Letzte Hüfe

xB Fucking HELS

April 19, 2024

Todo list

1 Grundkonzepte

1.1 Grundeinheiten

SI-Einheiten	Bedeutung	Einheit	Zusammenhang
U	Spannung	Volt (V)	-
I	Strom	Ampere (A)	-
R	Widerstand	Ohm (Ω)	-
G	Leitwert	Siemens (S)	$\frac{1}{R}$
P	Leistung	Watt (W)	$U \cdot I$
C	Kapazität	Farad (F)	$C \cdot s$
Q	Ladung	Coulomb (C)	$C \cdot U$
L	Induktivität	Henry (H)	-
f	Frequenz	Hertz (Hz)	s^{-1}
ω	Kreisfrequenz	(rad/s)	-
W	Arbeit	Joule (J)	$N \cdot m$
F	Kraft	Newton (N)	$V \cdot A \cdot s \cdot m^{-1}$
p	Druck	Pascal (Pa)	$N \cdot m^2$
φ	Potenzial	Volt (V)	$\frac{W}{A}$
H	magnetische Feldstärke	Strom pro Meter ($\frac{A}{m}$)	-
E	Elektrische Feldstärke	$\frac{V}{m}$	$\frac{F}{Q}$
Ψ	Elektrischer Fluss	Coulomb C	-
ϕ	magnetischer Fluss	Weber (Wb)	$V \cdot s$
D	Elektrische Flussdichte	$\frac{C}{m^2}$	$\frac{\Psi}{A^2}$
B	magnetische Flussdichte	Tesla (T)	$C \cdot U$

Table 1.1: Grundeinheiten

1.2 Konstanten

Konstanten	Bedeutung	Einheit	Wert teilweise gerundet
c	Lichtgeschwindigkeit (Vakuum)	$\frac{m}{s}$	299 792 458
e	Elementarladung	C	$1,602 \cdot 10^{-19}$
μ_0	Magnetische Feldkonstante	$\frac{H}{m}$	$4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$
ϵ_0	Permittivität	$\frac{F}{m}$	$8,854 \cdot 10^{-12}$
Cu	Leitfähigkeit Kupfer	$\frac{S \cdot m}{mm^2}$	56

Table 1.2: Konstanten

1.3 Präfixe

Vorsatz	Vorsatzzeichen	Faktor	Wert
Exa	E	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000
Peta	P	10^{15}	1 000 000 000 000 000
Tera	T	10^{12}	1 000 000 000 000
Giga	G	10^{9}	1 000 000 000
Mega	M (meg)	10^{6}	1 000 000
Kilo	k	10^{3}	1 000
Hekto	h	10^{2}	100
Deka	da	10^{1}	10
Dezi	d	10^{-1}	0,1
Zenti	c	10^{-2}	0,01
Milli	m	10^{-3}	0,001
Mikro	μ	10^{-6}	0,000 001
Nano	n	10^{-9}	0,000 000 001
Piko	p	10^{-12}	0,000 000 000 001
Femto	f	10^{-15}	0,000 000 000 000 001

Table 1.3: Präfixe

2 Widerstand

2.1 Ohm'sches Gesetz

Der Zusammenhang zwischen Spannung, Strom und Widerstand:

$$U = R \cdot I \tag{2.1}$$

$$I = \frac{U}{R} \tag{2.2}$$

$$R = \frac{U}{I} \tag{2.3}$$

2.2 Netzwerke

2.2.1 Serienschaltung

2.2.2 Parallelschaltung

2.3 Leitungswiderstand

2.4 Sterndreiecktransformation

2.5 Temperaturabhängigkeit

2.6 Potentiometer

3 Kirchhoff

Kirchhoff hat zwei fundamentale Regeln/Gesetze aufgestellt.

3.1 Knotenregel

Die Summe aller Ströme bei einem Knotenpunkt ist 0, d.h. Ströme die hineinfließen, müssen auch hinausfließen.

3.2 Maschenregel

Die Summer aller Spannungen in einer Masche ist 0.
$\sum U = 0$

$$U_1 + U_2 = U_3 \tag{3.1}$$

$$U_1 + U_2 - U_3 = 0 \tag{3.2}$$

Alle Spannungen in Richtung des Umlaufsinns: + Alle Spannungen in Gegenrichtung des Umlaufsinns: -

4 Leistung

4.1 Leistung bei Gleichstrom

Allegmein gilt:

$$P = U \cdot I \tag{4.1}$$

$$P = \frac{U^2}{R} \tag{4.2}$$

$$P = I^2 \cdot R \tag{4.3}$$

- P ... Leistung
- U ... Spannung
- I ... Strom
- R ... Widerstand

4.2 Leistung bei Wechselstrom

- Wirkleistung P
  Tatsächlich umgesetzte Energie in Watt [W]
- Blindleistung Q
  Unerwünschte bzw. nicht nutzbare Energie in Volt-Ampere Relativ [var]
- Scheinleistung S
  Gesamtleistung in Volt-Ampere [VA]

4.3 Blindleistung

4.3.1 Kompensation

5 Quellen

5.1 Spannungsquelle

5.2 Stromquelle

5.3 Überlagerungsprinzip

5.4 Ersatzschaltbild

6 Felder

6.1 Elektrisches Feld

6.2 Elektrischer Fluss

6.3 Magnetisches Feld

6.4 Magnetischer Fluss

7 dB-Rechnung

Die Darstellung in Dezibel (dB) findet man in der Elektronik beispielsweise bei **Bode-diagrammen** und vor allem in der **Hochfrequenztechnik** Verwendung. Bei der Umrechnung und Darstellung in dB muss darauf geachtet werden, dass in **Leistungs-** und **Spannungsgrößen** unterteilt wird. Zu den sogenannten Leistungsgrößen gehören die Watt bzw. die Milliwatt. Ein häufiges Beispiel für Spannungsgrößen ist die Darstellung von Volt.

Spannungsgrößen werden mit dem **Faktor 20** multipliziert; **Leistungsgrößen** lediglich mit dem **Faktor 10**.

7.1 Rechenregeln

Im Generellen werden alle Rechenoperatoren um eine Stufe herabgesetzt:

- **Faltung**$(*) \rightarrow$ **Multiplikation**$(\cdot)$
- **Multiplikation**$(\cdot) \rightarrow$ **Addition**$(+)$
- **Addition**$(+) \rightarrow$ undefiniert

<u>Beispiele</u>

- $2 \cdot 1000 \Rightarrow 3[dBW] + 30[dBW]$
- $f_1 * f_2 \Rightarrow f_1[dB] \cdot f_2[dB]$

7.2 Besonderheiten bei Leistungsgrößen

Bei Leistungsgrößen können je nach Aufgabengebiet die sogenannten **dB-Watt (dBW)** oder die **dB-Milliwatt (dBm)** benötigt werden.
Diese dBm werden hauptsächlich in der Hochfrequenztechnik eingesetzt, um kleine Leistungen angemessen darstellen zu können.

Dadurch, dass bei dBm mit dem Faktor 1.000 multipliziert wird, liegt **1dBm** um **30dB unter 1dBW**.

Beispiele

- $3[dBW] = 33[dBm]$
- $0[dBm] = -30[dBW]$

7.3 Allgemeine Formeln

Hier sind allgemeine Formeln für Spannungs- und Leistungsgrößen angegeben. Der Folgepfeil zeigt eine vereinfachte Form.

7.3.1 Spannungsgrößen

$$U[dBV] = 20 \cdot log_{10}(\frac{U[V]}{U_0[V]}) \Rightarrow U[dBV] = 20 \cdot log_{10}U[V] \tag{7.1}$$

$$U[V] = 10^{\frac{U[dBV]}{20}} \cdot U_0[V] \Rightarrow 10^{\frac{U[dBV]}{20}} \tag{7.2}$$

7.3.2 Leistungssgrößen

$$P[dBW] = 10 \cdot log_{10}(\frac{P[W]}{1[W]}) \Rightarrow P[dBW] = 10 \cdot log_{10}P[W] \tag{7.3}$$

$$P[W] = 10^{\frac{P[dBW]}{10}} \cdot 1[W] \Rightarrow 10^{\frac{P[dBW]}{10}} \tag{7.4}$$

7.4 Spezielle Formeln

$$U[dBV] = 20 \cdot log_{10}(\frac{U_a[V]}{U_e[V]}) \tag{7.5}$$

Oben ist die Formel zum Umrechnen der **Übertragungsfunktion** für das **Bodediagramm** in dB angegeben. Da es sich bei der Übertragungsfunktion um **Spannungsgrößen** handelt wird mit dem **Faktor 20** multipliziert.

$$P[dBm] = 10 \cdot log_{10}(\frac{P[W]}{1[mW]}) \tag{7.6}$$

$$P[W] = 1[mW] \cdot 10^{\frac{P[dBm]}{10}} \tag{7.7}$$

Oben ist die Formel zum Umrechnen von **Watt** und **dBm** (siehe Unterkapitel „Besonderheiten bei Leistungsgrößen").

7.5 Häufige Zahlenwerte

Normalraum	**dBW**	**dBV**
$0,001$	-30	-60
$0,01$	-20	-40
$0,1$	-10	-20
$0,5$	≈ -3	≈ -6
1	0	0
2	≈ 3	≈ 6
10	10	20
100	20	40
1000	30	60

Vllt. Beispiel wo "im Kopf" gerechnet wird?

8 Wechselstromtechnik

8.1 Komplexe Zahlen

Komplexe Zahlen sind die Erweiterung der Realen Zahlen $\mathbb{R}$:

$$\mathbb{N} \to \mathbb{Z} \to \mathbb{R}(\mathbb{Q} + \mathbb{I}) \to \mathbb{C} \tag{8.1}$$

Die Defintion $j = \sqrt{-1}$ ist hierbei besonders wichtig.

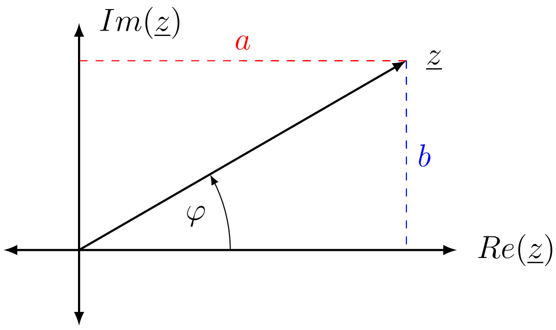
Beispiel

$$x^2 = -9 \tag{8.2}$$

$$x^2 = j^2 \cdot 9 \quad |\sqrt{} \tag{8.3}$$

$$\Rightarrow x_1 = 3j \quad x_2 = -3j \tag{8.4}$$

Eine komplexe Zahl $\underline{z}$ besteht aus einem Realteil a und einem Imaginärteil b



Der Betrag des Zeigers ($|\underline{z}|$) ist die Länge, φ der Winkel zwischen der x-Achse und dem Zeiger.

$$\underline{z} = a + jb = Re(\underline{z}) + jIm(\underline{z}) \tag{8.5}$$

$$\underline{z} = |\underline{z}| \cdot e^{j\varphi} \tag{8.6}$$

Die Länge kann über den Pythagoras berechnet werden und der Winkel mit dem Arkustangens:

$$Re(\underline{z}) = |\underline{z}| \cdot cos(\varphi) \tag{8.7}$$

$$Im(\underline{z}) = |\underline{z}| \cdot sin(\varphi) \tag{8.8}$$

$$\varphi = arctan(\frac{Im(\underline{z})}{Re(\underline{z})}) \tag{8.9}$$

$$|\underline{z}| = \sqrt{Re(\underline{z})^2 + Im(\underline{z})^2} \tag{8.10}$$

8.1.1 Addition & Subtraktion

Die Summe & Differenz kompler Zahlen $\underline{z_1} = a + jb$ und $\underline{z_2} = c + jd$ ist definiert als

$$\underline{z_1} + \underline{z_2} = (a + c) + j(c + d) \qquad \underline{z_1} - \underline{z_2} = (a + c) - j(c + d) \tag{8.11}$$

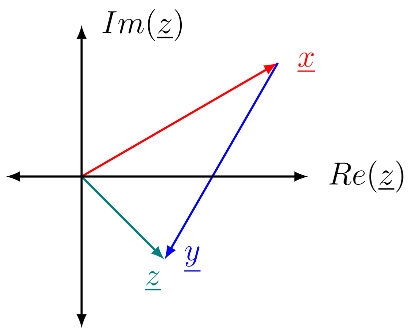
Es werden Real- und Imaginärteile addiert bzw. subtrahiert.

Grafisch können Zahlen in Zeigerdarstellung wie Vektoren addiert bzw. subtrahiert werden. D.h. beim Addieren wird das Ende eines Zeigers wird an die Spitze des anderen gehängt.

<u>Beispiel</u>
$\underline{x} = 3 \cdot e^{j\frac{\pi}{3}}$
$\underline{y} = 3 \cdot e^{j\frac{8\pi}{12}}$

Radiant zu Grad konvertieren?

Gesucht: $\underline{z}$
$\underline{z} = \underline{x} + \underline{y}$



8.1.2 Multiplikation

Die Längen der Zeiger multiplizieren und die Winkel addieren:

$$\underline{y} \cdot \underline{z} = |\underline{y}| \cdot |\underline{z}| \cdot e^{j \cdot (\varphi_{\underline{y}} + \varphi_{\underline{z}})} \tag{8.12}$$

8.1.3 Division

Die Längen der Zeiger dividieren und die Winkel subtrahieren:

$$\frac{\underline{y}}{\underline{z}} = \frac{|\underline{y}|}{|\underline{z}|} \cdot e^{j \cdot (\varphi_{\underline{y}} - \varphi_{\underline{z}})} \tag{8.13}$$

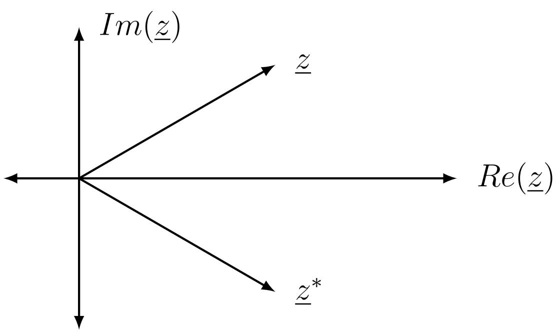
8.1.4 Konjugiert Komplexe Zahlen

Konjugiert-Komplexe Zahlen sind besonders wichtig, wenn man mit komplexen Zahlen rechnen möchte. Um die konjugiert-komplexe Zahl zu ermitteln, wird nur das Vorzeichen des Imaginärteils der Zahl umgedreht; sie wird als $\underline{z}^*$ angeschrieben.

$$\underline{z} = a + jb = |\underline{z}| \cdot e^{j\varphi} \tag{8.14}$$

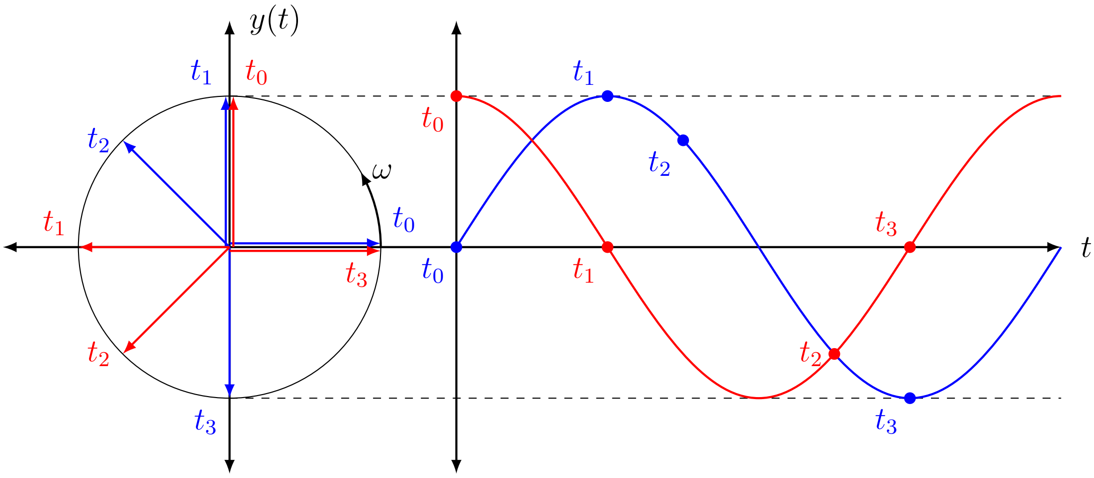
$$\underline{z}^* = a - jb = |\underline{z}| \cdot e^{-j\varphi} \tag{8.15}$$

Visuell ist es das Gleiche, als wenn man den Punkt auf der x-Achse spiegelt.



8.2 Zeigerdiagramm

Mit Zeigerdiagrammen kann man sinusförmige Funktion übersichtlicher darstellen. Die Zeiger folgen dem Einheitskreis und sollen zeigen, wie sich die Funktion zeitlich verhält.



8.3 Impedanz

Die Impedanz ist der "Widerstand" eines Systems, die aber auch die Frequenz einbezieht (weil der Imaginärteil nicht 0 ist). Sie wird mit z dargestellt.

$$\underline{z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} \tag{8.16}$$

$$\underline{z} = R + jx \tag{8.17}$$

Beispiel
Kondensator: $C = 1\mu F$

$$\underline{z}_C = R + jx = \underline{y}_C \tag{8.18}$$

$$\underline{x}_C = \frac{1}{j \cdot \omega C} \cdot \frac{j}{j} \tag{8.19}$$

$$\underline{U} = 5V \cdot e^{j \cdot 0} \qquad f = 1kHz \tag{8.20}$$

8.4 Admittanz

Die Admittanz ist der Kehrwert der Impedanz und sozusagen "der Leitwert, zum Widerstand". Sie wird mit dem Buchstaben $\underline{y}$ angeschrieben.

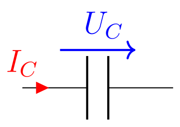
$$\underline{y} = \frac{1}{\underline{z}} \tag{8.21}$$

$$\underline{y} = G + jB \tag{8.22}$$

9 Lineare Bauteile

9.1 Kondensator

Ein Kondensator ist dazu da, um Energie zu speichern. Durch hineinfließenden **Strom**, wird Ladung in den Kondensator transportiert, wodurch **Spannung aufgebaut wird**.



Es gilt:

$$\Delta Q = C \cdot \Delta U = I \cdot \Delta t \tag{9.1}$$

- ΔQ... Ladungsänderung in **Coulomb (**C**)**
- C... Kapazität in **Farad (**F**)**
- Δt... Zeitänderung in **Ampere (**A**)**
- ΔU... Spannungsänderung in **Volt (**V**)**

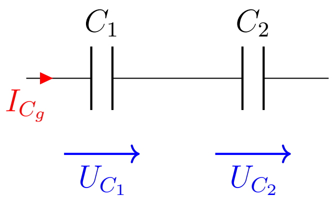
9.1.1 Schaltung von Kondensatoren

Serienschaltung

Es gilt:

$$C_g = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \tag{9.2}$$

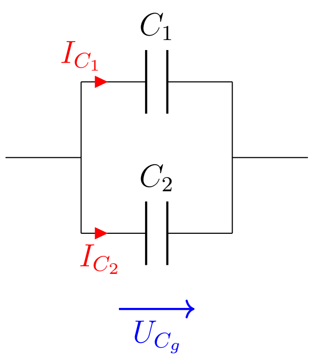
$$\frac{1}{C_g} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \tag{9.3}$$



Parallelschaltung

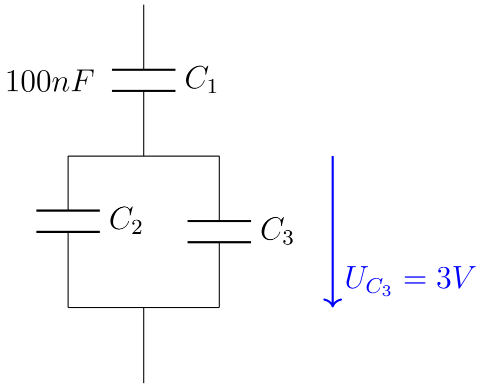
Es gilt:

$$C_g = C_1 + C_2 \tag{9.4}$$



Beispiel

Gegeben:



Gesucht: $Q_1, Q_2, Q_3, U_{C_1}, U_{C_2}, U_{C_3}, C_g$

$$Q_2 = C_2 \cdot U_{C_2} = 1[\mu F] \cdot 3[V] = 3[\mu C] \tag{9.5}$$

$$Q_3 = C_3 \cdot U_{C_3} = 2[\mu F] \cdot 3[V] = 6[\mu C] \tag{9.6}$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 = 3[\mu C] + 6[\mu C] = 9[\mu C] \tag{9.7}$$

$$\Rightarrow U_{C_1} = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{9[\mu C]}{0,1[\mu F] = 90[V]} \tag{9.8}$$

$$C_{2,3} = C_2 + C_3 = 1[\mu F] + 2[\mu F] = 3[\mu F] \tag{9.9}$$

$$C_g = \frac{C_{2,3} \cdot C_1}{C_{2,3} + C_1} = \frac{3[\mu F] \cdot 100[nF]}{3[\mu F] + 100[nF]} \tag{9.10}$$

$$C_g \approx 96,774[nF] \tag{9.11}$$

$$U_g = \frac{Q_g}{C_g} = \frac{9[\mu C]}{96,774[nF]} = 93[V] \tag{9.12}$$

9.1.2 Lade- & Entladekurven

9.1.3 Tau-Messung

9.1.4 Blindwiderstand

9.1.5 Plattenkondensator

9.2 Spule

Eine Spule ist ein **passives Bauelement** um **Energe zu speichern** in dem es ein Magnetfeld erzeugt. Außerdem ist sie **frequenzabhängig**.
Anwendungen

- Filter
- Schwingkreise
- Energiespeicher
- Störunterdrückung (Stromflussglättung)

Wichtige Formeln

Linearer Stromanstieg/-abfall	$L \cdot \Delta i = U_L \cdot \Delta t$
Impedanz (komplexer Widerstand)	$x_L = j\omega L = j2\pi f L$
Wechselstromverhalten	$u(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$
Serienschaltung zweier magnetisch nicht gekoppelter Spulen	$L_g = L_1 + L_2$
Parallelschaltung zweier magnetisch nicht gekoppelter Spulen	$L_g = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$

Table 9.1: Wichtige Formeln

9.2.1 Lade- & Entladekurven

9.2.2 Zeigerdiagramm

9.3 Induktivitäten

9.3.1 Definition der Induktivität L einer Spule

Die Induktivität einer Spule beschreibt die Proportionalität zwischen magnetischem Verkettungsfluss Φ_v, und Spulenstrom i.

$$\Phi_v = N \cdot \Phi = L \cdot i \tag{9.13}$$

- Φ ... Fluss durch die Spule in $[Wb]$
- N ... Windungszahl
- Φ_v ... Verkettungsfluss der Spule in $[Wb]$
- L ... Induktivität in $[H]$
- i ... Strom durch die Spule $[A]$

9.3.2 Selbstinduktionsspannung einer Spule

$$u_L = -L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} \tag{9.14}$$

- u_L ... Selbstinduktionsspannung in $[V]$
- L ... Induktivität in $[H]$
- $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ ... Stromänderung in $[\frac{A}{s}]$

9.3.3 Induktivität einer Spule

Die Induktivität einer Spule ist proportional dem Qudrat der Windungszahl.

$$L = N^2 \cdot \frac{1}{R_m} = N^2 \cdot \Lambda \tag{9.15}$$

- L ... Induktivität in $[H]$
- N ... Windungszahl

- R_m ... magnetischer Widerstand in $[\frac{1}{H}]$
- Λ ... magnetischer Leitwert in $[H]$

9.3.4 Induktivität einer schlanken Zylinderspule

$$L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{A}{l} \tag{9.16}$$

- L ... Induktivität in $[H]$
- N ... Windungszahl
- μ_0 ... Permeabilität des leeren Raumes in $[\frac{Vs}{Am}]$
- R_m ... Spulenfläche in $[m^2]$
- l ... Spulenlänge in $[m]$

9.3.5 Induktivität einer Zylinderspule mit $\frac{l}{d} > 10$

$$L = k \cdot N^2 \mu_0 \cdot \frac{A}{l} \tag{9.17}$$

- L ... Induktivität in $[H]$
- N ... Windungszahl
- k ... Korrekturfaktor
- μ_0 ... Permeabilität des leeren Raumes in $[\frac{Vs}{Am}]$
- A ... Spulenfläche in $[m^2]$
- l ... Spulenlänge in $[m]$

9.3.6 Induktivität einer schlanken Zylinderspule mit Eisenkern

$$L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{A}{l_{Fe}} \tag{9.18}$$

- L ... Induktivität in $[H]$
- N ... Windungszahl
- μ_0 ... Permeabilität des leeren Raumes in $[\frac{Vs}{Am}]$
- μ_0 ... relative Permeabilität im Arbeitspunkt
- R_m ... Spulenfläche in $[m^2]$
- l_{Fe} ... mittlere Eisenlänge $[m]$

9.4 Transformator & Übertrager

Insert Picture

Zwei oder mehrere magnetisch gekoppelte Spulen:

9.4.1 Transformator

9.4.2 Übertrager

Übersetzungsverhältnis

Bei einem Transformator wreden die Spannungen im Verhältnis der Windungszahlen von Primär- und Sekundärspule umgesetzt. Die Ströme werden im umgekehrten Verhältnis der Windungszahlen transformiert.

$$= \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{9.19}$$

- ... Übersetzungsverhältnis
- U_1 ... Primärspannung in $[V]$
- U_2 ... Sekundärspannung in $[V]$
- I_1 ... Primärstrom in $[A]$
- I_2 ... Sekundärstrom in $[A]$
- N_1 ... Primärwindungen
- N_2 ... Sekundärwindungen

9.5 RLC Netzwerke

9.5.1 Tau-Messung

9.6 Resonanzkreise

9.6.1 Güte

9.6.2 Bandbreite

9.7 Übertragungsfunktion

Die Übertragungsfunktion beschreibt das Ausgangs- im Vergleich zum Eingangssignal und ist definiert als

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{\underline{U}_a}{\underline{U}_e} \tag{9.20}$$

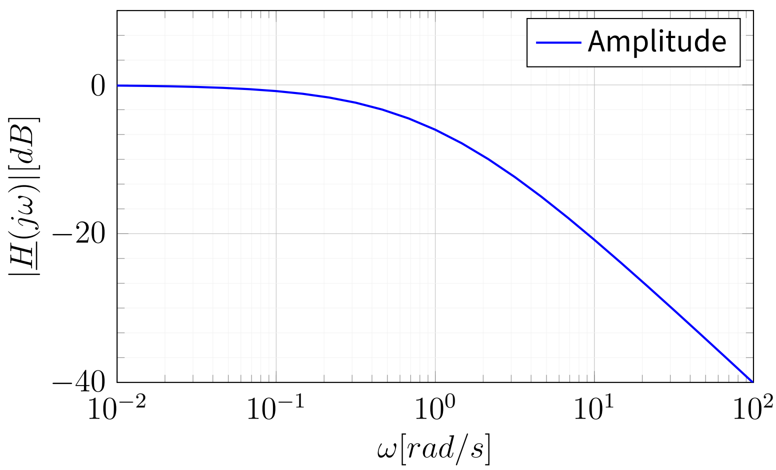
wobei $\underline{U}_1, \underline{U}_e$ der Eingang und $\underline{U}_2, \underline{U}_a$ der Ausgang ist.

9.7.1 Bodediagramm

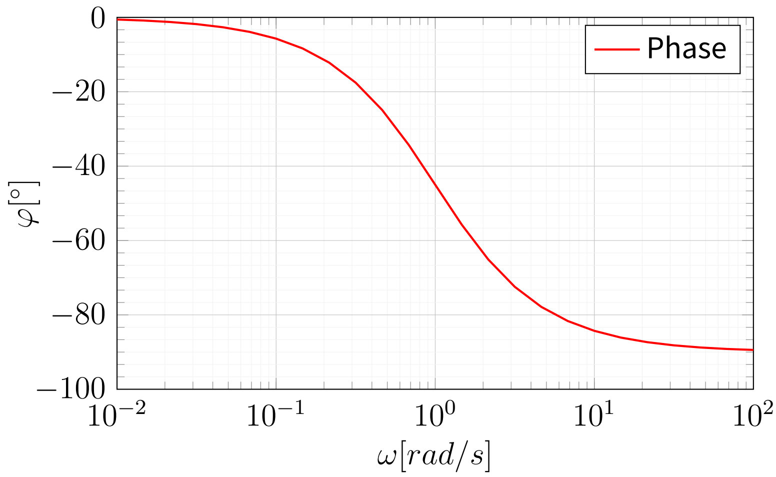
Das Bodediagramm zeigt das Verhalten eines Systems im logarithmischen Frequenzbereich. Es besteht aus Amplitudengang (in dB) und Phasengang (in °) und veranschaulicht die Übertragungsfunktion $H(j\omega)$.

Der **Amplitudengang** zeigt, wie stark ein System das Ausgangssignal im Vergleich zum Eingangssignal bei verschiedenen Frequenzen verstärkt oder abschwächt.
Der **Phasengang** zeigt die Verzögerung oder Voreilung des Ausgangssignals im Vergleich zum Eingangssignal bei verschiedenen Frequenzen.

Amplitudengang:



Phasengang:



9.7.2 Umrechnen rad/s nach Hz

Die Kreisfrequenz ω wird in Einheiten Radiant pro Sekunde (rad/s) angegeben und beschreibt, wie schnell sich ein periodisches Signal pro Sekunde vollständig umkreist oder vollständig durchläuft.
Die Frequenz f wird in Hertz (Hz) gemessen und gibt an, wie oft sich ein periodisches Signal innerhalb einer Sekunde wiederholt oder wie viele vollständige Zyklen es pro Sekunde durchläuft.
Die Umrechnung zwischen ω und f erfolgt durch folgende Formel:

$$\omega = 2\pi f$$

Umrechnung von f zu ω

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

9.8 Filter

9.8.1 Grenzfrequnez

Die Grenzfrequnez bezeichnet die Frequenz, bei der ein Filter anfängt, Signale zu beeinflussen oder zu verändern.

- **Definition:** Die Grenzfrequenz ist bei 3 dB definiert, an diesem Punkt ist das Ausgangssignal im Vergleich zum Eingangssignal um 3 dB abgeschwächt. 3 dB entspricht $\sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,7071$. Das entspricht 70,71% der Eingangsspannung.

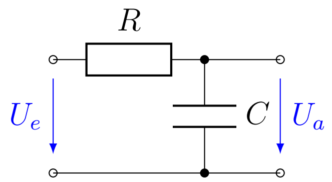
- **Bandbreite:** Die Bandbreite eines Filters ist zwischen den beiden 3-dB-Punkten definiert.

- **Phase:** Bei Filtern erster Ordnung beträgt die Phasenverschiebung bei der Grenzfrequenz etwa 45 Grad.

9.8.2 Tiefpass

Ein Tiefpassfilter lässt Signale mit niedrigen Frequenzen passieren, während hohe Frequenzen blockiert werden. Filter 1.Ordnung können durch LR- oder RC-Glieder aufgebaut werden.

RC-Glied



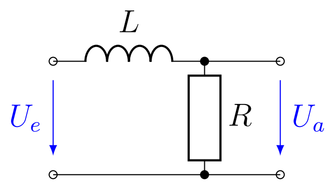
Übertragungsfunktion:

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U_a}(j\omega)}{\underline{U_e}(j\omega)} = \frac{X_C}{R + X_C} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$

Berechnung Grenzfrequenz:

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC}$$

LR-Glied



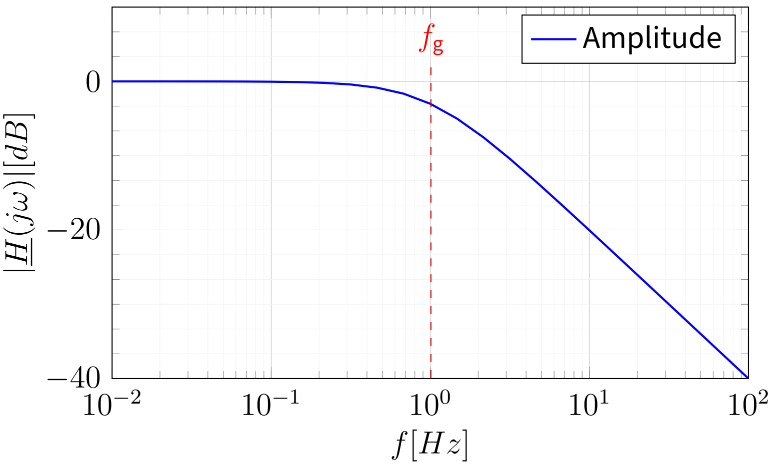
Übertragungsfunktion:

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U_a}(j\omega)}{\underline{U_e}(j\omega)} = \frac{R}{X_L + R} = \frac{R}{j\omega L + R} = \frac{1}{1 + \frac{j\omega L}{R}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{\omega L}{R})^2}}$$

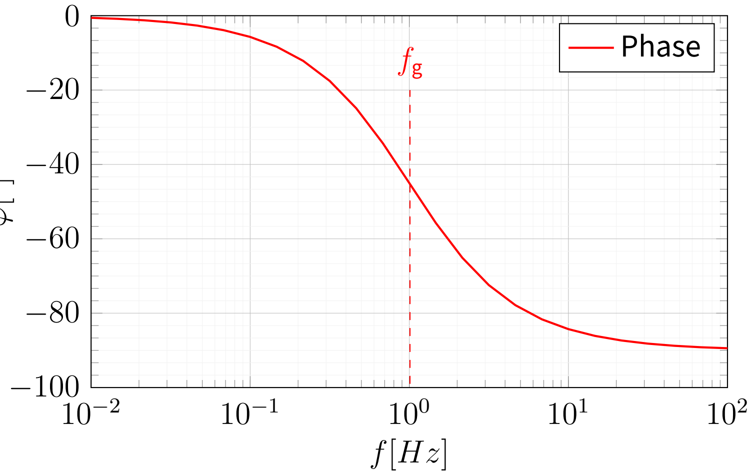
Berechnung Grenzfrequenz:

$$f_g = \frac{R}{2\pi L}$$

Amplitudengang:



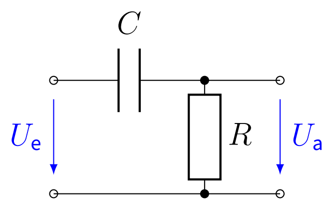
Phasengang:



9.8.3 Hochpass

Ein Hochpassfilter lässt nur Signale mit hohen Frequenzen passieren und blockiert niedrige Frequenzen. Filter erster Ordnung können mit RC- oder RL-Gliedern realisiert werden.

RC-Glied



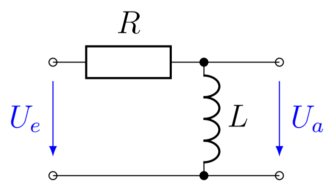
Übertragungsfunktion:

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U_a}(j\omega)}{\underline{U_e}(j\omega)} = \frac{R}{X_C + R} = \frac{R}{\frac{1}{j\omega C} + R} = \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega RC}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega RC)^2}}}$$

Berechnung Grenzfrequenz:

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC}$$

RL-Glied



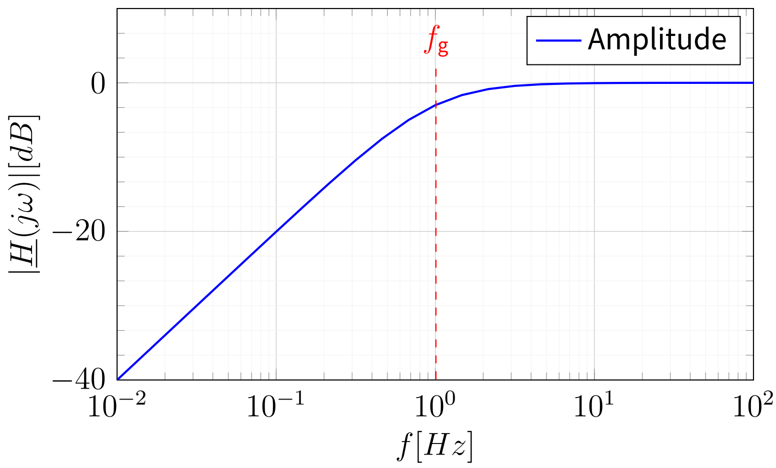
Übertragungsfunktion:

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U_a}(j\omega)}{\underline{U_e}(j\omega)} = \frac{X_L}{R + X_L} = \frac{j\omega L}{R + j\omega L} = \frac{1}{1 + \frac{R}{j\omega L}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{R}{\omega L})^2}}$$

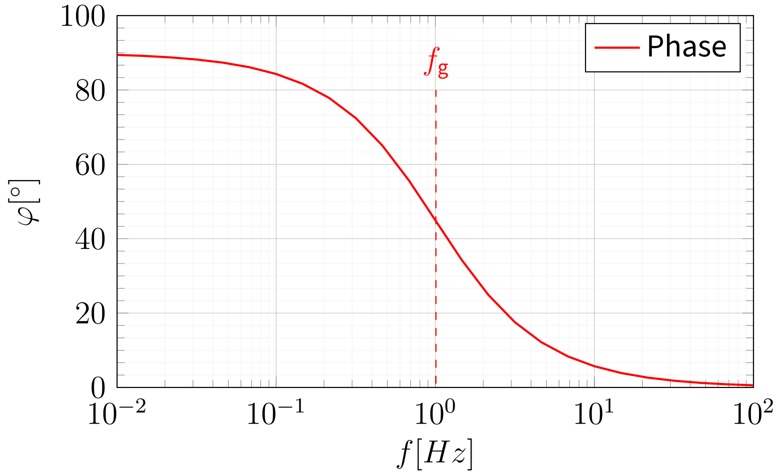
Berechnung Grenzfrequenz:

$$f_g = \frac{R}{2\pi L}$$

Amplitudengang:



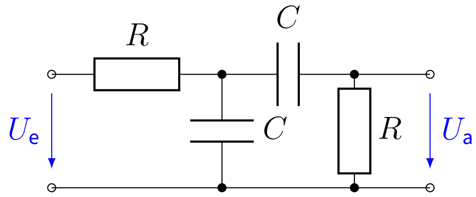
Phasengang:



9.8.4 Bandpass !TODO!

Ein Bandpassfilter lässt nur Signale innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs passieren und blockiert Signale außerhalb dieses Bereichs. Filter 1.Ordnung können durch RC-Netzwerk aufgebaut werden.

RC-Netzwerk



Übertragungsfunktion:

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U_a}(j\omega)}{\underline{U_e}(j\omega)} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega * R * C})} = \frac{1}{\sqrt{9 + (\omega RC - \frac{1}{\omega RC})^2}}$$

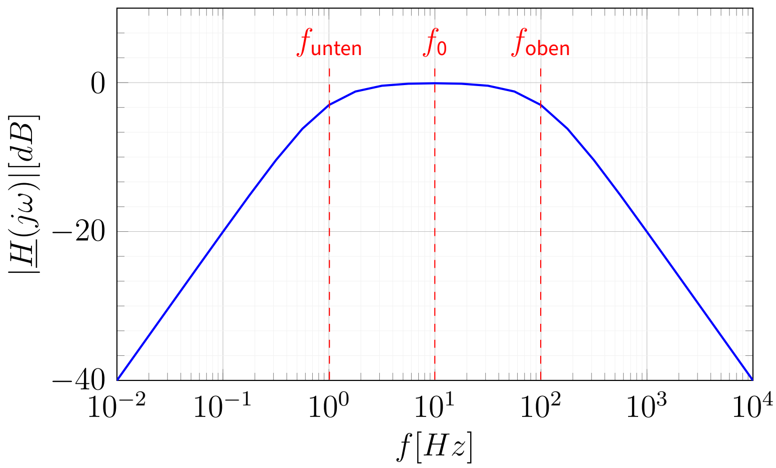
Berechnung Grenzfrequenzen:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

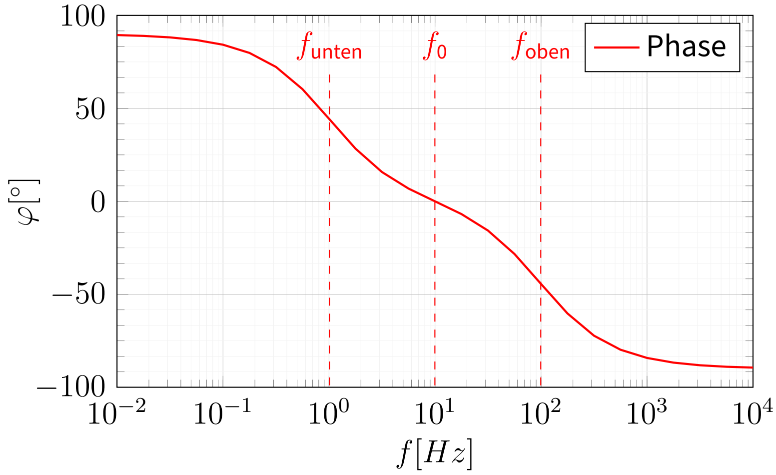
$$f_0 = \sqrt{f_{oben} * f_{unten}}$$

$$B = f_{oben} - f_{unten}$$

Amplitudengang:



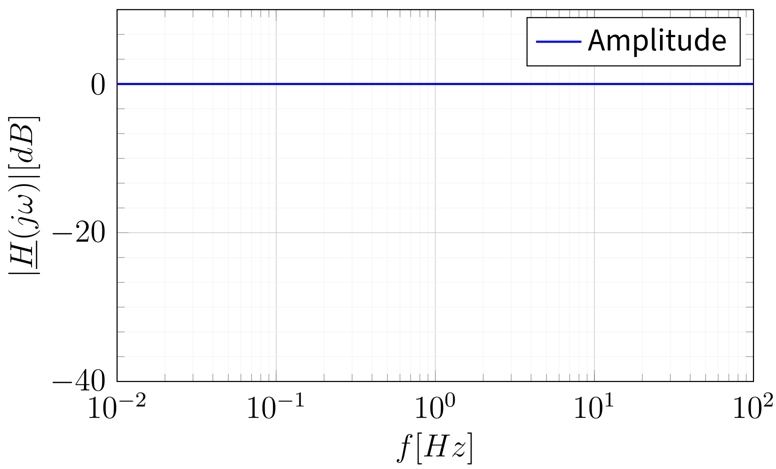
Phasengang:



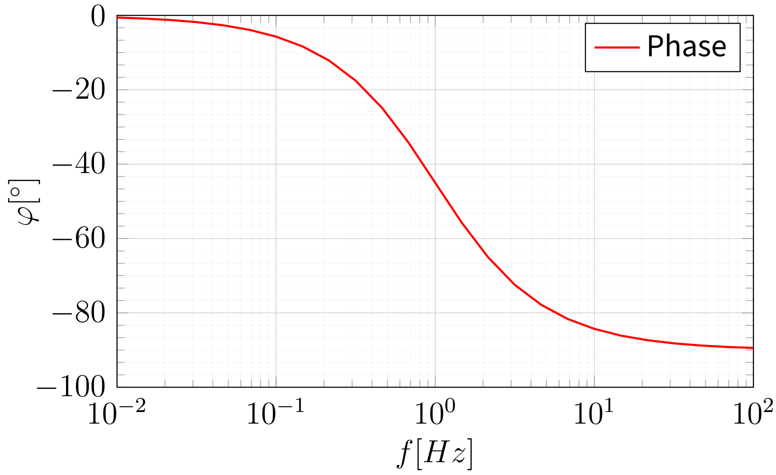
9.8.5 Allpass

Ein Allpassfilter lässt alle Frequenzen passieren, ändert jedoch die Phasenlage der Signale, während die Amplituden unverändert bleiben.

Amplitudengang:



Phasengang:


Phase
0
−20
−40
−60
−80
−100
φ[°]
10^−2
10^−1
10^0
10^1
10^2
f[Hz]

10 Halbleiter

10.1 Dioden

10.1.1 Sperrkennlinie

10.1.2 Durchbruchsspannung

10.2 MOSFET

10.3 Bipolartransistor

11 OPV-Schaltungen

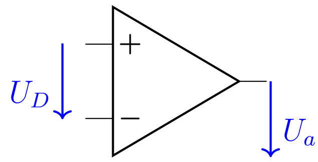
11.1 Verstärker

11.1.1 Leerlaufverstärkung

Merke, dass kein Strom in den OPV fließt; es gilt:

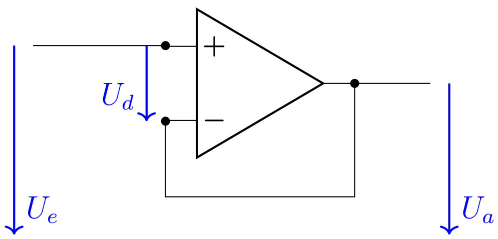
$$V = \frac{U_a}{U_d} \tag{11.1}$$

- V ist die Verstärkung
- U_a ist die Ausgangsspannung
- U_d ist die Differenzspannung (zwischen dem "+"- und "-"-Eingang).

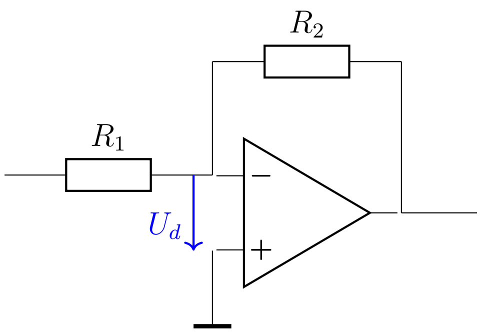


11.1.2 Impedanzwandler

Ist dazu da, um dem folgenden System mehr Strom liefern zu können.
Beachte, dass die Verstärkung hier $V = 0$ ist weil $U_a = U_e$.



11.1.3 Invertierender Verstärker

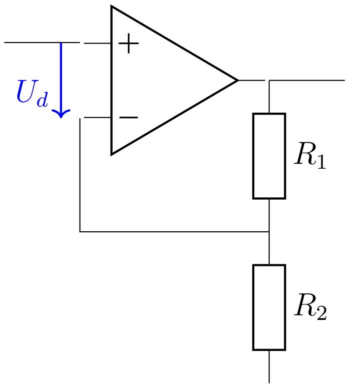


R_e ist der Eingangswiderstand der Schaltung.

Hier gilt: $R_e = R_1$

$$V = \frac{U_a}{U_d} = -\frac{R_2}{R_1} \tag{11.2}$$

11.1.4 Nicht-Invertierender Verstärker



R_e ist der Eingangswiderstand der Schaltung.

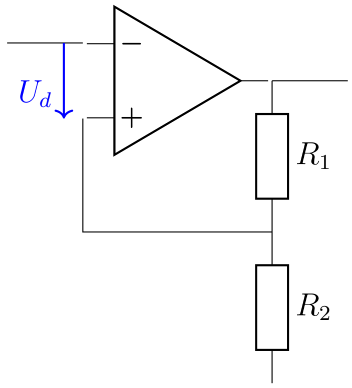
Hier gilt: $R_e = \infty$

$$V = \frac{U_a}{U_d} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \tag{11.3}$$

11.2 Schmitttrigger

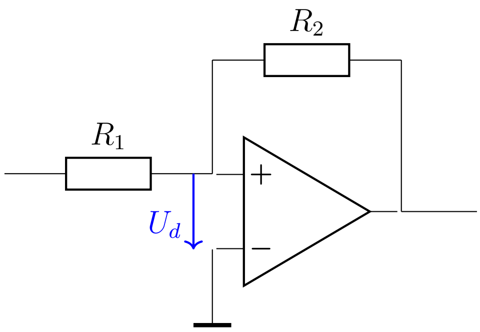
11.2.1 Invertierender Schmitttrigger

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \tag{11.4}$$



11.2.2 Nicht-Invertierender Schmitttrigger

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{R_2}{R_1} \tag{11.5}$$



11.3 Addierer

Wenn $R_1 = R_2 = R_3$ dann gilt $U_a = -(U_{R_1} + U_{R_2})$.

Berechnung mit Teilströmen

$$I_1 = \frac{U_{e1}}{R_1} \tag{11.6}$$

$$I_2 = \frac{U_{e2}}{R_2} \tag{11.7}$$

$$U_{R_g} = R_g \cdot (I_1 + I_3) \tag{11.8}$$

$$U_{R_g} = R_g \cdot (\frac{U_{e_1}}{R_1} + \frac{U_{e_2}}{R_2}) \tag{11.9}$$

$$U_{R_g} = R_g \cdot (\frac{U_{e_1} \cdot R_g}{R_1} + \frac{U_{e_2} \cdot R_g}{R_2}) \tag{11.10}$$

Woher das Minus auf einmal?

Berechnung mit Überlagerungsprinzip

U_{e_1} wirkt, $U_{e_2} = 0$: $U_a' = \frac{R_g}{R_1} \cdot U_{e_1}$

U_{e_2} wirkt, $U_{e_2} = 1$: $U_a'' = \frac{R_g}{R_2} \cdot U_{e_2}$

Gesamt:

$$U_a = U_a' + U_a'' \tag{11.11}$$

$$U_a = \frac{R_g}{R_1} \cdot U_{e_1} + \frac{R_g}{R_2} \cdot U_{e_2} \tag{11.12}$$

$$U_a = -(U_{e_1} \cdot \frac{R_g}{R_1} + U_{e_2} \cdot \frac{R_g}{R_2}) \tag{11.13}$$

11.4 Subtrahierer

11.4.1 Typ 1

$$U_a = (U_{e_2} - U_{e_1} \cdot \frac{R_2}{R_1}) \tag{11.14}$$

11.4.2 Typ 2

$$U_a = (\sum B - \sum A) \cdot \frac{R_2}{R_1} \tag{11.15}$$

11.4.3 Typ 3

<u>Berechnung mit Überlagerungsprinzip</u>

<u>U_{e_1} wirkt, $U_{e_2} = 0$:</u>

$$U'_a = \frac{R_4 + R_2}{R_2} \cdot U_{e_1} \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} \tag{11.16}$$

<u>U_{e_2} wirkt, $U_{e_2} = 1$:</u>

$$U''_a = -U_{e_2} \cdot \frac{R_4}{R_2} \tag{11.17}$$

<u>Gesamt</u>

$$U_a = U'_a + U''_a \tag{11.18}$$

$$U_a = U_{e_1} \cdot (\frac{R_4 + R_2}{R_2} \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3}) - U_{e_2} \cdot \frac{R_4}{R_2} \tag{11.19}$$

Berechnung mit Teilspannungen

Wenn alle R gleich groß sind, gilt: $U_a = U_{e_1} - U_{e_2}$

11.5 Integrator Differentiator

11.6 Pegelwandler

Hier gilt:

$$V = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e} \tag{11.20}$$

Beispiel
Das Eingangssignal von $U_e = -1V$ bis $+1V$ soll am Ausgang zu $U_a = 0V$ bis $+5V$ gewandelt werden.

$$V = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e} \tag{11.21}$$

$$V = -\frac{5V - 0V}{1V - (-1V)} = \frac{5V}{2V} \tag{11.22}$$

$$V = -\frac{5k\Omega}{2k\Omega} \tag{11.23}$$

$$\frac{U_{R_2}}{U_e - U_a} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \tag{11.24}$$

$$U_{R_2} = (U_e - U_a) - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \tag{11.25}$$

$$U_{R_2} = (1V - 0V) - \frac{5k\Omega}{2k\Omega + 5k\Omega} \tag{11.26}$$

$$U_{R_2} \approx 0,715V \tag{11.27}$$

$$\Rightarrow U_+ = U_a + U_{R_2} = 0V + 0,714V = 0,714V \tag{11.28}$$

11.7 Instrumentation-Amplifier

12 ATMega32u4

12.1 Register beschreiben

"1" in Register schreiben:

```
// REGISTER = REGISTER | (1 << POSITION IM REGISTER)
// Beispiel:
DDRD = DDRD | (1 << 3);
```

"0" in Register schreiben:

```
// REGISTER = REGISTER &~ (0 << POSITION IM REGISTER)
// Beispiel:
DDRD = DDRD &~ (1 << 3);
```

Es können **jeweils** mehrere Bits eines Registers in einer Zeile auf 1 **oder** 0 gesetzt werden. Allerdings darf in einer Zeile ein Bit nicht auf 0, während ein anderes auf 1 gesetzt werden.

Beispiel

- Erlaubt:
  `DDRD = DDRD &~ (1 << 3) &~ (1 << 3) &~ (1 << 3);`
- Nicht erlaubt:
  `DDRD = DDRD | (1 << 3) | (1 << 3) &~ (1 << 3);`

Ergibt keinen Sinn, dass das gleiche Bit beschrieben wird oder? Sollte zB (1«3) und (1«2) sein.

12.2 Takt

Der Takt des ATMega32u4 kann per Software verringert werden und wird über das `CLKPR`-Register getan. Bevor dieses beschrieben werden kann, muss `0x80` in das Register geschrieben werden.

Kann Takt-geschwindigkeit nicht auch erhöht werden?

Beispiel Externer Takt ist 16MHz und soll auf 8MHz heruntergesetzt werden.

```
CLKPR = 0x80;
CLKPR = 0x01;
```

12.3 GPIO

Insert Pics

Beispiel Pin-D7 auf HIGH setzen.

```
DDRD = DDRD | (1 << DDD7);
PORTD = PORTD | (1 << PORTD7);
```

Wdym Features?

Wichtig: Bei der Verwendung von Hardwareeinheiten (Timer, UART, etc.) muss GPIO immer <u>zuerst</u> auf Input bzw. Output eingestellt werden.

Insert Pics

12.4 ADC

- <u>Single-Ended:</u>
  Spannung von ADC-Pin zu GND wird gemessen.
- <u>Differenziell:</u>
  Spannung zwischen zwei ADC-Pins wird gemessen. (Siehe Kapitel **??**)
- <u>Referenzspannung:</u>
  Es gibt drei verschiedene Spannungsreferenzen:
  - Interne 2,56V Referenz
  - Externer `AREF`-Pin
  - Externer `AVCC`-Pin
- <u>Auto-Trigger Mode</u>
  Es wird periodisch gemessen, wofür die Taktquelle eingestellt werden muss. (Siehe Kapitel 12.4.2)

12.4.1 Differenziell

Wenn differenziell gemessen wird, ist das Ergebnis im Zweierkomplement dargestellt - ein Zahlensystem um negative Zahlen (in binär) darzustellen. **Beispiel**
"-2_d" im Zweierkomplement

1. Zunächst wird der Binärwert des Betrags der Zahl invertiert: $2_d = 0010_b \Rightarrow 1101_b$

2. Danach wird zu diesem Wert 1_d addiert: $1101_b + 1_b = 1110_b = -2_d$

12.4.2 Auto-Trigger Mode

Die Taktquelle wird folgendermaßen eingestellt:
Insert Pic

Ergebnis
Das Messergebnis des ADC befindet sich in zwei Registern: `ADCL` (ADC-Low) und `ADCH` (ADC-High). Der Messwert kann in zwei Arten dargestellt werden:

1. Linksbündig:

2. Rechtsbündig:

`ADCL` muss immer vor `ADCH` ausgelesen werden; folgende Beispiele verwenden Linksbündigkeit.

12.4.3 Messdauer berechnen

Insert Pic

Die ADC Messdauer muss eingestellt werden: kurze Messdauern führen zu ungenaueren Erbenissen, bei zu langen kann die Dauer zwischen Abtastpunkten zu groß werden. Generell sollte die Messfrequenz des ATMega32u4 zwischen $50kHz$ und $200kHz$ sein (wenn die Messgeschwindigkeit realisierbar ist.)
Der Wert des obigen Diagramms muss in die gemessene Spannung umgerechnet werden.

Single-Ended

$$V_{IN} = \frac{ADC \cdot V_{REF}}{1023} \tag{12.1}$$

Und der entsprechende Code um die gemessene Spannung zurückzubekommen:

```
// SETUP:
DDRF = DDRF &~ (1 << DDF0); // PF0-Input
ADMUX = ADMUX | (1 << ADLAR) | (1 << REFS0); // Left adjust ADC result; Voltage reference

// Uncomment for Auto trigger mode;
// ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADATE);
// ADCSRB = ADCSRB | (1 << ADTS1) | (1 << ADTS0); // Auto trigger mode Taktquelle (Timer0)

// Enable Interrupt
// Enable ADC
// Prescaler = 64: ADC_f = 8M/64
ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADEN) | (1 << ADSC) | (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1);
DIDR0 = DIDR0 | (1 << ADC0D); // Disable digital function of PF0

// READ:
adcRead() {
    uint16_t adc_value;
    float out;
    unsigned char adcl, adch;

    // Start conversation
    // Put in comment in auto trigger mode
    ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADSC);

    // Wait for ADC to finish
    while(ADCSRA & (1 << ADSC)) {}

    adcl = ADCL;
```

```
    adch = ADCH;
    adc_value = (adcl >> 6) + (adch << 2);
    out = (float)((adc_value * 5) / 1023.0);
    return out;
}
```

No return type?

Differenziell

$$V_{POS} - V_{NEG} = \frac{ADC \cdot V_{REF}}{GAIN \cdot 512} \tag{12.2}$$

Und auch der Code dazu, um die Spannung returniert zu bekommen:

```
// SETUP:
DDRF = DDRF &~ (1 << DDF0) &~ (1 << DDF1); // PF0-Input
ADMUX = ADMUX | (1 << ADLAR) | (1 << REFS0); // Left adjust ADC
    result; Voltage reference
ADMUX = ADMUX | (1 << MUX4); // PINS(P:ADC0; N: ADC1); GAIN: 1

// Uncomment for auto trigger mode
// ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADATE);
// ADCSRB = ADCSRB | (1 << ADTS1) | (1 << ADTS0); // Auto
    trigger mode Taktquelle (Timer0)

// Enable interrupt enable
// Enable ADC
// Prescaler = 64: ADC_f = 8M/64
ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADEN) | (1 << ADSC) | (1 << ADPS2) | (1
    << ADPS1);

// READ:
adcRead() {
    uint16_t adc_value;
    float out;
    unsigned char adcl, adch;

    // Start conversation
    // Put in comment in auto trigger mode
```

```
    ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADSC);

    // Wait for ADC to finish
    while(ADCSRA & (1 << ADSC)) {}
    adcl = ADCL;
    adch = ADCH;
    adc_value = (adcl >> 6) + (adch << 2);
    out = (float)((adc_value * 5) / (1.0 * 1023.0));
    return out;
}
```

13 Simulation

13.1 Altium

13.2 MicroCap