

Letzte Hüfe

xB Fucking HELS

April 19, 2024

Contents

1	Grundkonzepte	8
1.1	Grundeinheiten	8
1.2	Konstanten	9
1.3	Präfixe	10
2	Widerstand	11
2.1	Ohm'sches Gesetz	11
2.2	Netzwerke	11
2.2.1	Serienschaltung	11
2.2.2	Parallelschaltung	11
2.3	Leitungswiderstand	11
2.4	Sterndreiecktransformation	11
2.5	Temperaturabhängigkeit	11
2.6	Potentiometer	11
3	Kirchhoff	12
3.1	Knotenregel	12
3.2	Maschenregel	12
4	Leistung	13
4.1	Leistung bei Gleichstrom	13
4.2	Leistung bei Wechselstrom	15
4.2.1	Kompensation	15
5	Quellen	16
5.1	Spannungsquelle	16
5.1.1	Ideale Spannungsquelle	16
5.1.2	Reale Spannungsquelle	16

5.2	Stromquelle	17
5.2.1	Ideale Stromquelle	17
5.2.2	Reale Stromquelle	17
5.3	Ersatzschaltbild	18
5.3.1	Spannungsquellen-Ersatzschaltbild	18
5.3.2	Stromquellen-Ersatzschaltbild	19
5.4	Überlagerungs-/Superpositionsprinzip	20
6	Felder	23
6.1	Elektrisches Feld	23
6.2	Elektrischer Fluss	23
6.3	Magnetisches Feld	23
6.4	Magnetischer Fluss	23
7	dB-Rechnung	24
7.1	Rechenregeln	24
7.2	Besonderheiten bei Leistungsgrößen	25
7.3	Allgemeine Formeln	25
7.3.1	Spannungsgrößen	25
7.3.2	Leistungssgrößen	25
7.4	Spezielle Formeln	26
7.5	Häufige Zahlenwerte	26
8	Wechselstromtechnik	27
8.1	Komplexe Zahlen	27
8.1.1	Addition & Subtraktion	29
8.1.2	Multiplikation	30
8.1.3	Division	30
8.1.4	Konjugiert Komplexe Zahlen	30
8.2	Zeigerdiagramm	31
8.3	Impedanz	32
8.4	Admittanz	32

9	Lineare Bauteile	33
9.1	Kondensator	33
9.1.1	Schaltung von Kondensatoren	34
9.1.2	Lade- & Entladekurven	36
9.1.3	Tau-Messung	36
9.1.4	Blindwiderstand	36
9.1.5	Plattenkondensator	36
9.2	Spule	36
9.2.1	Lade- & Entladekurven	36
9.2.2	Zeigerdiagramm	36
9.3	Induktivitäten	37
9.3.1	Definition der Induktivität L einer Spule	37
9.3.2	Selbstinduktionsspannung einer Spule	37
9.3.3	Induktivität einer Spule	37
9.3.4	Induktivität einer schlanken Zylinderspule	38
9.3.5	Induktivität einer Zylinderspule mit $\frac{l}{a} > 10$	38
9.3.6	Induktivität einer schlanken Zylinderspule mit Eisenkern	39
9.4	Transformator & Übertrager	40
9.4.1	Transformator	40
9.4.2	Übertrager	40
9.5	RLC Netzwerke	41
9.5.1	Die Zeitkonstante Tau	41
9.5.2	Schwingkreis	42
9.5.3	RLC-Kombinationen	45
9.6	Resonanzkreise	46
9.6.1	Güte	46
9.6.2	Bandbreite	46
9.7	Übertragungsfunktion	47
9.7.1	Bodediagramm	47
9.7.2	Umrechnen rad/s nach Hz	48
9.8	Filter	48
9.8.1	Grenzfrequenz	48
9.8.2	Tiefpass	50
9.8.3	Hochpass	52

9.8.4	Bandpass !TODO!	53
9.8.5	Allpass	55
10	Halbleiter	57
10.1	PN-Übergang	57
10.2	Dioden	57
10.2.1	Schottky-Dioden	58
10.2.2	Zener-Dioden	58
10.3	Bipolartransistor	58
10.3.1	Treiberschaltung	59
10.4	MOSFET	59
11	OPV-Schaltungen	61
11.1	Verstärker	61
11.1.1	Leerlaufverstärkung	61
11.1.2	Impedanzwandler	61
11.1.3	Invertierender Verstärker	62
11.1.4	Nicht-Invertierender Verstärker	62
11.2	Schmitttrigger	63
11.2.1	Invertierender Schmitttrigger	63
11.2.2	Nicht-Invertierender Schmitttrigger	63
11.3	Addierer	64
11.4	Subtrahierer	65
11.4.1	Typ 1	65
11.4.2	Typ 2	65
11.4.3	Typ 3	65
11.5	Integrator Differentiator	66
11.6	Pegelwandler	66
11.7	Instrumentation-Amplifier	66
12	ATMega32u4	67
12.1	Register beschreiben	67
12.2	Takt	68
12.3	GPIO	68

12.4	ADC	68
12.4.1	Differenziell	69
12.4.2	Auto-Trigger Mode	69
12.4.3	Messdauer berechnen	69
13	Simulation	73
13.1	Altium	73
13.1.1	Quellen	73
13.1.2	Probes	73
13.1.3	Simulation	73
13.2	MicroCap	75

Todo list

Insert Bsp	19
Von Spannungs-ESB zu Strom-ESB	20
Anleitung besser erklären?	20
Vllt. Beispiel wo "im Kopf" gerechnet wird?	26
Radiant zu Grad konvertieren?	29
Insert Picture	40
Add Pic	57
Woher das Minus auf einmal?	64
Berechnung mit Teilspannungen	65
Ergibt keinen Sinn, dass das gleiche Bit beschrieben wird oder? Sollte zB (1«3) und (1«2) sein.	67
Kann Taktgeschwindigkeit nicht auch erhöht werden?	68
Insert Pics	68
Wdym Features?	68
Insert Pics	68
Insert Pic	69
Insert Pic	69
No return type?	71
Add Reference	74
Add pic	75
Verschiedene Darstellungsmethoden hinzufügen.	76
Wirklich? Wie man eine Datei macht??	76

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:

$$U = R \cdot I \quad (2.1)$$

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.2)$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.3)$$

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 Summe aller Spannungen in einer Masche ist 0.

$$\sum U = 0$$

$$U_1 + U_2 = U_3 \quad (3.1)$$

$$U_1 + U_2 - U_3 = 0 \quad (3.2)$$

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

4 Leistung

- 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]

4.1 Leistung bei Gleichstrom

Allgemein gilt:

$$P = U \cdot I \quad (4.1)$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (4.2)$$

$$P = I^2 \cdot R \quad (4.3)$$

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

Ebenso:

Wirkleistung P

$$P = U_w \cdot I = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) \quad (4.4)$$

- P ... Wirkleistung in [W]
- U_w ... Wirkkomponente der Spannung in [V]

Blindleistung Q

$$Q = U_b \cdot I = U \cdot I \cdot \sin(\varphi) \quad (4.5)$$

- Q ... Blindleistung in [var]
- U_b ... Blindkomponente der Spannung in [V]

Die induktive Blindleistung ist positiv: $\sin(\varphi) > 0 \rightarrow Q_L > 0$ Die kapazitive Blindleistung ist negativ: $\sin(\varphi) < 0 \rightarrow Q_C < 0$

Scheinleistung S

$$S = U \cdot I \quad (4.6)$$

- S ... Scheinleistung in [VA]

4.2 Leistung bei Wechselstrom

Bei einem sinusförmigen Verlauf der Spannung u und des Stroms i gelten folgende Gleichungen:

$$u = \hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad i = \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi) \quad (4.7)$$

Werden die Momentanwerte von u und i miteinander multipliziert, erhält man den Momentanwert der Leistung p :

$$p = u \cdot i = \hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi) \quad (4.8)$$

oder:

$$p = U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos(\varphi) - U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot (2 \cdot \omega \cdot t - \varphi) \quad (4.9)$$

- p ... Momentanwert der Wechselstromleistung in [W]
- U ... Effektivwert der Spannung in [V]
- I ... Effektivwert des Stromes in [A]

Leistungsfaktor

Der Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ gibt an, welchen Anteil die Wirkleistung an der Scheinleistung hat. Er erreicht bei ohmschen Lasten den maximalen Wert 1:

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) = S \cdot \cos(\varphi) \quad (4.10)$$

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S} \quad (4.11)$$

- P ... Wirkleistung in [W]
- S ... Scheinleistung in [VA]
- $\cos(\varphi)$... Leistungsfaktor

4.2.1 Kompensation

5 Quellen

5.1 Spannungsquelle

GdE1 S. 43ff

Unter einer Spannungsquelle versteht man eine elektrische Energiequelle, die eine von der Belastung unabhängige **Spannung** liefert; deswegen passt sich der **Strom** dem Ohm'schen Gesetz an.

5.1.1 Ideale Spannungsquelle

Bei einer idealen Spannungsquelle entspricht der Innenwiderstand $R_i = 0\Omega$. Im Leerlauf entspricht die Ausgangsspannung U_a der Quellenspannung U_q .

Eine Belastung durch R_a verursacht keine Spannungsänderung bei U_a .

5.1.2 Reale Spannungsquelle

Eine reale Spannungsquelle hat einen Innenwiderstand R_i , an dem bei Belastung eine Spannung U_i abfällt. Um diesen Spannungsabfall verringert sich die Ausgangsspannung U_a im Vergleich zu U_q .

Daraus ergibt sich folgende Formel: $U_a = U_q - U_i$

Damit sich die U_a bei Belastung nur geringfügig ändert, muss der Innenwiderstand R_i möglichst klein sein.

Spannungsquellen sollten nicht kurzgeschlossen werden, da der Kurzschlussstrom nur durch R_i begrenzt wird und entsprechend sehr groß werden kann.

5.2 Stromquelle

GdE1 S. 44 ff Unter einer Stromquelle versteht man eine elektrische Energiequelle, die einen von der Belastung unabhängigen **Strom** liefert; deswegen passt sich die **Spannung** dem Ohm'schen Gesetz an.

5.2.1 Ideale Stromquelle

Bei einer idealen Stromquelle entspricht der Widerstand $R_i = \infty \Omega$. Im Leerlauf entspricht der Quellenstrom I_q dem Strom am Ausgang; die Ausgangsspannung entspricht $0V$.

Wird anstelle der Kurzschlussverbindung eine Last R_a angeschlossen, bleibt der Quellenstrom I_q unverändert. Es entsteht lediglich eine Ausgangsspannung U_a nach dem Ohm'schen Gesetz.

Weiterhin bleibt: Bei einer idealen Stromquelle ist der Strom am Ausgang immer gleich dem Quellenstrom I_q .

5.2.2 Reale Stromquelle

Bei einer realen Stromquelle ist der Innenwiderstand $R_i \neq \infty$; daher geht ein Teil des Quellstroms I_q verloren.

Dadurch ergibt sich folgende Formel: $I = I_q - I_i$

Damit möglichst wenig Strom aufgrund des Innenwiderstands R_i verloren geht, muss dieser möglichst **groß** sein.

Stromquellen sollten nicht im Leerlauf betrieben werden, da dabei der Quellenstrom I_q über den hohen Innenwiderstand R_i fließen muss und hohe Leerlaufspannungen auftreten können.

5.3 Ersatzschaltbild

GdE1 S. 103 ff Mit dem ESB (Ersatzschaltbild) kann eine Netzwerkstruktur in eine Einfachere umgewandelt werden.

Ziel dieser Umwandlung ist es eine Ersatzschaltung zu finden, in der U_a und R_i mit der komplexeren Struktur übereinstimmen.

5.3.1 Spannungsquellen-Ersatzschaltbild

Jede Quelle mit linearem Zusammenhang zwischen Ausgangsstrom I und Klemmenspannung U_a lässt sich in Form eines Spannungsquellen-ESB darstellen. Dieses besteht aus einer Reihenschaltung von idealer Spannungsquelle mit Quellenspannung U_q und Innenwiderstand R_i .

Ein Spannungsquellen-ESB ist vollständig durch die Angabe von U_q und R_i , wobei gilt:

$$U_a = U_q - I \cdot R = U_q \cdot \frac{R_a}{R_i + R_a} \quad (5.1)$$

Als dritte Kenngröße kann der Kurzschlussstrom - der Ausgangsstrom bei kurzgeschlossenen Klemmen, d.h. $R_a = 0[\Omega]$ - ermittelt werden:

$$I_K = \frac{U_q}{R_i} \quad (5.2)$$

- I_K ... Kurzschlussstrom
- U_q ... Quellenspannung
- R_i ... Innenwiderstand

Anleitung

1. Bestimmen der Quellenspannung U_q

Man berechnet jene Spannung, die an den Klemmen auftritt und nichts angeschlossen ist, d.h. die **Leerlaufspannung**.

2. Bestimmen des Innenwiderstands R_i

Alle idealen Quellen des Netzwerks werden durch ihren Ideal-Exemplare ersetzt,

d.h. eine Spannungsquelle wird zum Kurzschluss, eine Stromquelle zum Leerlauf.

R_i ergibt sich dann aus dem Eingangswiderstand R_{IN} an den Klemmen.

3. Berechnen des Kurzschlussstroms I_K

Man berechnet den Strom, der bei den Klemmen fließt, wenn diese kurzgeschlossen sind, d.h. den **Kurzschlussstrom**.

Beispiel

Insert
Bsp

5.3.2 Stromquellen-Ersatzschaltbild

Das Stromquellen-ESB ist eine weitere Möglichkeit zur Beschreibung des Verhaltens einer linearen Quelle. Es besteht aus der Parallelschaltung einer idealen Stromquelle mit Quellenstrom I_q und einem Innenwiderstand R_i .

Das Ersatzschaltbild ist vollständig durch die Angabe des Quellstroms I_q und des Innenwiderstands R_i , dabei gilt:

$$I = I_q - U_a \cdot \frac{R_i}{R_i + R_a} \quad (5.3)$$

Als dritte Kenngröße kann die Leerlaufspannung U_L - die Ausgangsspannung bei offenen Klemmen, d.h. $R_a = \infty[\Omega]$ - ermittelt werden:

$$U_L = R_i \cdot I_q \quad (5.4)$$

- U_L ... Leerlaufspannung
- R_i ... Innenwiderstand
- I_q ... Quellenstrom

Anleitung

1. Bestimmen der Leerlaufspannung U_q

Man berechnet jene Spannung, die an den Klemmen auftritt und nichts angeschlossen ist, d.h. die **Leerlaufspannung**.

2. Bestimmen des Innenwiderstands R_i

Alle idealen Quellen des Netzwerks werden durch ihren Ideal-Exemplare ersetzt, d.h. eine Spannungsquelle wird zum Kurzschluss, eine Stromquelle zum Leerlauf.

R_i ergibt sich dann aus dem Eingangswiderstand R_{IN} an den Klemmen.

3. Berechnen des Quellenstroms I_q

Man berechnet den Strom, den die Quelle bei Leerlauf liefern würde, indem die Leerlaufspannung durch R_i dividiert wird: $I_q = \frac{U_{LL}}{R_i}$

Von
Spannungs-
ESB zu
Strom-
ESB

5.4 Überlagerungs-/Superpositionsprinzip

GdE1 S. 97ff Das Überlagerungsprinzip (bzw. Superpositionsprinzip) dient dazu, die einzelnen Spannungen und Ströme bei mehreren Quellen zu ermitteln.

Anleitung

1. Festlegen der Bezugsrichtungen für Ströme und Spannungen.
2. Mit Ausnahme einer Quelle werden alle anderen Quellen durch ihren Innenwiderstand ersetzt:
 - Spannungsquellen → Kurzschluss
 - Stromquellen → Leerlauf
3. Berechnen der Ströme und Spannungen für das vereinfachte Netzwerk.
4. Punkt 2 und 3 wiederholen, bis jede Quelle einmal "gewirkt" hat.
5. Aufsummieren aller Spannungen und Ströme, aller Fälle.

Anleitung
besser
erk-
lären?

Beispiel

1. Festlegen der Bezugsrichtungen der Ströme und Spannungen.
2. Mit Ausnahme einer Quelle werden alle anderen Quellen durch ihren Innenwiderstand ersetzt. Es muss beachtet werden, dass die Bezugsrichtungen des ersten Schritts hier gleich bleiben.
3. Berechnung der Teilströme und -spannungen.

$$I_q = 10[mA] \quad R_1 = 100[\Omega] \quad R_2 = 1,2[k\Omega] \quad R_a = 470[\Omega] \quad (5.5)$$

$$\Rightarrow I'_2 = I_q = 10[mA] \quad (5.6)$$

$$I'_a - I'_1 = I'_2 \quad (5.7)$$

$$I'_a = I'_2 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_a} = 10[mA] \cdot \frac{100[\Omega]}{100[\Omega] + 470[\Omega]} = 1,75[mA] \quad (5.8)$$

$$I'_1 = I'_2 \cdot \frac{R_a}{R_1 + R_a} = 10[mA] \cdot \frac{470[\Omega]}{100[\Omega] + 470[\Omega]} = -8,25[mA] \quad (5.9)$$

$$(5.10)$$

$$U'_1 = R_1 \cdot I'_1 = 100[\Omega] \cdot -8,25[mA] = -82,5[mV] \quad (5.11)$$

$$U'_2 = R_2 \cdot I'_2 = 1,2[k\Omega] \cdot 10[mA] = 12[mV] \quad (5.12)$$

$$U'_a = R_a \cdot I'_a = 470[\Omega] \cdot 1,75[mA] = 824[mV] \quad (5.13)$$

4. Punkt 2 und 3 wiederholen, bis jede Quelle einmal "gewirkt" hat.
 - a) Die Spannungsquelle bleibt, die Stromquelle wird zum Leerlauf.

b) Berechnung der Teilströme und -spannungen.

$$U_{q1} = 24[V] \quad R_1 = 100[\Omega] \quad R_2 = 1,2[k\Omega] \quad R_a = 470[\Omega] \quad (5.14)$$

$$I_2'' = 0[A] \quad (5.15)$$

$$U_2'' = 0[V] \quad (5.16)$$

$$I_1'' = I_a'' = \frac{U_{q1}}{R_1 + R_a} = \frac{24}{100[\Omega] + 470[\Omega]} = 42,11[mA] \quad (5.17)$$

$$U_1'' = R_1 \cdot I_1'' = 100[\Omega] \cdot 42,11[mA] = 421,1[mV] \quad (5.18)$$

$$U_a'' = R_a \cdot I_a'' = 470[\Omega] \cdot 42,11[mA] = 19,79[V] \quad (5.19)$$

2. Aufsummieren aller Spannungen und Ströme, aller Fälle:

$$I_1 = I_1' + I_1'' = -8,25[mA] + 42,11[mA] = 33,85[mA] \quad (5.20)$$

$$I_2 = I_2' + I_2'' = -10[mA] + 0[A] = -10[mA] \quad (5.21)$$

$$I_a = I_a' + I_a'' = 1,75[mA] + 42,11[mA] = 43,85[mA] \quad (5.22)$$

$$U_1 = U_1' + U_1'' = -82,5[mV] + 421,1[mV] = 338,5[mV] \quad (5.23)$$

$$U_2 = U_2' + U_2'' = 12[V] + 0[V] = 12[V] \quad (5.24)$$

$$U_a = U_a' + U_a'' = 824[mV] + 19,79[V] = 20,61[V] \quad (5.25)$$

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**(*) → **Multiplikation**(·)
- **Multiplikation**(·) → **Addition**(+)
- **Addition**(+) → undefiniert

Beispiele

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

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

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

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

7.3.2 Leistungssgrößen

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

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

7.4 Spezielle Formeln

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

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.

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

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

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} :

$$\mathbb{N} \rightarrow \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{R}(\mathbb{Q} + \mathbb{I}) \rightarrow \mathbb{C} \quad (8.1)$$

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

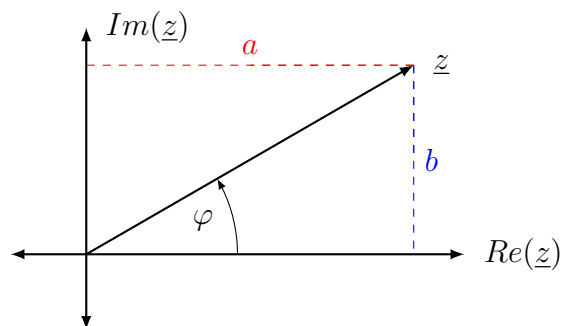
Beispiel

$$x^2 = -9 \quad (8.2)$$

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

$$\Rightarrow x_1 = 3j \quad x_2 = -3j \quad (8.4)$$

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.

$$\underline{z} = a + jb = \text{Re}(\underline{z}) + j\text{Im}(\underline{z}) \quad (8.5)$$

$$\underline{z} = |\underline{z}| \cdot e^{j\varphi} \quad (8.6)$$

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

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

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

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\text{Im}(\underline{z})}{\text{Re}(\underline{z})}\right) \quad (8.9)$$

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

8.1.1 Addition & Subtraktion

Die Summe & Differenz komplexer Zahlen $\underline{z}_1 = a + jb$ und $\underline{z}_2 = c + jd$ ist definiert als

$$\underline{z}_1 + \underline{z}_2 = (a + c) + j(c + d) \quad \underline{z}_1 - \underline{z}_2 = (a + c) - j(c + d) \quad (8.11)$$

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 an die Spitze des anderen gehängt.

Beispiel

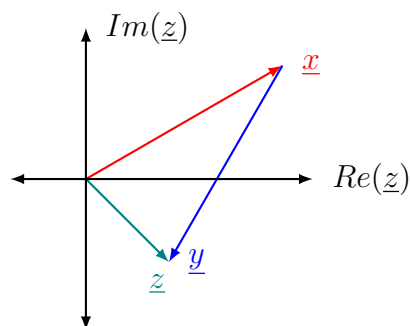
$$\underline{x} = 3 \cdot e^{j\frac{\pi}{3}}$$

$$\underline{y} = 3 \cdot e^{j\frac{8\pi}{12}}$$

Gesucht: \underline{z}

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

Radiant
zu Grad
kon-
vertieren?



8.1.2 Multiplikation

Die Längen der Zeiger multiplizieren und die Winkel addieren:

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

8.1.3 Division

Die Längen der Zeiger dividieren und die Winkel subtrahieren:

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

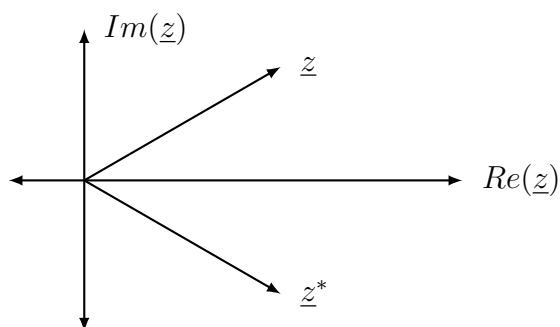
8.1.4 Konjugiert Komplexe Zahlen

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.

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

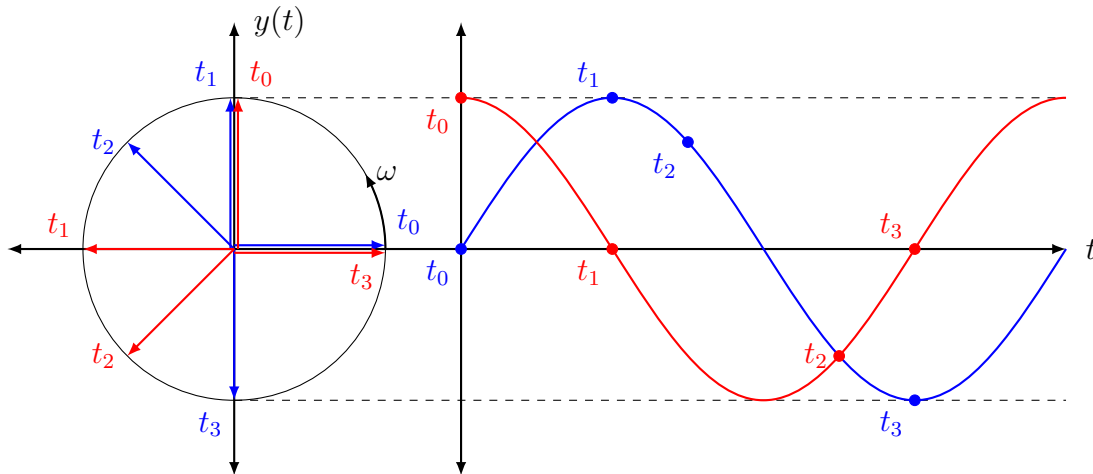
$$\underline{z}^* = a - jb = |\underline{z}| \cdot e^{-j\varphi} \quad (8.15)$$

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 \underline{z} dargestellt.

$$\underline{z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} \quad (8.16)$$

$$\underline{z} = R + jx \quad (8.17)$$

Beispiel

Kondensator: $C = 1\mu F$

$$\underline{z}_C = R + jx = \underline{y}_C \quad (8.18)$$

$$\underline{x}_C = \frac{1}{j \cdot \omega C} \cdot \frac{j}{j} \quad (8.19)$$

$$\underline{U} = 5V \cdot e^{j \cdot 0} \quad f = 1kHz \quad (8.20)$$

8.4 Admittanz

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

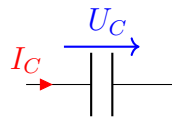
$$\underline{y} = \frac{1}{\underline{z}} \quad (8.21)$$

$$\underline{y} = G + jB \quad (8.22)$$

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:

$$\Delta Q = C \cdot \Delta U = I \cdot \Delta t \quad (9.1)$$

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

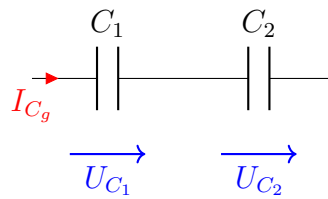
9.1.1 Schaltung von Kondensatoren

Serienschaltung

Es gilt:

$$C_g = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (9.2)$$

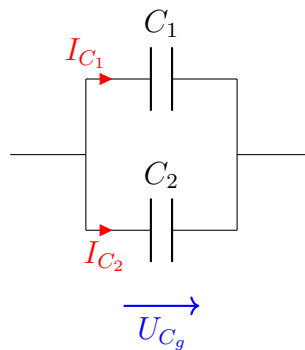
$$\frac{1}{C_g} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (9.3)$$



Parallelschaltung

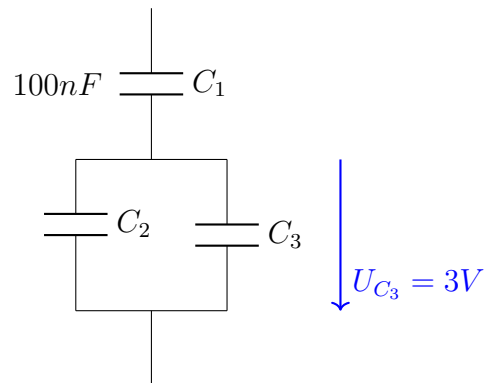
Es gilt:

$$C_g = C_1 + C_2 \quad (9.4)$$



Beispiel

Gegeben:



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

$$Q_2 = C_2 \cdot U_{C_2} = 1[\mu\text{F}] \cdot 3[\text{V}] = 3[\mu\text{C}] \quad (9.5)$$

$$Q_3 = C_3 \cdot U_{C_3} = 2[\mu\text{F}] \cdot 3[\text{V}] = 6[\mu\text{C}] \quad (9.6)$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 = 3[\mu\text{C}] + 6[\mu\text{C}] = 9[\mu\text{C}] \quad (9.7)$$

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

$$C_{2,3} = C_2 + C_3 = 1[\mu\text{F}] + 2[\mu\text{F}] = 3[\mu\text{F}] \quad (9.9)$$

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

$$C_g \approx 96,774[\text{nF}] \quad (9.11)$$

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

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 **Energie 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 .

$$\Phi_v = N \cdot \Phi = L \cdot i \quad (9.13)$$

- 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

$$u_L = -L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (9.14)$$

- 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 Quadrat der Windungszahl.

$$L = N^2 \cdot \frac{1}{R_m} = N^2 \cdot \Lambda \quad (9.15)$$

- 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

$$L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{A}{l} \quad (9.16)$$

- 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 $\frac{l}{d} > 10$

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

- 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

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

- L ... Induktivität in $[H]$
- N ... Windungszahl
- μ_0 ... Permeabilität des leeren Raumes in $[\frac{Vs}{Am}]$
- μ_r ... relative Permeabilität im Arbeitspunkt
- A ... 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 werden die Spannungen im Verhältnis der Windungszahlen von Primär- und Sekundärspule umgesetzt. Die Ströme werden im umgekehrten Verhältnis der Windungszahlen transformiert.

$$= \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (9.19)$$

- ... 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 Die Zeitkonstante Tau

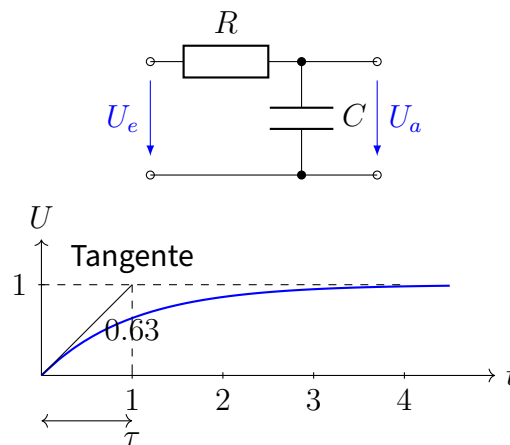
Die Zeitkonstante τ (Tau) beschreibt den Zusammenhang zwischen den verbauten Bauteilen. Somit können mithilfe von Spannungskurven auf die Bauteilwerte rückgeschlossen werden.

Eine weitere Möglichkeit auf Tau zu kommen ist die Berechnung mit den unten angegebenen Formeln:

- RC-Netzwerk: $\tau = R * C$
- LR-Netzwerk: $\tau = \frac{L}{R}$

Taumessung bei Ladekurven

Tau kann sowohl beim Entladevorgang (siehe „Taumessung bei Entladekurven“) als auch beim Ladevorgang abgelesen werden. Bei Ladevorgängen wird eine Tangente aus dem Ursprung der Funktion gelegt. Diese Tangente schneidet anschließend den Maximalspannungswert. Wenn man diesen Schnittpunkt dann im 90° Winkel zur Zeitachse runter verbindet, kann Tau an diesem Punkt abgelesen werden: **RC-Glied**



Wichtige Kenndaten zu Tau bei Entladekurven:

- Bei 63% der Maximalspannung kann Tau abgelesen werden.
- Bei 95% der Maximalspannung kann $2 \cdot \tau$ abgelesen werden.
- Bei 99% der Maximalspannung kann $3 \cdot \tau$ abgelesen werden

Taumessung bei Entladekurven

Im folgenden Bild ist die Spannung an einer Spule angegeben. Tau befindet sich bei 37% der Maximalspannung U_0 . Nach dem Einzeichnen der 37% kann τ auf der Zeitachse abgelesen werden: Wichtige Kenndaten zu Tau bei Entladekurven:

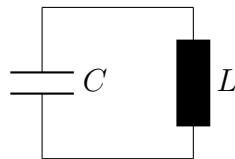
- Bei 37% der Maximalspannung (nach 63% Abfall) kann Tau abgelesen werden.
- Bei 5% der Maximalspannung (nach 95% Abfall) kann $2 \cdot \tau$ abgelesen werden.
- Bei 1% der Maximalspannung (nach 99% Abfall) kann $3 \cdot \tau$ abgelesen werden.

9.5.2 Schwingkreis

Ein elektrischer Schwingkreis (auch als Resonanzkreis bekannt) ist eine resonanzfähige elektrische Schaltung aus einer Spule L und einem Kondensator C , die elektrische Schwingungen ausführen kann. In der Mechanik gibt es ebenfalls Schwingkreise. Diese sind aber für diese Mitschrift nicht von Bedeutung. Ein durchwegs bekanntes mechanisches Bauteil, welches elektrische Schwingungen erzeugen kann, ist der Quarz.

LC-Schwingkreis

Ein sogenannter LC-Schwingkreis besteht wie der Namen schon sagt aus einer Spule und einem Kondensator. Zusätzlich wird ein Widerstand eingebaut, dass der Schwingkreis ordentlich schwingen kann.



Um die Resonanzfrequenz oder auch umgangssprachlich Schwingfrequenz genannt, kann über die sogenannte „Thomsonsche Schwingungsformel“ berechnet werden:

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Die Kreisfrequenz bei Resonanz wird mit der folgenden Formel berechnet:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

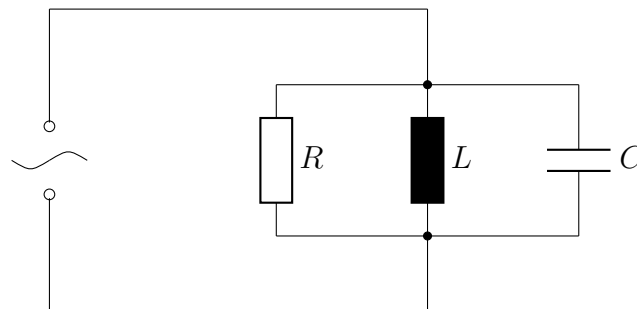
Die untere und die obere Grenzfrequenz ergeben sich aus den -3dB-Punkten (3dB-Bandgrenzen). Bei $\sqrt{2}$ der Maximalspannung können die Grenzfrequenzen berechnet werden. Ein anderer Weg auf die Bandgrenzen zu kommen ist es, drei dB von der Resonanzfrequenz abzuziehen und diese dann einzuzichnen.

$$B = f_o - f_u$$

$$B = \frac{f_r}{Q}$$

- B ... Bandbreite in Hz
- f_o ... obere Grenzfrequenz in Hz
- f_u ... untere Grenzfrequenz in Hz
- f_r ... Resonanzfrequenz in Hz
- Q ... Güte des Resonanzkreises

Parallelschwingkreis



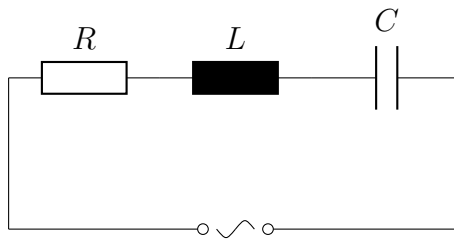
$$Q = \frac{R}{X} = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot L} =$$

$$2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot C \cdot R =$$

$$R \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Bei diesem Diagramm eilt die Spannung dem Strom hinterher.

Serienschwingkreis

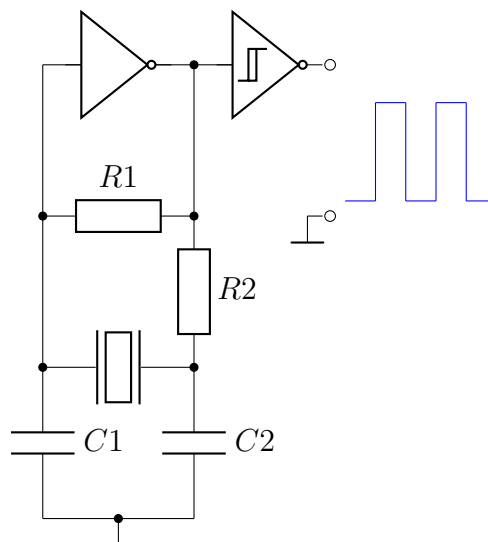


$$Q = \frac{X}{R} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot L}{R} =$$
$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_r \cdot C \cdot R} =$$
$$\frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Bei diesem Diagramm eilt der Strom der Spannung hinterher.

Quarz - Schwingkreis

Hier angegeben ist der Pierce Oszillator. Dieser kann einfach mit einem Quarz der Wahl aufgebaut werden. Es kann durchaus möglich sein, dass es bei Microcontrollern oder ICs nötig ist, einen Quarzoszillator aufzubauen.



In dieser Schaltung wurden beispielsweise folgende Bauteilwerte genutzt:

- $R_1 : 100k\Omega \dots 10M\Omega$
- $R_2 : 10\Omega \dots 4.7k\Omega$
- $C_1, C_2 : 10pF \dots 82pF$

9.5.3 RLC-Kombinationen

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

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

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

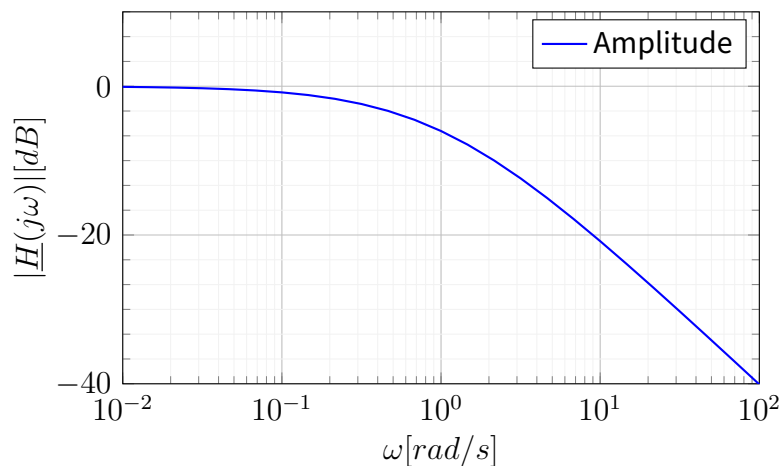
9.7.1 Bodediagramm

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

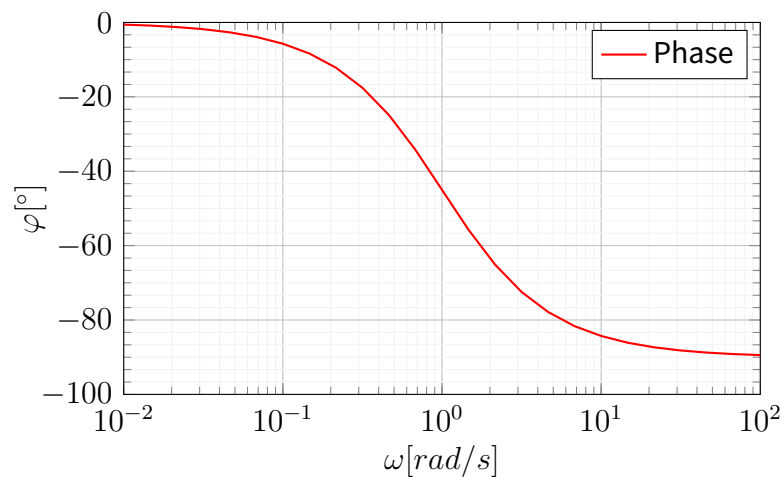
Der **Amplitudengang** zeigt, wie stark ein System das Ausgangssignal im Vergleich zum Eingangssignal bei verschiedenen Frequenzen verstärkt oder abschwächt.

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 Grenzfrequenz

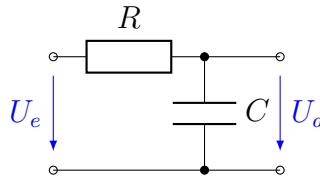
Die Grenzfrequenz bezeichnet die Frequenz, bei der ein Filter anfängt, Signale zu beeinflussen oder zu verändern.

- **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



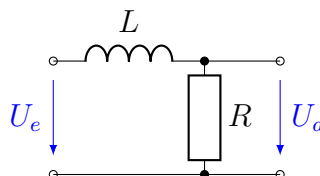
Übertragungsfunktion:

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

Berechnung Grenzfrequenz:

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

LR-Glied



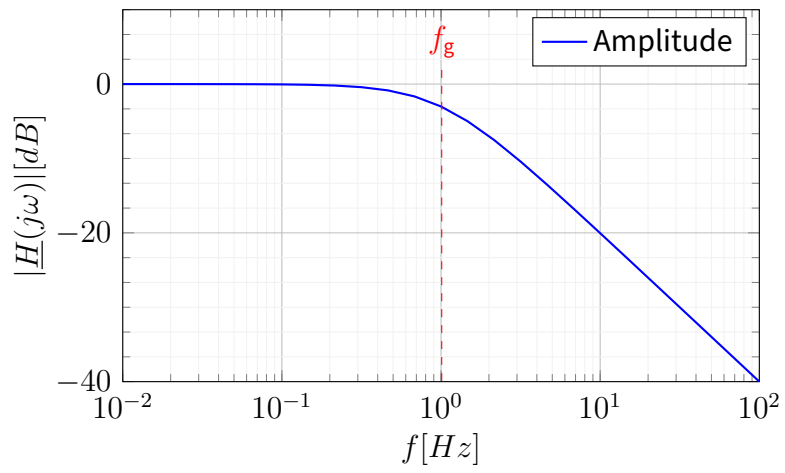
Übertragungsfunktion:

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

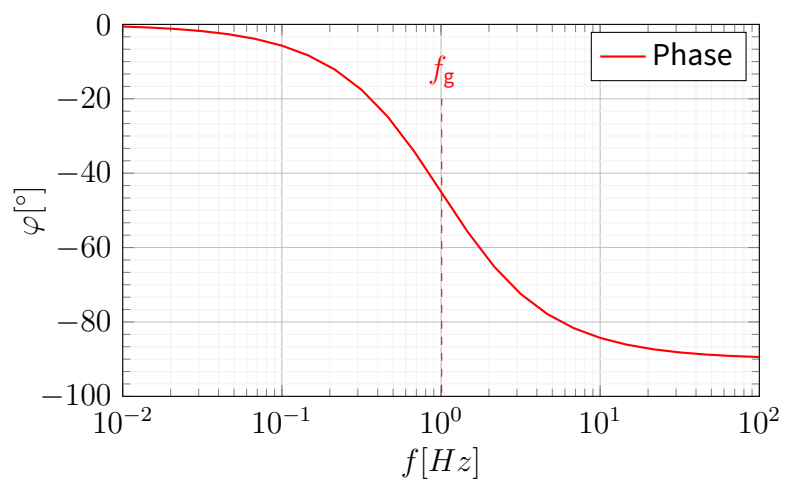
Berechnung Grenzfrequenz:

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

Amplitudengang:



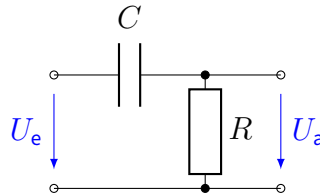
Phasengang:



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



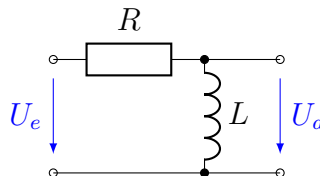
Übertragungsfunktion:

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

Berechnung Grenzfrequenz:

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

RL-Glied



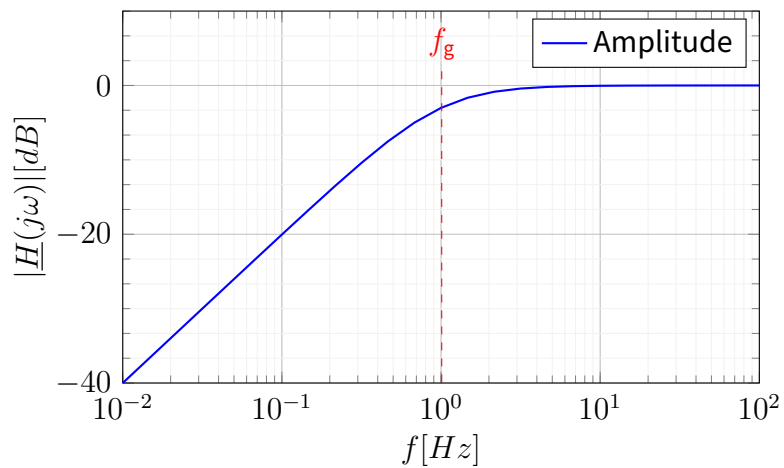
Übertragungsfunktion:

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

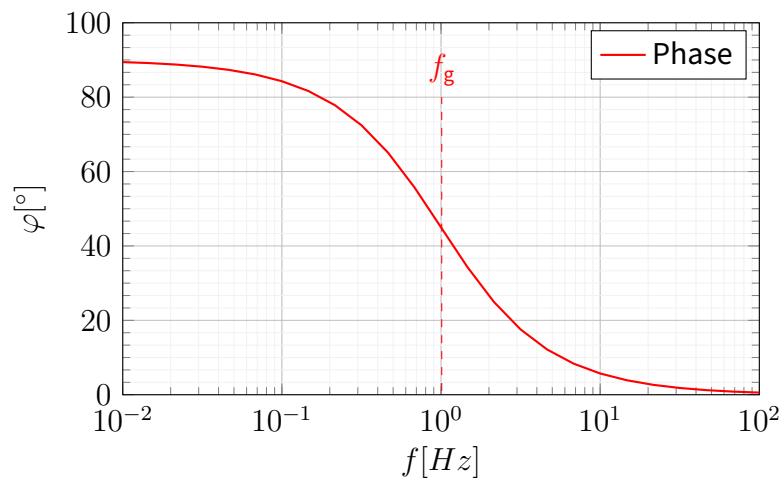
Berechnung Grenzfrequenz:

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

Amplitudengang:



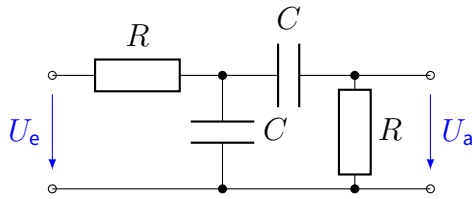
Phasengang:



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:

$$\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U}_a(j\omega)}{\underline{U}_e(j\omega)} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})} = \frac{1}{\sqrt{9 + (\omega RC - \frac{1}{\omega RC})^2}}$$

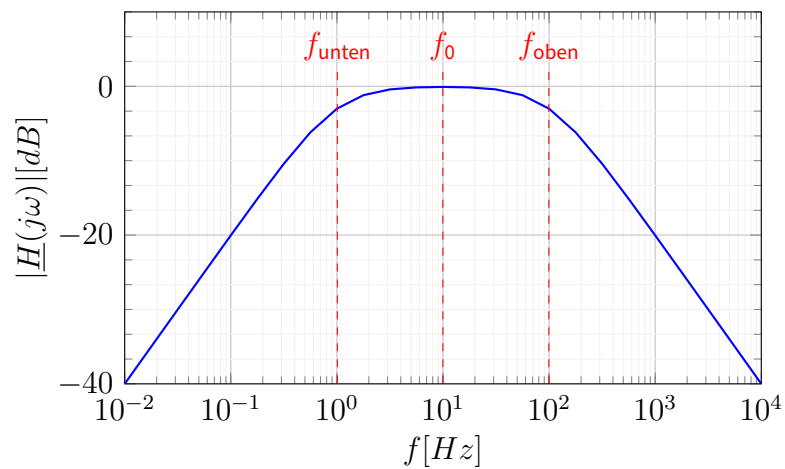
Berechnung Grenzfrequenzen:

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

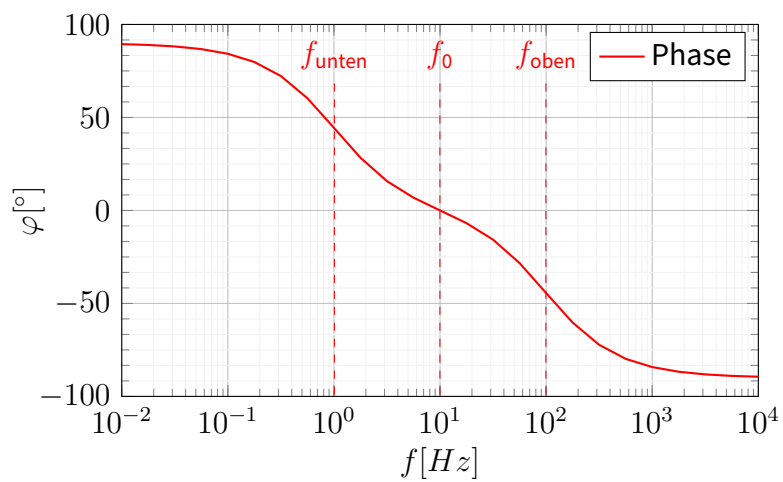
$$f_0 = \sqrt{f_{oben} * f_{unten}}$$

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

Amplitudengang:



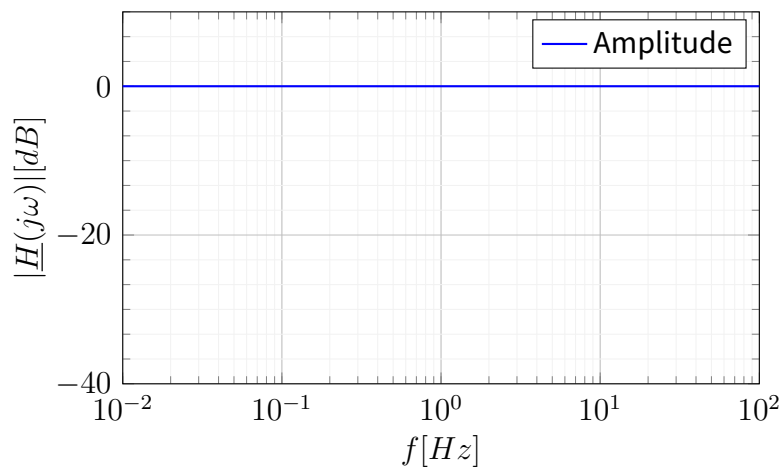
Phasengang:



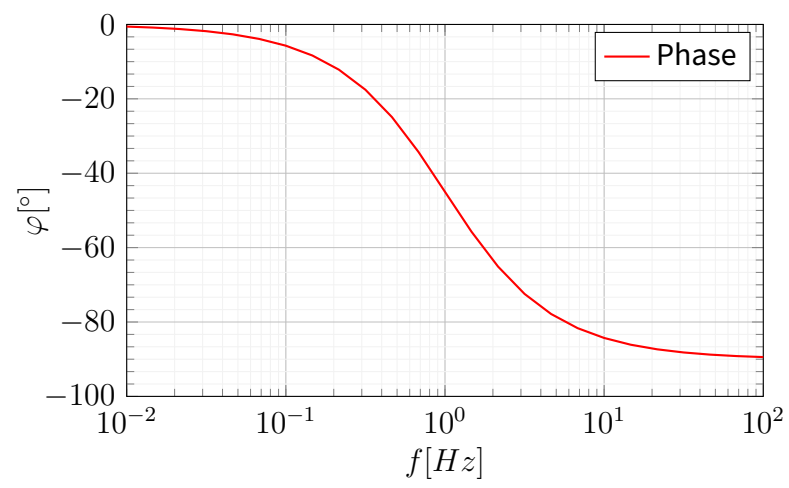
9.8.5 Allpass

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

Amplitudengang:



Phasengang:



10 Halbleiter

10.1 PN-Übergang

Ein PN-Übergang ist ein grundlegendes Modell in elektronischen Bauteilen wie Dioden. Er besteht aus **zwei Halbleiterschichten**: einer **n-dotierten** Schicht mit **Elektronenüberschuss** und einer **p-dotierten** Schicht mit **Löcherüberschuss**. Beim Zusammenfügen diffundieren Elektronen in die p-Schicht und Löcher in die n-Schicht, was eine **Raumladungszone** erzeugt.

Der PN-Übergang steuert den Stromfluss:

- In **Durchlassrichtung fließt Strom**, wenn eine positive Spannung auf die p-Seite und eine negative auf die n-Seite angelegt wird.
- In **Sperrrichtung blockiert** die Raumladungszone den Stromfluss.

Er ist entscheidend für die Umwandlung von elektrischer Energie in Licht (wie in LEDs) oder von Licht in elektrische Energie (wie in Solarzellen).

10.2 Dioden

Eine Diode ist ein elektronisches Element, das Strom in einer Richtung passieren lässt und in der anderen Richtung blockiert. Sie besteht aus einem PN-Übergang und hat wichtige Kenngrößen wie die **Durchlassspannung**, die **Sperrspannung** und den **Durchlassstrom**. Dioden finden in Gleichrichtern, Schutzschaltungen und in der Signalverarbeitung Anwendung. In der Elektronik bestehen die meisten Dioden aus dem Halbleitermaterial „**Silizium**“.

Add Pic

Das obere Diagramm zeigt das Diodenspannungsdiagramm. Rechts von der y-Achse liegt der Durchlassbereich. Dieser liegt für gewöhnlich zwischen 0,6V und 0,8V. Normalerweise werden für handelsübliche Dioden **0,7V Sperrspannung** angenommen. Bei einer Spannung, die in Sperrrichtung angelegt ist, bricht die Diode laut dem oberen Diagramm bei 100V durch.

10.2.1 Schottky-Dioden

Normale Dioden und Schottky-Dioden unterscheiden sich in ihrer Funktionsweise und Struktur. Während normale Dioden aus einem **PN-Übergang** bestehen, besteht bei Schottky-Dioden der Übergang aus einem Metall-Halbleiter-Kontakt. Dadurch haben Schottky-Dioden eine **niedrigere Durchlassspannung** (ca. **0,4V**) und eine **schnellere Schaltgeschwindigkeit** im Vergleich zu normalen Dioden. Sie eignen sich besonders gut für Anwendungen, die schnelle Schaltzeiten erfordern, wie Hochfrequenzschaltungen und Leistungsverstärker.

Im Diagramm ist eine typische Spannungskennlinie einer Schottky-Diode ersichtlich.

10.2.2 Zener-Dioden

Während normale Dioden den Strom in einer Richtung leiten und in der anderen blockieren, können Zener-Dioden in Durchlassrichtung auch bei einer bestimmten Sperrspannung betrieben werden, wodurch sie als Spannungsreferenz oder Spannungsregler fungieren. Diese charakteristische Sperrspannung ermöglicht es der Zener-Diode, eine stabile Ausgangsspannung zu liefern, selbst wenn die Eingangsspannung variiert. Zener-Dioden werden häufig in Spannungsregelschaltungen, Spannungsteilern und Schutzschaltungen eingesetzt.

Im oberen Diagramm ist die Durchlasskennlinie der verschiedenen Z-Diodentypen zu sehen. Um die genaue Durchlassspannung zu ermitteln, muss im Datenblatt nachgelesen werden.

10.3 Bipolartransistor

Es gibt zwei Arten: PNP und NPN. Bei einem PNP-Transistor liegen zwischen einem positiv geladenen Material (P-Typ) zwei negativ geladene Materialien (N-Typ). Bei einem

NPN-Transistor ist es umgekehrt: Zwischen zwei positiv geladenen Materialien befindet sich ein negativ geladenes Material. Wenn eine kleine Strommenge an einem der Anschlüsse (Emitter) angelegt wird, kann der Transistor den größeren Stromfluss zwischen den anderen beiden Anschlüssen (Kollektor und Basis) kontrollieren. Diese Fähigkeit macht Bipolartransistoren sehr nützlich in vielen elektronischen Geräten, wie z.B. Verstärkern und Schaltern.

Bipolartransistoren können den Strom "verstärken", indem sie einen kleinen Basisstrom in einen größeren Kollektorstrom umwandeln. Für einen NPN-Transistor ist die Formel für den Stromverstärkungsfaktor $V = \frac{I_C}{I_B}$, wobei I_C der Kollektorstrom und I_B der Basis-Strom ist. Für einen PNP-Transistor wäre es $V = \frac{I_C}{I_E}$, wobei I_E der Emitter-Strom ist.

10.3.1 Treiberschaltung

Typischerweise besteht eine solche Treiberschaltung aus einem Bipolartransistor, der als Schalter fungiert, und einem Eingangssignal, das die Basis dieses Transistors steuert. Wenn das Eingangssignal anliegt, fließt ein kleiner Basisstrom, der den Bipolartransistor aktiviert und es ermöglicht, einen größeren Strom an den Ausgang zu leiten. Diese Schaltung kann anschließend beispielsweise einen MOSFET treiben.

Für R_1 sind rund $10k\Omega$ angemessen, um nicht zu viel Strom zu verbrauchen. R_2 kann typischerweise $X\Omega$ haben.

10.4 MOSFET

Ein MOSFET nutzt einen **PN-Übergang**, der zwischen **Source** und **Drain** liegt, um den Stromfluss zu kontrollieren. Das Besondere ist jedoch das **Gate**, das eine isolierte Metall- oder Dotierschicht über dem Halbleiter bildet. Wenn eine Spannung am Gate angelegt wird, entsteht ein elektrisches Feld im Halbleiter, das die Ladungsträger beeinflusst und den Stromfluss zwischen Source und Drain steuert. Diese Fähigkeit, den Stromfluss mit einer kleinen Spannung am Gate zu kontrollieren, macht den MOSFET zu einem vielseitigen Bauteil in elektronischen Schaltungen.

Dazu wird noch in N-Kanal und P-Kanal-MOSFETs unterschieden. Die **N-Kanal** sind als **Low-Side-Switches** und die **P-Kanal** sind als **High-Side-Switches** zu verwenden. Um

den MOSFET leitend zu machen, muss eine **Spannungsdifferenz** von rund **5V zwischen Gate und Source** angelegt werden, da diese ansonsten heiß werden können, weil sie nicht komplett leiten. Sogenannte **Logic-Level-MOSFETs** leiten bereits ab einer Spannung von **2,5V**.

11 OPV-Schaltungen

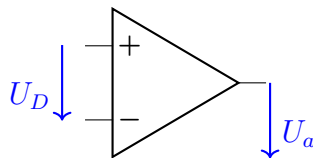
11.1 Verstärker

11.1.1 Leerlaufverstärkung

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

$$V = \frac{U_a}{U_d} \quad (11.1)$$

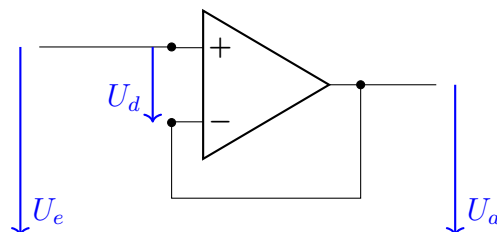
- V ist die Verstärkung
- U_a ist die Ausgangsspannung
- U_d ist die Differenzspannung (zwischen dem "+"- und "-"-Eingang).



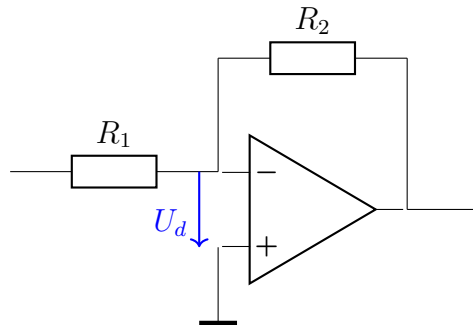
11.1.2 Impedanzwandler

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

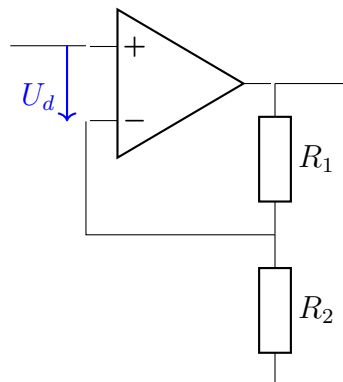


R_e ist der Eingangswiderstand der Schaltung.

Hier gilt: $R_e = R_1$

$$V = \frac{U_a}{U_d} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (11.2)$$

11.1.4 Nicht-Invertierender Verstärker



R_e ist der Eingangswiderstand der Schaltung.

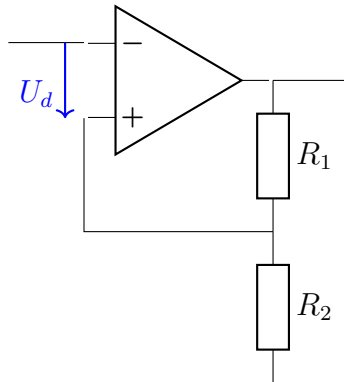
Hier gilt: $R_e = \infty$

$$V = \frac{U_a}{U_d} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (11.3)$$

11.2 Schmitttrigger

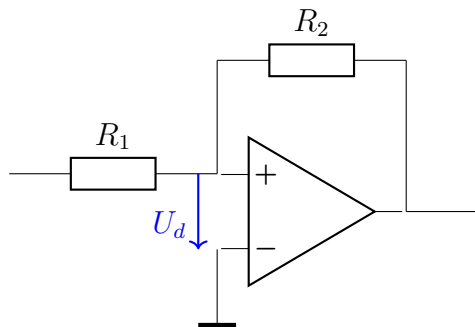
11.2.1 Invertierender Schmitttrigger

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (11.4)$$



11.2.2 Nicht-Invertierender Schmitttrigger

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{R_2}{R_1} \quad (11.5)$$



11.3 Addierer

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

Berechnung mit Teilströmen

$$I_1 = \frac{U_{e1}}{R_1} \quad (11.6)$$

$$I_2 = \frac{U_{e2}}{R_2} \quad (11.7)$$

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

$$U_{R_g} = R_g \cdot \left(\frac{U_{e1}}{R_1} + \frac{U_{e2}}{R_2} \right) \quad (11.9)$$

$$U_{R_g} = R_g \cdot \left(\frac{U_{e1} \cdot R_g}{R_1} + \frac{U_{e2} \cdot R_g}{R_2} \right) \quad (11.10)$$

Woher
das Mi-
nus auf
einmal?

Berechnung mit Überlagerungsprinzip

$$\underline{U_{e1} \text{ wirkt, } U_{e2} = 0:} \quad U'_a = \frac{R_g}{R_1} \cdot U_{e1}$$

$$\underline{U_{e2} \text{ wirkt, } U_{e1} = 0:} \quad U''_a = \frac{R_g}{R_2} \cdot U_{e2}$$

Gesamt:

$$U_a = U'_a + U''_a \quad (11.11)$$

$$U_a = \frac{R_g}{R_1} \cdot U_{e1} + \frac{R_g}{R_2} \cdot U_{e2} \quad (11.12)$$

$$U_a = -(U_{e1} \cdot \frac{R_g}{R_1} + U_{e2} \cdot \frac{R_g}{R_2}) \quad (11.13)$$

11.4 Subtrahierer

11.4.1 Typ 1

$$U_a = (U_{e2} - U_{e1} \cdot \frac{R_2}{R_1}) \quad (11.14)$$

11.4.2 Typ 2

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

11.4.3 Typ 3

Berechnung mit Überlagerungsprinzip

U_{e1} wirkt, $U_{e2} = 0$:

$$U'_a = \frac{R_4 + R_2}{R_2} \cdot U_{e1} \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} \quad (11.16)$$

U_{e2} wirkt, $U_{e1} = 1$:

$$U''_a = -U_{e2} \cdot \frac{R_4}{R_2} \quad (11.17)$$

Gesamt

$$U_a = U'_a + U''_a \quad (11.18)$$

$$U_a = U_{e1} \cdot \left(\frac{R_4 + R_2}{R_2} \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) - U_{e2} \cdot \frac{R_4}{R_2} \quad (11.19)$$

Wenn alle R gleich groß sind, gilt: $U_a = U_{e1} - U_{e2}$

Berechnung
mit
Teilspan-
nungen

11.5 Integrator Differentiator

11.6 Pegelwandler

Hier gilt:

$$V = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e} \quad (11.20)$$

Beispiel

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

$$V = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e} \quad (11.21)$$

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

$$V = -\frac{5k\Omega}{2k\Omega} \quad (11.23)$$

$$\frac{U_{R_2}}{U_e - U_a} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (11.24)$$

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

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

$$U_{R_2} \approx 0,715V \quad (11.27)$$

$$\Rightarrow U_+ = U_a + U_{R_2} = 0V + 0,714V = 0,714V \quad (11.28)$$

11.7 Instrumentation-Amplifier

12 ATmega32u4

12.1 Register beschreiben

"1" in Register schreiben:

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

"0" in Register schreiben:

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

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

`CLKPR = 0x80;`

`CLKPR = 0x01;`

12.3 GPIO

Beispiel Pin-D7 auf HIGH setzen.

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

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

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

12.4 ADC

- Single-Ended:

Spannung von ADC-Pin zu GND wird gemessen.

- Differenziell:

Spannung zwischen zwei ADC-Pins wird gemessen. (Siehe Kapitel ??)

- Referenzspannung:

Es gibt drei verschiedene Spannungsreferenzen:

- Interne 2,56V Referenz
- Externer AREF-Pin
- Externer AVCC-Pin

- Auto-Trigger Mode

Es wird periodisch gemessen, wofür die Taktquelle eingestellt werden muss. (Siehe Kapitel 12.4.2)

Kann
Takt-
geschwindigkeit
nicht
auch
erhöht
werden?

Insert
Pics

Wdym
Fea-
tures?

Insert
Pics

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 Links-bündigkeit.

12.4.3 Messdauer berechnen

Die ADC Messdauer muss eingestellt werden: kurze Messdauern führen zu ungenaueren Ergebnissen, 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.

Insert
Pic

Single-Ended

$$V_{IN} = \frac{ADC \cdot V_{REF}}{1023} \quad (12.1)$$

Und der entsprechende Code um die gemessene Spannung zurückzubekommen:

```
1 // SETUP:
2 DDRF = DDRF &~ (1 << DDF0); // PF0-Input
3 ADMUX = ADMUX | (1 << ADLAR) | (1 << REFS0); // Left adjust ADC
   result; Voltage reference
4
5 // Uncomment for Auto trigger mode;
6 // ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADSC);
7 // ADCSRB = ADCSRB | (1 << ADTS1) | (1 << ADTS0); // Auto
   trigger mode Taktquelle (Timer0)
8
9 // Enable Interrupt
10 // Enable ADC
11 // Prescaler = 64: ADC_f = 8M/64
12 ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADEN) | (1 << ADSC) | (1 << ADPS2) | (1
   << ADPS1);
13 DIDR0 = DIDR0 | (1 << ADC0D); // Disable digital function of PF0
14
15 // READ:
16 adcRead() {
17     uint16_t adc_value;
18     float out;
19     unsigned char adcl, adch;
20
21     // Start conversation
22     // Put in comment in auto trigger mode
23     ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADSC);
24
25     // Wait for ADC to finish
26     while(ADCSRA & (1 << ADSC)) {}
27
28     adcl = ADCL;
```

```

29     adch = ADCH;
30     adc_value = (adcl >> 6) + (adch << 2);
31     out = (float)((adc_value * 5) / 1023.0);
32     return out;
33 }

```

Differenziell

No re-
turn
type?

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

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

```

1 // SETUP:
2 DDRF = DDRF &~ (1 << DDF0) &~ (1 << DDF1); // PF0-Input
3 ADMUX = ADMUX | (1 << ADLAR) | (1 << REFS0); // Left adjust ADC
    result; Voltage reference
4 ADMUX = ADMUX | (1 << MUX4); // PINS(P:ADC0; N: ADC1); GAIN: 1
5
6 // Uncomment for auto trigger mode
7 // ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADSC);
8 // ADCSRB = ADCSRB | (1 << ADTS1) | (1 << ADTS0); // Auto
    trigger mode Taktquelle (Timer0)
9
10 // Enable interrupt enable
11 // Enable ADC
12 // Prescaler = 64: ADC_f = 8M/64
13 ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADEN) | (1 << ADSC) | (1 << ADPS2) | (1
    << ADPS1);
14
15 // READ:
16 adcRead() {
17     uint16_t adc_value;
18     float out;
19     unsigned char adcl, adch;
20
21     // Start conversation
22     // Put in comment in auto trigger mode

```

```

23     ADCSRA = ADCSRA | (1 << ADSC);
24
25     // Wait for ADC to finish
26     while(ADCSRA & (1 << ADSC)) {}
27     adcl = ADCL;
28     adch = ADCH;
29     adc_value = (adcl >> 6) + (adch << 2);
30     out = (float)((adc_value * 5) / (1.0 * 1023.0));
31     return out;
32 }

```


13 Simulation

13.1 Altium

Es muss beachtet werden, dass nicht alle BAuteile simuliert werden können, sondern nur die der "Simulation Generic Components" Library.

Außerdem ist es besonders wichtig, dass bei **OPV-Schaltungen** die einen **Verstärker** implementieren, der **OPV** benutzt werden muss.

Bei Schaltungen die den OPV als **Schmitttrigger** (oder etwas Ähnliches) verwenden, muss der Komperator verwendet werden.

13.1.1 Quellen

Ab AltiumDesigner21 sind alle Quellen gleich; unter `Simulate` → `Sources` können Quellen platziert werden:

13.1.2 Probes

Es können unter `Simulate` → `Place Probes` Probes platziert werden, mit denen Spannungen und Ströme gemessen werden können. In AD17 war bzw. ist dies mit Net-labels möglich.

13.1.3 Simulation

Unter `Simulate` → `Simulation Dashboard` kann die Simulation eingestellt und gestartet werden.

Zunächst wird die Schaltung verifiziert; um die Verifikation zu aktualisieren, muss im

Drop-Down-Menü ein anderes Dokument ausgewählt werden und dann zurückgewechselt werden.

Danach werden die Quellen und Probes ausgewählt: Mit einem Häkchen können diese entsprechend deaktiviert werden. Mit dem gefärbten Kästchen kann die Farbe der Probe im Plot verändert werden.

Als Nächstes wird die Simulation eingestellt, wobei `Transient` und `AC-Sweep` besonders wichtig sind:

- Transient-Analyse

Bei der Transienten-Analyse wird die Schaltung in einem bestimmten Zeitbereich simuliert. Dieser kann sowohl in Zeit, als auch in Perioden angegeben werden (wobei diese nur bei Quellen mit periodischen Signalen funktioniert). Die zuvor ausgewählten Probes werden automatisch in einem Plot angezeigt. Mit dem "+ Add"-Knopf können weitere Plots bzw. Signale hinzugefügt werden (siehe).

Add Reference

Mit dem Häkchen "Use Initial Conditions" können Anfangsspannungen festgelegt werden, welche in der Schematik über `Simulate` → `Place Initial Condition` platziert werden.

In den Einstellungen der `Initial Condition` (erreichbar via Doppelklick) kann unter `Parameters` die Spannung eingestellt werden.

- AC-Sweep

Beim AC-Sweep wird die Frequenz der angegebenen Quellen in einem festgelegten Bereich "gesweept", d.h. vom Minimum zum Maximum schrittweise durchgerechnet. Die Frequenz kann in Dekaden (logarithmisch), Oktaven oder Linear angegeben werden.

Mit dem "+ Add"-Knopf können zusätzliche Outputs hinzugefügt werden, wodurch ein neues Feld erscheint. In diesem kann über den Drei-Punkte-Knopf der Output konfiguriert werden.

In `Waveforms` stehen alle möglichen Signale, welche in der Schaltung vorkommen (Probes, Netlabels, Widerstandsspannungen, etc.) Probes erhalten den Namen folgendermaßen: `v("Net", Bauteil, "_", Probe Nummer)`. Eine

Probe mit der Nummer 1, an einem Widerstand, würde dementsprechend $v(\text{NetR1_1})$ heißen.

In `Functions` stehen alle möglichen Operationen wie Addition, Umrechnen in dB oder Berechnung der Phase. In `Expression-X/Y` steht was wirklich angezeigt werden soll.

Beachte dass es das `Expression-X`-Feld in AD21 nicht gibt.

Beispiel

Bodediagramm eines Tiefpasses.

- Übertragungsfunktion: `Expression-Y: db (v (NetC1_2 / v (NetR1_1)))`
- Phasengang: `Expression-Y: PHASE (v (NetC1_2))`

`Net1` ist der Eingang des Tiefpasses, `Net2` der Ausgang.

Simulation Dashboard Simulation Output

Sollte eine Achse fehlen: doppelklicken auf die Achse und unter "Label" die gewünschte Einheit eintragen.

Die entsprechende Schematik des Beispiels:

13.2 MicroCap

Folgende Schritte müssen befolgt werden, um in **Microcap** simulieren zu können:

1. Komponentenauswahl

- Allgemeine Bauteile (Widerstände, Kondensatoren, Quellen, etc.): `Component`
→ `Analog Primitives` → Benötigtes Bauteil
- Spezifische Bauteile (Transistoren, OPVs, etc.): `Component` → `Find Component`
→ Eingabe des Bauteilnamens → Auswählen des Bauteils
→ OK

2. Verbinden der Bauteile

Anklicken von Wire Mode.

Add pic

3. Konfiguration der Bauteile

Beispiel

Pulse Source

4. Platzierung von Simulationspunkten

Anklicken von `Text Mode` und gewünschten Namen eingeben, welcher in der Simulation ausgewählt werden kann. Danach auf die gewünschte Stelle in der Schaltung ziehen, an der dann ein roter Punkt erscheinen sollte.

5. Einstellen der Simulation

• Im Zeitbereich

Analysis → Transient

- Maximum Run Time: Gesamtzeit der Simulation.
- Number of Points: Die Anzahl der simulierten Punkte.
- Page: Die Seite auf der der simulierte Graph gezeigt wird.
- P: Jede Seite kann mehrere Plots enthalten (\approx Graph); ist dies der Fall, werden sie untereinander dargestellt.
- X Expression: Wird im Normalfall mit t als Zeit beschrieben, kann aber jedoch für etwas anderes verwendet werden.
- Y Expression: Dort sollten die jeweiligen Simulationspunkte ausgewählt werden, z.B. Spannungsverhältnisse, deren dB-Werte oder andere Funktionen bzw. Funktionswerte.
- X Range: Der Bereich der x-Achse, wobei `Auto` die einfachste Variante ist; `TMAX` ist die Maximalzeit.
Ansonsten können hier auch - mit Beistrichen getrennt - der Endwert, Startwert und der Unterteilungsabstand festgelegt werden.
- Y Range: Der Bereich der y-Achse; Optionen sind hier die selben wie bei X Range.

Verschiedene
Darstellungsmethoden
hinzufügen.

Wirklich?
Wie man
eine
Datei
macht??