

TI - I  
Eine Kurzzusammenfassung

Bernd Lutz<sup>1</sup> und Martin Lang<sup>2</sup>

14. Januar 2003

<sup>1</sup>e-mail: [gandalf.the.white@t-online.de](mailto:gandalf.the.white@t-online.de)

<sup>2</sup>e-mail: [ti@bediener.de](mailto:ti@bediener.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Elektrotechnik</b>	<b>4</b>
2.1	Physikalische Grundlagen . . . . .	4
2.1.1	Elektrische Ladung . . . . .	4
2.1.2	Strom, Spannung und Widerstand . . . . .	5
2.1.3	Magnetismus und Induktion . . . . .	6
2.2	Gleichstromkreis . . . . .	7
2.2.1	Widerstandsschaltungen . . . . .	7
2.2.2	Induktivitäten und Kapazitäten . . . . .	11
2.3	Wechselstromkreis . . . . .	14
2.3.1	Was ist Wechselstrom . . . . .	14
2.3.2	Spulen und Kondensatoren . . . . .	15
2.4	Halbleiter . . . . .	15
2.4.1	Halbleiter - Der Stoff aus dem die Logik ist . . . . .	15
2.4.2	Diode . . . . .	15
2.4.3	Transistor . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Logikschaltungen</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>Formeln</b>	<b>21</b>
4.1	Elektrische Ladung . . . . .	21
4.2	Strom, Spannung und Widerstand . . . . .	21
4.3	Kondensator . . . . .	22
4.4	Spule . . . . .	23
4.5	Wechselspannung . . . . .	24
4.6	Kondensator und Spule an Wechselspannung . . . . .	24

# Kapitel 1

## Vorwort

Es kommt immer wieder vor, dass zwei Leute, unabhängig voneinander das selbe tun; so auch hier.

Manchmal ist es dann besser, aus zwei halben Sachen ein ganzes zu machen:

Auf vielfachem Wunsch habe ich damit begonnen ein Skript zur TI-Vorlesung zu schreiben. Es soll dabei helfen, sich auf die Vordiplomsprüfung vorzubereiten. Dabei lege ich keinen Wert auf Vollständigkeit, sondern versuche mich auf das Wichtigste zu konzentrieren. Für Fehler im folgenden Text übernehme ich keine Verantwortung. Auch braucht mir niemand seine Anwälte auf den Hals hetzen, falls er das Vordiplom nicht bestehen sollte. Ich versuche nur auszugleichen, was in diesem Semester (WS 02-03) in den Übungsgruppen zu kurz gekommen ist: Nämlich den Umgang mit den Aufgaben zu erleichtern.

Die Vordiplomsprüfung gilt allgemein als nicht ganz einfach. Vor allem der Zeitanatz scheint für viele zu kurz zu sein. Deshalb empfiehlt es sich, als Vorbereitung bereits einige alte Prüfungen zu bearbeiten und sich dabei auf eine Stunde zu beschränken. Außerdem sollte man sich nicht zulange mit einer Aufgabe beschäftigen. Hängt man an einer Stelle, beginnt man am besten an einer anderen.

Insgesamt dauert eine Klausur 60 Minuten und besteht aus 3 - 4 Aufgaben. Eine Aufgabe beschäftigt sich meist im weitesten Sinne mit Widerstandschaltungen. Eine weitere befaßt sich mit Transistoren und eine dritte Aufgabe ist das Optimieren von Schaltnetzen. Optional kommt dann noch eine Aufgabe über Kondensatoren oder Spulen hinzu. Es gibt normalerweise 60 Punkte von denen 20 Punkte erreicht werden müssen.

So, nun aber zum Stoff!!!

Bernd Lutz

Diese Zusammenfassung richtet sich vorwiegend an Hörer der TI-I-Vorlesung an der Uni-Tübingen und an die Teilnehmer einer (meiner ;- ) Übungsgruppe. Sie soll eine Orientierungshilfe beim Durcharbeiten des Stoffes sein; eine Hilfe, Wichtiges von weniger Wichtigem zu unterscheiden. Ich erhebe jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit und konzentriere mich auf die Grundlagen, oh-

ne komplexe Beispiele zu geben. Der Aufteilung dieser Zusammenfassung liegt meine persönliche Anschauung des Stoffes zugrunde; sie enthält das, was *ich* für wichtig halte, nicht was Inhalt der Prüfungen sein wird. Ich hoffe trotzdem, mit dieser Zusammenfassung eine kleine Hilfestellung geben zu können.

Quelle dieser Zusammenfassung sind das in der Vorlesung (TI - I , WS 0203) ausgeteilte Skript und das Buch: Technische Informatik I, Schiffmann/Schmitz

Tübingen, d 21. Januar 2003

Martin Lang

...und da es sich um eine erste Testversion handelt, hoffe ich auf viel konstruktive Kritik. Gerade was Verständlichkeit und eventuelle Lücken angeht, aber auch, was die Korrektheit des Inhaltes betrifft.

Ich werde diese Zusammenfassung Stück für Stück weiter ergänzen.

# Kapitel 2

## Elektrotechnik

### 2.1 Physikalische Grundlagen

#### 2.1.1 Elektrische Ladung

Was bedeutet es, wenn etwas elektrisch geladen ist?

Hierfür sollte man sich ein einfaches Atommodell vor Augen führen. Jeder Stoff besteht aus Atomen. Atome setzen sich im Wesentlichen aus einem Atomkern (der überwiegend aus positiv geladenen Protonen besteht) und den Elektronen (die negativ geladen sind) zusammen. Die Elektronen umkreisen auf bestimmten Laufbahnen den Kern. Ist die Anzahl der Elektronen gleich der Anzahl der Protonen, ist das Atom ungeladen. Umkreisen mehr Elektronen einen Atomkern, so ist das Atom negativ geladen; sind es weniger, so ist das Atom positiv geladen.

Einige Elektronen können, im Gegensatz zum Atomkern, vom Atom wegbe-  
wegt bzw. hinzugefügt werden. Dies ist der Grund, warum man Stoffe elektrisch  
laden kann.

Zwischen zwei verschieden geladenen Stoffen entsteht ein elektrisches Feld.  
Die Feldlinien, die dieses Feld beschreiben, werden so angenommen, dass sie vom  
positiver geladenen Stoff zum negativer geladenen verlaufen; also von + nach -.  
Die Feldlinien beschreiben die Richtung, in der die Kraft des elektrischen Feldes  
wirkt.

Bringt man ein Probeladung in dieses Feld, so bewegt sich eine positive La-  
dung mit den Feldlinien, eine negative gegen die Feldlinien.

Einige Formeln:

das Coulombsche Gesetz:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \cdot r_0 \quad 1C = 1As$$

$$F = E \cdot q$$

die elektrische Feldstärke:

$$E = \frac{F}{q}$$

F : Die Kraft, die auf eine Ladung wirkt [in Newton N]

q : Die Ladung eines Teilchens [in Coulomb C]

Ladung eines Elektrons e:

$$|e| = 1,602 \cdot 10^{-19} C$$

### 2.1.2 Strom, Spannung und Widerstand

Um elektronische Schaltungen verstehen zu können, ist es wichtig, die Zusammenhänge von Spannung, Strom und Widerstand zu begreifen. Die Spannung ist die Voraussetzung, dass überhaupt ein Strom fließen kann. Spannung ist wohl am einfachsten als ein Unterschied zu begreifen:

Hat man beispielsweise einen Draht, der an einem Ende negativ (Elektronenüberschuss) und am anderen Ende positiv (Elektronenmangel) geladen ist, so sind die Enden unterschiedlich geladen. Dieser Unterschied ist die Spannung. Die Ladungen haben das Bestreben, sich auszugleichen. Tun sie dieses, so fließen Elektronen vom negativ geladenen Ende zum positiv geladenen Ende; dies ist Strom.

Die Elektronen fließen über den Draht. Sie haben also einen gewissen Weg zu überwinden, viele kleine Elektronen auf einem schmalen Weg. Es leuchtet ein, dass die da nicht alle gleichzeitig lang können. Sie haben also einen gewissen Widerstand zu überwinden. Ist der Draht dicker, so können mehr Elektronen gleichzeitig fließen, der Widerstand wird also geringer. Wird er dünner, wird der Widerstand größer.

- Bei gleichbleibender Spannung wird der Strom größer, wenn der Widerstand kleiner wird und umgekehrt.
- Bei gleichbleibendem Widerstand muss die Spannung erhöht werden um den Strom zu erhöhen und umgekehrt.

Beschrieben wird obiges mit dem Ohmschen Gesetz:

$$U = R \cdot I \quad R = \frac{U}{I} \quad I = \frac{U}{R}$$

U := die Spannung [in Volt V]

R := der Widerstand [in Ohm  $\Omega$ ]

I := der Strom [in Ampere A]

### 2.1.3 Magnetismus und Induktion

Der für die Elektrotechnik interessante Teil des Magnetismus ist wohl die Induktion. Bei der Induktion bewegt sich ein Leiter (also ein Draht oder so) in einem Magnetfeld, bzw. das Magnetfeld in dem sich der Leiter befindet bewegt oder ändert sich.

Begreift man den Leiter als eine Aufreihung von Atomen, so kann man sich leicht vorstellen, dass das Magnetfeld einen Einfluss auf die geladenen Teilchen in diesen hat. Zur Vereinfachung bleiben wir bei der Variante, dass sich der Leiter bewegt. Bewegt sich dieser Leiter, so bewegen sich auch alle Elektronen in ihm. Ein bewegtes Elektron in einem Magnetfeld wird durch die sog. Lorentzkraft abgelenkt, und zwar günstigerweise so, dass sich die Elektronen an einem Leitungsende häufen; es entsteht also eine Spannung. Als Eselsbrücke gibte es die sog. 'Linke-Hand-Regel': Man spreize Daumen, Zeige- und Mittelfinger wie in einem dreidimensionalen Koordinatensystem voneinander weg. Der Mittelfinger zeigt nun den Verlauf der magnetischen Feldlinien, der Zeigefinger die Bewegungsrichtung des Leiters und der Daumen zeigt die Richtung an, in die das Elektron abgelenkt wird.

Die Lorentzkraft lässt sich mit folgender Formel bestimmen:

$$F_L = q \cdot v \times B$$

$F_L$  : Lorentzkraft  
 $q$  : Die Ladung des abzulenkenen Teilchens  
 $B$  : das Magnetfeld

## 2.2 Gleichstromkreis

### 2.2.1 Widerstandsschaltungen

#### 2.2.1.1 ...nacheinander

Die Grundlagen aus dem vorangegangenen Kapitel lassen sich natürlich auch anwenden. Der einfachste Stromkreis ist wohl ein Widerstand, angeschlossen an einer Spannungsquelle.

Die Spannung über dem Widerstand ist in diesem Fall gleich der Spannung der Spannungsquelle. Der Strom durch den Widerstand (= dem Strom durch die ganze Schaltung) wird durch den Wert bzw. die Grösse des Widerstandes und der anliegenden Spannung bestimmt. (vgl. Ohmsches Gesetz)

Nimmt man nun zwei Widerstände und schaltet diese hintereinander (oder in Serie bzw. in Reihe), so teilt sich die Spannung proportional zu der Grösse auf die Widerstände auf.

Es gilt:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Die Summe der Teilspannungen ist gleich der Gesamtspannung:

$$U_{ges} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

Der Gesamtwiderstand der Schaltung ergibt sich aus der Summe der einzelnen Widerstände:

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Die Ströme durch die Widerstände sind gleich; was klar wird, wenn man sich vorstellt, dass es ja auch nur einen Weg für den Strom gibt; den durch beide Widerstände.

### 2.2.1.2 ...nebeneinander

Schaltet man die Widerstände parallel, so teilt sich der *Strom* entgegengesetzt-proportional zu den Widerständen auf diese auf.

Es gilt:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Die Summe der Teilströme ist gleich dem Gesamtstrom:

$$I_{ges} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Der Gesamtwiderstand der Schaltung errechnet sich aus den Teilwiderständen so:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Die Spannungen über die Widerstände (in diesem Fall auch die der Spannungsquelle) sind gleich.

### 2.2.1.3 Maschen und Knoten

**Kirchhoffsche Regeln** Hier soll es um die gefürchteten Maschen- und Knotenregeln gehen, die auch unter dem Namen Knoff-Hoff-Regeln bekannt wurden. Deshalb ein ganz wichtiger Punkt:

**Wann brauch ich sowas nicht!** Oftmals sehen Schaltungen mit Widerständen recht kompliziert aus, lassen sich aber noch mit den Gesetzen für Reihen- und Parallelschaltung berechnen, was meistens deutlich einfacher ist. Ein Beispiel:

Die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  sind in Reihe geschaltet und können durch einen Gesamtwiderstand  $R_{12}$  ersetzt werden. Anschließend bilden  $R_{12}$ ,  $R_3$  und  $R_4$  eine Parallelschaltung. Auch hier kann man dies durch einen Ersatzwiderstand  $R_{1234}$  ausdrücken. Bei den restlichen Widerständen erhält man nochmals eine Reihenschaltung und eine Parallelschaltung.

Leider gibts kein Geheimrezept, woran man sowas erkennen kann. Es hilft bloß, bereits einige Aufgaben gerechnet zu haben. Allerdings sprechen mehrere Spannungsquellen für die Kirchhoffschen Regeln.

**Maschenregel** Die Maschenregel folgt dem Prinzip, dass sich innerhalb einer Masche, also einem Kreis, den man im Schaltnetz begehen kann, alle Spannungen zu Null addieren. Da Spannungen auch als Potentialdifferenzen interpretiert werden können, muß man am Ende des Kreises wieder dasselbe Potential erreichen, wie zu Beginn. Beispiel:

Beginnend am Startpunkt läuft man gegen den Uhrzeigersinn und erhält:

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = 0$$

Diese Formel kann man nun mit Hilfe der Maschenstroms umwandeln zu:

$$R_1 \cdot I_M + R_2 \cdot I_M + R_3 \cdot I_M + R_4 \cdot I_M = 0$$

Dabei setzt sich  $I_M$  zusammen aus allen Maschenströmen, die durch den entsprechenden Widerstand fließen.

Wiederholt man dies für alle Maschen eines Schaltkreises, so erhält man ein lineares Gleichungssystem, das man nach den Maschenströmen auflösen kann. Zur Auswahl der Maschen sollte man wie folgt vorgehen:

- Die Maschen sollten möglichst klein sein. Lieber eine oder zwei Maschen mehr, dafür ist das Gleichungssystem leichter zu lösen.
- Es müssen alle Widerstände und Spannungsquellen durch mindestens eine Masche erreicht werden.
- Die Richtung der Maschenströme sollte so gewählt werden, dass der Strom aus den Spannungsquellen in der technischen Stromrichtung fließt, also vom Pluspol durch die Widerstände zum Minuspol.
- Durch einen Widerstand dürfen mehrer Maschenströme fließen. In diesem Falle addieren sich die Maschenströme in den aufgestellten Formeln zu einem Gesamtstrom durch diesen Widerstand ( $I_M = I_{M_1} + \dots$ ).

Merkhilfe: Als Erklärungsmodell dient hier der Winterurlaub. Der Startpunkt ist die Talstation des Skilifts. Durch Lifte gewinnt man an Höhe (Potential wird größer), fährt man einen Skihang hinunter, verliert man an Höhe (Potential wird niedriger). Am Ende einer Skifahrt (Masche) erreicht man wieder die Talstation des Lifts, ist also wieder auf gleicher Höhe. Man ist also genausoviele Höhenmeter nach oben gefahren, wie man auch wieder heruntergerodelt ist.

**Knotenregel** Bei der Knotenregel nutzt man aus, dass sich Ladungsträger in einem Schaltkreis nicht in Luft auflösen können. Das heißt, an jedem Punkt innerhalb der Schaltung gilt: Was reingeht, kommt auch irgendwo wieder heraus. Die Summe der zulaufenden und auslaufenden Ströme ist Null.

Zu beachten ist:

- Die Stromrichtungen sollten so gelegt werden, dass alle Ströme vom Pluspol der Spannungsquellen ausgehen und zu den Minuspolen bzw. dem Nullpotential fließen.

- Die Ströme einmal festlegen und anschließend für alle Knoten beibehalten.
- Zulaufende Ströme werden in den Formel als positiv gewertet, abfließende negativ.

Daraus ergeben sich Formel der Art:

$$I_1 \pm I_2 \pm \dots = 0$$

Die Ströme ersetzt man nun durch die Potentialdifferenz an den Widerständen, sowie deren Leitwert. Das entstandene Gleichungssystem löst man nach den Potentialen auf.

Merkhilfe: Einen Knoten kann man sich vorstellen wie eine große Kreuzung. Die Ladungsträger sind Fahrzeuge, die Straßen die Leitungen. Solange es keinen Unfall gibt, fahren so viele Fahrzeug in die Kreuzung rein, wie wieder herausfahren.

**Wann braucht man was?** Meistens reicht es, sich die Aufgabenstellung durchzulesen. Steht es schon in der Aufgabenstellung, ist man aus dem Schneider. Ansonsten hier ein paar Richtwerte:

- Sind Widerstandswerte oder Leitwerte gegeben?
- Werden Ströme oder Potentiale gesucht?
- Ist ein Bezugspotential gegeben?
- Sind die Knoten besonders hervorgehoben, z.b. durch Nummerierung oder besonderen Fettdruck?

Widerstandswerte und gesuchte Ströme bedeuten normalerweise eine Maschenanalyse, die restlichen Punkte eine Knotenanalyse.

Tipp für die Prüfung: Bei umfangreichen Maschen- und Knotenanalysen sollte man zunächst nur das Gleichungssystem aufstellen. Hat man am Ende der Prüfung noch Zeit, kann man es noch lösen. Meistens ist die Zeit aber so knapp, dass man besser zunächst noch die anderen Aufgaben bearbeitet.

Ein gutes Beispiel für eine Maschen und für eine Knotenanalyse findet sich in der Musterlösung des Blattes 3 (WS 02/03) im Anhang.

## 2.2.2 Induktivitäten und Kapazitäten

Spannung und Strom an „Ohmschen Widerständen“ gehorchen einfachen Gesetzen; etwas komplexer wird es bei Induktivitäten und Kapazitäten.

### 2.2.2.1 Kondensator

Ein Kondensator besteht aus zwei „Platten“ und einem Stoff dazwischen ;-). Werden die Platten elektrisch geladen, wirkt zwischen ihnen ein elektrisches Feld, was (in Klade gesprochen) die Ladung beieinander hält. Ist ein Kondensator geladen, so lässt sich an den beiden Platten eine Spannung messen.

Bild

Die „Größe“ eines Kondensators, ist die Kapazität, gemessen in Farad.  
Es gelten folgende Formeln:

Kapazität eines Kondensators:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d}$$

C : Kapazität [in Farad F]

A : Fläche beider Kondensatorplatten [in Quadratmeter  $m^2$ ]

d : Abstand zwischen den Kondensatorplatten [in Meter m]

$\varepsilon$  : Dielektrikumskonstante, Konstante, die die Beschaffenheit des Materials zwischen den Platten beschreibt ( $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_R$  bei Luft :  $\varepsilon = 1$  [ohne Einheit])

Ladung auf einem Kondensator:

$$Q = \frac{\varepsilon \cdot A}{d} \cdot U$$

$$Q = C \cdot U$$

Im Stromkreis verhalten sich Kondensatoren besonders: Wird eine Spannung an einen Kondensator gelegt, so wird dieser aufgeladen. Es fließt solange ein Strom, bis der Kondensator voll ist.

Schließt man einen geladenen Kondensator kurz oder verbindet man die beiden Platten über einen Widerstand, so wird der Kondensator entladen; es fließt so lange ein Strom, bis der Kondensator leer ist.

Es gibt einige „Faustregeln“, die dieses Verhalten einfach beschreiben:

$$\tau = R \cdot C$$

bei  $5 \tau$  ist der Kondensator voll, bzw. leer

bei  $1 \tau$  ist der Kondensator zu 63% geladen

R := der Widerstand, über den der Kondensator ge- bzw. entladen wird

C := Kapazität des Kondensators

Nun ist es aber so, dass man Kondensatoren ja auch miteinander verschalten kann.

Schaltet man sie parallel, addiert sich die Kapazität. Man kann sich das vielleicht am besten so vorstellen: je zwei Platten sind an Plus und je zwei an Minus angeschlossen. Die Platten an einem Pol haben zusammen eine Gesamtfläche. Addiert man die Plattenflächen, addiert sich auch die Kapazität.

Bild

Parallelschaltung von Kondensatoren:

$$C_{ges} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Schaltet man Kondensatoren in Reihe, lässt sich das Ganze so vorstellen:

Es ist von den Kondensatoren einer am Plus- und einer am Minuspol der Spannungsquelle angeschlossen. Es sind hier die Plattenabstände, die sich addie-

ren, woraus sich ergibt, dass die Kapazität kleiner wird.

Bild

Reihenschaltung von Kondensatoren:

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Will man die Spannung an einem Kondensator genauer berechnen, kommt man mit den Faustregeln oftmals nicht weit. Dafür gibt es folgende Formeln:

Spannung an einem kondensator zu einer bestimmten Zeit t:

$$U_c(t) = U_{t0} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad \text{beim laden}$$

$$U_c(t) = U_{t0} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{beim entladen}$$

Strom durch ein RC-Glied, also durch eine Reihenschaltung von Kondensator und Widerstand (siehe Schaltplan):

$$I(t) = \frac{U(t) - U_c(t)}{R}$$

Am Widerstand fällt die Spannung ab „die übrig bleibt“:

$$U_R(t) = U(t) - U_C(t)$$

$U_C(t)$  : Spannung am Kondensator zu einem bestimmten Zeitpunkt t

$U_R(t)$  : Spannung am Widerstand zu einem bestimmten Zeitpunkt t

$I(t)$  : Strom durch Widerstand und Kondensator zu einem bestimmten Zeitpunkt t

$R$  : Wert des in Reihe geschalteten Widerstandes

$C$  : Kapazität des Kondensators

### 2.2.2.2 Spule

Betrachtet man die Eigenschaften einer Spule, kann sie als Gegenstück zum Kondensator betrachtet werden. Während an einem Kondensator die Spannung langsam ansteigt, verspätet sich bei der Spule der Strom.

Wird eine Spule an einer Spannungsquelle angeschlossen, fließt ein Strom. Dieser beginnende Stromfluss erzeugt um die Spule ein Magnetfeld, welches wiederum eine Spannung induziert. Diese Spannung liegt jedoch entgegengesetzt zu angelegter Spannung an, so dass sich die beiden Spannungen schlimmstenfalls aufheben; zumindest aber die angelegte Spannung stark vermindert wird. Der Strom, der gerade anfängt durch die Spule zu fließen, behindert sich quasi selbst.

Das dies nur ein „kurzzeitiger“ Effekt ist, liegt daran, dass nur sich verändernde Magnetfelder Spannungen induzieren. Das Einschalten des Stromes und das daraus resultierende Entstehen des Magnetfeldes reicht aus, um eine relativ hohe

Gegenspannung zu induzieren. Wird der angelegte Strom von der Gegenspannung begrenzt, so wird auch das induzierende Magnetfeld kleiner, also auch die induzierte Gegenspannung. Es kommt zu einer Abnahme der Gegenspannung.

In der Praxis sieht das so aus: Die Spannung wird angelegt, und es vergeht eine gewisse Zeit, bis der Strom voll da ist.

Der Stromanstieg kann durch eine E-Funktion beschrieben werden:

Strom durch eine Spule:

$$I_L = I_0 \cdot (1 - e^{-\frac{R}{L} \cdot t})$$

Spannung an einer Spule:

$$U_L = U_0 \cdot (e^{-\frac{R}{L} \cdot t})$$

$I_L$  := Strom durch eine Spule [in Ampere A]

$I_0$  := der Maximalstrom [in Ampere A]

$U_L$  := Spannung an einer Spule [in in Volt V]

$U_0$  := die angelegt Spannung[in Volt V]

L := Induktivität der Spule (in Henry H)

R := in Reihe geschalteter Widerstand [in Ohm  $\Omega$ ]

Bild

## 2.3 Wechselstromkreis

### 2.3.1 Was ist Wechselstrom

Wechselstrom wechselt im Gegensatz zum Gleichstrom ständig und periodisch die Flussrichtung. Wechselstrom ist das, was bei uns zu Hause aus der Steckdose kommt, was wohl auch damit zusammenhängt, dass er relativ leicht zu erzeugen ist.

Nach dem im Absatz über Spulen schon angerissenen Prinzip, werden in einem bewegten Leiter in einem Magnetfeld (oder in einem ruhenden Leiter in einem bewegten Magnetfeld) durch die Lorentzkraft Ladungen getrennt; es entsteht eine Spannung. Da diese Bewegung sinnvollerweise periodisch hin-und-her geht bzw. Kreisbewegungen sind, wechselt mit der Bewegungsrichtung auch immer die "Richtung" der Spannung.

Das üblichste Bild hierzu ist wohl das von der sich drehenden Leiterschleife in einem festen Magnetfeld.

Bild

Praktischerweise betrachtet man in diesem Fall die Fläche, die von der Leiterschleife eingeschlossen wird. Diese wird, zweidimensional betrachtet, kleiner, bis die Fläche null wird und dann wieder größer, bis die Fläche ihre maximalste Ausdehnung erreicht hat. Und wieder eine Formel:

$$U_i = B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$U_i$  := die induzierte Spannung

$B$  := das Magnetfeld

$A$  := Die Fläche innerhalb der Leiterschleife

$\omega$  := Kreisfrequenz ( $2 \cdot \pi \cdot f$ )

$t$  := die Zeit

Um mit der Wechselspannung (dem Wechselstrom) aber genauso rechnen zu können, wie mit der Gleichspannung

$$U_{eff} = \hat{U} \cdot \sqrt{2}$$

$$I_{eff} = \hat{I} \cdot \sqrt{2}$$

### 2.3.2 Spulen und Kondensatoren

Spulen und Kondensatoren verhalten sich an einer Wechselspannung wie frequenzabhängige Widerstände. Dies sei hier nur kurz mit ein paar Formeln beschrieben:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$Z^2 = R^2 + X^2$$

$X_L$  : Blindwiderstand der Spule

$X_C$  : Blindwiderstand des Kondensators

$Z$  : Schein Widerstand (Widerstand resultiert aus ohmschen und aus Blindteil des Widerstandes)

$R$  : Ohmscher Widerstand

## 2.4 Halbleiter

### 2.4.1 Halbleiter - Der Stoff aus dem die Logik ist

Halbleiter sind Stoffe, die nur unter bestimmten Bedingungen leiten.

Halbleiter bestehen aus Atomen mit vier Valenzelektronen (z.B: Silizium, Germanium)<sup>3</sup>, die in einer Gitterstruktur zusammenhängen. Soll ein Stromfluss möglich werden, so müssen Elektronen aus den Gitterbindungen gelöst werden und in einen energetisch höheren Zustand "wandern" (z.B.: durch Zuführen von Wärme); dies wird auch als ein Übergehen vom Valenzband ins Leitungsband beschrieben.

Um das Ganze zu erleichtern, werden die Halbleiterkristalle bewusst verschmutzt, bzw. dotiert. Zwischen den Halbleiteratomen befinden sich nun Atome

mit 3 bzw. 5 Valenzelektronen. Hierdurch erreicht man, dass es immer Elektronen gibt, die für die Bindungen in der Kristallstruktur nicht benötigt werden, also für den Stromfluss zur Verfügung stehen.

## 2.4.2 Diode

Dioden sind die Einbahnstraßen in der Elektrotechnik. Sie lassen den Strom nur in eine Richtung durch.

Dies wird erreicht, indem man einen p-dotierten Halbleiter (mit Atomen mit 3 Valenzelektronen dotiert) und einen n-dotierten Halbleiter (mit Atomen mit 5 Valenzelektronen dotiert) direkt zusammen bringt. Durch Wechselwirkungen der elektrischen Felder entsteht eine nicht leitende Schicht genau an der Grenze; die sogenannte Sperrschicht. Ist die n-dotierte Seite mit dem Pluspol einer Spannungsquelle verbunden und die p-dotierte Seite mit dem Minuspol, vergrößert sich die Sperrschicht (die freien Elektronen in der n-Zone wandern zur Spannungsquelle, ebenso die "Löcher" - Die potentiellen Ladungsträger wandern also voneinander weg). Schließt man die Diode andersherum an, verringert sich die Sperrschicht und die Diode wird leitend.

Man beachte, dass an einer Diode in Durchlassrichtung stets eine geringe konstante Spannung von ca. 0,2 V (je nach Diodentyp) abfällt; die sogenannte Schleusenspannung.

Dioden werden beispielsweise in Gleichrichtern oder als Freilaufdioden zum Überspannungsschutz verwendet.

Neben der oben beschriebenen "Standardversion" sind einige, relativ häufig vorkommende Arten hier noch aufgeführt:

**Shottky-Dioden** Shottky-Dioden haben einen Metall - Halbleiter - Übergang. Sie wechseln schneller von leitend auf sperrend.

**Zener-Dioden** Zener-Dioden werden in Sperrrichtung betrieben. Ab einer bestimmten Spannung, die je nach Typ einen festen Wert hat, wird sie in Sperrrichtung leitend. Dies ist der sog. Zener-Effekt.

Zener-Dioden werden beispielsweise zur Spannungsstabilisierung verwendet.

**LED (Light emitting Diode) - Leuchtdiode** Leuchtdioden sind Dioden, die leuchten; sagt ja schon der Name ;-).

**Photodiode** Photodioden werden in Sperrrichtung betrieben. Sie werden durch Lichteinfall leitend.

## 2.4.3 Transistor

### 2.4.3.1 Bipolarer Transistor

Bipolare Transistoren unterscheidet man in npn- und pnp-Transistoren. Beide bestehen, vereinfacht ausgedrückt, aus zwei Dioden, wobei sie sich in der Art unterscheiden, wie die Dioden geschaltet sind.

Die prinzipielle Funktionsweise ist, dass über die Spannung und den Strom an der Basis (B) zum Emitter (E) die Stromstärke und die Spannung zwischen

Kollektor (C) und Emitter geregelt wird. Dabei muß die Spannung gemessen von Basis zu Emitter bei npn-Transistoren positiv, bei pnp-Transistoren negativ sein. Diese Spannung bleibt dabei nahezu konstant ( $U_{BE} \approx 0,7V$  bei Silizium). Der Haupteffekt entsteht aus dem Ändern des Basisstroms.

Die einzige wichtige Formel ist:

$$I_C = B \cdot I_B$$

B ist der Stromverstärkungsfaktor des Transistors und gibt an, wie groß der Kollektorstrom bei gegebenem Basistrom werden kann, falls genug Energie von der Spannungsquelle geliefert wird.

Erklärungsmodell: Es müssen wieder die armen Schafe erhalten. Ein Transistor ist ein breiter Weg, durch den die Schafe laufen wollen, weil er zu einer saftigen, grünen Wiese führt. Leider ist der Weg durch ein großes Tor versperrt. Erst wenn einige Schafe das Tor aufziehen, können die anderen Schafe passieren. Lassen die Toröffner wieder los, fällt das Tor wieder zu. Je mehr Schafe ziehen, desto weiter öffnet sich das Tor.

**Transistoren als Verstärker** Diese Aufgaben lassen sich meist graphisch mit Hilfe des Kennlinienfeldes bearbeiten. Das Kennlinienfeld des Transistors ist dabei gegeben (siehe Skript). In dieses muß man zunächst die Widerstandgerade des Kollektorwiderstands eintragen. Dabei geht man wie folgt vor:

1. Den Nullpunkt der Widerstandsgerade suchen. Dazu überlegt man sich, dass der Widerstand  $R_C$  in Reihe zum Kollektor-Emitter-Übergang des Transistors liegt. Die Spannung  $U_0$  teilt sich also am Transistorübergang und  $R_C$  auf. Am Kondensator liegt also keine Spannung an, wenn die komplette Versorgungsspannung am Transistor anliegt. Der Nullpunkt befindet sich also auf der x-Achse bei dem Wert von  $U_0$ .
2. Sinkt die Spannung am Transistorübergang, steigt sie am Widerstand (wegen der Reihenschaltung). Die positive Richtung des Widerstandsgraphen geht also etwas ungewohnt nach links.
3. Erreicht die Spannung am Transistorübergang ( $U_{CE}$ ) 0V, so liegt am Widerstand die ganze Versorgungsspannung an. Daraus kann man mit Hilfe des Widerstandswertes den Stromwert  $I_C$  ausrechnen. An dieser Stelle schneidet die Widerstandsgerade die y-Achse.
4. Verbinde den Ursprung der Widerstandsgerade mit dem Schnittpunkt der y-Achse durch eine Gerade.

Ein Arbeitspunkt einer solchen Schaltung besteht nun aus den Werten Basistrom  $I_B$ , dem Kollektorstrom  $I_C$ , der Spannung  $U_{CE}$  und der Spannung  $U_{RC}$ . Je nach vorgegebenen Werten erhält man sie über den Schnittpunkt der Widerstandsgeraden mit einer der Kurven der Transistorkennlinien. Bei den Spannungswerten muß man noch aufpassen, in welcher Richtung auf der x-Achse abgelesen werden muß.  $U_{CE}$  liegt links vom Schnittpunkt,  $U_{RC}$  rechts davon.

Der Arbeitspunkt des Verstärkers liegt hierbei im Bereich der waagrechten Stromlinien des Transistorkennlinienfeldes.

**Transistor als Schalter** Bei dieser Anwendung des Transistors wird der Basisstrom so hoch gewählt, dass der Widerstand  $R_{CE}$  des Transistors vom Kollektor zum Emitter nahezu verschwindet, solange der Basisstrom fließt. Der Kollektorstrom wird groß. Fließt kein Basisstrom, so wird der Widerstand  $R_{CE}$  sehr groß und es fließt nahezu kein Strom durch den Kollektor. Hierbei benutzt man meist nur npn-Transistoren.

Beispielschaltung: (Glühbirne schalten)

Wird der Schalter geschlossen, leitet der Transistor und die Lampe leuchtet. Bleibt der Schalter offen, fließt kein Basisstrom, der Transistor sperrt und das Lämpchen bleibt dunkel.

Der Arbeitspunkt dieser Schaltung liegt hierbei im Bereich der nahezu senkrechten Stromlinien im Transistorkennlinienfeld.

### 2.4.3.2 Feldeffekttransistor

Bei den Unipolaren Transistoren unterscheidet man normalerweise zwischen *Sperrschicht-Feldeffekttransistoren* (FET) und *Isolierschicht-Feldeffekttransistoren* (MOS-FET). Zeitlich gesehen wurden zuerst die FET's entwickelt, aus ihnen entstanden dann die MOS-Transistoren. Da FET's in der Informatik nur eine untergeordnete Rolle spielen, sie eignen sich nur bedingt als Schalter, konzentriere ich mich auf die MOS-Transistoren.

Ähnlich wie Bipolare Transistoren können auch MOS-Transistoren als Schalter genutzt werden. Für große zu schaltende Ströme sind sie dabei zwar nicht so geeignet wie Bipolare Transistoren, im Bereich der Logikschaltungen, bei denen große Ausgangsleistungen keine große Bedeutung haben, besitzen sie aber einige Vorteile.

- Sie benötigen keinen Drainstrom, sondern nur eine Drain-Source-Spannung (siehe unten). Dadurch belasten sie vorgeschaltene Bauteile nur minimal.
- Der Herstellungsprozeß erlaubt mehr Transistoren pro Flächeneinheit.
- Durch MOS-Transistoren lassen sich Bauteile wie Widerstände simulieren. Logikschaltungen bestehen nur noch aus Transistoren.

**Funktionsweise als Schalter** Für Logikschaltungen werden meist selbstsperrende Transistoren verwendet, deshalb beziehe ich mich in diesem Abschnitt darauf.

Vereinfacht erklärt besteht ein MOS-Transistor zwischen Gate und Source aus einem winzigen Kondensator. Ist der Kondensator geladen, d.h. es liegt eine Spannung zwischen Gate und Source (positiv bei n-Kanal, negativ bei p-Kanal, aber dazu später mehr), so leitet der Transistor einen Strom von Drain nach Source. Ist der Kondensator entladen, d.h. es liegt keine Spannung zwischen Gate und Source, so sperrt der Transistor (bei selbstleitenden Transistoren leitet er trotzdem noch zu einem gewissen Grad). Um den Kondensator zu laden und zu entladen, fließt kurzzeitig ein minimaler Strom, der vernachlässigt werden kann.

Befindet sich der Transistor am Ausgang in Reihe zu einem Widerstand, bedeutet „der Transistor leitet“, dass nahezu die ganze Spannung am Widerstand abfällt. „Der Transistor sperrt“ bedeutet, die ganze Spannung fällt am Transistor ab. Die entsprechende Beschaltung ergibt den Ausgangspegel.

**Unterscheidung der Schaltzeichen** Eine gerne gestellte Frage in Aufgaben ist, den Transistortyp eines Schaltzeichen und deren Funktionsweise zu erkennen. Für MOS-Transistoren gibt es dazu einige Eselsbrücken.

Zunächst besteht das Schaltzeichen immer aus zwei parallelen Strichen:

Linie 1 ist dabei immer ganz durchgängig. Linie 2 gibt an, ob es sich um einen selbstsperrenden oder einen selbstleitenden Transistor handelt. Ist sie durchgängig, liegt ein selbstleitender Transistor vor, ist sie unterbrochen (3 Teile), so handelt es sich um einen selbstsperrenden Transistor. Merke: durchgezogen = leitet ohne angelegte Spannung, unterbrochen = sperrt ohne angelegte Spannung.

Liegt ein selbstsperrender Transistor vor, so muß man noch eine Spannung anlegen. Dies entspricht der Anreicherung, darum heißt das Ding Anreicherungstyp. Damit bleibt für selbstsperrende nur Verarmungstyp.

Der Pfeil gibt an, ob ein n- oder p-Kanal MOS vorliegt. Geht der Pfeil hinein (schwäbisch: *nei*), muß die Spannung zwischen Gate und Source positiv sein (Spannung hinein geben), um einen höheren Drain-Strom zu erhalten. Für Pfeile nach außen gilt die Umkehrung (p-Kanal, Spannung negativ).

## Kapitel 3

# Logikschaltungen

# Kapitel 4

## Formeln

### 4.1 Elektrische Ladung

das Coulombsche Gesetz:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \cdot r_0 \quad 1C = 1As$$

$$F = E \cdot q$$

die elektrische Feldstärke:

$$E = \frac{F}{q}$$

F : Die Kraft, die auf eine Ladung wirkt [in Newton N]

q : Die Ladung eines Teilchens [in Coulomb C]

Ladung eines Elektrons e:

$$|e| = 1,602 \cdot 10^{-19}C$$

### 4.2 Strom, Spannung und Widerstand

Ohmsches Gesetz:

$$U = R \cdot I \quad R = \frac{U}{I} \quad I = \frac{U}{R}$$

U := die Spannung [in Volt V]

R := der Widerstand [in Ohm  $\Omega$ ]

I := der Strom [in Ampere A]

Reihenschaltung von Widerständen:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Die Summe der Teilspannungen ist gleich der Gesamtspannung:

$$U_{ges} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

Der Gesamtwiderstand der Schaltung ergibt sich aus der Summe der einzelnen Widerstände:

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Parallelschaltung von Widerständen:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

die Summe der Teilströme ist gleich dem Gesamtstrom:

$$I_{ges} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

der Gesamtwiderstand der Schaltung errechnet sich aus den Teilwiderständen so:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

### 4.3 Kondensator

Kapazität eines Kondensators:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d}$$

C : Kapazität [in Farad F]

A : Fläche beider Kondensatorplatten [in Quadratmeter  $m^2$ ]

d : Abstand zwischen den Kondensatorplatten [in Meter m]

$\varepsilon$  : Dielektrikumskonstante, Konstante, die die Beschaffenheit des Materials zwischen den Platten beschreibt ( $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_R$  bei Luft :  $\varepsilon = 1$  [ohne Einheit])

Ladung auf einem Kondensator:

$$Q = \frac{\varepsilon \cdot A}{d} \cdot U$$

$$Q = C \cdot U$$

„Faustregeln“ für den groben Überblick die Ladung eines Kondensators betreffend:

$$\tau = R \cdot C$$

bei  $5 \tau$  ist der Kondensator voll, bzw. leer

bei  $1 \tau$  ist der Kondensator zu 63% geladen

$R$  := der Widerstand, über den der Kondensator ge- bzw. entladen wird

$C$  := Kapazität des Kondensators

Parallelschaltung von Kondensatoren:

$$C_{ges} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Reihenschaltung von Kondensatoren:

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Spannung an einem Kondensator zu einer bestimmten Zeit  $t$ :

$$U_C(t) = U_{t0} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad \text{beim laden}$$

$$U_C(t) = U_{t0} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{beim entladen}$$

Strom durch ein RC-Glied, also durch eine Reihenschaltung von Kondensator und Widerstand (siehe Schaltplan):

$$I(t) = \frac{U(t) - U_C(t)}{R}$$

Am Widerstand fällt die Spannung ab „die übrig bleibt“:

$$U_R(t) = U(t) - U_C(t)$$

$U_C(t)$  := Spannung am Kondensator zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t$

$U_R(t)$  := Spannung am Widerstand zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t$

$I(t)$  := Strom durch Widerstand und Kondensator zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t$

$R$  := Wert des in Reihe geschalteten Widerstandes

$C$  := Kapazität des Kondensators

## 4.4 Spule

Strom durch eine Spule:

$$I_L = I_0 \cdot (1 - e^{-\frac{R}{L} \cdot t})$$

Spannung an einer Spule:

$$U_L = U_0 \cdot (e^{-\frac{R}{L} \cdot t})$$

$I_L$  : Strom durch eine Spule [in Ampere A]

$I_0$  : der Maximalstrom [in Ampere A]

$U_L$  : Spannung an einer Spule [in Volt V]

- $I_0$  : die angelegte Spannung [in Volt V]  
 $L$  : Induktivität der Spule (in Henry H)  
 $R$  : in Reihe geschalteter Widerstand [in Ohm  $\Omega$ ]

## 4.5 Wechselspannung

$$U_i = B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

- $U_i$  : die induzierte Spannung  
 $B$  : das Magnetfeld  
 $A$  : Die Fläche innerhalb der Leiterschleife  
 $\omega$  : Kreisfrequenz ( $2 \cdot \pi \cdot f$ )  
 $t$  : die Zeit

$$U_{eff} = \hat{U} \cdot \sqrt{2}$$

$$I_{eff} = \hat{I} \cdot \sqrt{2}$$

## 4.6 Kondensator und Spule an Wechselspannung

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$Z^2 = R^2 + X^2$$

- $X_L$  : Blindwiderstand der Spule  
 $X_C$  : Blindwiderstand des Kondensators  
 $Z$  : Schein Widerstand (Widerstand resultiert aus ohmschen und aus Blindteil des Widerstandes)  
 $R$  : Ohmscher Widerstand