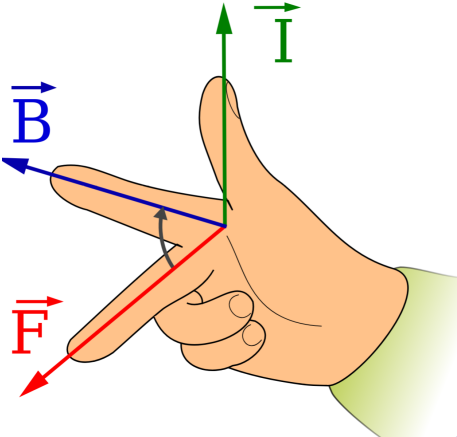
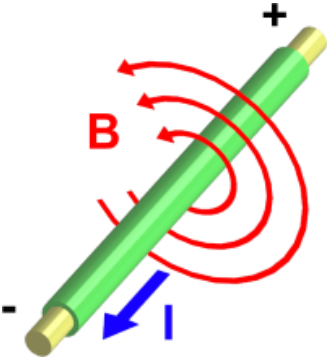
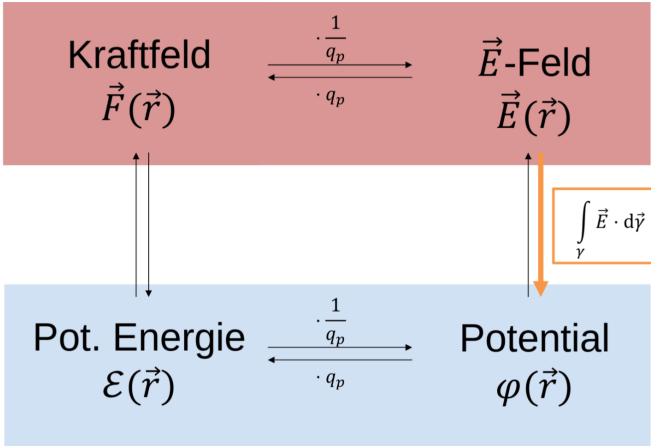
- Faradaysches Induktionsgesetz:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

- Ampèresches Gesetz (mit Maxwellscher Erweiterung):

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \left(I_{durch} + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)$$

Sonstiges



Stromquelle (Wechselspannung)	Stromquelle (Gleichspannung)	Solarzelle	Leitung	Widerstand	Widerstand (verstellbar)	Potentiometer	Trimmpotentiometer
Kreuzung (nichtleitend)	Verbindung (leitend)	Schalter	Wechselschalter	Fotowiderstand	Kaltleiter (PTC)	Heißleiter (NTC)	Varistor
Taster (normally open)	Taster (normally closed)	Stecker	Buchse	Diode	Leuchtdiode (LED)	Fotodiode	Zener-Diode
Glühlampe	Ampere meter	Voltmeter	Ohmmeter	Kondensator	Kondensator (verstellbar)	Trimmkondensator	Elektrolytkondensator
Oszilloskop	Motor	Generator	Signalgenerator	Induktivität (Spule)	Induktivität (veränderlich)	Spule mit Eisenkern	Transformator
Uhr	Thermometer	Manometer	Tachometer	Transistor (NPN)	Fototransistor (NPN)	Transistor (PNP)	Fototransistor (PNP)
Elektroherd	Backofen	Waschmaschine	Gefriertruhe	Relais	Thermorelais	Stromstoßschalter	Optokoppler
Mikrofon	Lautsprecher	Summer	Klingel	Thyristor	AND (Gatter)	OR (Gatter)	XOR (Gatter)
Diode (Elektronenröhre)	Triode	Glühlampe	Leuchtstoffröhre	NOT (Gatter)	NAND (Gatter)	NOR (Gatter)	XNOR (Gatter)
Sicherung	Quarz	Masse ("Ground")	Spannungsregler				