

Einführung in die Elektrotechnik

Clemens Mittermaier

Sommersemester 2019

Inhaltsverzeichnis

1 Einheiten	1
1.1 SI-Einheiten	1
1.2 Dezimal-Einheiten	1
2 Bauelemente	2
2.1 Widerstände	2
2.2 Kondensator	2
2.3 Spule	2
3 Einfache Netzwerke	3
3.1 Kirchhoffsche Regeln	3
3.2 Schaltmuster	3
4 Quellen	5
4.1 Reale Quellen	5
4.2 Superposition	6
4.3 Theoreme	6
5 Netzwerkanalyse	7
6 Wechselstromrechnung	7
6.1 Mittelwerte	7
6.2 Impedanz	7
6.3 Leistung	8
7 Frequenzgang	8
7.1 Resonanz	8
7.2 Übertragungsfunktion	9
7.3 Filter	9
8 Schaltvorgänge	9
8.1 Schaltvorgänge in Netzwerken erster Ordnung	10
8.2 die Zeitkonstante	10
8.3 Pulse	10
9 Digitales Systeme	10
9.1 Einführung in die Digitaltechnik	10
9.2 Logik Gatter	10
9.3 Halbleiter und Dioden	11
9.4 PN-Dioden	12
9.5 Bipolare Transistoren	12
10 Elektromechanik	13

Vorwort

Erstens: Lob bitte persönlich an mich richten. Kritik auch, aber ich empfehle da eher eine kurze Nachricht, da kann ich dich nicht direkt zu einem Duell auf Leben und Tod herausfordern.

Zweitens: Wer Rechtschreibfehler findet darf die gerne behalten. Inhaltliche Fehler, gerne melden. (Erstens beachten!!)

Drittens: Ich hoffe diese Zusammenfassung hilft. Viel Erfolg beim Lernen.

1 Einheiten

1.1 SI-Einheiten

Im folgenden soll ein Überblick über die SI- (système international d'unités) Einheiten geben.

Größe	Formelzeichen	Einheit	Einheitzeichen
Länge	l	Meter	<i>m</i>
Masse	m	Kilogramm	<i>kg</i>
Zeit	t	Sekunde	<i>s</i>
Stromstärke	i	Ampere	<i>A</i>
Temperatur	T	Kelvin	<i>K</i>
Stoffmenge	n	Mol	<i>mol</i>
Lichtstärke	Iv	Candela	<i>cd</i>
Frequenz	f	Hertz	$Hz = s^{-1}$
Kraft	F	Newton	$N = J/m = \frac{kgm}{s^2}$
Energie	E	Joule	$J = Nm$ oder $W * s = \frac{m^2 * kg}{s^2}$
Leistung	P	Watt	$W = J/s = V * A$
elektrische Ladung	Q	Coulomb	$C = A * s$
elektrische Spannung	U	Volt	$V = W/A = J/C = \frac{kg * m^2}{s^2 * A}$
elektrische Kapazität	C	Farad	$F = C/V = \frac{s^4 * A^2}{kg * m^2}$
elektrischer Widerstand	R	Ohm	$\Omega = V/A = \frac{kg * m^2}{s^3 * A}$
Induktivität	L	Henry	$H = Wb/A = \frac{kg * m^2}{s^2 * A^2}$

1.2 Dezimal-Einheiten

P	Peta	10^{15}
T	Tera	10^{12}
G	Giga	10^9
M	Mega	10^6
k	Kilo	10^3
h	Hekto	10^2
da	Deka	10^1
-	-	10^0
d	Dezi	10^{-1}
c	Zenti	10^{-2}
m	Milli	10^{-3}
μ	Mirko	10^{-6}
n	Nano	10^{-9}
p	Piko	10^{-12}
f	Femto	10^{-15}

2 Bauelemente

In diesem Abschnitt sollen alle grundlegenden Bauelemente vorgestellt und zusammengefasst werden. Dabei werde ich mich dicht an den Folien halten, also den Effekt, die Symbole und anschließend das Bauteil mit allen notwendigen Formeln. Dabei handelt es sich um eine erste, grobe Zusammenfassung. Genaue Detail und alle weiteren Formeln befinden sich im Skript.

2.1 Widerstände

Effekt: Leitfähigkeit Die Leitfähigkeit sagt etwas darüber aus, wie gut ein Material Strom fließen lassen kann.

Einheit: Ω (Ohm)

σ = spezifische Leitfähigkeit

ρ = spezifischer Widerstand

Sie sind abhängig von Material und Temperatur. $\rho = \frac{1}{\sigma}$

Bauelement: Widerstand

Formel: $R = \frac{\rho L}{A}$

L = Länge des Leiters, A = die Fläche und ρ ist der spezifische elektrische Widerstand. Eine weitere Formel ist um den Leitwert zu bestimmen: $G = \frac{1}{R} = \frac{\sigma A}{L}$

Der Temperatur Koeffizient wird mit $\alpha = \frac{1}{\delta T}$ berechnet.

Gesetze: Ohm'sche Gesetz: $R = \frac{U}{I} = const.$ Für nicht homogene Felder gilt: $R = \frac{\int E*dr}{\sigma \int E*dS}$

2.2 Kondensator

Effekt: Kapazität Zwei benachbarte Leiter können sich gegenseitig beeinflussen, in dem Elektronen des einen Leiters die des anderen Leiters abstoßen.

Einheit: F = Farad

$$C = \frac{Q}{U}$$

Q = die induzierte Ladung

U = die Spannung

Bauelement: Plattenkondensator is vereinfacht zwei quadratische Platten, mit ein wenig Abstand. wird nun an beide eine Spannungsquelle angeschlossen, kommt es zu einer Ladungsdifferenz. Es entsteht ein homogenes Magnetfeld zwischen den beiden Platten.

Formel: $C = \frac{\epsilon_m A}{a}$

ϵ_m = ist Materialabhängig

A = die Fläche der beiden Platten

a = der Abstand der beiden Platten

2.3 Spule

Ein gewickelter Draht erzeugt in seinem inneren ein Magnetfeld. Es wird durch einen metallischen Kern (meistens Eisen) verstärkt.

Effekt: Induktion Dieses Magnetfeld beeinflusst andere Ladungen.

Einheit: $1H = \text{Henry} = 1 \frac{\text{kgm}^2}{\text{A}^2\text{s}^2}$

Bauelement: Transformator Ein Transformator kann durch Induktion Strom von einer Spule in eine andere übertragen. Dabei müssen sich beide Spulen den selben Kern teilen. Das Verhältniss zwischen den beiden Spulen und dem daraus resultierenden Strom lässt sich mit $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$

Formel: $L = \mu_m * \frac{A * N^2}{d}$

d = Länge der Spule

A = Querschnittsfläche der Spule

N = Anzahl der Windungen

μ_m = Permeabilität

Selbstinduktivität: Wenn die Spule durch das eigene Magnetfeld führt, haben die Feldlinien Auswirkungen auf den eigenen Stromfluss. Bei einer Spule wächst die Selbstinduktion mit jeder weiteren Windung.

Die Formel ist: $L = N^2 \left(\frac{\mu_m A}{d} \right)$

3 Einfache Netzwerke

Ein Netzwerk besteht aus mindestens 2 Komponenten (einer Stromquelle und einem Verbraucher). Die Komponenten werden mit einem (perfekten) Draht zusammen geschaltet. Das bedeutet, $R = 0$ und C & L sind vernachlässigbar.

Wichtig sind auch folgende Begriffe:

Leerlauf Hier wird die Stromquelle aus dem Schaltkreis entfernt. Das bedeutet, dass kein Strom fließt und die Leerlaufspannung maximal ist.

Kurzschluss Hier wird die Spannungsquelle aus dem Schaltkreis entfernt. Das führt zu einem sehr hohen Stromfluss.

3.1 Kirchhoffsche Regeln

Knotenregel Alle Ströme, die in einen Knoten hineinfließen, müssen wieder herausfließen.

$I_1 - I_2 = 0$ I_1 = Strom, der in einen Knoten hineinfließt.

I_2 = Strom, der aus einem Knoten herausfließt.

Maschenregel Die Summe aller Spannungen in einer Masche (Stromkreis) ist gleich Null.

$U_1 + U_2 + U_3 = 0$

3.2 Schaltmuster

Reihenschaltung In einer Reihenschaltung sind alle Elemente hintereinander geschaltet. Das bedeutet, sie haben den gleichen Strom. $I = I_0$ & die Spannungen addieren sich. $U_T = U_1 + U_2 + U_3$. Der Gesamtwiderstand wird durch $U_T = \sum U_i = I_0 R_1 + I_0 R_2 + I_0 R_3 + I_0 R_1$ berechnet, was zu folgender Formel führt: $R_S = \sum R_i$

Parallelschaltung Hier sind die Elemente nebeneinander angeordnet. Alle haben die gleiche Spannung, aber es fließt unterschiedlich viel Strom. Durch das Ohmsche Gesetz folgt der Gesamtwiderstand $R_P = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)}$

Spannungsteiler Hier werden Widerstände in Reihe geschaltet und der Spannungsabfall über Widerstände ausgenutzt um eine bestimmte Spannung abzugreifen. Die Formel ist $U_{out} = U_0 * \frac{R_{Spannungsteiler}}{R_{Gesamtwiderstand}}$. Dabei ist vor allem das Verhältniss der Widerstände zu einander wichtig.

Stromteiler Funktioniert ähnlich wie ein Spannungsteiler. Formel: $I_{out} = U_0 * \frac{R_{nichtdawoderStromfließt}}{R_{Gesamtwiderstand}}$

Wheatstone-Brücke Eine Wheatstone-Brücke wird dafür benutzt um mit drei bekannten einen vierten unbekanntem Widerstand zu bestimmen. Formel:

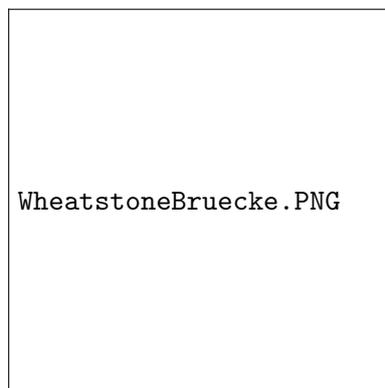


Abbildung 1: Eine Wheatstone-Brücke

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

Dreiecksumformung Man kann eine Schaltung zu einem Dreieck umformen.

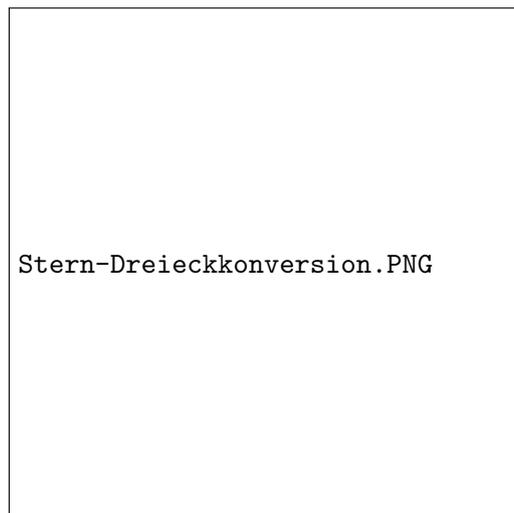


Abbildung 2: Stern-Dreieckskonversion

- $G_{12} = \frac{G_{10} G_{20}}{G_{10} + G_{20} + G_{30}}$

- $G_{23} = \frac{G_{20}G_{30}}{G_{10}+G_{20}+G_{30}}$
- $G_{13} = \frac{G_{10}G_{30}}{G_{10}+G_{20}+G_{30}}$
- $R_{10} = \frac{R_{12}R_{13}}{R_{12}+R_{13}+R_{23}}$
- $R_{20} = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12}+R_{13}+R_{23}}$
- $R_{30} = \frac{R_{13}R_{23}}{R_{12}+R_{13}+R_{23}}$

Kondensator-Netzwerke Falls mehrere Kondensatoren parallel geschaltet sind teilen sie sich die selbe Spannung.

$$\Rightarrow C_{parallel} = C_1 + C_2$$

Wenn die Kondensatoren in Reihe geschaltet sind wird die Formel ein klein wenig komplizierter:

$$C_{Serie} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Spulen-Netzwerke $L_{Serie} = L_1 + L_2$ $L_{parallel} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$

Transformator Ein Transformator verbindet zwei Schaltkreise und induziert dort Strom. Koppelin-
duktivität wird mit $M = k * \sqrt{L_1 L_2}$ berechnet.

4 Quellen

Jedes Netzwerk braucht eine Quelle für seine Energie. Dabei gibt es unterschiedliche Arten von Quellen. Meisten handelt es sich entweder um Spannungs- oder Stromquellen.

Lastkurve hierbei wird auf der y-Achse der Strom und auf der x-Achse die Spannung angegeben. Es wird der Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung bestimmt. Diese werden jeweils auf das Koordinatensystem eingetragen.

Spannungsmesser Damit kann man die Spannung messen. Dabei fließt kein Strom durch den Spannungsmesser. Er misst nur das Potential.

Strommesser Werden direkt in den Stromkreis eingebunden. Durch sie fließt Strom, und haben deshalb einen Widerstand, an dem wieder die Spannung gemessen wird, die über den Widerstand abfällt. Aus dem Ohmschen Gesetz wird dann der Strom berechnet.

4.1 Reale Quellen

Reale Spannungsquellen haben einen Innenwiderstand R_T . U_0 variiert unter Last, und der Strom ist nicht beliebig hoch. Dabei sind U und I von einander abhängig. Ausgangscharakteristik: $U_0 = U_T - I_0 R_T$ Der Realität kommt folgende Spannungsquelle am nächsten: R_T ist klein, ein hohes I_K

Reale Stromquellen Auch hier gilt, dass die ideale nicht ganz erreicht werden. Es gibt einen Innenleitwert, an dem sich die Strommessung funktioniert. I_0 variiert mit der Last und die Spannung ist nicht beliebig hoch. Die Ausgangscharakteristik wird mit $I_0 = I_N - U_0 = G_N$ berechnet.

4.2 Superposition

wird auch **Überlagerung** genannt. Bei Reihenschaltung werden die Spannungen aus verschiedenen Spannungsquellen addiert: $U_0 = U_1 + U_2 + U_3$. Stromquellen werden parallel geschaltet, und die Ströme werden addiert: $I_0 = I_1 + I_2$.

- Stromquelle einfach weg lassen. Dann Spannung berechnen.
- Spannungsquelle mit Draht ersetzen. Dann Spannung berechnen.
- Dann beide Spannungen Addieren

Für Ströme gilt das gleiche Prinzip, nur, dass man einen Kurzschluss zwischen den Klemmen annimmt und damit dann den Strom zwischen den Klemmen ausrechnet.

4.3 Theoreme

Ersatzwiderstand berechnen:

- Spannungsquelle ersetzen durch Kurzschluss
- Stromquelle ersetzen durch Leerlauf
- Gesamtwiderstand von den neuen Klemmen ausgehend berechnen berechnen

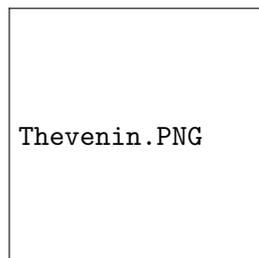


Abbildung 3: Thévenin-Theorem

Thévenin-Theorem

- Ersatzwiderstand errechnen
- Leerlaufspannung berechnen mittels Superposition (Überlagerung)

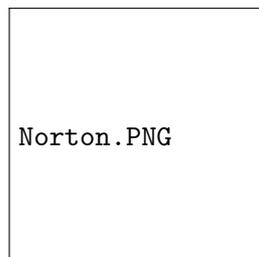


Abbildung 4: Norton-Theorem

Norton-Theorem

- Ersatzwiderstand errechnen
- Kurzschlussstrom berechnen mittels Superposition (Überlagerung)

5 Netzwerkanalyse

Allgemeine Netzwerke können viele Komponenten haben. Meistens möchte man dabei die Stromflüsse und die Spannung im System analysieren können. Dafür werden komplizierte Gleichungssysteme aufgestellt. Diese können auf drei verschiedene Arten gelöst werden: "von Hand", numerisch oder mit einer Matrix.

Dabei sind die Kirchhoff'schen Sätze entscheidend.

Auf eine Lösung von Hand möchte ich hier nicht eingehen, denn das wird ausführlich in Mathe gemacht. Numerisch wird das ganze von einem Programm und einem Computer übernommen.

Auch Matrizen werden in Mathe ausführlich behandelt.

Maschenanalyse Die Idee hinter Maschenstromanalysen ist der Gedanke dahinter die Anzahl der Unbekannten zu reduzieren. Dabei werden Maschenströme so günstig wie möglich gelegt. In jeder Masche muss mindestens ein Strom fließen. Ähnliches gibt es auch in der Knotenpotentialanalyse.

6 Wechselstromrechnung

Da Strom nicht immer konstant ist betrachten wir nun Wechselströme. Wechselstrom ist entweder periodisch oder nichtperiodisch. Zu Beginn werden wir mit periodischen Wechselströmen rechnen. $v(t) = f(t_0) + f(t_0 + kT)$ wobei t_0 der Ausgangswert, T die Periodendauer und k die Anzahl der Perioden seit t_0 ist. Die harmonische Erregung wird mit $u(t) = U_0 \sin(\omega t + \phi_0)$ und mit $i(t) = I_0 \sin(\omega t + \phi_0)$ berechnet. ω ist die mit $2\pi f$ berechnete Kreisfrequenz. U_0 und I_0 sind die Amplituden. Im Folgenden wird viel mit komplexen Zahlen gerechnet.

6.1 Mittelwerte

Es gibt verschiedene Arten von Mittelwerten. Alle sagen verschiedene Sachen über den Wechselstrom aus.

Arithmetisches Mittel ist der Mittelwert der Stromspannung über eine Periode hinweg.

$$m(t) = \frac{1}{T} \int_0^T a(t) dt$$

Effektivwert Gibt einen Wert an, der einem Gleichstrom mit gleicher Leistung entspricht. (Das sind die 230 V aus der Steckdose). Er wird bei $\frac{1}{\sqrt{2}} * U_0$ angesetzt. Was etwa 70% entspricht.

Wird auch Quadratischer Mittelwert und rms genannt.

$$m(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a(t)^2 dt}$$

6.2 Impedanz

Impedanz ist als $Z = \frac{U}{I} = R$ definiert. Sie ist eine besondere Form des Widerstandes, da sie bei besonderen Bauteilen (Spulen und Kondensatoren) auftritt. Es wird dabei zwischen Wirkwiderstand und Blindwiderstand unterschieden. Da Impedanz meistens eine komplexe Größe ist wird sie aus dem Realteil, dem Wirkwiderstand und dem Imaginärteil Blindwiderstand zusammen gesetzt. Ein Stromkreis, ohne einem Widerstand hat auch in der komplexen Wechselstromrechnung keinen Realteil,

und führt somit sobald der Kondensator oder die Spule aufgeladen ist, zu einem Kurzschluss. Nun werden einige Bauteile mit ihrem Widerstand aufgeführt.

Vorher definiere ich aber noch: $j = i = \sqrt{-1}$.

- Widerstand:
der Widerstand hat eine Impedanz von $Z_R = R$
- Kondensator:
der Kondensator hat eine Impedanz von $Z_C = \frac{1}{j * \omega C}$
- Spule:
Impedanz: $Z_L = j * \omega L$

Der Betrag der Impedanz (auch Scheinwert genannt), also der Gesamtwert des komplexen Widerstandes wird über den Satz des Pythagoras errechnet. $|Z| = \sqrt{Re\{Z\}^2 + Im\{Z\}^2}$ Bei komplexen Schaltungen, bei denen Kondensatoren und Spulen parallel geschaltet sind, wird der Widerstand genauso berechnet, wie bei normalen Widerständen auch.

Phasenverschiebung Aus der Impedanz folgt die Phasenverschiebung. Das bedeutet, dass Strom und Spannung nicht mehr in gleichzeitig ansteigen und abfallen. Bei einem Kondensator eilt die Spannung dem Stromfluss um $-\frac{\pi}{2}$ nach und bei einer Spule eilt sie um $\frac{\pi}{2}$ voraus. $\phi = \arctan(\frac{Im\{Z\}}{Re\{Z\}})$

6.3 Leistung

Momentanleistung: $p(t) = u(t) * i(t)$

Wirkleistung: ist der Realteil der Leistung. Durchschnittliches Mittel über die Zeit T:

$$P = \overline{p(t)} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt$$

$$P_W = Re\{Z\} * I_{eff}^2$$

Blindleistung ist der Imaginärteil der Leistung. Scheinleistung:

$$P_S = \sqrt{P_W^2 + P_B^2}$$

7 Frequenzgang

In diesem Kapitel werden wir einen Blick auf Schaltungen mit Spulen und Kondensatoren werfen. Zu Beginn ist es wichtig, zu wissen dass sowohl Spulen als auch Kondensatoren Energie speichern können. So bald sie einmal aufgeladen sind, entladen sie sich wieder auch wenn keine andere Stromquelle angeschlossen ist. Nun folgen ein paar Formeln, die auch sehr wichtig sind.

Der Phasenwinkel: $\tan(\phi) = \frac{Im\{Z\}}{Re\{Z\}}$. Daraus folgt $\phi = \arctan(\frac{Im\{Z\}}{Re\{Z\}})$. Der Frequenzgang wird normalerweise mit Hilfe eines Bode-Diagramms dargestellt.

Bode-Diagramm ist ein Diagramm mit der Frequenz auf der x-Achse und einer anderen Einheit (Meist der Spannung) auf der y-Achse. Die x-Achse ist dabei meist logarithmisch skaliert, was bedeutet, bei gleichem Abstand verzehnfacht sich die Frequenz. Damit entsteht eine schöne Gerade im Diagramm.

7.1 Resonanz

Resonanz entsteht, wenn sich zwei Wellen verstärken. Das passiert im Schaltkreis wenn ein Kondensator und eine Spule miteinander in der richtigen Frequenz schwingen. Resonanz entsteht, wenn $Im\{Z\} = 0$ und deswegen $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ist.

7.2 Übertragungsfunktion

$$|H(\omega)| = \left| \frac{u_{out}(\omega)}{u_{in}(\omega)} \right|$$

Die Rechenregeln sind die selben, wie bei einer ganz normalen Widerstandsrechnung.

7.3 Filter

In diesem Abschnitt wollen wir uns mit Filtern beschäftigen. Filter können bestimmte Frequenzbereiche filtern und/oder abschwächen. Filter werden in Ordnungen eingeteilt um sie besser klassifizieren zu können. Das bedeutet, je komplexer ein Filter, desto mehr Kondensatoren oder Spulen besitzt er, desto höher ist seine Ordnung. Ein Filter 1. Ordnung hat also nur einen Kondensator oder nur eine Spule. Aber auch damit lässt sich schon so einiges machen. Ein Filter hat einen sogenannten Knickpunkt, an dem er beginnt, den Bereich zu filtern. Dieser Knickpunkt ist meist an der Stelle $|H(\omega)|/\sqrt{2}$ gekennzeichnet, da dieser bei ungefähr 70% liegt.

Filter werden in dB (Dezibel) gemessen. Diese geben an, um wie viel ein Filter an einer gewissen Stelle dämpft. So stellen -3dB genau diese $\frac{1}{\sqrt{2}}$ dar. Die weitere Skala ist im Skrip auf **Seite 244** zu finden.

Tiefpass filtert die hohen Frequenzen aus der Eingangsspannung. Dabei ist entweder der Kondensator in den Spannungsteiler oder die Spule vor den Spannungsteiler geschaltet. $H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 R^2 C^2}}$ bei einem RC-Tiefpass. Die Grenzfrequenz wird mit $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ berechnet.

Hochpass ist das Gegenteil von einem Tiefpass und wird bei einem RC-Hochpass mit $H(\omega) = \frac{\omega RC}{\sqrt{1+\omega^2 R^2 C^2}}$. Die Grenzfrequenz ist die gleiche wie bei einem RC-Tiefpass.

Bandpass ist ein Filter 2. Ordnung. Dabei werden eine Spule und ein Kondensator in Reihe und vor die Ausgangsspannung geschaltet, damit der Kondensator die hohen Frequenzen und die Spule die tiefen Frequenzen filtert. $|H(\omega)| = \frac{\omega RC}{\sqrt{(1-\omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2}}$

Bandsperre ist das Gegenteil eines Bandpasses. Sie blockiert ein paar wenige Frequenzen in der Mitte des Spektrums. Dabei sind Kondensator und Spule beide direkt an den Spannungsteiler angeschlossen.

Filterschärfe und Qualität Als Faustregel kann gelten: je größer die Ordnung, desto präziser reguliert der Filter die Frequenzen. Sollte aber die Bandbreite zu groß sein, kann man einfach den Widerstand vergrößern. *Viva La Revolution*

8 Schaltvorgänge

Wenn ein Netzwerk eingeschaltet wird, dann dauert es eine gewisse Weile, bis sowohl Kondensator als auch Spule aufgeladen sind. Diese Schaltvorgänge wollen auch berechnet werden und damit wollen wir uns jetzt beschäftigen. Eine Netwerkerregung wird mit Hilfe einer Sprungfunktion gemacht. Diese simuliert das Ein- und Ausschalten eines Systems, in dem es in regelmäßigen Abständen an und wieder aus geht. Um den Impuls zu berechnen, bedient man sich eines kleinen mathematischen Tricks:

der Dirac-Impuls δ ist ein Integral mit dem Wert 1. $\int_0^T \delta(t) dt = 1$. Die Idee ist, die Seiten des Intervalls immer weiter zusammen zu schieben, bis der Impuls ins Unendliche gestreckt ist. Das bedeutet, der Impuls ist an einer Stelle extrem stark und dann sofort wieder weg.

8.1 Schaltvorgänge in Netzwerken erster Ordnung

Analyse läuft immer wie folgt ab:

1. Gleichung mit den Kirchhoff'schen Sätzen erstellen
2. Differentialgleichung n. Ordnung aufstellen
3. exponentielle Lösung annehmen
4. Exponenten bestimmen (v. A. Zeitkonstante)
5. Vorfaktoren bestimmen
6. Komplette Lösung für $i(t)$ und $u(t)$ aufstellen

Für Schaltungen n. Ordnung benötigt man $\frac{d^n}{dt^n}$ eine höhere Differentialgleichung.

8.2 die Zeitkonstante

$$i(t) = I_0 * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Die Zeitkonstante ist, in der oben gezeigten Gleichung, das τ . Sie sagt aus, wie schnell sich ein Netzwerk auf- und entladen kann. Das τ wird verechnet mit $\tau = RC$, $\tau = \frac{L}{R}$. Es gibt auch einige Vereinfachungen, für Parallel geschaltete Kondensatoren und Spulen im Skript, siehe **Seite 273**.

8.3 Pulse

Wenn man eine Rechtecksfunktion an der Stromquelle anlegt, dann wird das Netzwerk dauernd auf- und wieder entladen. Wenn diese Eingangsfrequenz zu hoch ist, dann können sich die Bauteile nicht vollständig aufladen. Das ist kein Problem, ich will es nur erwähnt haben. Wenn man ein Netzwerk höherer Ordnung an eine solche Stromquelle anschließt, können die Bauteile untereinander auch Energie austauschen. Dadurch kann es zur Schwingung und zur Resonanz kommen. Das ist wiederum gefährlich. Siehe **7.1 Resonanz**

9 Digitales Systeme

So, jetzt sind wir endlich so weit. Wir sind da angekommen, wo die Technische Informatik am Anfang des Semesters angefangen hat. Ich werde mich hier deshalb auch nur kurz mit den jeweiligen Themen befassen, im Skript und in der TI-Vorlesung ist der Rest behandelt.

9.1 Einführung in die Digitaltechnik

Digital bedeutet ein Schaltkreis rechnet Sachen mit Hilfe von 1 und 0 aus. Damit rechnen zu können müssen wir kurz Binärzahlen erwähnen. Eine Binärzahl kann Dezimalzahlen nehmen und sie in einen Code umwandeln, der aus 1 und 0 besteht und dabei den selben Zahlenwert repräsentiert.

9.2 Logik Gatter

- Inverter dreht den gegebenen Wert um.
- OR hat zwei Eingänge, wenn an einem von beiden Strom anliegt kommt unten auch Strom raus.
- AND braucht an beiden Eingängen Strom, damit er Strom ausgibt.
- NOR ist das Gegenteil zu einem OR-Gatter

- NAND ist das Gegenteil zu einem AND-Gatter
- XOR gibt nur dann eine 1 aus, wenn die beiden Eingänge auch wirklich unterschiedlich sind.

Wichtig!! Ausgänge von Logik-Gattern sollte man nie zusammenschalten. Wenn nicht klar ist warum, dann solltest du es mal versuchen.

Konjunktion Eine Konjunktion ist eine UND-Verknüpfung. ist das Ergebnis der Funktion nur dann 1, wenn beide Inputs auch 1 sind. Das Symbol ist \wedge , kann auch mit einem $+$ geschrieben werden.

x	y	f(x,y)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabelle 1: Wertetabelle einer UND-Funktion

Disjunktion ist eine ODER-Funktion. Das Zeichen dafür ist ein \vee oder ein $*$.

x	y	f(x,y)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabelle 2: Wertetabelle einer ODER-Funktion

Negation ist eine Negierung. Hier werden die Werte einfach Umgedreht. Wird auch als NOR bezeichnet. Das Symbol ist \neg .

x	f(x,y)
0	1
1	0

Tabelle 3: Wertetabelle einer NOT-Funktion

9.3 Halbleiter und Dioden

Im Folgenden Kapitel werden Halbleiter und Dioden behandelt. zu Halbleitern werde ich nichts schreiben, da man das bereits in MST hätte lernen sollen (Ich auch). Zu den Halbleitern seien ein nur die folgenden Worte verloren:

Halbleiter sind besonders, weil sie eine fast volle Schale Valenzelektronen haben. Das erlaubt ihnen ein weiteres Elektron aufzunehmen. Das Material, das wohl am Häufigsten genutzt wird ist Silizium. Durch **Dotierung** kann das Ausgangsmaterial ein zusätzliches Elektron erhalten oder verlieren. Dadurch entstehen p- und n-dotierte Bereiche. Damit lassen sich verschiedenepolte Raumladungszonen einrichten, die bei einer Diode zu einer Durchlass- und einer Sperrichtung, und bei einem Transistor zur Schaltung und Steuerung von digitalen Schaltungen führt. Zum Transistor wird nichts mehr kommen, denn Aufbau und funktionsweise sollten bekannt sein.

9.4 PN-Dioden

Eine PN-Diode besteht aus zwei unterschiedlich dotierten Halbleiterstücken. Wenn diese aufeinander treffen werden die Löcher des p-dotierten Bereiches von den überschüssigen Elektronen des n-dotierten Bereiches gestopft. Dadurch kommt es zu einer neutralen Sperrschicht. Diese Sperrschicht unterbindet den Stromfluss allerdings nur in eine Richtung. Das bedeutet, wenn die Diode richtig herum in den Schaltkreis eingebaut ist, dann bietet die Diode keinen Widerstand, während sie in die andere Richtung konsequent sperrt.

UI-Kennlinie ist die graphische Darstellung des Schaltverhalten einer Diode. Sie folgt aus der Diodengleichung: $I = I_S(e^{\frac{qU}{k_B T}} - 1)$. In einem UI-Diagramm aufgezeichnet, ist der Graph lange Null und steigt dann quasi senkrecht gegen unendlich. I_S ist der Sättigungsstrom, $\frac{k_B T}{q}$ ist die Temperaturspannung.

Schaltungsmodelle Die Diodengleichung ist analytisch nicht lösbar, so dass in einer Netzwerkanalyse auf andere Maßnahmen zurückgegriffen werden muss. Ein paar Optionen:

- Numerisch
Also mit einem Computer und ein bisschen Rechenleistung.
- Graphisch
Dabei wird in die UI-Kennlinie eine gerade von Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung gezeichnet. An der Kreuzung der beiden Graphen ist der Schnittpunkt. (Oder auch Arbeitspunkt genannt)
- PSpice
Einfach das Simulationprogramm ran lassen. #kannjajeder

Ideale Diode Die ideale Diode ist für $U < 0$ im Leerlauf und für $U > 0$ hat sie einen Kurzschluss. Sie lässt nur eine Polarität durch. Bei Silizium dabei zu beachten, dass es eine gewisse Spannung braucht, damit die Elektronen die Sperrzone überwinden können. Diese Eigenspannung von 0,6V wird gelegentlich mit einer Gleichstromquelle von 0,6 V unterstützt und ist in die Diode eingebaut.

Anwendung Dioden haben mehrere Aufgaben, zum einen als Spannungbegrenzer, und lassen nur Spannungen in einem gewissen Rahmen durch, wenn zwei Dioden parallel aber entgegengesetzt geschaltet sind. Eine andere Funktion erfüllen Gleichrichter. Diese Dioden machen aus Wechselstrom Gleichstrom. Allerdings ist der Strom immer unterbrochen, da die Spannung immerwieder unter 0 fällt, somit negativ und so gesperrt wird. um diese Problem auszugleichen wird ein Kondensator mit eingeschalten, der den Strom erst speichert und dann abgibt. Anderer Seits gibt es auch einen Vierwegleichrichter, der Spannungsfrei einen Wechselstrom zu einem Gleichstrom umwandelt. Alles andere kommt aus der MST... Das ist nicht mehr mein Problem.

9.5 Bipolare Transistoren

Sind zwei hintereinander gehängte Dioden, die bei einer gewissen Spannung U_{BE} den durchlauf schaltet. Von einem Emitter werden positive Ladungsträger (Löcher) zum Collector geschickt. Über die Basis B kann gesteuert werden wie viele Löcher sich über die beiden Dioden hinweg kommen und dann zum Collector weiter wandern. Nun kommen die Formeln:

U_{BE} ist gegeben und meist = 0,7V oder 0,6V

U_i ist auch meist gegeben.

β ist der Stromverstärkung.

$I_C = I_b * \beta$ ist der Strom der aus dem Collector kommt.

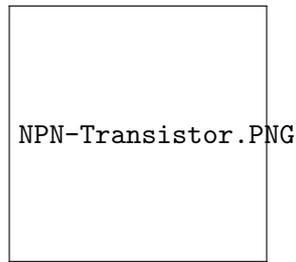


Abbildung 5: Schaltbild eines NPN-Transistor

$I_E = I_C + I_B = I_B * (\beta + 1)$ ist der Strom der am Emmitter abfließt.

$U_I = U_A + U_{BE} \frac{d}{dU_i} U_o$ ist die Ausgangsspannung U_o abgeleitet nach der Eingangsspannung U_i und wird als Spannungsverstärkung bezeichnet.

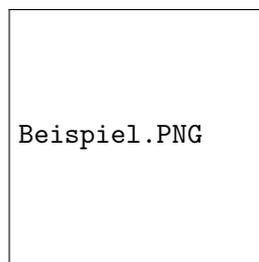


Abbildung 6: Beispiel für einen NPN-Transistor

10 Elektromechanik

Durch Elektromagnetismus lässt sich elektrische Energie in Mechanische Arbeit umwandeln. (Und umgekehrt)

Elektrostatistische Aktoren sind zum Beispiel Kondensatoren, welche ein elektrisches Feld erzeugen und damit Kraft auf Elektronen und andere geladene Teilchen ausüben können.

$F_{el} = \frac{W_C}{t} = \frac{Q^2}{2\epsilon_0 A}$ Sind die Platten beweglich wird der Abstand quadratisch wichtiger. Je größer der Abstand, desto geringer das Feld. Diese Effekte werden in der Mikroelektronik vor allem bei Kamm-Aktuatoren verwendet. entweder um Bewegungen zu messen (Beschleunigungssensor), oder um Dinge zu bewegen (Beamer-Chip).

Magnetische Aktoren Meist handelt es sich dabei um eine Spule mit Eisenkern, die ein homogenes Magnetfeld um einen Schieber erzeugt. Dieser Schieber wird entweder in den Magneten hinein gezogen/geschoben, oder heraus.

Elektromotoren sind sehr nützlich. Sie wandeln elektrische Energie in Rotation um. Dabei gibt es zwei Arten von Elektromotoren: Den Gleichstrom-Motor und den Wechselstrom-Motor.

Der Gleichstrom-Motor funktioniert, in dem sich eine Spule im Inneren eines konstante, homogenen Magnetfeldes dreht. Durch anlegen der Spannung wird der Motor mit Hilfe der Lorentzkraft betrieben. Bei einem Wechselstrom-Motor dreht sich in der Mitte der Magnet. Draußen ändert sich der Strom und mit der Frequenz lässt sich die Drehgeschwindigkeit des Motors beeinflussen.