

Mechanik

Kräfte

Definition: Eine Kraft verursacht Veränderungen.

Zusammenhang Kraft und Beschleunigung (3. Newtonsches Gesetz):

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \text{bzw.} \quad F = ma$$

Konstante Beschleunigung: Geschwindigkeit: $v(t) = v_0 + a(t - t_0)$

Ort: $s(t) = s_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2$

	t	s	v	a
t	-	$s = \frac{v^2}{2a}$	$v = \sqrt{2as}$	$a = \frac{v^2}{2s}$
s	$t = \frac{a}{v}$	-	$v = at$	$a = \frac{v}{t}$
v	$t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$	$s = \frac{1}{2}at^2$	-	$a = \frac{2s}{t^2}$
a	$t = \frac{2s}{v}$	$s = \frac{vt}{2}$	$v = \frac{2s}{t}$	-

Definition

	Symbol	Skalar/Vektor	SI-Einheit
Ort	r, s	Vektor	m (Meter)
Zeit	t	Skalar	s (Sekunde)
Geschwindigkeit	v	Vektor	m/s
Beschleunigung	a	Vektor	m/s ²
Masse	m	Skalar	kg (Kilogramm)
Kraft	F	Vektor	N (Newton)
Energie	E	Skalar	J (Joule)
Ladung	Q	Skalar	C (Coulomb)
Spannung	U	Skalar	V (Volt)

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

Energie

Name	Formel	Größen / Konstanten
Potentielle Energie einer Masse im Schwerfeld der Erde	$E_{\text{pot}} = mgh$	m: Masse [kg] g: 9.81 ms ⁻² h: Höhe [m]
Kinetische Energie	$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2}$	m: Masse [kg] v: Geschwindigkeit [ms ⁻¹]
Federenergie	$E_s = k \frac{(x-L)^2}{2}$	k: Federkonstante [kg/s ²] L: Ruhelänge der Feder [m] x: Länge der Feder [m]
Potentielle Energie einer Ladung bei einer Spannung.	$E_{\text{pot,el}} = Uq$	q: Ladung [C] U: Spannung [V]
Wärme	E_{therm}	

$$v = \sqrt{2gh}$$

Physikalische Kräfte

Kraft	Vektorform	«Zahlform»	Größen
Gravitationskraft zwischen zwei Massen	$\vec{F}_{12} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{ \vec{r}_1 - \vec{r}_2 ^2} \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{ \vec{r}_1 - \vec{r}_2 }$	$\vec{F}_{12} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$	m _i : Masse i [kg] \vec{F}_{12} : Kraft auf Masse m ₁ , verursacht durch m ₂ \vec{r}_i : Position von Masse i [m] $\vec{n}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{ \vec{r}_{12} }$: Einheitsvektor von m ₂ zu m ₁ $\gamma = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$: Gravitationskonstante
Spezialfall: Schwerkraft auf der Erde	$\vec{F}_G = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{pmatrix}$	$F_G = mg$	m: Masse [kg] g = 9.81 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$: Erdbeschleunigung
Kraft zwischen zwei Ladungen Coulombkraft	$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{ \vec{r}_1 - \vec{r}_2 ^2} \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{ \vec{r}_1 - \vec{r}_2 }$	$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$	q _i : Ladung i [C] \vec{F}_{12} : Kraft auf Ladung q ₁ , verursacht durch q ₂ \vec{r}_i : Position von Ladung i [m] $\vec{n}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{ \vec{r}_{12} }$: Einheitsvektor von q ₂ zu q ₁ $\epsilon_0 = 8.859 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Jm}}$: «Elektrische Feldkonstante»
Federkraft	$\vec{F}_s = -k(\vec{x} - L) \frac{\vec{x}}{ \vec{x} }$	$F_s = -k(x - L)$	F _s : Federkraft [N] k: Federkonstante [kg/s ²] L: Ruhelänge der Feder [m] x: Länge der Feder [m]

FORMELN FÜR RC-FILTER

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad C = \frac{1}{2\pi R f_c} \quad R = \frac{1}{2\pi C f_c}$$

$$H(f) = \frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in}}} = \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

- $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ is the capacitive reactance,
- $R = 1.2 \text{ k}\Omega = 1200 \Omega$,
- $C = 150 \text{ nF} = 150 \times 10^{-9} \text{ F}$,
- $U_{\text{in}} = 1 \text{ V}$ (given in the problem).

Veränderung

$$\text{Veränderungsrate} = \frac{\text{Veränderung der Grösse}}{\text{Zeitintervall}}$$

$$\text{Veränderungsrate einer Funktion: } f(t) = \frac{d}{dt} f(t) = \frac{df}{dt}$$

Beispiel Geschwindigkeit und Beschleunigung:

$$v(t) = \frac{d}{dt} s(t) = \frac{ds}{dt}, \quad a(t) = \frac{d}{dt} v(t) = \frac{dv}{dt}$$

Richtung

Technische Stromrichtung: positive Ladungsträger + zu -



Potential

$$\phi_s(A) = \frac{\text{Potentielle Energie eines Energieträgers am Ort } A}{\text{Menge des Energieträgers}}$$

Gebiet	Energieträger	Energiedifferenz	Potentialdifferenz
Gravitation auf Erdoberfläche	Masse m	$\Delta E = mgh_{\text{diff}}$	$\varphi(A) - \varphi(B) = gh_{\text{diff}}$
Elektrizität	Ladung q	$\Delta E = Uq$	$\varphi(A) - \varphi(B) = U$ → Elektrische Spannung

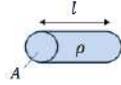
Widerstände

$$P = IU_R = \frac{U_R^2}{R} = I^2 R$$

Verlustleistung:

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

$R = \text{Widerstand, } [R] = \Omega$
 $\rho = \text{spezifischer Widerstand, } [\rho] = \Omega \cdot m$
 $l = \text{Länge des Leiters, } [l] = m$
 $A = \text{Querschnittsfläche des Leiters, } [A] = m^2$



Strom, Schaltungen

Ströme

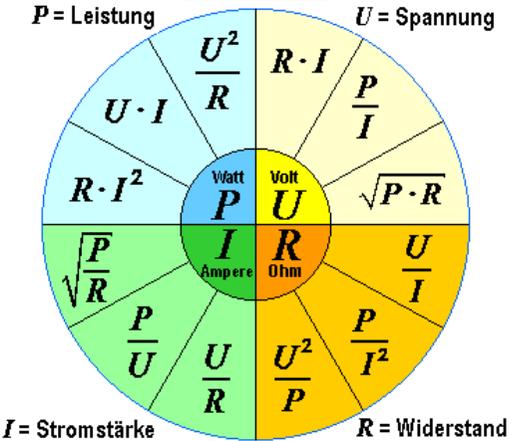
Volumenströme: $I_V = A \cdot v$

A: Querschnittsfläche, v: Fließgeschwindigkeit

Elektrische Ströme: $I = \frac{dq}{dt}$

Elektrischer Strom I ist die Veränderungsrate der Ladung q

Formeln (P)



I = Stromstärke, R = Widerstand

Leistung (P)

$$P = \frac{\text{Energieänderung}}{\text{Zeitintervall}} = \frac{\text{Energieänderung}}{\text{Menge der Ladung}} \cdot \frac{\text{Menge der Ladung}}{\text{Zeitintervall}} = \text{Spannung} \cdot \text{Strom}$$

Kein Umwandlungsprozess ist verlustfrei. Der Wirkungsgrad (η) gibt den Anteil der Eingangsleistung (P_{in}), der in die gewünschte Energieform (P_{out}) umgewandelt wird:

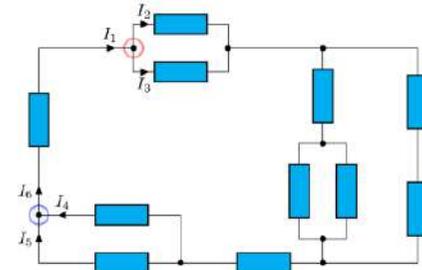
$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

Kirchhoffsche Regeln

Knotenregel: Summe aller ein- und ausgehenden Ströme in einem Knoten ist null

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

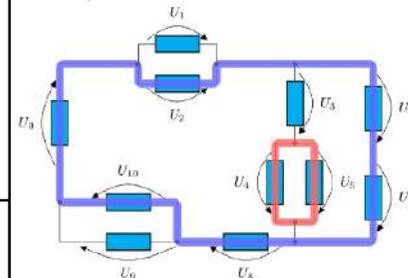
$$I_4 + I_5 + I_6 = 0$$



Maschenregel: Summe der Spannungsabfälle in einer geschlossenen Schleife ist null. Gültig nur so lange keine äusseren Felder auftreten.

$$U_0 + U_2 + U_6 + U_7 + U_8 + U_{10} = 0$$

$$U_5 - U_4 = 0$$



Quelle

wird **positiv** gezählt, wenn man von ihrem - zum + läuft.

Reale Batterien (P)

Spannungsquelle U_0 mit Innenwiderstand R_{in}

Spannungsteilerformel:

$$U_{\text{Last}} = U_0 \cdot \frac{R_{\text{Last}}}{R_{\text{in}} + R_{\text{Last}}}$$

Maximale Leistungsabgabe:

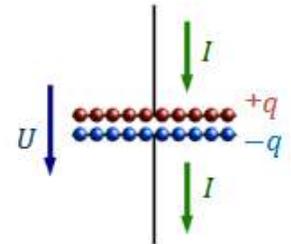
$$P_{\text{Last}} = (U_0)^2 \cdot \frac{R_{\text{Last}}}{(R_{\text{in}} + R_{\text{Last}})^2}$$

Optimal: $P_{\text{in}} = P_{\text{Last}} \cdot 11$

Kondensat (P)

Eine Platte trägt die Ladung q , die andere Platte die Ladung $-q$. Spannung U über dem Kondensator. Kapazität = C

$$C \cdot U = q$$



$$U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

Zeitkonstante: $T = R \cdot C$ nach 5 T 99%

Serien/Parallel-schaltung (P)

Serienschaltung:

- Gesamtwiderstand: $R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$.
- Strom konstant: $I = \frac{U_0}{R_{\text{ges}}}$.

Parallelschaltung:

- Gesamtwiderstand: $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.
- Beispiel: $R_{\text{ges}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$.

LCR-Schaltung

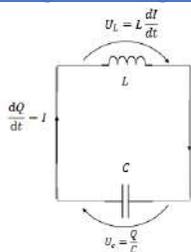
Der gedämpfte Schwingkreis schwingt mit einer Frequenz f und Periode T von

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

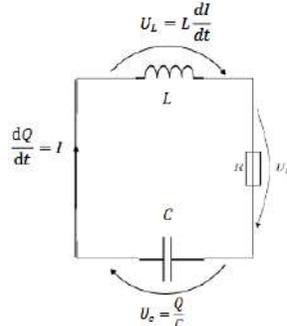
$$T = \frac{1}{f}$$

Zeitkonstante der Dämpfung: $\tau = \frac{2L}{R}$ 1/e von w

LC-Schwingkreis ungedämpft

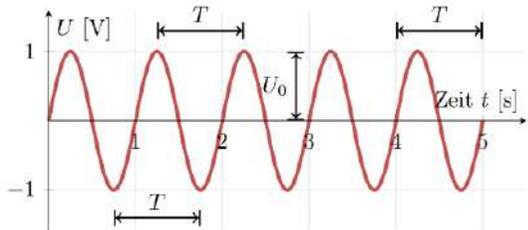


$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

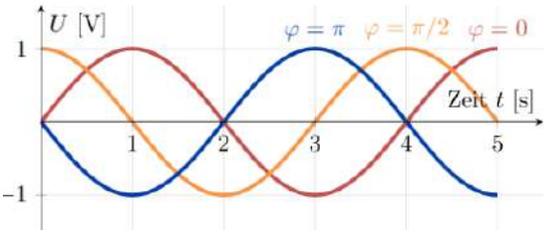


Signale

Sinuswelle



$$U(t) = U_0 \sin(2\pi ft + \phi)$$



Fourierzerlegung

$g(t+T) = g(t)$
Periodische Funktion mit Periode T

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

Fourierkoeffizienten

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

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

$f_n = \frac{1}{T} \cdot n = n \cdot f_1, n \in \mathbb{N}$

Fourierkoeffizienten

$$g(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos(2\pi f_n t + \phi_n))$$

$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$
 $\phi_n = \arccos\left(\frac{a_n}{A_n}\right) = \arcsin\left(\frac{b_n}{A_n}\right)$

Interferenz

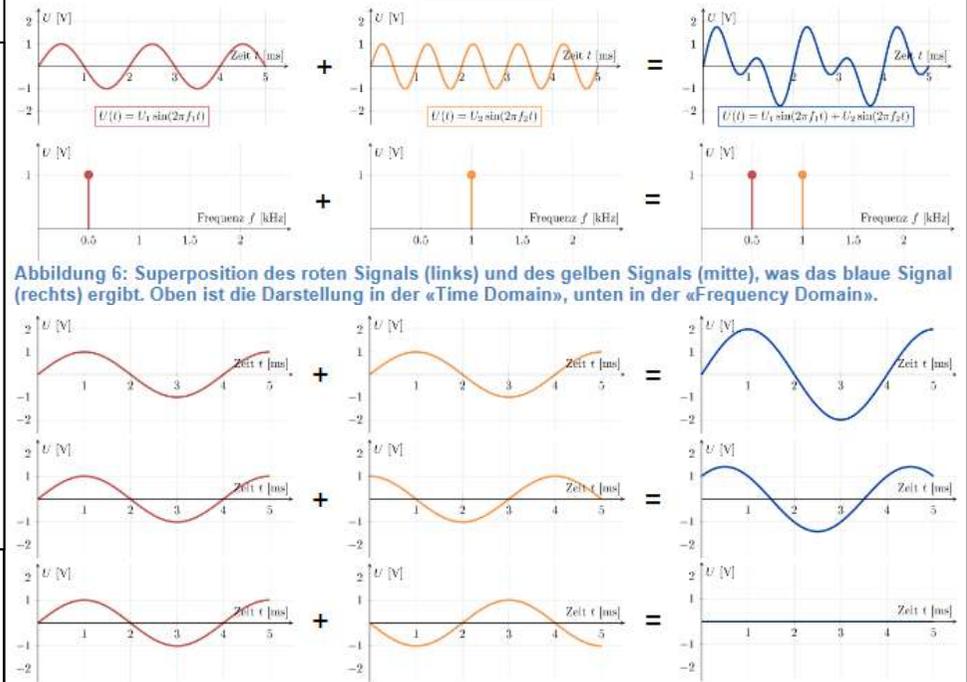
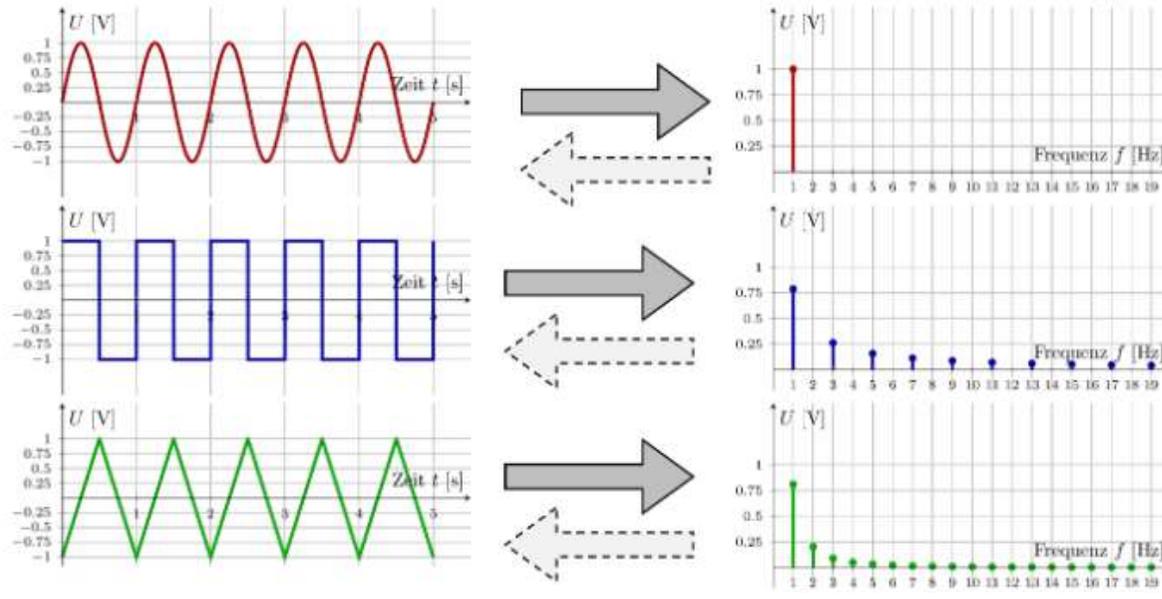


Abbildung 6: Superposition des roten Signals (links) und des gelben Signals (mitte), was das blaue Signal (rechts) ergibt. Oben ist die Darstellung in der «Time Domain», unten in der «Frequency Domain».

Abbildung 7: Superposition der beiden linken Signale zum rechten (in blau). Oberste Zeile: Konstruktive Interferenz. Unterste Zeile: Destruktive Interferenz / Auslöschung. Mittlere Zeile: Phasenverschiebung.

Spektrum

Das Spektrum eines Signals beschreibt die Verteilung seiner Energie über verschiedene Frequenzen.



$$U(t) = U_{\max} \cdot \sin(\omega t)$$

1. Gegebene Werte:

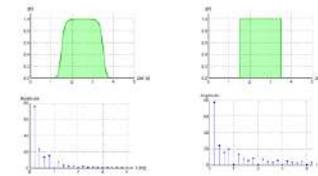
- Nennspannung: $U_{\text{eff}} = 110V$ (effektive Spannung)
- Frequenz: $f = 50 \text{ Hz}$ (obwohl in den USA typischerweise 60 Hz verwendet wird)
- Kreisfrequenz: $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 314.16 \text{ rad/s}$

$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}}$$

$$U_{\max} = \sqrt{2} \times 110V \approx 155.6V$$

Unschärfe

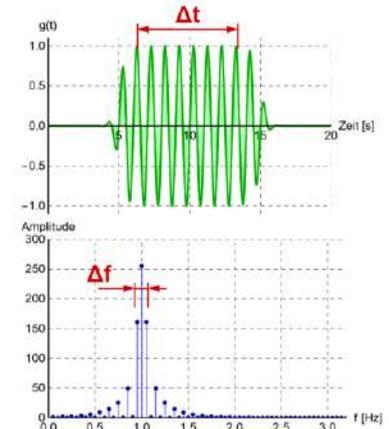
Eine Konsequenz aus dem Unschärfeprinzip: Je steiler die Flanken eines Signals, desto größer der Anteil der hohen Frequenzen im Signal!



Ein an sich reines Signal (z.B. ein Sinuston) der **Dauer** Δt hat ein Spektrum der **Breite** Δf . Wir definieren dabei «Breite» nicht genau, sondern verlassen uns auf eine visuelle Schätzung (mathematisch genau: das **Doppelte der Standardabweichung** der Frequenzverteilung). «Dauer» bezeichnet das Zeitintervall vom Anfang zum Ende des Tons. Es gilt dann:

$$\frac{\Delta f \cdot \Delta t}{2} \sim 1$$

Dabei bezeichnet das Tildesymbol \sim die Beziehung "in der Größenordnung von". 1.4 ist in der Größenordnung von 1, 130 ist in der Größenordnung von 100, aber 100 hat nicht dieselbe Größenordnung wie 10'000.



Digitaltechnik

Transistoren

Grundlagen:

- Elektronisch gesteuerte Schalter, basierend auf Halbleitermaterialien.
- Fokus auf MOSFETs (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors).

n-MOSFET:

- Drei Anschlüsse: Gate, Drain, Source.
- Gate-Spannung steuert den Stromfluss zwischen Drain und Source.
- **Einschalten:** Gate-Source-Spannung überschreitet einen Schwellenwert.

Aufbau:

- Isoliertes Gate durch Siliziumoxid.
- Positives Gate zieht Elektronen an, bildet einen leitenden Kanal.

p-MOSFET:

- Komplementär zum n-MOSFET: Einschalten bei negativer Gate-Source-Spannung.

N = -> richtung G

Pull-up/Push-Pull

Pull-Up-Widerstand:

- Funktion: Sorgt dafür, dass der Ausgang bei einem hochohmigen Transistor in den "High"-Zustand geht.
- Nachteil: Kontinuierlicher Stromfluss im eingeschalteten Zustand führt zu Energieverlust.
- Anwendung: Oft bei Open-Drain-Konfigurationen.

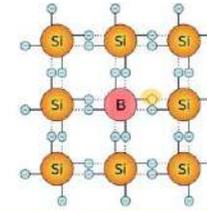
Push-Pull-Ausgang:

- Kombination aus n- und p-MOSFETs.
- Vorteile:
 - Vermeidet Verlustleistung durch den Pull-Up-Widerstand.
 - Ermöglicht aktives Schalten sowohl in den "High"- als auch in den "Low"-Zustand.
 - Höhere Belastbarkeit, da der Ausgang sowohl Strom liefern als auch aufnehmen kann.
- Nachteil: Ausgangsspannung ist auf die Versorgungsspannung der Logikfamilie beschränkt.

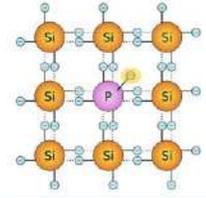
Da der Strom durch

den Pull-up-Widerstand **gleich dem Strom durch die Last** ist (weil keine weiteren Ströme fließen) Default = 1 bei pull up

Halbleiter



Ein Elektron zu wenig:
P-Dotierung
freie positiv geladene Löcher



Ein Elektron zu viel:
N-Dotierung
freie negativ geladene Elektronen

Dotierung:

- **n-Dotierung:** Einfügen von Elementen mit überschüssigen Elektronen (z. B. Phosphor).
- **p-Dotierung:** Einfügen von Elementen mit Elektronenmangel (z. B. Aluminium), wodurch "Löcher" entstehen.
- Dotierte Halbleiter verhalten sich wie Metalle, jedoch mit wenigen freien Ladungsträgern.

Bewegung von Ladungsträgern:

- Elektronenbewegung und Scheinbewegung von Löchern unter Spannung.
- Technische Stromrichtung entspricht der Bewegung der positiven Ladungen.

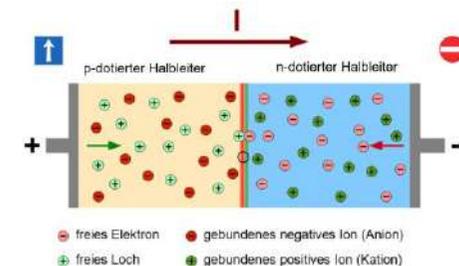
Elektrisch neutral

pn-Übergang:

Beim Kontakt von p- und n-dotiertem Halbleitermaterial entsteht eine Sperrschicht (depletion zone). Elektronen und Löcher annihilieren sich, wodurch ein Bereich ohne freie Ladungsträger entsteht.

Verhalten unter Spannung:

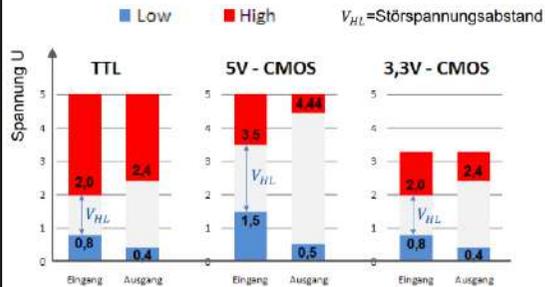
Sperrschicht verbreitert sich: Positives Potential am n-Halbleiter.
Sperrschicht neutralisiert sich: Positives Potential am p-Halbleiter, Strom fließt.



Digitalsignal

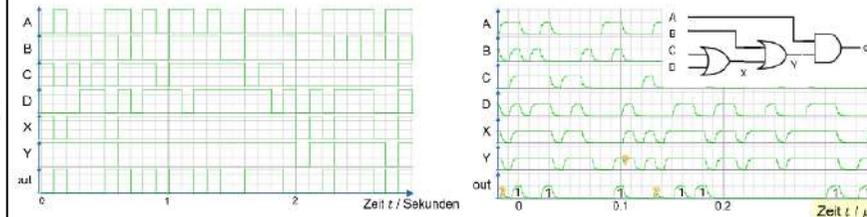
Unterschiedliche Logikfamilien (TTL, CMOS etc.) definieren Spannungsbereiche für Zustände "0" und "1".

"Störspannungsabstand" (graue Zone) dient der Vermeidung von Fehlinterpretationen.



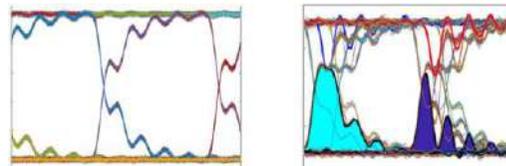
Glitches und Signalintegrität

Da jedes Gatter eine unerwünschte Kapazität und Induktion hat, brauchen die Signale Zeit, um umzuschalten und schwingen dabei.



Augendiagramm

Bei der Übermittlung einer Bitsequenz können mit Hilfe eines Sampling-Oszilloskops alle Bits übereinandergelegt werden. Diese Darstellung wird «Augendiagramm» genannt.

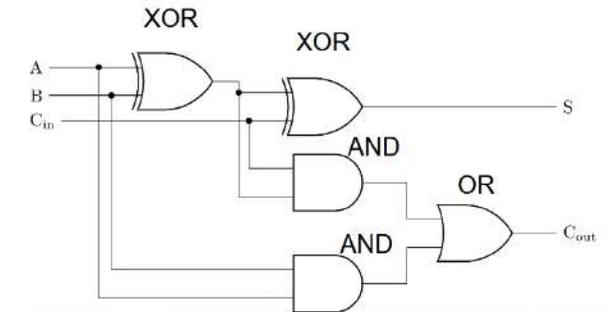


Links: Das Auge ist weit geöffnet. Rechts: Aufgrund unterschiedlicher Zeitverzögerungen ist das Auge weniger weit geöffnet. Die blau gefüllten Kurven unten müssten immer auf «0» bleiben, könnten aber als 1 gelesen werden.

Logikgatter/Sensoren

Gatter	IEC-Norm (Europa)	ANSI-Standard (USA)	Wahrheitstabelle															
NOT			<table border="1"> <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			<table border="1"> <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			<table border="1"> <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			<table border="1"> <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			<table border="1"> <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			<table border="1"> <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																

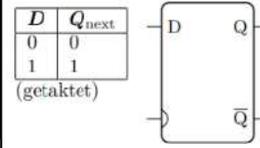
Volladdierer



Die Wahrheitstabelle können wir mit Gatter implementieren.

C _{in}	A	B	S	C _{out}
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

D-Flip-Flop



Halbaddierer

• **Funktion:** Addiert zwei Bits.

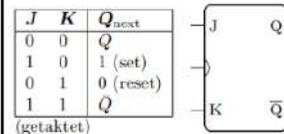
• **Wahrheitstabelle:**

A	B	Summe (S)	Übertrag (Cout)
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

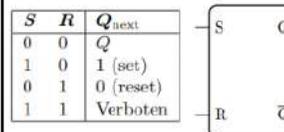
• **Logik:**

- **Summe (S):** XOR-Gatter.
- **Cout:** AND-Gatter.

JK-Flip-Flop



RS-Flip-Flop



Klassifikation Sensoren

Nach physikalischen Effekten:

- Beispiele: Piezoelektrischer Effekt, Induktion, Kapazität.

Nach Messgrößen:

- Geometrische Größen, mechanische Größen, akustische Größen.

Sensortypen:

- **Aktiv:** Erzeugen elektrische Signale ohne externe Hilfsspannung (z. B. piezoelektrische Sensoren).
- **Passiv:** Benötigen externe Hilfsspannung (z. B. Ultraschallsensoren).

Elektromagnetische Verträglichkeit

Herausforderungen:

- Stärkere elektromagnetische Kopplung durch Miniaturisierung.
- Hochfrequente Störabstrahlungen.
- Cross-Talk zwischen Leitungen.

Gegenmaßnahmen:

- Elektromagnetische Schirmung.
- Filterung.

Elektrische und magnetische Felder

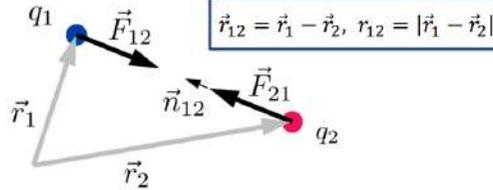
Gesetz von Coulomb

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_{12}|^2} \vec{n}_{12}$$

vektoriell

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$

skalar



Zwischen Ladungen wirken Kräfte: Zwei ungleiche Ladungen ziehen sich an, gleiche Ladungen stoßen sich ab. Die Coulombkraft ist ansonsten strukturell sehr ähnlich zur Gravitationskraft.

\vec{F}_{12} : Kraft auf Ladung q_1 , verursacht durch Ladung q_2

$\vec{n}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$: Einheitsvektor von Ladung q_2 zu Ladung q_1

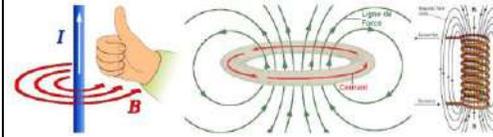
$\epsilon_0 = 8.859 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Jm}$: «Elektrische Feldkonstante»

- Wenn die Ladungen ruhen, sprechen wir von **Elektrostatik**.
- In der Elektrostatik sind die Kräfte gegeben durch das **Gesetz von Coulomb**.

Magnetismus

Eigenschaften von Magneten

- Magnete haben immer einen **Nord-** und **Südpol**.
- Das magnetische Feld \vec{B} beschreibt die Wirkung des Magneten:
 - Außerhalb des Magneten: Vom Nord- zum Südpol.
 - Innerhalb des Magneten: Vom Süd- zum Nordpol.
- Einheit: Tesla (T).



Skalar/Kreuzprodukt

Skalarprodukt

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos(\phi)$$

- Ergibt einen Skalar (eine Zahl).
- Anwendung: Arbeit eines Kraftvektors entlang eines Weges.

Kreuzprodukt

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}$$

- Ergibt einen Vektor.
- Anwendung: Berechnung der Lorentz-Kraft.

Elektrisches Feld

Definition

- Ein elektrisches Feld \vec{E} beschreibt die Wirkung einer Ladung auf andere Ladungen in ihrer Umgebung.
- Mathematisch:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{|\vec{r} - \vec{r}_Q|^3} (\vec{r} - \vec{r}_Q)$$

- Q : Erzeugende Ladung.
- \vec{r}_Q : Position der Ladung.
- \vec{E} : Kraft pro Probeladung.

Interpretation

- \vec{E} ist die Kraft \vec{F} auf eine Probeladung q_p , dividiert durch die Größe dieser Ladung:

$$\vec{F} = q_p \vec{E}$$

Superpositionsprinzip

- Wenn mehrere Ladungen vorhanden sind, überlagern sich ihre elektrischen Felder vektoriell:

$$\vec{E}_{\text{gesamt}} = \sum_i \vec{E}_i$$

Beispiele

1. **Elektrisches Feld einer Punktladung:** Für $Q = 1 \text{ C}$ bei $r = 1 \text{ m}$:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{1^2} = 8.99 \times 10^9 \text{ N/C}$$

2. **Blitzentladung:** Ein Blitz ist die Entladung eines riesigen elektrischen Feldes zwischen Wolken und Erde.

Lorentz-Kraft

Die **Lorentz-Kraft** beschreibt die Kraft, die auf eine elektrisch geladene Teilchen wirkt, wenn es sich durch ein Magnetfeld bewegt. Sie ist ein zentrales Konzept der Elektrodynamik und hat eine Vielzahl von Anwendungen, z. B. in der Teilchenphysik, Elektromotoren und Massenspektrometern.

Definition:

Die Lorentz-Kraft wirkt auf eine Ladung q , die sich mit Geschwindigkeit \vec{v} durch ein Magnetfeld \vec{B} bewegt:

$$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Wichtige Eigenschaften:

1. **Kraft wirkt senkrecht:**
 - Die Richtung der Lorentz-Kraft ist immer senkrecht zu \vec{v} (Bewegungsrichtung) und \vec{B} (Magnetfeldrichtung).
 - Sie wird durch die **Rechte-Hand-Regel** bestimmt:
 - Daumen: Richtung von \vec{v} (Bewegung der Ladung).
 - Zeigefinger: Richtung von \vec{B} (Magnetfeld).
 - Mittelfinger: Richtung der resultierenden \vec{F}_L (Kraft).

2. **Feld hat keine Wirkung auf ruhende Ladungen:**

- Wenn $\vec{v} = 0$, ist $\vec{F}_L = 0$. Ein Magnetfeld beeinflusst keine ruhenden Ladungen.

3. **Bahnbewegung:**

- Wenn $\vec{v} \perp \vec{B}$ (senkrecht), beschreibt die Ladung eine **Kreisbahn** mit Radius r :

$$r = \frac{mv}{qB}$$

- m : Masse der Ladung.

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$$

Elektromagnetische Kraft

Die **elektromagnetische Kraft** ist eine Kombination aus der elektrischen Kraft (durch ein elektrisches Feld \vec{E}) und der Lorentz-Kraft (durch ein Magnetfeld \vec{B}).

Definition:

Die Gesamtkraft auf eine bewegte Ladung q in einem elektromagnetischen Feld lautet:

$$\vec{F}_{\text{elmag}} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Bestandteile:

1. **Elektrische Kraft ($q\vec{E}$):**
 - Wirkt entlang der Richtung des elektrischen Feldes \vec{E} .
 - Kann Ladungen beschleunigen oder bremsen.
2. **Magnetische Kraft ($q(\vec{v} \times \vec{B})$):**
 - Wirkt senkrecht zur Bewegungsrichtung und zum Magnetfeld.
 - Verändert nur die Richtung der Bewegung, nicht die Geschwindigkeit.

Wichtige Eigenschaften:

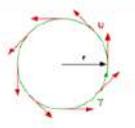
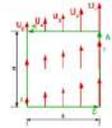
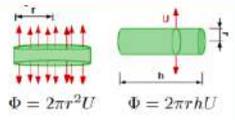
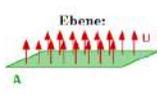
1. Die elektrische und die magnetische Kraft wirken oft gleichzeitig, beeinflussen jedoch unterschiedliche Bewegungsparameter:
 - \vec{E} : Ändert die Geschwindigkeit (Betrag der Geschwindigkeit).
 - \vec{B} : Ändert die Richtung der Bewegung (bei senkrechter Geschwindigkeit).
2. In speziellen Fällen können \vec{E} und \vec{B} so zusammenwirken, dass die Ladung stabilisiert wird, z. B. in einem **elektromagnetischen Falle**.

Unterschied Lorentz-Kraft vs. Elektromagnetische Kraft:

Aspekt	Lorentz-Kraft	Elektromagnetische Kraft
Felder	Nur \vec{B}	\vec{E} und \vec{B}
Einfluss auf Bewegung	Richtungsänderung	Geschwindigkeit und Richtung
Formel	$\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B})$	$\vec{F}_{\text{elmag}} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$
\vec{F} Kraft	N	E Energie J
\vec{E} Elektrisches Feld	Vm^{-1}	V Volumen m^3
q Ladung	C	r Radius m
\vec{B} Magnetisches Feld	T	m Masse kg
\vec{v} Geschwindigkeit	ms^{-1}	σ Flächenladungsdichte Cm^{-2}
ω Energiedichte	Jm^{-3}	I Strom A
μ_r relative Permeabilität		N Windungszahl
N Windungszahl		L Spulenlänge m
L Spulenlänge		M Magnetisierung Am^{-1}
M Magnetisierung		χ Suszeptibilität
χ Suszeptibilität		

Elektrodynamik

Satz von Gauss

Kreis <ul style="list-style-type: none"> $\int (\vec{U}) \cdot d\vec{\gamma} = 2\pi r U$ 	Rechteck <ul style="list-style-type: none"> $\int (\vec{U}) \cdot d\vec{\gamma} = aU_1 - aU_5$ 	<table border="1"> <tr><td>γ</td><td>Linie</td><td></td></tr> <tr><td>A</td><td>Oberfläche</td><td>m^2</td></tr> <tr><td>\vec{U}</td><td>Feld</td><td></td></tr> <tr><td>r</td><td>Radius</td><td>m</td></tr> <tr><td>h</td><td>Höhe</td><td>m</td></tr> </table>	γ	Linie		A	Oberfläche	m^2	\vec{U}	Feld		r	Radius	m	h	Höhe	m
γ	Linie																
A	Oberfläche	m^2															
\vec{U}	Feld																
r	Radius	m															
h	Höhe	m															
Zylinder <ul style="list-style-type: none"> $\Phi = 2\pi r^2 U$ $\Phi = 2\pi r h U$ 	Kugel <ul style="list-style-type: none"> $\Phi = 4\pi r^2 U$ 	Ebene <ul style="list-style-type: none"> $\Phi = AU$ 															

Integrale Form: $\Phi = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$ **Differential:** $\int \rho dV = \epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \epsilon_0 \int \vec{\nabla} \cdot \vec{E} dV$

Durchflutungsgesetz

$$\int_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{\gamma} = \mu_0 \cdot I$$

Fluss des \vec{E} - Feldes durch Ω + Fluss der Stromdichte \vec{j} durch Ω

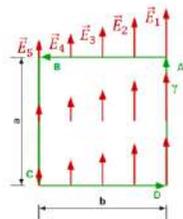
→ Linienintegral des \vec{B} - Feldes über eine Kurve γ

- $\gamma =$ Kurve
- $\Omega =$ Berandete Fläche

$$\int_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{\gamma} = \mu_0 \underbrace{\int_{\Omega} \vec{j} \cdot d\vec{\sigma}}_{\text{Strom}} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \underbrace{\int_{\Omega} \vec{E} \cdot d\vec{\sigma}}_{\text{Fluss } \Phi_{\vec{E}}(\Omega)}$$

Linienintegral: Gerade Linien parallel oder senkrecht zum Feld

Die grüne Schlaufe γ besteht aus den vier geraden Linien A bis D. Steht das Feld \vec{E} senkrecht zur Linie (B, D), so ist das Linienintegral entlang der Linie 0. Ansonsten beträgt es bei einer Linienlänge von a , je nach Richtung des Feldes, aE oder $-aE$.



$$\begin{aligned} \int_A \vec{E} \cdot d\vec{\gamma} &= aE_1 \\ \int_B \vec{E} \cdot d\vec{\gamma} &= 0 \\ \int_C \vec{E} \cdot d\vec{\gamma} &= -aE_3 \\ \int_D \vec{E} \cdot d\vec{\gamma} &= 0 \\ \Rightarrow \int_{\gamma} \vec{E} \cdot d\vec{\gamma} &= aE_1 - aE_3 \end{aligned}$$

Beachten Sie:
 • Entlang der Seite C steht das \vec{E} -Feld der «Laufrichtung» der Kurve entgegen. Deswegen das Minuszeichen!
 • Entlang B und D steht \vec{E} senkrecht auf der Linie, das Linienintegral ist für diese Wege deshalb 0.

Quellenfreiheit magnetischer Felder

Es gibt keine magnetischen Monopole, d. h., magnetische Feldlinien sind immer geschlossen.

Fluss des \vec{B} - Feldes durch eine geschlossene Fläche Σ

- $\vec{B} =$ Magnetisches Feld
- $\Sigma =$ Geschlossene Fläche

$$\Phi_{\vec{B}}(\Sigma) = \int_{\Sigma} \vec{B} \cdot d\vec{\sigma} = 0$$

Fluss $\Phi_{\vec{B}}(\Sigma)$

Dynamo/Schleife

$$\Phi = A_1 \cdot E = A_2 \cdot E \cdot \cos(\theta) \quad U_{\text{ind}}(t) = U_0 \sin(2\pi f t), \quad U_0 = \omega A, \quad f = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$U_{\text{ind}} = -\frac{d}{dt} A \cos(\omega t) = A \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$$

Plattenkondensator

Das elektrische Feld E eines Plattenkondensators ist zwischen den Platten homogen:

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A}$$

Die Spannung zwischen den Platten ergibt sich aus:

$$U = E \cdot d = \frac{q \cdot d}{\epsilon_0 A}$$

Die Kapazität eines Plattenkondensators:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Beispiel:

Ein Kondensator mit Plattenabstand $d = 1 \text{ cm}$ und einer Spannung von 5 V hat ein elektrisches Feld von:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{5 \text{ V}}{0,01 \text{ m}} = 500 \text{ V/m}$$

Magnetfelder

3.2 Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters

- Das Magnetfeld um einen langen, geraden Leiter mit Strom I ist:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

wobei $\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6} \text{ Tm/A}$ die magnetische Feldkonstante ist.

Beispiel:

Ein Leiter mit $I = 10 \text{ A}$ in $r = 5 \text{ cm}$ Entfernung erzeugt ein Magnetfeld:

$$B = \frac{(1.26 \times 10^{-6}) \times 10}{2\pi \times 0.05} = 4.0 \times 10^{-5} \text{ T}$$

3.3 Magnetfeld einer Spule

- Eine Spule mit N Windungen, Länge l und Strom I erzeugt ein Magnetfeld:

$$B = \mu_r \mu_0 \frac{N}{l} I$$

wobei μ_r die relative Permeabilität des Kerns ist.

Induktion

Eine Änderung des magnetischen Flusses durch eine Schleife induziert eine Spannung:

$$U = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Beispiel:

Ein Magnetfeld mit $B = 0.1 \text{ T}$ über eine Fläche von $A = 0.01 \text{ m}^2$ ändert sich in 0.5 s :

$$U = -\frac{(0.1 \times 0.01)}{0.5} = -0.002 \text{ V}$$

Effektivspannung (P)

Eine sinusförmige Wechselspannung hat die Form:

$$U(t) = U_0 \sin(2\pi f t)$$

Effektivwert der Spannung:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

In der Schweiz beträgt die Netzspannung $U_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$, also ist die Amplitude:

$$U_0 = 230 \text{ V} \times \sqrt{2} = 325 \text{ V}$$

Transformatoren (P)

Ein Transformator verändert die Spannung nach dem Verhältnis der Windungszahlen:

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

- Leistungsübertragung:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

Beispiel:

Ein Transformator mit $N_1 = 1000$, $N_2 = 500$ wandelt eine Primärspannung von 230 V um:

$$U_2 = \frac{230 \text{ V} \times 1000}{500} = 460 \text{ V}$$

Drahtlose Energieübertragung

Durch ein zeitlich veränderliches Magnetfeld kann ein zweiter Stromkreis induktiv gespeist werden.

Anwendung z. B. drahtlose Ladetechnologien, RFID, NFC.

Elektromagnetische Wellen

Allgemein

Intensität der ebenen Welle

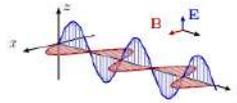
$$I = \frac{E_0 E_0}{2\mu_0} = \frac{E_0^2}{2c\mu_0} = \frac{cB_0^2}{2\mu_0}$$

Periode, Wellenlänge und -zahl:

$$T = \frac{1}{f}, f = \frac{c}{\lambda}, k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Ebene Welle

$$\vec{E}_z(y, t) = E_0 \sin(2\pi ft - ky)$$



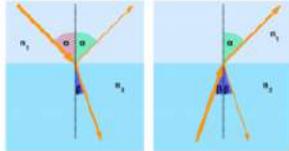
Wellengleichung (1D)

$$\vec{E}(y, t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ E_z(y, t) \end{pmatrix}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} \cdot \vec{E}_z(y, t) = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} \cdot \vec{E}_z(y, t)$$

Lichtbrecher

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

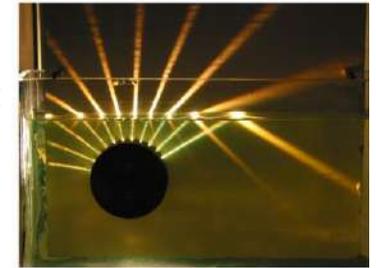
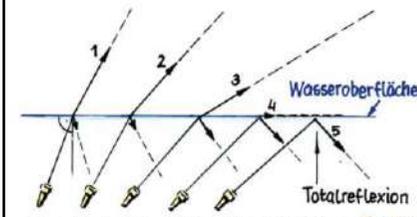


Totale Reflexion

$$\sin(\beta) > \frac{n_1}{n_2}$$

I	Intensität	Wm^{-2}	λ	Wellenlänge	M
E_0	Feldamplitude	Vm^{-1}	k	Wellenzahl	rad/m
B_0	Feldamplitude	T	α, β	Winkel	
T	Periode	s	c_1, c_2	Ausbreitungsgeschwindigkeit	ms^{-1}
f	Frequenz	Hz	n_1, n_2	Berechnungsindices	

Totalreflexion



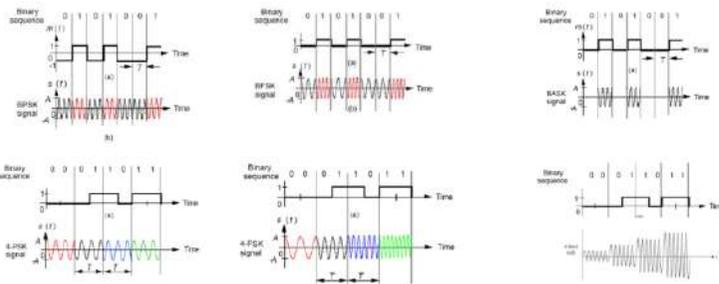
$\sin(\beta) \leq \frac{n_1}{n_2}$ Wie kommt es dazu? Man kann das Brechungsgesetz nach $\sin(\beta)$ auflösen. Wenn $\frac{n_1}{n_2}$ man berücksichtigt, dass $\sin(\alpha)$ immer kleiner als 1 sein muss, bekommt man:

Modulation für Signalübertragung

Zur Übertragung von Informationen wird eine Trägerwelle moduliert.

Arten der Modulation:

- Amplitude Shift Keying (ASK) → Änderung der Amplitude.
- Frequency Shift Keying (FSK) → Änderung der Frequenz.
- Phase Shift Keying (PSK) → Änderung der Phase.



Dispersion

Grundlagen

Definition: Frequenzabhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen in einem Medium.

Beispiel: Prisma → Weißes Licht wird in seine Spektralfarben aufgeteilt.

In Glasfaser- und Netzkabeln führt Dispersion zur Verformung von Pulsen und kann Signale unlesbar machen.

Einfluss auf Datenübertragung

Ein Signal kann als Summe von Sinus- und Kosinussignalen verschiedener Frequenzen betrachtet werden (Fouriertransformation).

Durch Dispersion breiten sich die Komponenten des Signals unterschiedlich schnell aus, was zur Verschmierung (Pulse Broadening) führt.

Höhere Datenraten → höhere Anfälligkeit für Dispersion (weil Pulse kürzer sind).

Absorption

Grundlagen

Materie absorbiert Energie der Welle, wodurch die Intensität mit der Distanz abnimmt.

Exponentielle Abschwächung:

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x}$$

- I_0 = Anfangsintensität
- α = Absorptionskoeffizient (Einheit: m^{-1})
- x = Wegstrecke im Material

Frequenzabhängigkeit der Absorption

Blaues Licht wird in Wasser weniger absorbiert als rotes Licht → Ozeane erscheinen blau.

Hochfrequente elektromagnetische Wellen (z. B. Röntgenstrahlen) haben andere Absorptionsverhalten als niederfrequente Wellen.

Intensität

Definition

Intensität (I): Energie pro Zeit und Fläche, also **Leistung (P) pro Fläche (A):**

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

Einheit: **Watt pro Quadratmeter (W/m^2)**

Beispiel: Schallwellen & Kugelwellen

Ein Lautsprecher gibt Leistung P in Form einer Kugelwelle ab.

Energie verteilt sich auf Kugelflächen mit wachsendem Abstand:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Je weiter entfernt von der Quelle, desto geringer die Intensität.

Für zwei verschiedene Distanzen r_1 und r_2 :

$$I_2 = I_1 \cdot \left(\frac{r_1^2}{r_2^2}\right)$$

R = Distanz

Dezibel (P)

Definition

Dezibel (dB) ist eine logarithmische Einheit zur Darstellung von Leistungsverhältnissen:

$$Q = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2}\right) \text{ dB}$$

- Positive Werte: Verstärkung
- Negative Werte: Dämpfung

Faustregeln

10 dB = Faktor 10

-10 dB = Faktor 0.1

3 dB = ca. Faktor 2

-3 dB = ca. Faktor 0.5

Addition von dB-Werten entspricht Multiplikation der zugehörigen Faktoren!

Beispiel: Dämpfung in Glasfaserkabeln

Gegeben: Dämpfung von 0.4 dB/km

Gesucht: Faktor für 2.5 km Glasfaserkabel

$$Q = 2.5 \times (-0.4) = -1.0 \text{ dB}$$

$$I_2 = I_1 \cdot 10^{-1/10} \approx 0.8 I_1$$

→ Nach 2.5 km bleiben noch ca. 80 % der Anfangsintensität übrig.

SNR (P)

$$SNR = \frac{P_{\text{Signal}}}{P_{\text{Noise}}} = \frac{I_{\text{Signal}}}{I_{\text{Noise}}} = \frac{A_{\text{Signal}}^2}{A_{\text{Noise}}^2}$$

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(SNR_{linear})$$

:

$$SNR_{linear} = 10^{(SNR_{dB}/10)}$$

Spektren

Fourier-Spektren von kurzen Signalen

„Blips“ (kurze Pulse) haben ein breites Frequenzspektrum.

Je kürzer das Signal, desto breiter das Spektrum.

Unschärferelation für Signale

Zusammenhang zwischen Dauer Δt und spektraler Breite Δf :

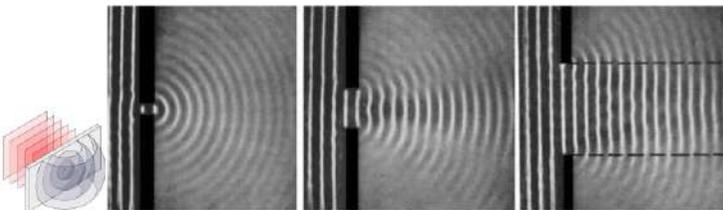
$$\Delta f \cdot \Delta t \approx 1$$

- Kurze Pulse → breites Spektrum
- Lange Pulse → schmales Spektrum

Diffraction

Trifft eine ebene Welle auf ein kleines Loch entsteht eine Kugelwelle

Welle auf ein Loch tritt, dessen Durchmesser ungefähr der Wellenlänge der Welle entspricht, entsteht eine Kugelwelle. Ist der Lochdurchmesser deutlich größer als die Wellenlänge der Welle, entsteht ein Strahl.



Thermische Strahlung

Planck'sches Strahlungsgesetz

Beschreibt die spektrale Strahlungsverteilung eines schwarzen Strahlers:

$$S(f, T) = \frac{2h\pi f^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{hf}{k_B T}} - 1}$$

$$S(\lambda, T) = \frac{2h\pi c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$

- Zeigt, dass Strahlung in einem kontinuierlichen Spektrum abgegeben wird.
- Höhere Temperaturen → Intensitätsmaximum verschiebt sich zu kleineren Wellenlängen.

Beispiel: Farbe von Sternen

- Wien'sches Verschiebungsgesetz:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad b = 2.8978 \times 10^{-3} \text{ mK}$$

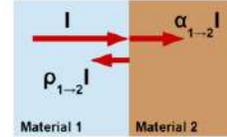
- Sonne (5778 K) → Maximum im sichtbaren Bereich (gelblich-weiß).

λ (Wellenlänge) → Meter (m) f = Frequenz in Hertz

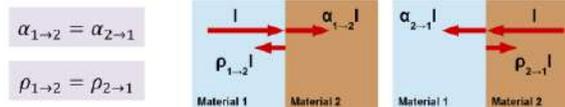
Reflexion

Die Intensität des einfallenden Lichtstrahls ist gegeben durch I . Der Anteil $\alpha_{1 \rightarrow 2} I$ dringt in das Material 2 ein, $\rho_{1 \rightarrow 2} I$ wird reflektiert. Wegen Energieerhaltung gilt:

$$\alpha_{1 \rightarrow 2} + \rho_{1 \rightarrow 2} = 1$$



Ein Körper der gut absorbiert, strahlt auch gut.



$$\alpha_{1 \rightarrow 2} = \alpha_{2 \rightarrow 1}$$

$$\rho_{1 \rightarrow 2} = \rho_{2 \rightarrow 1}$$

Thermische Strahlungsbilanz (P)

Thermische Strahlungsbilanz

- Ein Körper im thermischen Gleichgewicht strahlt genau so viel Energie ab, wie er aufnimmt.
- Formel für den Energiestrom:

$$P_{\text{rad}} = \sigma A (T^4 - T_{\text{Umgebung}}^4)$$

Wärmeübertragungstypen

1. **Wärmeleitung:** Energiefluss durch direkte Teilchenstöße.
 - Beispiel: Metalle haben hohe Wärmeleitfähigkeit.
 - Formel: $P_{\text{cond}} = kA \frac{\Delta T}{d}$
2. **Konvektion:** Wärmeübertragung durch Strömung eines Mediums.
 - Natürliche Konvektion (z. B. warme Luft steigt auf)
 - Erzwungene Konvektion (z. B. Lüfter in einem PC)
3. **Strahlung:** Wärmeaustausch durch elektromagnetische Wellen.

Das Stefan-Boltzmann-Gesetz (P)

Beschreibt die gesamte abgestrahlte Leistung eines schwarzen Strahlers:

$$P_{\text{rad}} = \sigma AT^4$$

- Stefan-Boltzmann-Konstante: $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$
- Verdoppelung der Temperatur → 16-fache Abstrahlung

Erweiterung auf graue Strahler:

$$P_{\text{rad}} = \epsilon \sigma A (T^4 - T_{\text{Umgebung}}^4)$$

A = Fläche in m^2 , T = Temp (C + 273.15); Graue auch Schwarz + Umgebung

$$P_{\text{rad}} = \frac{2\pi k_B^4}{15 c^2 h^3} AT^4 = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} [\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)]$$

Umrechnung

*2 bei cm^2 ,

<input type="checkbox"/>	Einheit	Zu Meter (m)	Von Meter (m)
1	Kilometer (km)	* 10^3	* 10^{-3}
2	Meter (m)	1	1
3	Centimeter (cm)	* 10^{-2}	* 10^2
4	Millimeter (mm)	* 10^{-3}	* 10^3
5	Mikrometer (μm)	* 10^{-6}	* 10^6
6	Nanometer (nm)	* 10^{-9}	* 10^9

S

Brechungsindex

Formeln

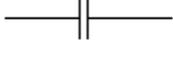
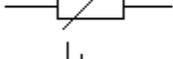
$$n = \frac{c}{v}$$

n = Brechungsindex

c = Lichtgeschwindigkeit

v = Phasengeschwindigkeit des Lichts

Schaltplan

	Leiter
	Leiterverbindung
	Widerstand
	Schalter
	Kondensator
	Widerstand, veränderbar
	Batterie
	Glühlampe
	Transistor
	Spule

	Größe	SI-Einheit
1	Länge	Meter (m)
2	Masse	Kilogramm (kg)
3	Zeit	Sekunde (s)
4	Stromstärke	Ampere (A)
5	Temperatur	Kelvin (K)
6	Stoffmenge	Mol (mol)
7	Lichtstärke	Candela (cd)
8	Fläche	Quadratmeter (m ²)
9	Volumen	Kubikmeter (m ³)
10	Geschwindigkeit	Meter pro Sekunde (m/s)
11	Beschleunigung	Meter pro Sekunde ² (m/s ²)
12	Kraft	Newton (N)
13	Druck	Pascal (Pa)
14	Energie	Joule (J)
15	Leistung	Watt (W)
16	Ladung	Coulomb (C)
17	Spannung	Volt (V)
18	Widerstand	Ohm (Ω)
19	Leitwert	Siemens (S)
20	Kapazität	Farad (F)
21	Induktivität	Henry (H)
22	Magnetische Flussdichte	Tesla (T)
23	Magnetischer Fluss	Weber (Wb)
24	Radioaktivität	Becquerel (Bq)
25	Äquivalentdosis	Sievert (Sv)
26	Dosisleistung	Gray (Gy)
27	Frequenz	Hertz (Hz)
28	Winkelgeschwindigkeit	Radian pro Sekunde (rad/s)