

GED Zusammenfassung Fortlaufend

18. Oktober, 2022; rev. 13. Januar 2023

Linda Riesen, rieselin

Inhaltsverzeichnis

1 Vorlesung 1: Grundbegriffe	3	3.3.5 Gefahren durch Strom	9
1.1 Kräfte	3	3.4 Sicherungen gegen Überlast	9
1.2 Elektrische Ladung	4	4 Vorlesung 5: Digitaltechnik	9
1.3 Energie	4	5 Vorlesung 6: Digitale Schaltungen, Parasitäre Effekte, Glitches	9
2 Vorlesung 2: Veränderungsrate, Leistung, Strom	5	5.1 KV-Diagramm (Karnaugh-Veitch Map)	9
2.1 Veränderungsrate	5	5.2 Parasitäre Einflüsse	10
2.2 Ströme	5	5.3 Reale Signale auf der Zeitachse ("Glitches", "Timing Hazards")	10
2.3 Batterien	6	5.3.1 Beurteilung der Signalintegrität mit Augendiagrammen	10
3 Vorlesung 3 + 4: Analoge Schaltungen 1 & 2	6	5.3.2 Glitch-Free-Design	10
3.1 Schaltungen	6	6 Vorlesung 7: Elektrische und Magnetische Felder	10
3.2 Komponenten	7	6.1 Ladungen	10
3.2.1 Kondensatoren	7	6.2 Das Elektrische Feld	10
3.2.2 Spulen	7	6.3 Physikalische Felder	10
3.2.3 RC- und LC-Schaltung	7	6.4 Elektrische und Magnetische Felder	11
3.2.4 Übungen zu RC /LC	8	6.4.1 Elektrisches Feld $\vec{E}(\vec{r}, t)$	11
3.2.5 Dioden	8	6.4.2 Magnetisches Feld $\vec{B}(\vec{r}, t)$	11
3.2.6 Transistoren	8	6.5 Elektromagnetische Kraft und Feldenergie	11
3.2.7 Gedopte Halbleiter	8	6.6 Magnete	11
3.3 Strom aus Steckdose	8	6.7 Motoren und Generatoren	11
3.3.1 Netzebenen	8	6.7.1 Generatoren	11
3.3.2 Drehstrom	8	6.7.2 Motoren	11
3.3.3 Wieso Hochspannung	8	7 Vorlesung 9: Elektrodynamik 1	12
3.3.4 Erdung	9	7.1 Arbeitsintegrale / Linienintegrale	12
		7.2 Maxwellgleichungen	12
		7.2.1 Folgerungen aus den Maxwell Gleichungen	12
		7.3 Spule	13
		7.4 Induktion	13

7.5	Transformator	13
8	Vorlesung 10: Elektromagnetische Wellen	13
8.1	Elektromagnetische Strahlung	13
8.1.1	Dipolsender Wirkungsgrad	13
8.2	Wellengleichung	14
9	Vorlesung 11: Thermische Strahlung	14
9.1	Intensität (= Strahlungsstromdichte)	14
9.2	Elektromagnetische Wellen	15
9.3	Absorbtion und Reflektion	15
9.4	Planck'sches Strahlungsgesetz, Wien'sches Verschiebungsgesetz	15
9.5	Stefan-Boltzmann Gesetz	16
9.6	Klimaerwärmung	16
10	Vorlesung 12: Signale	16
10.1	Was ist ein Signal:	16
10.2	Wieso Sinussignale	16
10.2.1	Fourierzerlegung	16
10.2.2	Fouriertransformation	17
10.3	Andere Darstellungen	17
10.3.1	Amplituden/Phasendastellung	17
10.3.2	Time/Frequency Domain Representation	17
10.4	Reale Anwendung	17
10.4.1	Min/ Max	17
11	Vorlesung 13: Signale Teil 2, und in Realität	18
11.1	Unschärfeprinzip	18
11.2	Realitäts Beispiele	18

Einführung: Physik, IT, Information

Elektrodynamik: Grundlagen elektronischer Geräte, Mechanik: virtuelle Realität realer, IT als Modelle der Physik, Information als Physik (hat physikalische Realität, abstrakte, regelbasierte Sprache)

Zentrale Aufgabe der Physik

- Angabe von Datenstrukturen (Beschreibung der Eigenschaften der Welt)
- Angabe von Gesetzmässigkeiten / Beziehungen (Formeln)
- Angabe von Gesetzmässigkeiten als Funktion der Zeit (Differentialgleichungen)

Modelle

- Formale Beschreibung von Objekten und deren Interaktionen + Veränderungen durch geeignete Datenstrukturen
- Es gibt bis heute kein allumfassendes Modell der physikalischen Realität
- Auch bei Beschreibungen von Teilaspekten werden nur Annäherungen beschrieben (die meist völlig ausreichend sind (auch wenn man sich der Grenzen bewusst sein muss))
- Ein gutes Modell kann aus dem Jetzt die Zukunft ausreichend bestimmen (Muss die Vergangenheit nicht kennen, das Jetzt kann aber Resultat der Vergangenheit sein)

Veränderungsrate Wenn Veränderungsrate = 0 ist ein Gleichgewichtspunkt / Stationärer Zustand erreicht, das Modell ist im Gleichgewicht

1 Vorlesung 1: Grundbegriffe

1.1 Kräfte

Wirkung von Kräften auf Objekte

- Kraft auf Hartes aber sonst frei Bewegliches Teilchen: Teilchen verändert Geschwindigkeit
- Je nach ansetzen der Kraft: Teilchen kann zu rotieren beginnen
- Weiche Teilchen: Werden durch Kraft deformiert
- Wirkung von Kernkräften: Veränderung eines Teilchens fundamental (bsp Neutron zu Proton)
- Kräfte werden mit Vektoren (Masse, Ladung, Richtung) usw. bezeichnet
- Kräfte sind Resultat von Austausch von Teilchen
- $\vec{F} = m * \vec{a}$ (richtig ist mit Vektorpfeilen) $\vec{F} = \frac{kg*m}{s^2} = N$

Größe	SI-Basiseinheit	
	Einheitenname	Einheitenzeichen
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
elektrische Stromstärke	Ampere	A
thermodynamische Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd

Abbildung 1: SI Einheiten

	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	$t = \frac{2s}{v}$	$s = \frac{vt}{2}$	$v = \frac{2s}{t}$	-

Abbildung 2: Formeln Bewegungen (m/s = 3.6 * km/h)

$$\vec{a} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{pmatrix} \quad (1)$$

Equation 1: Schwerkraft

$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} v_{x,0} \\ v_{y,0} \\ v_{z,0} - gt \end{pmatrix} \quad (2)$$

Equation 2: Wurf

$$\vec{r}(t) = \begin{pmatrix} r_{x,0} + v_{x,0}t \\ r_{y,0} + v_{y,0}t \\ r_{z,0} + v_{z,0}t - g\frac{t^2}{2} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Equation 3: Wurf (Ortsvektor)

$$\vec{F}_s = -k(|\vec{x}| - L) \frac{\vec{x}}{|\vec{x}|} = -k(x - L) \quad (4)$$

Equation 4: Federkraft / Federkräfte (entspricht jeder ganz kleinen Kraft)

$$\vec{F}_{12} = -\gamma \frac{M_1 M_2}{|\vec{r}_{12}|^2} \vec{n}_{12} = -\gamma \frac{M_1 M_2}{r_{12}^2} \text{ mit } \gamma = 6.67 * 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \quad (5)$$

Equation 5: Gravitationskräfte zw. zwei Massen (Proportional zu beiden Massen, umgekehrt Proportional zum Abstand zw. beiden Massen)

$$\vec{F}_{12} = -\gamma \frac{M_1 M_2}{|\vec{r}_{12}|^2} \vec{n}_{12} = -\gamma \frac{M_1 M_2}{r_{12}^2} \text{ mit } \gamma = 6.67 * 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \quad (6)$$

Equation 6: Gravitationskräfte zw. zwei Massen (Proportional zu beiden Massen, umgekehrt Proportional zum Abstand zw. beiden Massen)

Konstante Beschleunigung: Formeln Bewegungen aus der Ruhelage

1.2 Elektrische Ladung

- Elektrische Ladung ist die Grundursache für Existenz elektrischer Phänomene
- Es gibt Positive und Negative Ladung (ungleiche stoßen sich ab, gleiche ziehen sich an)
- In allen Physikalischen Prozessen bleibt Ladung exakt erhalten
- Genau 2 Ladungen aus komplexen math. Gründen
- Einheit der Ladung Columb [C], ein Elektron hat Ladung -e, $e = 1.602189 * 10^{-19} \text{ C}$
- Bei Mehreren Ladungen können Kräfte zusammengezählt werden (Superpositionsprinzip)

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{|\vec{r}_{12}|^2} \vec{n}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r_{12}^2} \text{ mit } \epsilon_0 = 8.859 * 10^{-12} \text{ C}^2/\text{J m} \quad (\text{Influenzkonstante}) \quad (7)$$

Equation 7: Coulombkraft zwischen zwei Ladungen

1.3 Energie

Bei physikalischen Prozessen bleibt die Gesamtmenge Energie im betrachteten System und der Umgebung immer erhalten!

- Energie kann umgeformt werden aber nicht verloren gehen
- Wärme kann nicht verlustfrei in andere Energieformen umgewandelt werden

Name	Energie	Bemerkungen
Potentielle Energie einer Masse im Schwerfeld der Erde	$E_{pot} = mgh$	m : Masse [kg] g : 9.81 [ms ⁻²] h : Höhe [m]
Kinetische Energie	$E_{kin} = m \frac{v^2}{2}$	m : Masse [kg] v : Geschwindigkeit [ms ⁻¹] 2: Zahl
Federenergie	$E_{spring} = k \frac{(x-L)^2}{2}$	k : Federkonstante [Nm ⁻¹] L : Ruhelänge [m] $(x-L)$: Auslenkung [m]
Potentielle Energie einer Ladung bei einer Spannung.	$E_{pot. Ladung} = UQ$	Q : Ladung [C] U : Spannung [V]
Wärme	E_{therm}	

Abbildung 3: Energieformen

$$\Delta E_{mech} = F \cdot s > 0 \quad (\text{wenn } s \text{ schiebt}) / \Delta E_{mech} = -F \cdot s < 0 \quad (\text{wenn } s \text{ bremst}) \quad (8)$$

Equation 8: Coulombkraft zwischen zwei Ladungen (in Joule ($J = \text{kgm}^2/\text{s}^2$))

2 Vorlesung 2: Veränderungsrate, Leistung, Strom

2.1 Veränderungsrate

Das Zukünftige Verhalten eines Systems + Umwelt ist vollständig definiert aus momentanem Zustand. Zusätzliche Info (Bsp wie Zustand erreicht wurde) ist nicht nötig. \Rightarrow Die Natur ist nicht nachtragend. (Veränderung lässt sich aus Momentanem Zustand bestimmen) = Ziel der Physik

$$\text{Veränderungsrate einer Größe} = \frac{\text{Veränderungsrate der Größe}}{\text{Zeit in der die Veränderung stattfindet}} \quad (9)$$

Equation 9: Veränderungsrate in X/t oder $f(t) = df/dt$

Zwei Arten um Auf Veränderungsrate zu kommen:

- Veränderungsrate einer Funktion ist gegeben
- Aus dem Momentanen Zustand des Systems soll Veränderungsrate ermittelt werden (mit Hilfe von Physikalischen Gesetzen) = Diff. Gleichungen

Beispiele für Veränderungsrate Gleichungen

- Normaler Anstieg: $S(t_0 + 12) = S(t_0) + 12 * \text{Rate}$
- Zerfall: $\Delta N \sim -N$ und $\Delta N \sim -N \Delta t = \frac{dN}{dt} = -\alpha N$

- Diverse Weitere... Badewanne Befüllen und entleeren gleichzeitig, ...

2.2 Ströme

$$I_{V_{Rohr}} = \frac{\Delta V_{Tank}}{\Delta t} = -\frac{dV_{Tank}}{dt} = I_V = A_{Querschnitt} \cdot v_{Laenge\ Strom} \quad (10)$$

Equation 10: Volumenstrom

Definition Strom

- Wenn nun Fläche A pro Zeiteinheit betrachtet wird wieviel positive Ladung hindurchgeht ist dies der elektrische Strom.
- Dafür wird Referenzrichtung benötigt; Strom positiv oder negativ = Parallel oder Entgegen Referenzrichtung (spielt für aktuell fließenden Strom keine Rolle nur für Negativ / Positiv)
- Strom ist theoretisch aus Positiven Ladungsträgern zsmgesetzt, da historisch so definiert (technische Stromrichtung ist entgegengesetzt (da Elektronen))
- Einheit des Strom ist Ampere (A)
- Wenn eine Menge X einer Substanz von A nach B fließt verändert sich dessen Potentielle Energie \Rightarrow Potential = Energie Pro X; Potentialdifferenz = Energieänderung pro X bei Transport von A nach B = $\Delta E_{pot} = X \cdot (\phi_s(A) - \phi_s(B))$

Definition Leistung

- Energiespeicher mit Menge E(t), Energiestrom = Energieveränderung pro Zeitintervall = Leistung
- $\frac{dE}{dt} = I_E$ (Ref. Richtung ist Positiv Richtung Speicher)

- Leistung kann Aufgenommen oder Abgegeben werden
- Einheit = Watt (W) = Joule pro Sekunde
- oft wird kWh verwendet ($1kWh = 3.6 \cdot 10^6Ws = 3.6 \cdot 10^6 J = 1000 W$ während 1 Stunde)
- $P = \frac{\text{Energieänderung}}{\text{Zeitintervall}} = \text{Potentialdifferenz}(U) \cdot \text{Strom}$

Definition Widerstand

- Stromfluss wird durch Widerstand gehindert.
- Widerstände führen zu Spannungsabfall, können aber keine Ladung Speichern (keinen Strom)
- Einheit ist Ohm (Ω)

$$I = \frac{U_R}{R} \quad (11)$$

Equation 11: Ohm'sches Gesetz

$$P = IU_R \quad (12)$$

Equation 12: Leistung an einem Widerstand (Ladungen fallen eine Spannung U hinunter)

2.3 Batterien

Aufbau Batterie Batterie ist ein Gerät das Ladungsungleichgewichte erzeugt. Hat 2 Pole an denen durch Chem. Reaktion die Konzentration der freien Elektronen erhöht wird. Wenn dann Strom dazwischen fließt, wird Ladungsungleichgewicht bereits nach kurzer Zeit wieder hergestellt. Zwischen Polen herrscht Potentialdiff. U, die auch davon Abhängt wie schnell die Ladungsungleichgewichte wieder ausgeglichen werden können.

Ideale Batterie Hat immer dieselbe Klemmenspannung (= Spannung zwischen den Polen unabhängig welcher Strom fließt. Dann wäre der Verbrauchswiderstand gegeben durch: $I = \frac{U_0}{R}$ (nicht realistisch)

Reale Batterie Grundsätzlich: Ideale Batterie + fester Innenwiderstand R_{in} (Näherung) $U_{Last} = U_0 - IR_{in}$ und $P = \frac{U_0^2 R_{Last}}{(R_{Last} + R_{in})^2}$

3 Vorlesung 3 + 4: Analoge Schaltungen 1 & 2

Perspektiven: Was ist eine Schaltung

Funktionale Perspektive: Logische Schaltungen (Bitsequenz zu Outputsequenz) / Analoge Schaltungen (Dynamisches Signal zu Outputsignal)

Physikalische Perspektive: Zeigt wie ein System gebaut werden kann

Energetische Perspektive: Geräte (Lasten) an Energiequellen: Wieviel Energie und wie kann diese Optimal eingesetzt werden.

3.1 Schaltungen

Schaltpläne Konventionen

- Schaltungen bestehen aus Drähten miteinander verbundene Elektronische Komponenten
- Für Spannungsquellen ist Spannungsrichtung \neq Stromrichtung, für alle Komponenten ist Spannungsrichtung = Stromrichtung
- **Knoten:** ein Punkt wo mehrere Drähte zsm kommen
- Knotensatz: $\sum I_n = 0$ n ist mit Knoten verbunden
- **Masche / Schlaufe:** Irgendein Weg der durch Drähte und Bauelemente wieder zu Ausgangspunkt führt.
- Maschensatz: $\sum U_n = 0$ n gehört zu einer Schlaufe (solange keine elektromagnetischen Felder)

Widerstand eines Kabels Gilt für Gleichströme: $R_{Leitung} = \frac{\rho_{SpezifischerWiderstand} \cdot L_{inm}}{A_{QuerschnittFlaeche}}$

Ersatzwiderstände

- Serieschaltung: $R = R_1 + R_2$
- Parallelschaltung: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

3.2 Komponenten

Ideale Spannungsquelle		<ul style="list-style-type: none"> • Es gibt leider verschiedene Standards und die Symbole können abweichen. • Es gibt diverse Subtypen von Transistoren und Dioden. → Die entsprechenden Diagramme sind Variationen der gezeigten Symbole
Ideale Stromquelle		
Widerstand		
Kapazität		
Induktivität		
Diode		
Transistor (Bsp. £)		
Schalter (auch: «Schliesser»)		Darstellung im Simulationstool «Tina»

Abbildung 4: Schaltsymbole

3.2.1 Kondensatoren

- Besteht (hauptsächlich) aus 2 Metallplatten
- Durch Strom I wird Ladung in Platte gepumpt und aus anderer Platte abgesogen. Dadurch entsteht maximal Spannung U
- Zusammenhang zwischen Ladung und Spannung eines Kondensators ist linear $CU = Q$ mit C ist Kapazität [Farad F]

3.2.2 Spulen

- Wird ein Draht von Strom durchflossen entsteht ein Magnetfeld.
- Je stärker der Strom desto Grösser das Magnetfeld
- Das Magnetfeld enthält Energie (hochfahren des Magnetfelds benötigt Energie)
- **Veränderung der Stromstärke** (= Widerstand) Über der Spule entsteht Spannung
- Induktivität (Henry [H]) $U_L = L \frac{dI}{dt}$

3.2.3 RC- und LC-Schaltung

- Zeitkonstante τ der Exponentiellen Vorgänge
- $\tau = R \cdot C$ in RC-Schaltung
- LC-Schaltung mit Spule: Schaukel Prinzip immer wenn Ladungen neutral im Kondensator wird Strom geflossen sein der Spule aufgebaut hat, und Rückbau der Spule lädt Kondensator wieder auf.

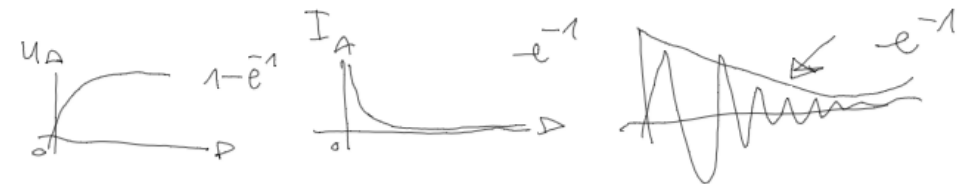


Abbildung 5: Tau Berechnung: Je Nach Kurve unterschiedliche Formel.

- Ungedämpfter Schwingkreis (= LC-Schaltung):
 - Frequenz $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
 - Periode $T = 2\pi\sqrt{LC}$
- Gedämpfter Schwingkreis (= Realer Schwingkreis)
 - Dämpfung $\tau = \frac{2L}{R_{min.Draht}}$

3.2.4 Übungen zu RC /LC

Zeitkonstante: $T = 0.37 (= 1 \cdot \tau) \cdot I_{max}$ (0.37 einzeichnen und Wert aus Grafik auslesen)

Kapazität: $C = \frac{\tau}{R}$ Bei m Inputkanälen gibt es 2^m mögliche Inputkombinationen (Jede Inputsequenz kann als Bitsequenz der Länge m dargestellt werden). Für jeden der möglichen 2^m Inputs gibt es einen Output R_x , welcher entweder gleich null oder eins ist. Das Resultat jeder Rechnung kann also als eine Bitfolge aus 2^m Bits dargestellt werden.

Damit ist klar: Es gibt 2^{2^m} solche Bitfolgen und damit 2^{2^m} mögliche logische Schaltungen mit m Inputkanälen und einem Outputkanal.

3.2.5 Dioden

Einbahnstrasse für Strom, (Elektronisches Bauteil das Strom nur in 1 Richtung hindurchlässt)

3.2.6 Transistoren

ZBsp: 2 Dioden gekoppelt. \Rightarrow ob Strom durch einen Transistor fließt hängt von der Grösse der Spannung an der Base (Mittleren Elektronen ab) Transistoren können als Schalter oder einfach Verstärker dienen.

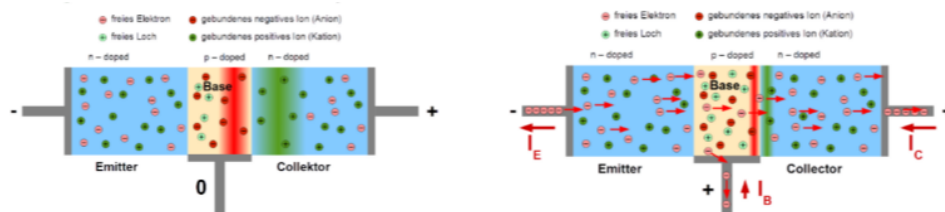


Abbildung 6: Transistor

3.2.7 Gedopte Halbleiter

Frei Bewegliche Atome (Atome mit „Zu viel“ oder „Zu wenigen“ Elektronen) = Halbleiter Elektron zu wenig = Lochleiter (verhalten sich wie Luftblasen im Wasser) \Rightarrow führt zu Elektronen Bewegung, falls Loch und Positiver Ladungsträger aufeinandertreffen kann es zu Annihilation (auffressen) kommen

3.3 Strom aus Steckdose

3.3.1 Netzebenen

Hochspannung direkt zum Haus wäre gefährlich, daher in der Schweiz 4 Netzebenen (4 Verschiedene Spannungsebenen), gekoppelt durch Transformatoren: Vorteile der Hochspannung ohne Nachteile bei Hausanschlüssen.

3.3.2 Drehstrom

Phasenverschoben um 120° (3 Aussenleiter (Spannung von 400 V)) und dazu Wechselspannung von 230 V mit Neutralleiter

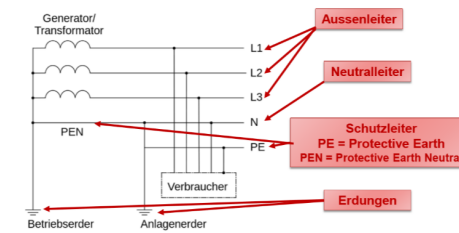


Abbildung 7: Schaltplan Hausanschluss

3.3.3 Wieso Hochspannung

Je grösser U_V desto kleiner der relative Leistungsverlust der Leitung $\frac{P_L}{P_V} = \frac{R P_V}{U_V^2}$ mit $R = \rho \frac{L}{A}$

Die Verlustleistung am Kabel beträgt $P_{loss} = R_c I^2 = R_c \frac{P_{tot}^2}{U_2^2}$ [P_{loss} = Gesamtleistung, R_c = Widerstand Kabel]

Wie gross ist der Verlust im Kabel, wenn die Übertragungsspannung (Der Spannungsabfall über Kabel und Last) 30 kV beträgt? $P_{tot} = U_{tot} I \Rightarrow I = \frac{P_{tot}}{U_{tot}}$ Die Verlustleistung am Kabel beträgt $P_{loss} = R_c I^2 = 13.3W$

3.3.4 Erdung

Bringt etwas, da wir selbst geerdet sind, Spannung ist Potentialdifferenz dh. Energie welche frei wird wenn Ladung die Spannung hinunterfällt. Also hoffentlich nichts.

3.3.5 Gefahren durch Strom

Kommt auf Stärke an, schnell tödlich.

3.4 Sicherungen gegen Überlast

Kurzschlüsse Niederohmige Verbindung zw. zwei Punkten zwischen denen eine Spannung herrscht.

Erdschlüsse Spezielle Form von Kurzschlüssen, Verbindungen zur Erde

Körperschlüsse Erdschlüsse durch einen Menschen

Überströme Werden normalerweise als grosse Ströme von Sicherungen erkannt und unterbrochen.

Schmelzsicherungen (deprecated), Leistungsschutzschalter
Sicherungen

4 Vorlesung 5: Digitaltechnik

Diese werden dann verknüpft um Komplizierte Operationen zu erledigen (Bsp Addierer), Schaltung mit XOR (Transistor) Für Schaltungen mit Gedächtnisfunktion werden Flipflops eingesetzt.

Gatter	IEC-Norm (Europa)	ANSI-Standard (USA)	Wahrheitstabelle															
NOT			<table border="1"><thead><tr><th>A</th><th>Y</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></tbody></table>	A	Y	0	1	1	0									
A	Y																	
0	1																	
1	0																	
AND			<table border="1"><thead><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr></thead><tbody><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></tbody></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"><thead><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr></thead><tbody><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></tbody></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"><thead><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr></thead><tbody><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></tbody></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"><thead><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr></thead><tbody><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></tbody></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"><thead><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr></thead><tbody><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></tbody></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																

Abbildung 8: Logikgatter Symbole

5 Vorlesung 6: Digitale Schaltungen, Parasitäre Effekte, Glitches

5.1 KV-Diagramm (Karnaugh-Veitch Map)

Erstellen einer Schaltung aus der Wahrheitstabelle (ohne Raten)

- Eintragen der Werte aus der Wahrheitstabelle in speziell Angeordnetes Viereck (immer vorne 0 oder vorne 1 ist Sortiert) (Siehe Bild A = 1, A'=0, ebenso B und B' C und C', ...)
- Alle Felder Einrahmen die eine 1 enthalten (möglichst grosse Rahmen)
 - Kantenlänge 3 ist nicht erlaubt
 - Felder dürfen über kante hinausgehen und auf anderen Seite fortgesetzt werden (Siehe Bild grüner Rahmen)
 - Es gibt nicht immer nur 1 Lösung
- Für jeden Rahmen wird ein AND Gatter aufgeführt (mit dem alle diese Inputs im Rahmen verbunden werden) und alle Outputs der AND's werden mit OR-Gatter zusammengeführt. \Rightarrow Führt zu DNF
- Falls ein Teil der Wahrheitstabelle nicht Relevant ist wird X (Don't Care) eingesetzt. Dies darf als 1 Gezählt (eingerahmt werden)

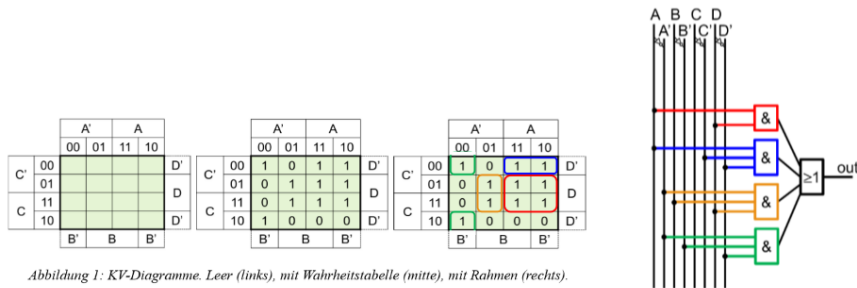


Abbildung 9: KV Diagramm Beispiel

5.2 Parasitäre Einflüsse

Fehler passieren da:

- Jedes Gatter hat aufgrund der Isolierenden Schicht im Transistor eine Eingangskapazität
- Jedes Gatter hat einen Innenwiderstand
- Das führt zu Schaltungsverzögerungen (je $10ns$) (vorallem Eingangsschaltung)
- Signale können Schwingen falls Induktivität vorliegt
- Besonders hohe Frequenzen (Steilen Flanken) können zu Fehlschaltungen führen indem sich ein Signal einer Leitung auf eine Andere Leitung einkoppelt (cross talk)

5.3 Reale Signale auf der Zeitachse ("Glitches", "Timing Hazards")

Dies sind Fehler die durch oben genannte Parasitäre Einflüsse passieren bewirkt dass die Kurven des Schaltungsdiagramms nicht schön rechteckig sind sondern wellenförmig gezackt was zu Fehlern / unklarheiten = Glitches / Timing Hazards führt.

5.3.1 Beurteilung der Signalintegrität mit Augendiagrammen

Wenn die Bitsequenzen alle übereinandergelegt werden (Oszilloskop) kann festgestellt werden wie gut sie aufeinanderpassen. Wenn dann noch viel Platz dazwischen ist, ist das Auge weit geöffnet und die Chance auf Glitches klein.

5.3.2 Glitch-Free-Design

Das Auftreten von Glitches wird verhindert indem Bauteile eingeführt werden, die gleiche Laufzeiten aller Signale erzwingen (bsp D-FlipFlops...)

6 Vorlesung 7: Elektrische und Magnetische Felder

6.1 Ladungen

- Grosse Ladungsungleichgewichte gibt es in der Natur selten (ausser bei Gewittern)
- Die meisten Moleküle sind polar (an einer Stelle positiv, an einer anderen negativ geladen) \Rightarrow Löslichkeitsverhalten (bsp Hitze im Mund bei Schärfe)

6.2 Das elektrische Feld

$$\vec{F} = q\vec{E}(\vec{r}, t) \quad (13)$$

Equation 13: Feldkraft mit E = Elektrisches Feld der Ladung Q

6.3 Physikalische Felder

Jedem Raumpunkt wird ein Vektor zugeordnet der von Raum und Zeit abhängt, daraus entstehen Pfeilfelder (Vektorfelder)

6.4 Elektrische und Magnetische Felder

Elektrodynamik: Elektrisches Feld und Magnetisches Feld: Die Felder der einzelnen Quellen können als Vektorsumme addiert werden (Superpositionsprinzip)

6.4.1 Elektrisches Feld $\vec{E}(\vec{r}, t)$

- Newton pro Coulomb [N/C], oder Volt pro Meter [V/m], oder $kg/(ms^3 A)$
- Wird erzeugt durch: Ladung, Zeitlich veränderliche Magnetische Felder

6.4.2 Magnetisches Feld $\vec{B}(\vec{r}, t)$

- Tesla, $kg/(s C)$
- Wird erzeugt durch: Ströme, Zeitlich veränderliche Elektrische Felder
- Magnete haben keinen Einfluss auf ruhende Ladungen, nur auf Bewegte: **Die Lorentz-Kraft** $\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$ [$\vec{v} = \text{Geschwindigkeit}$]
- Wenn \vec{v} senkrecht auf \vec{B} und $\vec{B} = \text{konst.}$ dann ist die Ladung eine Kreisbahn. $\Rightarrow m = \frac{rqB}{v}$ mit [$r = \text{Radius der Kreisbahn}$, $m = \text{Masse eines Teilchens}$, $q = \text{Ladung eines Teilchens}$, $B = |\vec{B}|$]

6.5 Elektromagnetische Kraft und Feldenergie

Elektrisches Feld $\vec{E}(\vec{r})$ + Magnetisches Feld $\vec{B}(\vec{r})$:

Darauf wirkt die gesamte Elektrische Kraft $\vec{F} = q(\vec{E}(\vec{r}) + \vec{v} \times \vec{B}(\vec{r}))$

Dazu gehört die Energie mit der Energiedichte w [$w = \text{Energie pro Volumen}$]:

$$w = \frac{\epsilon_0}{2} \vec{E} \cdot \vec{E} + \frac{\epsilon_0 c^2}{2} \vec{B} \cdot \vec{B} = \frac{\epsilon_0}{2} |\vec{E}|^2 + \frac{\epsilon_0 c^2}{2} |\vec{B}|^2$$

Damit ist die Energie U in Volumen Ω :

$$U = \int_{\Omega} w dV$$

6.6 Magnete

- Magnete haben immer einen Nord und einen Südpol = Dipole
- bei Spaltung eines Magnets entsteht ein Neuer (Schwächerer) Nord und Südpol
- Magnetfeld der Erde ist Konsequenz aus Konventionsphänomen (Ausdehnung von Warmen Zonen, Zsmziehen von Kalten), der Nord / Südpol der Erde hat sich über die Zeit schon oft gedreht. (Magnetfeld der Erde lenkt auch Partikelschauer der Sonne ab)

6.7 Motoren und Generatoren

Rechte Hand Regel: Daumen Pos. Ladung, Zeigfing. Magnetfeld, Mittelfing. Lorentzkraft

6.7.1 Generatoren

Ein Generator ist das Gegenteil eines Motors (erzeugt Mechanische Energie aus Elektrischer), eine Leitung wird durch ein Magnetfeld geführt und dreht sich darin (durch Mechanische Energie), durch die verschiedene Anziehung der Magnete. \Rightarrow Wechselstrom.

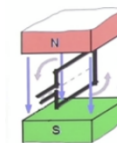


Abbildung 10: Generator

6.7.2 Motoren

Elektronen fließen angetrieben durch eine äussere Spannungsquelle. Das Magnetfeld darumherum führt zu einer Kraft senkrecht zu den Leiterbahnen und damit zu einer Bewegung des Leiters. Wenn sich die Leiterbahn

nicht mehr weiterbewegen würde, wird die Stromrichtung gewechselt. => Drehung der Achse => Mechanische Energie



Fig. 26 Änderung der Stromrichtung durch Kopplung via eines Schleifkontaktes.

Abbildung 11: Motor

7 Vorlesung 9: Elektrodynamik 1

7.1 Arbeitsintegrale / Linienintegrale

Pfad wird in Einzelteile zerlegt, die Arbeit für die Einzelteile berechnet und summiert = Annäherung an Integral

Allgemein $W = \int_{\gamma} \vec{F} \cdot d\vec{\gamma}$ mit $\vec{\gamma}(s) = [\vec{r}(s)$ Pfad der Kurve] = $\begin{pmatrix} \gamma_x(s) \\ \gamma_y(s) \\ \gamma_z(s) \end{pmatrix}$

Bei einem Kreis $\int_{\gamma} \vec{F} \cdot d\vec{\gamma} = 2\pi r |\vec{U}|$

Bei einem Rechteck $\int_{\gamma} \vec{F} \cdot d\vec{\gamma} = aU_1 - aUn$ [mit Vektoren Parallel zur Schlaufe und 1 und n der Grösste und kleinste jeweils bei Seite a und bei c]

Spannung über einem Pfad $U(\gamma) = \int_{\gamma} \vec{E} \cdot d\vec{\gamma}$ [mit E = E-Feld]

Integral über eine Dichte $Q = \int_V \rho dV$

Fluss durch Eine Fläche $U \cdot \text{Fläche}$

7.2 Maxwellgleichungen

Bedingungen:

- Betrachtet im Vakuum (Dielektizität, Magnetisierung) wird vernachlässigt
- \vec{E} = Elektrisches Feld [$kg \cdot m \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$] oder [$V \cdot m^{-1}$]
- \vec{B} = Magnetisches Feld [$N \cdot m^{-1} \cdot A^{-1}$]
- ρ = Ladungsdichte [$C \cdot m^{-3}$]
- \vec{j} = Stromdichte [$A \cdot m^2$]
- ϵ_0 = Permittivität des Vakuums = $8,85 \cdot 10^{-12} [A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}]$
- c = Lichtgeschwindigkeit = $2.99792458 \cdot 10^8 [m \cdot s^{-1}]$
- μ_0 = Permeabilität des Vakuums = $1.26 \cdot 10^{-6} [T \cdot m \cdot A^{-1}]$
- Σ = geschlossene Fläche
- Ω = Offene Fläche

7.2.1 Folgerungen aus den Maxwell Gleichungen

Columb Gesetz

Magnetische Ladungen gibt es nicht. Magnetische Feldlinien bilden immer Schlaufen.

Elektrische Ladungen von Verschiedenen E-Feldern können einzeln berechnet und addiert werden

Ströme erzeugen Magnetfelder die den Strom umkreisen (Rechte Hand Regel)

Gleichung	Interpretation
$\Phi_E(\Sigma) = \int_V \frac{\rho}{\epsilon_0} dV$	Gauss'sches Gesetz: Der Fluss des elektrischen Feldes \vec{E} durch eine geschlossene Fläche Σ ist gleich dem Volumenintegral über die Ladungsdichte ρ / ϵ_0 innerhalb von Σ , also gleich der von Σ eingeschlossenen Ladung Q geteilt durch ϵ_0 .
$\Phi_B(\Sigma) = 0$	Der Fluss des magnetischen Feldes \vec{B} durch eine geschlossene Fläche Σ ist gleich 0.
$\int_\gamma \vec{E} \cdot d\vec{\gamma} = -\frac{d}{dt} \Phi_B(\Omega)$	Faraday'sches Gesetz: Das Linienintegral des elektrischen Feldes \vec{E} über eine Kurve γ ist gleich der zeitlichen Änderung des negativen Flusses des magnetischen Feldes durch eine von γ berandete Fläche Ω .
$\int_\gamma \vec{B} \cdot d\vec{\gamma} = \mu_0 \Phi_j(\Omega) + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \Phi_E(\Omega)$	Das Linienintegral des magnetischen Feldes \vec{B} über eine Kurve γ ist gleich der zeitlichen Änderung des Flusses des elektrischen Feldes (mal $\mu_0 \epsilon_0$) durch eine von γ berandete Fläche Ω plus dem Fluss der Stromdichte durch Ω mal μ_0 .

Abbildung 12: Maxwell Gleichungen

7.3 Spule

Wird ein Draht zu einer Spule gewickelt addieren sich die Felder der Drahtstücke. (Verstärkt noch zusätzlich durch den Eisenkern: $B = \mu_r \mu_0 \frac{N}{L} I$ [$I = \text{Strom}, N = \text{Anz. Windungen}, L = \text{Lnge}, \mu_0 = 1.2567 * 10^{-6} \text{kgmC}^{-2}, \mu_r = \text{Permeabilitätszahl der Spulenflung}$])

7.4 Induktion

(Faraday...): $U_{ind} = -\frac{d}{dt} \Phi_{\vec{B}}(A)$
 Drehgeschwindigkeit: $\theta(t) = \omega t$ [$\omega = \text{konst.}$]
 Dabei dreht sich Fläche A :
 $U_{ind} = AB\omega \sin(\omega t)$ mit [$B = \text{Stärke des Magnetfelds}$]

7.5 Transformator

$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$ Proportional!
 $U_{ind}(t) = -N \frac{d}{dt} |\vec{A}| |\vec{B} \cos(\omega t)| = NAB\omega \sin(\omega t)$

8 Vorlesung 10: Elektromagnetische Wellen

8.1 Elektromagnetische Strahlung

Ladung kann E-Feld erzeugen, Strom kann B-Feld erzeugen, zeitlich Veränderliche B-Feld kann E-Feld erzeugen

Qualitativ

1. Zeitlich Veränderliche Ladungsverteilungen/ Ströme :
2. Erzeugen zeitlich veränderliche E- und B-Felder (**Primärfelder** (1. und 4. Maxwellgleichung))
3. Diese erzeugen weitere Felder ((**Sekundärfelder** (3. und 4. Maxwellgleichung))
4. Das zeitlich veränderliche sekundäre E-Feld induziert ein B-Feld, dieses generiert wiederum ein E-Feld ...
5. Elektromagnetische Welle entsteht

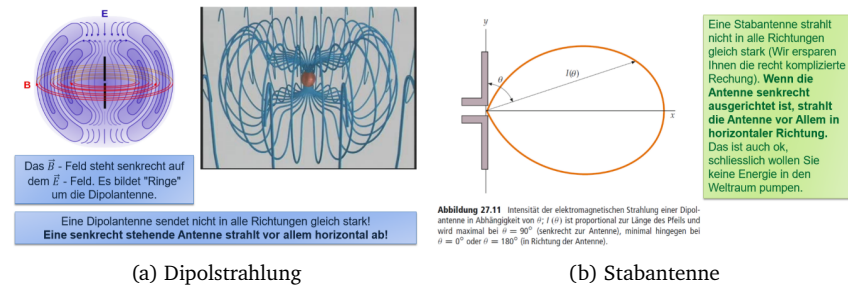


Abbildung 13: Beispiele

8.1.1 Dipolsender Wirkungsgrad

Um die Dipolantenne Entsteht ein E-Feld, dieses wirkt natürlich auch auf die Ladungen in der Antenne und treibt diese wieder zurück. (Ein Teil der

ins Feld transportierten Energie fließt wieder ins Feld zurück).

Wirkungsgrad: $h \leq \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \mu = \frac{P_{out}}{P_{in}} \approx \frac{8h^3}{\lambda^3}$ [mit Maximaler Effizienz für $\lambda = 2h$]

Das wäre in der Praxis sehr hoch, das heisst mit hoher Frequenz senden und Amplitude variieren.

8.2 Wellengleichung

Wellengleichung: $\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2}$

M. Lösung (jede 2x Ableitbare Funktion d. Form) : $E_z(y, t) = E_z(2\pi ft - ky)$

Diese hat die Lösung [falls $c = \frac{2f\pi}{k}$] $E_z(y, t) = E_0 \sin(2\pi ft - ky)$ Im Vakuum ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit $c =$ Lichtgeschwindigkeit = [299792458 m/s]

Facts über Wellen

- Im Vakuum interagieren 2 Wellengleichungen nicht miteinander das heisst die Summe ist wieder die einzelnen Wellengleichungen
- Es gibt aber dennoch Konstruktive / Destruktive Interferenz (Bsp Doppelspalt).
- An einem Hindernis wird die Welle gestreut (**Diffraktion**)
- Ebenso wird die Welle gebrochen (ändert die Richtung) wenn sie auf Materie trifft.
 $\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$ [c = Lichtgeschwindigkeit des Materials i, n = Brechungsindex des Materials i]

Rechnungen dazu

- Intensität: $I_{em} = \frac{E_0 B_0}{2\mu_0} = \frac{E_0^2}{2c\mu_0} = \frac{cB_0^2}{2\mu_0}$ (=> Amplitudde kann hier auch berechnet werden)
- Druck auf Leichtbewegliche Ladungen: $P_s = \frac{I_{em}}{c} = \frac{E_0 B_0}{2c\mu_0} = \frac{E_0^2}{2c^2\mu_0} = \frac{B_0^2}{2\mu_0}$

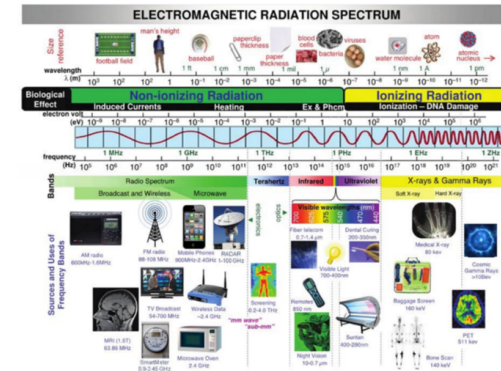


Abbildung 14: Electromagnetic Spectrum

Mit μ = Magnetische Feldkonstante siehe GED Summary Ende

9 Vorlesung 11: Thermische Strahlung

- Tiefste Temperatur: -273.15 C = 0 K
- T in Kelvin = T in C + 273.15
- Alle Objekte mit einer Temperatur grösser als 0 K strahlen.
- ab einigen 100° beginnt man diese Strahlung visuell zu sehen.

9.1 Intensität (= Strahlungsstromdichte)

Wieviel Energie/Zeit fließt irgwo im Raum durch Einheitsfläche (senkrecht zur Stromrichtung):


$$Intensitaet = \frac{Energie}{Flaeche \times Zeit}$$

- Makroskopische (von Auge sichtbare) physikalische Objekte strahlen permanent Energie ab, absorbieren aber auch Wärmestrahlung von der Umgebung.

- Wenn die Objekte ihre Temperatur nicht verändern (abgestrahlte = absorbierte Energie) sind sie im **thermisch stationären Zustand**
- zusätzlich wenn es einzig Wärmeenergie aufnimmt/abgibt ist es im **thermischen Gleichgewicht** (muss nicht auch thermisch stationär sein dafür)

9.2 Elektromagnetische Wellen

- Elektromagnetische Strahlung ist aus Wellen zusammengesetzt
- Elektromagnetische Wellen können durch Wellenlänge λ charakterisiert werden
- Zudem gilt: $c = \lambda \cdot f = \lambda \cdot \nu$ mit [$f = \nu$ [nüh] = Frequenz, c = Lichtgeschwindigkeit]
- $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- Energie eines Photons der Frequenz ν : $E = h\nu$ mit [h = Planck'sche Konstante = $6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$]
- Rotes Licht hat grössere Wellenlänge aber kleinere Frequenz als blaues Licht.



Color	Wavelength	Frequency	Photon energy
violet	380–450 nm	668–789 THz	2.75–3.26 eV
blue	450–495 nm	606–668 THz	2.50–2.75 eV
green	495–570 nm	526–606 THz	2.17–2.50 eV
yellow	570–590 nm	508–526 THz	2.10–2.17 eV
orange	590–620 nm	484–508 THz	2.00–2.10 eV
red	620–750 nm	400–484 THz	1.65–2.00 eV

Abbildung 15: Frequenzen Licht

9.3 Absorbtion und Reflektion

Undurchsichtiger Körper: => Alles auftreffende Licht wird entweder geschluckt oder reflektiert.

Absorptionskoeffizient: (Bruchteil der Absorbiert wird) = α

Reflektionskoeffizient: (Bruchteil der Reflektiert wird) = $\rho = 1 - \alpha$

Schwarzer Strahler: Körper mit Reflektionsgrad $\rho = 0$ und Absorptionsgrad $\alpha = 1$ Für alle Frequenzen.

=> Jeder Körper mit Temperatur T strahlt einen Mix von Elektromagnetischen Wellen ab, der von der Temperatur aber nicht der Struktur / Material des Körpers abhängt (daher für Schwarzer Strahler gleich). => Für jeden Körper kann man temperaturabhängige Intensität $I(f, T)$ berechnen

9.4 Planck'sches Strahlungsgesetz, Wien'sches Verschiebungsgesetz

$$I(\nu, T) = \frac{2h\pi\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1} \text{ (Frequenz)}$$

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

Mit [h = Planck'sche Konstante = 6.626×10^{-34}]

Daraus kann man schliessen:

- Je heisser ein Objekt desto grösser die Intensität der thermischen Strahlung
- je heisser ein Objekt desto blauer die thermische Strahlung (= desto kürzer die Wellenlänge des hauptteils der Strahlung, bzw desto höher die Frequenz)

2. Folgerung: Wien'sches Verschiebungsgesetz $\lambda_{max} = \frac{b}{T}$ mit [b = $2.8978 \times 10^{-3} \text{ m K}$]

(liegt im Grünen bereich aber durch Anteile von rot & blau nehmen wir es trotzdem als weiss wahr)

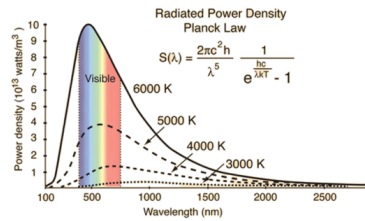


Abbildung 16: Planck'sches Gesetz

9.5 Stefan-Boltzmann Gesetz

Abgabe Leistung einer ebenen, Schwarzstrahler-Fläche A: $P = \sigma AT^4$
 mit $[\sigma = 5.67 * 10^{-8} [W/(m^2K^4)]]$
 Thermischer Energiefluss aus dem Körper: $I_{therm} = -\frac{dE}{dt} = \sigma A(T^4 - T_{environment}^4)$

9.6 Klimaerwärmung

Sonne: schwarzer Strahler von ca. 5760K die auf eine Kugel mit Erdbahnradius verteilt werden. (dh. Temperatur auf Erde ca. 300K.) Treibhausgase wie CO2 in der Atmosphäre lassen hereinkommendes Licht ungehindert durch, aber nicht ungehindert weg. Durch Vergrößerung der Treibhausgase ändert sich Energiebilanz der Erde.

10 Vorlesung 12: Signale

10.1 Was ist ein Signal:

- Eine sich räumlich (im Vakuum/Medium) ausbreitende Auslenkung aus Grundzustand
- Kann zu Zeitpunkt t_0 erzeugt und zu Zeitpunkt t_1 an anderem Ort gemessen werden und auch am Erzeugungsort kann Auslenkung zeitlich veränderlich sein

- Je nach Medium ist Geschwindigkeit, Verzerrung, Dämpfung unterschiedlich
- Mit $T = \frac{1}{f}$ [A = Amplitude, T= Periode (s), $f = \nu$ = Frequenz (s^{-1}), φ = Phasenverschiebung (von 2 form-gleichen Signalen aber verschoben)]

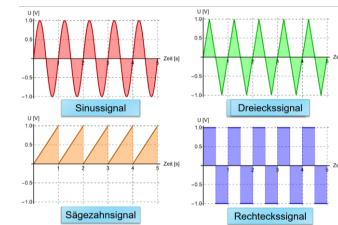


Abbildung 17: Verschiedene Signalformen

10.2 Wieso Sinussignale

- können einfach Hergestellt werden, kommen natürlich oft fast vor (Auslenkung einer Feder, eines Pendels)
- für unser Ohr sind Sinussignale = reine Töne, für unser Auge eine der (reinen) Regenbogenfarben
- können mit einfacher Elektronischer Schaltung gedämpft/gefiltert werden
- Jede periodische Funktion kann als Summe von Sinus und Cosinus Funktionen dargestellt werden, die jeweils eine Lösung der Wellengleichung sind ($\sin(\omega t - kx)$ und $\cos(\omega t - kx)$, mit $[\omega$: Kreisfrequenz = $2\pi f$])

10.2.1 Fourierzerlegung

Jede (praktisch relevante) periodische Funktion g kann als Summe von Sinus- und Cosinusfunktionen dargestellt werden \Rightarrow Jedes

Audiosignal kan als Summe von reinen Tönen dargestellt werden
 ⇒ Jedes sichtbare Elektromagnetische Signal kann als Summe von Regenbogenfarben dargestellt werden

10.2.2 Fouriertransformation

Periodische Funktion wird Dargestellt als Reihe mit Sinus und Cosinusthermen und Koeffizienten (Fourierkoeffizienten) (= Sinus und Cosinusdarstellung) ein Summand davon heisst Fourierkomponente, diese wird dann mit ausgefeilten Algorithmen berechnet (Fouriertransformation)

Fourierreihe	Fourierkoeffizienten	
$g(t) = \left(\frac{1}{T}\right)^{\frac{1-\alpha}{2}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{2\pi i f_n t}$	$c_n = \left(\frac{1}{T}\right)^{\frac{\alpha+1}{2}} \int_0^{\alpha+1} g(t) e^{-2\pi i f_n t} dt$	
$g(t) = \left(\frac{2}{T}\right)^{\frac{1+\alpha}{2}} \left(\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi f_n t) + b_n \sin(2\pi f_n t) \right)$	$a_n = \left(\frac{2}{T}\right)^{\frac{\alpha+1}{2}} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} g(t) \cos(2\pi f_n t) dt$ $b_n = \left(\frac{2}{T}\right)^{\frac{\alpha+1}{2}} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} g(t) \sin(2\pi f_n t) dt$	$a_n = c_n + c_{-n}$ $b_n = i(c_n - c_{-n})$
$g(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(2\pi f_n t - \varphi_n)$	Annahme: $a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} g(t) \cos(2\pi f_n t) dt$ $\alpha = 1$ $b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} g(t) \sin(2\pi f_n t) dt$	$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ $\varphi_n = \arctan(a_n, b_n)$
T : Periode der Funktion $f(t)$ $f_n = \frac{n}{T}, n \in \mathbb{Z}$ $i = \sqrt{-1}$		

Abbildung 18: Fourierformeln, für Ausarbeitung der Algorithmen werden Compl. Zahlen verwendet (nicht können)

10.3 Andere Darstellungen

10.3.1 Amplituden/Phasendastellung

Zu diskreten Frequenzen gehören Fourierkoeffizienten, Amplituden und Phasen. Die Amplitude kann als Funktion der Frequenz angegeben werden = **Spektrum**.

$$g(t_r) = g_r = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N G_s \exp(2\pi i f_s t_r) \quad G_s = \sum_{r=1}^N g_r \exp(-2\pi i f_s t_r)$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N G_s \exp(2\pi i \frac{(s-1)(r-1)T}{N}) \quad = \sum_{r=1}^N g_r \exp(-2\pi i \frac{(s-1)(r-1)T}{N})$$

$t_r = \frac{(r-1)T}{N}$

$f_s = \frac{(s-1)}{T}$

Fourierkoeffizienten

Frequenzen

Abbildung 19: Fouriertransformation mit einzelnen Punkten

10.3.2 Time/Frequency Domain Representation

Funktion als Funktion der Zeit (time domain representation) (enthält die selbe Information wie Spektrum (A_n in $g(t)$) oder Phasendiagramm (φ_n in $g(t)$))

10.4 Reale Anwendung

Reale Signale sind keine Funktionen (in der Regel) sondern eine Serie von Messwerten:
 Trotzdem kann man Fouriertransformation durchführen.
 Falls das Signal nicht Periodisch ist, wird ein Periodisches Signal konstruiert. Dazu wird ein Teil des Signals dupliziert = periodisches Signal.

10.4.1 Min/ Max

- Um Fourierkomponente einer tiefen Frequenz f_{min} zu bestimmen muss mindestens während Zeitintervall $T > 1/f_{min}$ gemessen werden
- Um Fourierkomponenten mit max Frequenz f_{max} zu rekonstruieren muss mindesten diskrete Fouriertransformation an $N > 2Tf_{max}$ Messpunkten durchgeführt werden (= Um Spektrum zw. Funktion bis zur Frequenz f_{max} auszumessen muss man mind. doppelter Frequenz messen)
 - Wenn f_{max} nicht bekannt / oder mit tieferer Frequenz gemessen

Wir beschränken uns auf den geraden Fall: $N = 2n$.

$$G_s = \sum_{r=0}^{n-1} g \cdot \exp(-2\pi i \frac{(s-1)}{T} t_r)$$

$$- \sum_{r=n}^{2n-1} g \cdot \exp(-2\pi i \frac{(s-1)}{T} (r-1)T)$$

$$a_0 = \frac{G_1}{2n}, a_s = \frac{G_{2s-1}}{2n}, a_s = \frac{G_{-s} + G_{2n+1-s}}{2n}, (1 \leq s \leq n-1)$$

$$b_s = \frac{i(G_{1-s} - G_{2n+1-s})}{2n}, (1 \leq s \leq n-1)$$

$$g_s = a_s + \left(\sum_{r=1}^{n-1} a_r \cos\left(\frac{2\pi r s}{2n}(r-1)\right) + b_r \sin\left(\frac{2\pi r s}{2n}(r-1)\right) \right) + a_n \cos(\pi(r-1))$$

$$A_s = \sqrt{a_s^2 + b_s^2}$$

$$\varphi_s = \arccos\left(\frac{a_s}{A_s}\right)$$

$$f_s = \frac{s}{T}$$

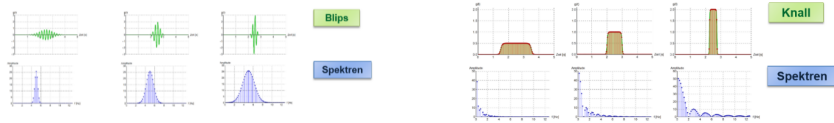
$$g(t) = a_0 + \sum_{s=1}^{n-1} A_s \cos(2\pi f_s t - \varphi_s) + a_n \cos(\pi t)$$

Abbildung 20: Amplitude, Phase mit einzelnen Punkten (nur bei Gerader Anz. Messwerte)

- sonst passiert Aliasing (= Alias-Effekt) = die Frequenzanteile werden tieferen Frequenzen zugeordnet
- = in der Analyse entstehen tiefe Schwingungen die im Originalsignal gar nicht vorhanden sind.

11 Vorlesung 13: Signale Teil 2, und in Realität

11.1 Unschärfeprinzip



(a) Blip: kurzes Signal das entsteht durch An/Abdrehen einer Grundschwingung. Je schmaler ein Blip desto breiter das Spektrum.

(b) Ein Knall: Je kürzer ein Knall desto breiter das Spektrum

Abbildung 21: Beispiele

Prinzip der Unschärfe: Je lokalisierter ein Signal in der Zeitdomäne ist, desto mehr Frequenzen braucht man zu seiner Darstellung, bzw. desto delocalisierter ist es im Frequenzraum. Signale werden als Summen

$$\frac{\Delta f \cdot \Delta t}{2} \sim 1 \tag{14}$$

Equation 14: Unschärfe (Für ein reines Signal (bsp Sinus) $\sim =$ in Grössenordnung von 1 (= Stellenanzahl etwa)

von Schwingungen (Wellen) dargestellt da: Ausbreitungsgeschwindigkeit und Dämpfungsgeschwindigkeit von Wellenlänge abhängt. Und Signal pro Welle analysiert werden kann.

- Daraus Folgt damit ein Ton als harmonisch empfunden wird muss Frequenz dominieren
- Frequenz der Grundschwingung dominiert \Rightarrow Signal muss lange genug sein
- Instrumente mit Tiefen Tönen müssen lange Töne produzieren um gut zu tönen
- Je länger die Messzeit desto höher die Auflösung im Spektrum
- bei Gegebener Anz. Messpunkte sinkt max. detektierbare Frequenz

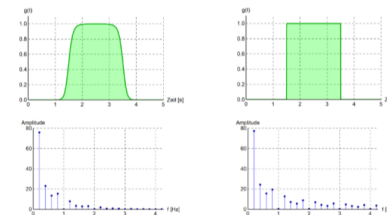


Abbildung 22: Je steiler die Flanken eines Signals desto grösser der Anteil der hohen Frequenzen im Signal.

11.2 Realitäts Beispiele

Absorption von Licht: $I_L(x) = I_{L,0} e^{-\frac{x}{\lambda}}$ [$I_{L,0}$ = Intensität bei $x = 0$, λ = Materialkonstante]

Dispersion: (Phasengeschwindigkeit hängt von Frequenz ab), die einzelnen Fourierkomponenten der Welle 'zerfliessen'

Resonanz: Systeme werden durch äussere Anregung in Schwingung versetzt, Anregung ist selbst eine Schwingung = Resonanz, Schwingung die das System in Schwingung bringt = Resonanzfrequenz = Peak der Schwingungsaufzeichnung

Intensität: Energie die Welle Pro Zeit und Fläche transportiert

Dezibel: (Hilfs-) Einheit um Intensitäten miteinander zu vergleichen, Unterschied $Q = 10 \cdot \log_{10}(\frac{I_1}{I_2})$ dB

Schallintensitätspegel H: $H = (10dB) \cdot \log_{10}(\frac{I}{I_0})$ mit $[I_0 = 10^{-12} Wm^{-2}$ Menschliche Hörschwelle], nicht proportional zu Schallintensität

Energieerhaltung (Intensität): (Bsp Kugelwelle): $I = \frac{P}{4\pi R^2}$ und bei wenn R_1, I_1 bekannt, folgt $I_2 = \frac{R_1^2 I_1}{R_2^2}$

Lärm: (Signal, das für keinen Empfänger nützlichen/verständlichen Informationsgehalt hat) = iid (identically and independently distributed) = Lärm $\Rightarrow \Lambda(t)$

- Zufallsvariable $\Lambda(t)$
- Wahrscheinlichkeitsverteilung f. Zeitpunkte gleich
- Zufallswert zu einem Zeitpunkt $\Lambda(t_1)$ unabhängig von Wert zu anderem Zeitpunkt

Signal to Noise Ratio: = SNR = $\frac{P_{Signal}}{P_{Noise}} = \frac{I_{Signal}}{I_{Noise}}$ und normalerweise auch = $\frac{A_{Signal}^2}{A_{Noise}^2}$
mit [P jeweils Mittlere Leistung Signal/Noise, I Intensität Signal/Noise, A Amplitude Signal/Noise]

Thermisches Rauschen: (Leerlaufspannung, die entsteht durch thermische Bewegungen der Ladungsträger): $U_{term,eff} \sqrt{TR}$