

studienbücher

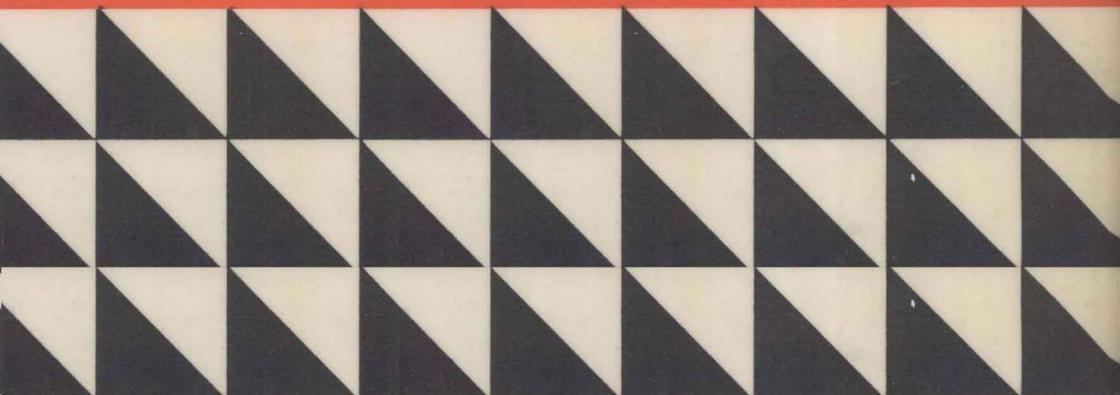
der technischen wissenschaften

Erich Leonhardt

Grundlagen der Digitaltechnik

Eine systematische
Einführung

Carl Hanser Verlag München Wien



Leonhardt · Grundlagen der Digitaltechnik

Studienbücher

der Technischen Wissenschaften



Grundlagen der Digitaltechnik

Eine systematische Einführung

von Prof. Dipl.-Ing. Erich Leonhardt

Mit 322 Bildern, 112 Tabellen, 151 Beispielen
und 14 vollständig durchgerechneten Übungsaufgaben



Carl Hanser Verlag München Wien 1976

Prof. Dipl.-Ing. Erich Leonhardt
Dozent an der Fachhochschule Konstanz

Es wird keine Gewähr dafür übernommen,
daß die angegebenen Schaltungen frei von Schutzrechten sind.

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Leonhardt , Erich

Grundlagen der Digitaltechnik : e.systemat.Einf.
(Studienbücher der technischen Wissenschaften)
ISBN 3-446-12158-7

Alle Rechte vorbehalten
© 1976 Carl Hanser Verlag, München Wien
Gesamtherstellung: Sellier GmbH Freising
Umschlaggestaltung: Udo M. Geissler
Printed in Germany

Vorwort

Seit es gelungen ist, digitale Bauelemente in Form von integrierten Schaltkreisen sehr preiswert herzustellen, hat die Digitaltechnik eine außerordentlich große Bedeutung erlangt. Die Steuerung und Regelung moderner Maschinen ist heute ohne digitale Bau-Elemente nicht mehr denkbar.

Während in der Meßtechnik noch vor Jahren ausschließlich analoge Geräte verwendet wurden, erobern sich heute digitale Geräte wegen der problemlosen Ablesbarkeit und der erreichbaren höheren Genauigkeit immer mehr Einsatzgebiete. Digitale Meßgeräte mit gleichen Meßbereichen sind nicht mehr viel teurer als die entsprechenden analogen Meßgeräte.

Zu einer geradezu stürmischen Entwicklung hat die Digitaltechnik in der Datenverarbeitung geführt. Noch ist es nicht lange her, daß der Rechenschieber (ein analoges Gerät) der ständige Begleiter der Ingenieure und Techniker war. Heute ist er weitgehend von den digitalen Taschenrechnern verdrängt worden.

Der Bedeutung der Digitaltechnik wurde bereits an vielen Universitäten, Fachhochschulen, Technikerschulen durch Einführung des Faches Digitaltechnik Rechnung getragen. Dieses Buch entstand aus meinen Vorlesungen über Digitaltechnik an der Fachhochschule Konstanz. Diese werden als Experimentalvorlesungen gehalten. Jeder Student kann die abgeleiteten kontaktlosen Schaltungen sofort auf einem Simulationsmodell mit integrierten Bauelementen nachbauen. Es werden deshalb die Anschlußanordnungen einiger wichtiger, integrierter Schaltkreise angegeben.

Es wird besonderer Wert auf eine systematische Einführung in die Methoden und Probleme der Digitaltechnik gelegt. Um das Verständnis für digitale Schaltungen zu fördern, wird zunächst in vielen Fällen eine klassische Schaltung mit Schützen, Relais und Schaltern untersucht und dann gezeigt, wie das gleiche Problem kontaktlos gelöst werden kann. Bewußt wird auf jeden Ballast verzichtet. Es werden nur wichtige und grundlegende Probleme und Schaltungen untersucht und erläutert.

Die Anforderungen an die Bauelemente sind entsprechend dem geplanten Einsatz unterschiedlich. Während bei EDV-Anlagen eine möglichst schnelle Informationsverarbeitung und eine große Funktionsdichte wichtig ist, ist bei industriellen Steuerungen und Regelungen ein möglichst großer Störabstand erwünscht. Um diese Anforderungen erfüllen zu können, wurden unterschiedliche Bauelemente entwickelt.

Die abgeleiteten Methoden und Gesetze gelten sowohl für Elemente der klassischen Logik, als auch für moderne, hochintegrierte Bauelemente. Alle Schaltungen wurden mit Bauelementen in TTL-Technik sowohl in der Vorlesung, als auch im Labor für Digitaltechnik der Fachhochschule Konstanz aufgebaut und getestet.

Auf die Innenschaltung der verwendeten Bauelemente wird nur kurz eingegangen. Zum Verständnis des Stoffes sind keine besonderen Kenntnisse der Elektronik erforderlich. Ebenso werden keine besonderen Kenntnisse in Mathematik vorausgesetzt. Grundkenntnisse der gewöhnlichen Algebra und der Mengenlehre erleichtern jedoch die Einarbeitung.

Es ist mir ein Bedürfnis dem C. Hanser Verlag für das Eingehen auf meine Wünsche zu danken. Insbesondere danke ich für die dreifarbigte Ausführung. Sehr sorgfältig hat die Druckerei Sellier die dreifarbigten Zeichnungen nach meinen Entwürfen gestaltet. Herrn Prof. Habermann danke ich sehr für die vorzügliche Beratung und das Mitlesen der Korrekturen. Ebenso danke ich meinen Assistenten Herrn Ing. grad M. Wuttig und Herrn Ing. grad R. Haas für das Mitlesen der Korrekturen und für wertvolle Anregungen.

Allensbach, im Januar 1976

Erich Leonhardt

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Inhaltsverzeichnis	7
1. Einleitung	11
1.1 Analoge und digitale Größen	11
1.2 Grundbegriffe der Schaltalgebra	12
1.3 Übungsaufgaben zu 1	18
2. Die logischen Verknüpfungen	19
2.1 Die UND-Verknüpfung, Konjunktion oder Boolesches Produkt (AND)	19
2.2 Die ODER-Verknüpfung (OR), Disjunktion oder Boolesche Summe	23
2.3 Exklusiv-ODER (Ausschließendes ODER)	26
2.4 NOR-Verknüpfung (negiertes OR = NOR)	29
2.5 NAND-Verknüpfung (negiertes AND = NAND)	32
2.6 Die Verknüpfung zweier Variablen	35
2.7 Die Wired-Verknüpfungen	37
2.7.1 Die Wired-ODER-Verknüpfung (Parallel-ODER = Phantom-ODER)	37
2.7.2 Die Wired-AND-Verknüpfung (Parallel-UND = Phantom-UND)	37
2.8 Zusammenstellung der gebräuchlichen Schaltzeichen	40
2.9 Aufstellung der Schaltungsgleichung	40
2.10 Ermittlung der Funktionstabelle aus der Schaltfunktion	42
2.11 Übungsaufgaben zu 2	44
3. Grundgesetze der Schaltalgebra	46
3.1 Die Postulate der Schaltalgebra	46
3.2 Theoreme mit einer Variablen	48
3.3 Theoreme für zwei und mehr Variable	53
3.3.1 Die kommutativen Gesetze der Schaltalgebra	53
3.3.2 Die assoziativen Gesetze	54
3.3.3 Die distributiven Gesetze	56
3.3.4 Die Absorptionsgesetze	60
3.4 Die Theoreme von De Morgan	67
3.5 Zusammenstellung der wichtigsten Gesetze der Schaltalgebra	71
3.5.1 Gesetze, die mit der allgemeinen Algebra übereinstimmen	71
3.5.2 Gesetze, die in der gewöhnlichen Algebra nicht gültig sind	72
3.6 Vorrangregeln	72
3.7 Aufbau der wichtigsten Verknüpfungsglieder mit NAND- und NOR-Gliedern	73
3.7.1 Aufbau mit NAND-Gliedern	73
3.7.2 Aufbau mit NOR-Gliedern	75
3.8 Die Normalformen der Schaltalgebra	76
3.8.1 Die disjunktive Normalform (DNF)	76
3.8.2 Die konjunktive Normalform (KNF)	77
3.8.3 Vergleich der disjunktiven mit der konjunktiven Normalform	78
3.9 Übungsaufgaben zu 3	82
4. Vereinfachungsverfahren	83
4.1 Vereinfachung mit den Theoremen der Schaltalgebra	83

4.2 Vereinfachung mit dem Karnaugh-Diagramm	85
4.2.1 Das Karnaugh-Diagramm für 2 Variable	85
4.2.2 Das Karnaugh-Diagramm für 3 Variable	89
4.2.3 Das Karnaugh-Diagramm für 4 Variable	93
4.2.4 Karnaugh-Diagramme für mehr als 4 Variable	99
4.2.5 Verwendung des Karnaugh-Diagramms zur Bildung der Verknüpfung von Schaltfunktionen	100
4.2.6 Vereinfachung von Schaltgruppen, bei denen im Karnaugh-Dia- gramm gleiche Felder belegt sind	104
4.3 Das Vereinfachungsverfahren nach Quine – McClusky	106
4.4 Übungsaufgaben zu 4.	112
5. Einige wichtige Schaltungen	113
5.1 Einfache Zuordner	113
5.2 Vergleichs-Komparator	115
5.3 Multiplexer	117
5.4 „Zwei- von Drei“-Auswahl	117
5.5 Übungsaufgaben zu 5.	118
6. Für die Digitaltechnik wichtige Zahlensysteme	119
6.1 Das Dualsystem	119
6.1.1 Umwandlung von Dualzahlen in Dezimalzahlen	119
6.1.2 Umwandlung von Dezimalzahlen in Dualzahlen	121
6.2 Das Oktalsystem	122
6.2.1 Umwandlung von Oktalzahlen in Dezimalzahlen	122
6.2.2 Umwandlung von Dezimalzahlen in Oktalzahlen	123
6.3 Das Sedezimalsystem	123
6.3.1 Umwandlung von Sedezimalzahlen in Dezimalzahlen	123
6.3.2 Umwandlung von Dezimalzahlen in Sedezimalzahlen	124
6.3.3 Umwandlung von Sedezimalzahlen in Dualzahlen in Tetradendar- stellung	125
6.3.4 Umwandlung von Dualzahlen in Sedezimalzahlen	125
7. Arithmetik in verschiedenen Zahlensystemen	126
7.1 Arithmetik im Dualsystem	126
7.1.1 Addition im Dualsystem	126
7.1.1.1 Ausführung der dualen Addition mit digitalen Bausteinen.	126
7.1.2 Subtraktion im Dualsystem	131
7.1.2.1 Ausführung der Subtraktion mit digitalen Bausteinen	132
7.1.3 Multiplikation im Dualsystem	140
7.1.4 Division im Dualsystem	140
7.2 Arithmetik im Oktalsystem	141
7.2.1 Addition im Oktalsystem	141
7.2.2 Subtraktion im Oktalsystem	141
7.3 Arithmetik im Sedezimalsystem	141
7.3.1 Addition im Sedezimalsystem	141
7.3.2 Subtraktion im Sedezimalsystem	143
8. Codierung	144
8.1 Die tetradischen Codes	145
8.1.1 Der BCD-Code (früher Dualcode genannt)	146

8.1.2	Der 3-Excess-Code	146
8.1.3	Der Aiken-Code	147
8.1.4	Der Gray-Code	148
8.1.5	Glixon- und O'Brien-Code (einschrittige-progressive Codes)	151
8.2	Codes mit anderen Stellenzahlen auch „m aus n“ Codes genannt	153
8.3	Codes für Zahlen und Buchstaben (Alphanumerische Codes)	154
8.3.1	Der Sedezimalcode	155
8.3.2	Der Lochkartencode	156
8.3.3	Die Lochstreifencodes	157
8.3.3.1	8-Spurcode	158
8.3.3.2	5-Spurlochstreifencodes	159
8.4	Fehlererkennung und Fehlerkorrektur bei der Übertragung digitaler Informationen	161
8.4.1	Fehlererkennung	162
8.4.1.1	Fehlererkennung durch Pseudoworte	162
8.4.1.2	Fehlererkennbare Codes	163
8.4.1.3	Fehlererkennung durch Paritätsprüfung (parity-check)	163
8.4.1.4	Fehlererkennung durch Prüfzeichen	164
8.4.2	Fehlerkorrektur	165
8.5	Codewandler	166
8.5.1	Codierer	166
8.5.2	Decodierer (Decoder)	168
8.5.2.1	Decoder für den 2 Bit-Dualcode	168
8.5.2.2	Decoder für den BCD-Code in den 1 aus 10-Code	169
8.5.3	Codekonverter-Schaltungen	171
9.	Schaltwerke (Sequentielle Schaltungen – Folgeschaltungen – Flipflops)	175
9.1	Schaltwerke mit Kontakten	175
9.1.1	Schaltungen für dominierendes Löschen	175
9.1.2	Schaltung für dominierendes Setzen	177
9.2	Kontaktlose Schaltwerke	180
9.2.1	Basis-Flip-Flops	180
9.2.1.1	Basis-Flip-Flop aus NOR-Gattern (RS-Flip-Flop)	180
9.2.1.2	Basis-Flip-Flop mit NAND-Gattern	184
9.3	Das getaktete RS-Flip-Flop	185
9.4	Das D-Flip-Flop	186
9.5	Flip-Flops mit Zwischen-Speicherung (Zähl-Flip-Flops)	188
9.5.1	Das RS-Master-Slave-Flip-Flop	188
9.5.2	Das JK-Master-Slave-Flip-Flop	189
9.5.3	Das T-Flip-Flop	193
9.6	Zusammenstellung der Schaltfolgetabellen der behandelten FF-Typen	194
9.6.1	Flip-Flops mit zwei Eingängen	194
9.6.2	Flip-Flops mit einem Eingang	195
9.7	Übungsaufgaben zu 9.	195
10.	Zählschaltungen	196
10.1	Asynchrone Zähler (seriengesteuerte Zähler)	196
10.1.1	Asynchroner Zähler für den Dualcode zum Zählen von 0 bis 3 mit JK bzw. T-FFs	196

10.1.2	Asynchrone Zähler im 8421-Code (BCD-Code) mit JK-MS-FFs . . .	199
10.2	Synchronzähler (parallel-gesteuert)	203
10.2.1	Synchronzähler im Dual-Code mit JK-MS-FFs (vorwärts 0–3) . . .	203
10.2.2	Synchronzähler für den BCD-Code (8421) mit JK-MS-FFs	205
11.	Frequenzteiler (Untersetzer)	208
11.1	Geradzählige Teiler	208
11.2	Ungerade Teiler	208
12.	Register	211
12.1	Schieberegister	211
12.1.2	Schieberegister mit Paralleleingabe und Serienaussgabe (Parallel-Serienumsetzer)	213
13.	Digital-Analogumsetzer (DAU)	215
14.	Analog-Digitalumsetzer (ADU)	217
14.1	ADU nach dem Frequenzverfahren	217
14.2	ADU nach dem Sägezahnverfahren	218
15.	Schaltkreissysteme	220
15.1	Diodenlogik	220
15.1.1	ODER-Verknüpfung	220
15.1.2	UND-Verknüpfung	221
15.2	Dioden-Transistor-Logik (DTL)	222
15.3	Transistor-Transistor-Logik (TTL)	225
16.	Lösungen der Übungsaufgaben	227
Lösungen zu 1	. . . . .	228
Lösungen zu 2	. . . . .	228
Lösungen zu 3	. . . . .	235
Lösungen zu 4	. . . . .	236
Lösungen zu 5	. . . . .	239
Lösungen zu 9	. . . . .	240
	Literaturnachweise	243
	Schrifttum	243
	Stichwortverzeichnis	245
	Anhang (Karnaugh-Diagramme für vier Variable zum üben)	250

1. Einleitung

1.1 Analoge und digitale Größen.

Die Darstellung von Größen kann auf zweierlei Weise erfolgen: einmal in analoger, zum anderen in digitaler Form.

So ist ein analoges Signal dadurch charakterisiert, daß innerhalb eines bestimmten Bereichs unendlich viele Größen kontinuierlich darstellbar sind.

Bei einem Vielfachinstrument ist der Zeigerausschlag direkt proportional dem fließenden Strom (Bild 1.1 a).

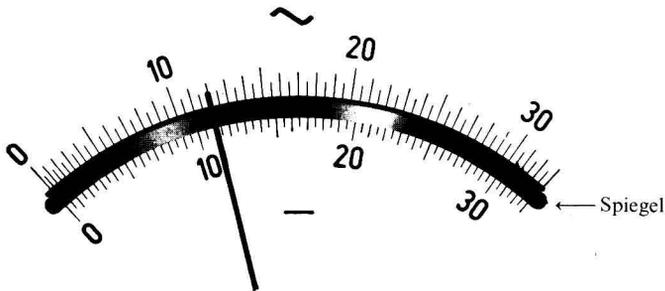


Bild 1.1 a Analoge Anzeige eines Amperemeters

Die Ablesegenauigkeit kann durch einen unterlagerten Spiegel erhöht werden. Dadurch wird der sog. Parallaxefehler vermieden. Durch Verlängerung des Zeigers kann die Empfindlichkeit und damit die Meßgenauigkeit erhöht werden. Dies wird bei Instrumenten mit Lichtzeigern ausgenutzt. Am Skalenende wird die Meßgröße am genauesten gemessen. Vorteilhaft bei diesen Instrumenten ist, daß die Tendenz der Änderung der Meßgröße erkannt werden kann.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei der digitalen Größendarstellung. Hier kann nur eine endliche Zahl von Informationsgrößen zur Darstellung gebracht werden, wobei die Anzeige durch Ziffern erfolgt. Bei dieser Darstellung ist kein Ablesefehler möglich (Bild 1.1 b).

1	2,	0	0	A
---	----	---	---	---

Bild 1.1 b
Digitale Anzeige eines Amperemeters

Die Genauigkeit der Messung läßt sich hier durch Hinzufügen weiterer Stellen steigern. Der Begriff „Digital“ wurde von dem englischen Wort „digit“ (Ziffer, Zahl) abgeleitet. Es wird damit die zahlenmäßige oder numerische Darstellung einer Größe gekennzeichnet. Im allgemeinen Sprachgebrauch spricht man von einer digitalen Technik, wenn schaltende Elemente verwendet werden.

1.2 Grundbegriffe der Schaltalgebra

Die Schaltalgebra ist zu einem außerordentlich wichtigen Hilfsmittel der Digitaltechnik geworden. Obwohl die Boolesche Algebra [1] schon lange bekannt war, wurde sie erst in jüngster Zeit in der Digitaltechnik benützt um Schaltungen zu beschreiben und zu vereinfachen. Der englische Mathematiker Boole (1815–1864) formulierte logische Zusammenhänge in einer zweiwertigen Logik. Die Aussagen „wahr“ und „nicht wahr“ bzw. „falsch“ bildeten die Voraussetzungen für bestimmte Schlußfolgerungen. Shannon [2] schuf daraus durch Übertragung dieser Aussagen auf Schaltprobleme die Schaltalgebra.

Den genannten Aussagen entsprechen in der Schaltalgebra zwei genau definierte Schalterstellungen. Man unterscheidet zwischen Schalter „offen“ und Schalter „geschlossen“

Beispiel 1.1 Ein- und Ausschalten einer Lampe (Bild 1,2a).

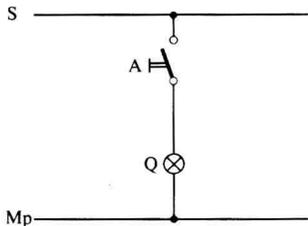


Bild 1.2a Ein- und Ausschalten der Lampe Q mit Schalter A

Die Lampe Q in Bild 1.2a brennt nur, wenn der Schalter A geschlossen ist. Sie erlischt, wenn der Schalter geöffnet wird. Der Ausgang Q (Lampe brennt, oder erlischt) ist eindeutig vom Zustand des Eingangs A (Schalter geschlossen bzw. offen) abhängig.

Verbraucher mit einer größeren Leistungsaufnahme werden mit Schützen geschaltet. Bild 1.2b zeigt den Stromlaufplan für das Ein- und Ausschalten des Wechselstrommotors Q mit dem Schütz C. Beispiel 1.2 (Bild 1.2b).

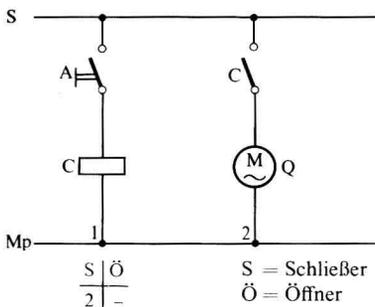


Bild 1.2b Ein- und Ausschalten des Motors Q mit Schütz C

S = Schließer
Ö = Öffner

Zur Darstellung von Schaltungen mit Kontakten wird der Stromlaufplan verwendet. In diesem werden die Teile von Schaltern und Schützen unabhängig vom mechanischen Aufbau dargestellt. Bei Schützen wird angegeben in welchen Stromkreisen die zugehörigen Kontakte eingebaut sind. In Bild 1.2b ist ein Schließer des Schützes C in Stromkreis 2.

Alle Schalter und Kontakte werden in der Ruhelage dargestellt.

Um einen leichteren Übergang von den Schaltungen mit Kontakten zu kontaktlosen Schaltungen zu erhalten, werden vielfach nicht die genormten Bezeichnungen (h für Lampe, b für Schalter) verwendet. Für die Eingänge der Schaltungen (meistens Schalter) werden die ersten Buchstaben des Alphabets (A, B, C, D usw.) verwendet. Die Ausgänge der Schaltung erhalten die Bezeichnung Q. (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)

Die Funktionsweise der Schaltung in Bild 1.2b:

Mit dem Schalter A wird das Schütz C eingeschaltet.

Der Schließer des Schützes (Arbeitskontakt) C im Stromkreis 2 schaltet den Motor Q ein.

Den beiden Beispielen 1.1 und 1.2 ist gemeinsam, daß der Ausgang Q eine eindeutige Funktion des Eingangs A darstellt. In beiden Fällen ist am Ausgang der Betriebszustand vorhanden (Lampe brennt, bzw. Motor läuft), wenn der Schalter A geschlossen ist. Da A nur zwei Zustände annehmen kann (Schalter geschlossen und Schalter offen), nennt man A eine binäre Variable. Die beiden Zustände werden nach DIN 41 785 mit H und L bezeichnet.

Es entspricht:

Dem geschlossenen Schalter : H (High)

Dem geöffneten Schalter : L (Low)

In allen elektronischen Schaltungen werden den beiden Schaltzuständen Potentialangaben zugeordnet.

Das Potential der H (High)-Werte liegt näher bei + Unendlich (z. B.: + 5 V).

Das Potential der L (Low)-Werte liegt näher bei – Unendlich (z. B.: 0 V).

Eine Unterscheidung zwischen positiver und negativer Logik ist nicht mehr erforderlich. Diese Potentialzuordnung entspricht der sog. positiven Logik.

Die Angabe L deutet also immer auf den tieferen Spannungspegel hin (Low!).

Früher kennzeichnete L oder 1 den höheren Spannungswert und 0 den niedrigen.

Alle Schaltungen können durch eine Schaltfunktion oder Schaltungsgleichung beschrieben werden. Sie lautet für vorstehende Beispiele:

$$Q = A \quad (1.1) \quad (\text{Identität})$$

Man spricht: Q ist vorhanden, wenn A vorhanden ist. Nur wenn der Schalter A geschlossen (H) ist, läuft der Motor bzw. brennt die Lampe Q.

Der Zusammenhang zwischen der Eingangsgröße A und der Ausgangsgröße Q kann auch durch die Funktionstabelle beschrieben werden (Tabelle 1.1). Diese wird manchmal auch Wahrheitstabelle genannt.

	A	Q
1	L	L
2	H	H

Tabelle 1.1
Funktionstabelle für die Schaltung
von Bild 1.2a und Bild 1.2b (Identität)

1. Zeile: Solange der Schalter A offen (L) ist (gezeichnete Stellung) kann die Lampe Q nicht brennen bzw. der Motor Q nicht laufen (L).

2. Zeile: Wenn der Schalter A geschlossen (H) ist, brennt die Lampe Q bzw. läuft der Motor Q (H).

Die Schaltzustände am Ausgang sind identisch mit den Schaltzuständen am Eingang, deshalb nennt man diese Zuordnung Identität.

Eine weitere Darstellungsmöglichkeit ist das Impuldiagramm. In diesem Diagramm werden als Funktion der Zeit die Zustände der Eingangs- und der Ausgangsgrößen aufgetragen. Zu vorstehenden Beispielen ergibt sich folgendes Impuldiagramm: (Bild 1.3)

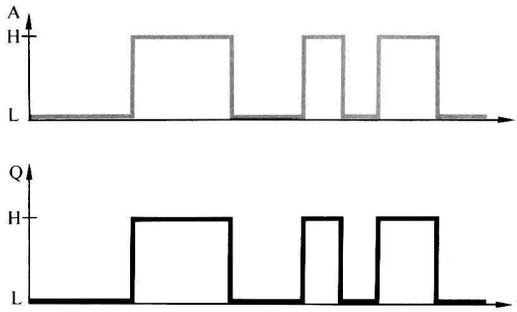


Bild 1.3 Impuldiagramm der Identität

Aus dem Impuldiagramm folgt: Wenn der Schalter A geschlossen (H) ist, ist auch am Ausgang H vorhanden.

Die meisten Schütze besitzen sowohl Schließer (S), die früher Arbeitskontakte genannt wurden, als auch Öffner (Ö), früher Ruhekontakte genannt.

Beispiel 1.3: In einer Schaltung soll der Schaltzustand eines Schützes mit einer Signallampe angezeigt werden. Die Lampe soll leuchten, wenn das Schütz *nicht* eingeschaltet ist. (Bild 1.4)

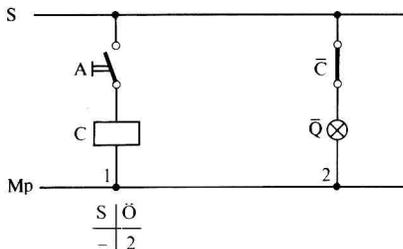


Bild 1.4 Schalten der Lampe \bar{Q} mit dem Öffner \bar{C} des Schützes C (Beispiel 1.3)

Im Ruhezustand leuchtet die Lampe \bar{Q} , da der Öffner des Schützes \bar{C} (Ruhekontakt) geschlossen ist. Wird der Schalter A geschlossen, so erlischt die Lampe. Allgemein: **Ausgang Q ist nicht vorhanden (L), wenn A vorhanden (H) ist.**

Man nennt diesen Zusammenhang Negation, Komplement oder logisches Nicht. Die Negation wird durch einen Strich über der Variablen gekennzeichnet: \bar{A} . Man spricht: „A nicht“. Als Schaltfunktion für die Schaltung Bild 1.4 ergibt sich:

$\bar{Q} = A$ oder $Q = \bar{A}$ 1.2 Negation

Mit der Funktionstabelle kann dieser Zusammenhang ebenfalls beschrieben werden.

	A	\bar{Q}
1	H	L
2	L	H

Tabelle 1.2 Funktionstabelle der Negation

1. Zeile: Schalter A geschlossen (H); Lampe leuchtet nicht (L).

2. Zeile: Schalter A geöffnet (L); Lampe leuchtet (H).

Das Impulsdiagramm der Negation zeigt Bild 1.5.

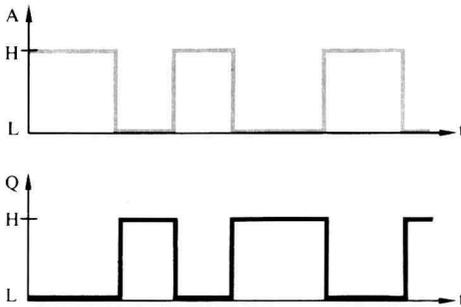


Bild 1.5 Impulsdiagramm der Negation

Immer wenn Eingang A vorhanden ist (H), ist der Ausgang Q nicht vorhanden (L). Als Schaltzeichen für die Negation wird nach DIN 40 700 vorgeschlagen (Bild 1.6 a, b und c):



Bild 1.6 a, b, c
Schaltzeichen der Negation (Inverter)

Alle drei Schaltzeichen (1.6 a, b und c) sind gebräuchlich. Hier wird das Schaltzeichen nach Bild 1.6 a bevorzugt. Ganz allgemein bedeutet der Punkt in diesen Schaltzeichen eine Negation. Diese Negation wird in elektronischen Schaltungen durch einen Transistor in Emitterschaltung erreicht. Dieser bewirkt gleichzeitig eine Verstärkung. Schaltglieder, die diese Bedingungen erfüllen, nennt man auch **Inverter**.

Mit integrierten Bausteinen gibt es mehrere Möglichkeiten, Negationen (Inverter) aufzubauen.

Die Anschlußanordnung eines Bauelementes, das nur Inverter enthält, zeigt Bild 1.7. In diesem Element sind sechs Inverter integriert.

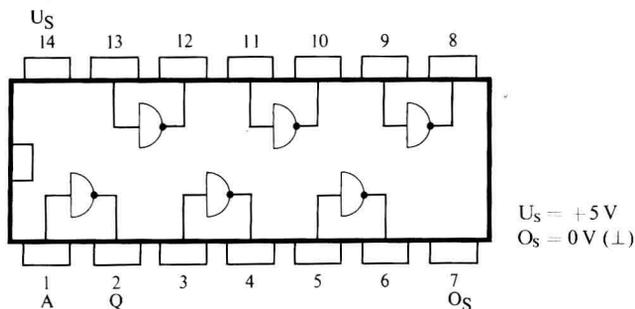


Bild 1.7 Sechsfacher Inverter (FLH 211 Siemens)
Anschlußanordnung (Ansicht von oben)

In den betrachteten Schützsaltungen wurde einmal der Schließer des Schützes C benutzt (Bild 1.2). Im Bild 1.4 wurde der Öffner verwendet. Werden in einer Schaltung beiden Kontakten Signallampen zugeordnet, so ergibt sich folgendes Bild: (Bild 1.8) Beisp. 1.4.

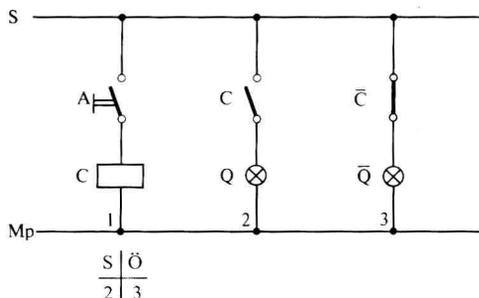


Bild 1.8 Anzeige des Schaltzustandes von Schließer und Öffner
des Schützes C (Beispiel 1.4)

Diese Schaltung führt zu folgender Funktionstabelle (Tabelle 1.3):

	A	Q	\bar{Q}
1	H	H	L
2	L	L	H

Tabelle 1.3
Funktionstabelle zur Schaltung Bild 1.8