

SIEGFRIED

Einführung in die digitale Steuerungstechnik

**Schaltalgebra, Bausteine und
Steuerungsprobleme im
Selbstunterricht und in der Praxis**

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN



Damit Sie den Faden nicht verlieren

SIEGFRIED, Dipl.-Ing. Hans-Joachim

Leitfaden der elektronischen Steuerungs- und Regelungstechnik

Teil 1

Elektronische Steuerungstechnik.

2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage 1974. 282 Seiten mit 292 Abbildungen und zahlreichen Tabellen. Lwstr-kart. DM 30.–

ISBN 3-7723-5252-9

Das Fachbuch entstand aus der Unterrichtspraxis. Vorausgesetzt werden die Kenntnisse der elektronischen Grundlagen und Bausteine. – Zu dem Inhalt: Die Schaltalgebra (auch Boole'sche Algebra) wird ausführlich als Grundlage für logische Verknüpfungen gelehrt. Darauf geht der Verfasser auf die steuerungstechnischen Bausteine (Verknüpfungsglieder, Schaltverstärker, Stellglieder) ein und leitet dann zu den Steuerungsproblemen der Energieelektronik über. Anwendungsfragen der Praxis ergänzen die theoretischen Überlegungen.

Aus dem Inhalt: Grundbegriffe der Steuerungstechnik (Der Begriff „Steuerung“; Analoge und digitale Steuerglieder). Schaltalgebra. Bausteine der Steuerungstechnik. Anwendungen. Steuerungsprobleme aus der Energieelektronik. Lösungen der Übungs- und Wiederholungsaufgaben.

Teil 2

Grundlagen und Grundsicherungen der Regelungstechnik. 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage 1976. 308 Seiten

mit 190 Abbildungen, darunter 53 zweifarbige Diagramme und 15 Tabellen. Lwstr-kart. DM 30.–

ISBN 3-7723-5842-X

Diese elektronische Regelungstechnik ist anschaulich und frei von mathematischem Ballast. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht der Analog-Rechenverstärker. Weil er verhältnismäßig preiswert ist, können die erprobten Schaltungen nachgebaut und untersucht werden. Mit den hier beschriebenen Versuchen und Demonstrationen kann auch der Nichtelektroniker die Grundlagen der Regelungstechnik begreifen, was besonders die Fachleute aus dem Maschinenbau begrüßen werden.

Aus dem Inhalt: Numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen. Das Programm, Maschinelle Informationsverarbeitung, Steuerungsarten, Antriebe in NC-Maschinen, Symbolische Programmierung. Einführung in die Regelungstechnik, Regelungsarten, das Zeitverhalten von Regelkreisgliedern. Die Regelstrecke. Die Regeleinrichtung, Reglertypen, Regler mit kombiniertem Verhalten. Der vollständige Regelkreis, die Auswahl geeigneter Regler, optimale Einstellung der Regler, Kombination von Steuern und Regeln, mehrschichtige Regelungen – vermischte Regelkreise, rechnerische Behandlung eines einfachen Regelkreises, unstetige Regelungen. Übungs- und Wiederholungsaufgaben. Lösungen der Übungsaufgaben.

RPB-electronic-taschenbücher zur Industrie-Elektronik

64

Einführung in die Operationsverstärker-Technik. Ein Wegweiser, Aufbau und Arbeitsweise und Eigenschaften der Operationsverstärker besser zu verstehen. Von Dieter Hirschmann. — 2., verbesserte Auflage. Doppelband DM 7.80
ISBN 3-7723-0642-X

65

Operationsverstärker-Anwendung. Ein Wegweiser zur Verwirklichung eigener Ideen mit dem „Bauelement“ Operationsverstärker. Von Dieter Hirschmann. — 1. Auflage 1977. Dreifachband DM 9.80
ISBN 3-7723-0651-9

73

Wie liest man eine Schaltung? Methodisches Lesen und Auswerten von Schaltungsunterlagen. Von Ing. Dietmar Benda. — 1. Auflage. Doppelband DM 7.80
ISBN 3-7723-0731-0

82

Was ist ein Mikroprozessor? Über die Arbeitsweise, Programmierung und Anwendung von Mikrocomputern. Von Horst Pelka. — 3., neu bearbeitete Auflage. Doppelband DM 7.80
ISBN 3-7723-0823-6

87

Methodische Fehlersuche in der Industrie-Elektronik. Wie Fehler in elektronischen Geräten und Anlagen durch zielbewußte Systematik und Logik geortet werden können. Von Dietmar Benda. — 1. Auflage. Doppelband DM 7.80
ISBN 3-7723-0871-6

90

Netzgeräte mit IC's. 21 praktische Schaltungsvorschläge ausführlich beschrieben. Von Gordan Sehrig. — 1. Auflage. Einfachband DM 4.80
ISBN 3-7723-0901-1

92

Experimente mit digitalen Schaltungsgliedern. Das Know-how zum kontaktlosen Schalten, Steuern, Zählen, Messen und Überwachen. Von Siegfried Wirsum. — 1. Auflage. Dreifachband DM 9.80
ISBN 3-7723-0921-6

96

Abkürzungen aus der Elektronik. Abkürzungen (Kunstwörter) auf ihre ursprüngliche Schreibweise zurückgeführt und erklärt. Von Ulrich Freyer. — 1. Auflage. Einfachband DM 4.80
ISBN 3-7723-0961-5

99

Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahloszillografen? Eine Fibel der Oszillografentechnik nebst einer umfangreichen und universellen Betriebsanleitung für Amateure und Praktiker. Von Hans Sutaner; Dipl.-Ing. Gerhard Wißler. — 9., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Dreifachband DM 9.80
ISBN 3-7723-0999-2

338

Experimente mit integrierten Schaltungen. 38 praxisnahe Anwendungen eines integrierten Universalbausteins. Von Dipl.-Phys. Johannes Kleemann. — 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Doppelband DM 7.80
ISBN 3-7723-3382-6

Siegfried, Einführung in die digitale Steuerungstechnik

TP271
S1

8063467

Einführung in die digitale
Steuerungstechnik

11186

李松浩

896

3

333

TP271
S1

8063467

Dipl.-Ing. Hans-Joachim Siegfried
Studienprofessor

Einführung in die digitale Steuerungstechnik

Schaltalgebra, Bausteine und Steuerungsprobleme
im Selbstunterricht und in der Praxis



E8063467

Mit 169 Abbildungen und zahlreichen Tabellen



FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Siegfried, Hans-Joachim

Einführung in die digitale Steuerungstechnik: Schaltalgebra, Bausteine und Steuerungsprobleme im Selbstunterricht u. in d. Praxis. – 1. Aufl. – München: Franzis-Verlag, 1978.

ISBN 3-7723-6411-X

1978

Franzis-Verlag GmbH, München

Sämtliche Rechte – besonders das Übersetzungsrecht – an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages.

Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Abbildungen, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Druck: Druckerei Bommer GmbH, Miesbach

Printed in Germany. Imprimé en Allemagne.

ISBN 3-7723-6411-X

Vorwort

Die explosionsartige Entwicklung der Elektronik, insbesondere die der integrierten Schaltkreisfamilien, hat eine Überarbeitung des „Leitfaden der elektronischen Steuerungs- und Regelungstechnik, Teil 1“ erforderlich gemacht. Dadurch hat sich eine Erweiterung des Umfangs ergeben, die eine Teilung des Werkes notwendig erscheinen ließ. Im vorliegenden Einführungs-Band sind die Grundlagen der Digitaltechnik behandelt, sofern sie sich anhand der Symbole, der Schaltzeichen der digitalen Informationsverarbeitung erklären lassen. So erfordern nur die Abschnitte 1.2 und 1.3 gewisse Grundkenntnisse elektrischer bzw. elektronischer Zusammenhänge. Für die weiteren Abschnitte sind diese Kenntnisse nicht erforderlich, so daß der Hauptteil dieses Werkes auch Interessenten aus der nichtelektronischen Steuerungstechnik anspricht, denn z. B. auch die pneumatische Steuerungstechnik verwendet die Schaltzeichen der digitalen Informationsverarbeitung. Mit diesen Symbolen lassen sich nicht nur Schaltalgebra und einfache logische Verknüpfungsschaltungen erklären, auch die Schaltungen mit Speicherverhalten, die Flipflops, und das, was man damit aufbauen kann, wie Schieberegister und Zähler, ist leicht anhand der Symbole zu erklären.

Obgleich die Änderung der Norm DIN 40 700 völlig neue Schaltzeichen besonders für die einfachen Verknüpfungsglieder gebracht hat, wurden die alten Schaltzeichen bewußt beibehalten. Der Grund dafür liegt nicht allein darin, daß sich diese Schaltzeichen, zum Teil mit geringen Abweichungen, international durchgesetzt haben. Der Verfasser ist der Ansicht, daß Steuerungsschaltungen mit diesen Schaltzeichen wesentlich übersichtlicher sind. Der Hauptgrund für die Beibehaltung ist die Ausrüstung unzähliger Ausbildungsstätten mit Lehrmitteln, die diese Schaltzeichen tragen. Allein an der *Elektronikschule Tettnang*, an der das Fach „Steuerungs- und Regelungstechnik“ seit über 10 Jahren vom Verfasser unterrichtet wird, wären Lehrmittel im Werte von etwa DM 2 000 000.— unbrauchbar, wenn man die Schaltzeichen der bisherigen DIN-Norm nicht mehr verwenden würde. Gerade in der heutigen Zeit, in der die Mittel, die den Ausbildungsstätten zufließen, drastisch reduziert sind, ist eine Umstellung auf völlig neue Schaltzeichen weder zu verantworten noch durchführbar. Der Anhang enthält einen Auszug aus DIN 40 700, und hier sind die bisherigen und die neuen Schaltzeichen einander gegenübergestellt.

Für den Gebrauch als Schulbuch, aber auch zum Selbstunterricht sind neben 320 Zeichnungen auch zahlreiche *Merksätze* in den Text eingefügt, die wichtige Zusammenhänge in Kurzform ausdrücken. Daneben enthält das Buch mehrere Abschnitte mit *Übungs- und Wiederholungsaufgaben*, deren Lösungen im letzten Abschnitt, dem Abschnitt 3, angegeben sind.

Diese Eigenschaften und ein ausgewogener Schwierigkeitsgrad ermöglichen die erfolgreiche Verwendung dieser „Einführung in die digitale Steuerungstechnik“ neben der Leitfadenreihe in den Anwendungsfächern berufsbildender Schulen, bei der nebenberuflichen Erwachsenenfortbildung und beim Selbststudium.

Ich danke dem Franzis-Verlag München für seine Bereitschaft, durch die Neugliederung und die Schaffung dieses neuen Einführungs-Bandes mit der ständigen Entwicklung in der Steuerungstechnik Schritt zu halten.

Tett nang

H.-J. Siegfried

Wichtiger Hinweis

Die in diesem Buch wiedergegebenen Schaltungen und Verfahren werden ohne Rücksicht auf die Patentlage mitgeteilt. Sie sind ausschließlich für Amateur- und Lehrzwecke bestimmt und dürfen nicht gewerblich genutzt werden.*)

Alle Schaltungen und technischen Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag sieht sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, daß er weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen kann. Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Autor und Verlag jederzeit dankbar.

*) Bei gewerblicher Nutzung ist vorher die Genehmigung des möglichen Lizenzinhabers einzuholen.

Inhalt

1	Grundbegriffe der Steuerungstechnik	11
1.1	Der Begriff „Steuerung“	11
1.2	Analoge und digitale Steuerglieder	13
1.2.1	Kontaktschalter	14
1.2.2	Kontaktlose Schalter	14
1.2.2.1	Kennliniendarstellung	15
1.2.2.2	Die Diode	18
1.2.2.3	Der Transistor	20
1.3	Die kontaktlose digitale Grundschialtung	22
2	Schaltalgebra	25
2.1	Einführung in die Schaltalgebra	25
2.2	Übungs- und Wiederholungsaufgaben	31
2.3	Grundregeln der Schaltalgebra	32
2.3.1	Verknüpfung zweier oder mehrerer gleicher Variablen	32
2.3.2	Verknüpfung von Variablen und Konstanten	33
2.3.3	Doppelte Inversion	34
2.3.4	Mischungsregeln	34
2.3.5	Abgeleitete Regeln	36
2.3.6	Inversionsgesetze (De Morgan'sche Theoreme)	38
2.4	Das Aufstellen von Schaltfunktionen	41
2.4.1	Kontaktschaltungen	41
2.4.2	Kontaktlose Schaltungen	42
2.4.3	Inversion	43
2.4.3.1	NOR-Glied	43
2.4.3.2	NAND-Glied	44
2.4.3.3	INHIBITION	45
2.4.3.4	IMPLIKATION	45
2.4.4	NOR- und NAND-Technik	46
2.4.4.1	Aufbau der Schaltung aus NOR-Gliedern	47
2.4.4.2	Aufbau der Schaltung aus NAND-Gliedern	49
2.4.4.3	Ein Rechenbeispiel für die Inversion einer Schaltfunktion	50
2.5	Die optimale Form von Schaltfunktionen	51
2.6	Übungs- und Wiederholungsaufgaben	53
2.7	Die Analyse von Schaltfunktionen	56
2.7.1	Die disjunktive Normalform einer Schaltfunktion	56
2.7.2	Das Aufstellen einer Wahrheitstabelle, Minterme – Maxterme	57
2.8	Die Synthese von Schaltfunktionen	59

2.9	Übungs- und Wiederholungsaufgaben	63
2.10	Die grafische Methode, das Karnaugh-Diagramm	67
2.10.1	Karnaugh- und Venn-Diagramm	67
2.10.2	Der Aufbau des Karnaugh-Diagramms für drei Variable	70
2.10.3	Das Zusammenfassen von Feldern im Karnaugh-Diagramm für drei Variable	71
2.10.4	Das Karnaugh-Diagramm für vier Variable	75
2.10.4.1	Eine andere Darstellung des Karnaugh-Diagramms für vier Variable	76
2.10.5	Das Karnaugh-Diagramm für fünf Variable	77
2.10.6	Das Karnaugh-Diagramm für sechs Variable	80
2.10.7	Die Analyse von Schaltfunktionen mit Hilfe des Karnaugh- Diagramms	81
2.10.8	Die Synthese von Schaltfunktionen mit Hilfe des Karnaugh- Diagramms	82
2.10.9	Überflüssige Kombinationen	85
2.11	Übungs- und Wiederholungsaufgaben	87
2.12	Digitalschaltungen mit Speichervermögen – Flipflops (Zeitlich unbegrenzte Speicher)	91
2.12.1	Genormte Symbole	91
2.12.2	Flipflops aus NAND- und NOR-Gliedern	92
2.12.2.1	NAND-Flipflop	92
2.12.2.2	NOR-Flipflop	94
2.12.2.3	Anwendungsbeispiele mit NAND- und NOR-Flipflops Entprellen eines Kontaktschalters	95
2.12.2.4	Flipflop mit Vorzugslage	96
2.12.3	Flipflops mit dynamischen Eingängen	96
2.12.4	Dynamische UND-Verknüpfung, Flipflops mit dynamischem Eingang und Vorbereitungs-Eingängen	98
2.12.5	Die Schaltfunktion des JK-Flipflops	103
2.13	Anwendungen von Flipflops mit dynamischem Eingang	107
2.13.1	Asynchrone Zähler	108
2.13.1.1	Vorwärtszähler	108
2.13.1.2	Rückwärtszähler	109
2.13.1.3	8421-Asynchrone Zähler (vorwärts)	110
2.13.2	Synchronzähler	111
2.13.2.1	Berechnung von Synchronzählern	112
2.13.2.2	Ringzähler	117
2.13.3	Schieberegister	120
2.13.3.1	Informationsübertragung	120
2.13.3.2	Schieberegister mit serielltem Informationseingang	120
2.13.3.3	Schieberegister mit Paralleleingabe	122
2.13.4	Wichtige Eigenschaften moderner Flipflops	123

2.13.5	JK-Master-Slave-Flipflop	125
2.13.6	Flipflops, die man aus dem JK-Master-Slave-Flipflop aufbauen kann	127
2.13.6.1	Trigger-Flipflop (T-Flipflop)	127
2.13.6.2	Delay-Flipflop (D-Flipflop)	128
2.13.6.3	Ein Frequenzzähler	129
2.14	Zeitlich begrenzte Speicher, Monoflops	131
2.15	Übungs- und Wiederholungsaufgaben	133
3	Lösungen der Übungs- und Wiederholungsaufgaben aus Abschnitt 2	136
3.1	Lösungen zu Abschnitt 2.2	136
3.2	Lösungen zu Abschnitt 2.6	137
3.3	Lösungen zu Abschnitt 2.9	141
3.4	Lösungen zu Abschnitt 2.11	144
3.5	Lösungen zu Abschnitt 2.15	155
4	Anhang	160
4.1	DIN 66000: Mathematische Zeichen der Schaltalgebra	160
4.2	Schaltzeichen für die digitale Informationsverarbeitung	162
4.2.1	Digitale Verknüpfungsglieder	162
4.2.2	Allgemeine Kennzeichen	162
4.2.3	Kippglied mit Speicherverhalten (Flipflop)	163
4.2.4	Beispiele für Verknüpfungsglieder	164
4.2.5	Beispiele für Kippglieder	165
	Literaturverzeichnis	166
	Sachverzeichnis	167

Das **Stellglied** liegt am Eingang der Steuerstrecke. Es beeinflusst den zu steuernden Energie- oder Massenfluß. Diese Beeinflussung geschieht am **Stellort**.

Beispiele für Stellglieder: Relais, Schaltschütze, Transistoren, Thyristoren, Ventile, Magnetventile, Schalter, Tastschalter.

Zur **Steuereinrichtung** gehören die Glieder der Steuerkette, die das Beeinflussen des Energie- oder Massenflusses durch das Stellglied bewirken. Dazu gehören: Schalter, Tastschalter, Meßwertgeber, Leseeinrichtungen für gespeicherte Programme (Lochstreifenleser, Magnetbandleseeinrichtungen, Lochkartenleser).

Diese verschiedenen Steuereinrichtungen bestimmen die *Steuerungsart*. Steuerungsarten sind:

- Führungssteuerung
- Haltegliedsteuerung
- Programmsteuerung

Bei der **Führungssteuerung** hängt der Wert der Ausgangsgröße immer vom augenblicklichen Wert einer **Führungsgröße** (Eingangsgröße der Steuerkette) ab.

Beispiel: Einfahrt in einen Autotunnel: Entsprechend der Führungsgröße „Tageslichthelligkeit“ schaltet eine Steuerung Teile der Beleuchtung im Bereich der Tunnelleinfahrt ein oder aus, um einen möglichst stetigen Übergang vom Tageslicht zur Tunnelbeleuchtung zu bewirken.

Bei der **Halteglied-Steuerung** bleibt der Wert der gesteuerten Größe auch nach Wegfall der Führungsgröße erhalten. Erst wenn eine *andere* Führungsgröße eintrifft, nimmt die gesteuerte Größe wieder ihren ursprünglichen Wert ein.

Beispiel: Einschalten eines Verbrauchers durch Drücken der Taste EIN, Ausschalten durch Drücken der Taste AUS.

Programmsteuerungen unterteilt man in 3 Gruppen:

- Zeitplansteuerung
- Wegplansteuerung
- Ablaufsteuerung

In einer **Zeitplansteuerung** gibt ein Programmgeber die Führungsgröße in Abhängigkeit von der Zeit ein.

Beispiel: Eine Schaltuhr schaltet abends zu einer bestimmten Zeit die Straßenbeleuchtung ein und schaltet sie morgens zu einer bestimmten Zeit wieder aus.

In der **Wegplansteuerung** gibt ein Programmgeber die Führungsgröße in Abhängigkeit vom zurückgelegten Weg oder der Position eines gesteuerten Gerätes ein.

1.2 Analoge und digitale Steuerglieder

Beispiel: Bei programmgesteuerten Werkzeugmaschinen schaltet der Vorschub beim Einfahren einer Bearbeitungsposition zuerst auf Eilgang. Hat der Bearbeitungspunkt einen vorgegebenen Abstand vom Werkzeug erreicht, so schaltet der Vorschub auf einen langsameren Gang.

Die Ablaufsteuerung bekommt ihre Führungsgrößen ebenfalls von einem Programm. Die Durchführung eines neuen Programmpunktes beginnt erst dann, wenn der vorherige Programmpunkt beendet ist.

Beispiel: Bei einem Bohrwerk setzt die Steuerung den Vorschub bei Erreichen einer vorgegebenen Bohrtiefe still. Der Vorschubantrieb wird umgesteuert, und der Bohrer fährt aus dem Bohrloch heraus. Dann schaltet der Antrieb der Bohrspindel ab.

Neben Handsteuerungen findet man zunehmend automatische Steuerungen.

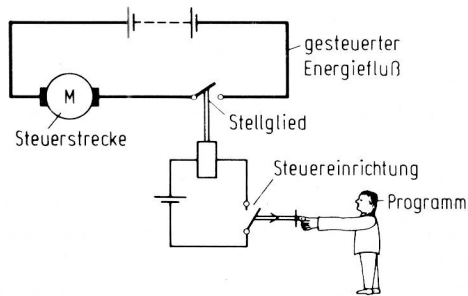


Bild 1.1.2 Darstellung einer einfachen Handsteuerung mit Kennzeichnung der einzelnen Glieder dieser Steuerung

Bild 1.1.2 zeigt eine einfache Handsteuerung. Nach dem Programm, das die Bedienungsperson im Gehirn gespeichert hat, schaltet sie mit Hilfe der Steuereinrichtung „Schalter“ das Schaltschütz. Das Stellglied „Schützkontakt“ schaltet den Energiefluß „elektrischer Strom“ für die Steuerstrecke „Motor“.

Bei elektrischen und elektronischen Steuerungen ist das Stellglied in den meisten Fällen ein elektrischer oder elektronischer Schalter. Elektronische Stellglieder können analog oder digital arbeiten.

1.2 Analoge und digitale Steuerglieder

Bei den elektrischen bzw. elektronischen Steuergliedern unterscheidet man Kontakt-Schalter sowie kontaktlose Schalter wie Dioden, Transistoren und Thyristoren.

1.2.1 Kontaktschalter

Der einfache Kontakt kann ein *Arbeitskontakt* (Schließer) oder ein *Ruhekontakt* (Öffner) sein. Bei beiden Kontaktarten gibt es jeweils nur zwei Schaltzustände:

oder Kontakt geöffnet
Kontakt geschlossen.

Bild 1.2.1 zeigt diese Kontakte.

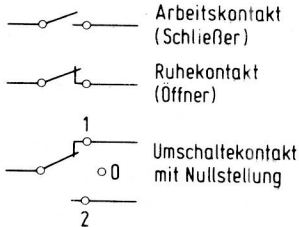


Bild 1.2.1 Verschiedene Kontaktarten

Solche Bauelemente, die nur zwei extreme Schaltzustände einnehmen können, zeigen *binäres Verhalten* (bi = zwei). In Bild 1.2.1 ist auch ein Kontakt dargestellt, der drei verschiedene Schaltzustände einnehmen kann:

Stellung 1
Nullstellung
Stellung 2

Ein derartiger Kontakt zeigt *ternäres Verhalten*. Alle diese Kontakte arbeiten *digital* (digitus [lat.] = Finger).

Mit Hilfe der Finger kann man nur sprunghaft zählen: 1, 2, 3, 4 usw. Zwischenwerte (z.B. 1,35) lassen sich mit Hilfe der Finger nicht darstellen.

Steuert ein solches Stellglied mit digitalem Verhalten eine beliebige Steuerstrecke, so zeigt diese auch digitales Verhalten.

Merke: In der Digitaltechnik arbeitet man mit zwei oder mehreren Schaltzuständen. Zwischenwerte können nicht auftreten.

Beispiel: Eine Glühlampe läßt sich durch einen Kontakt nur ein- oder ausschalten, obwohl dieselbe Glühlampe auch analog arbeiten könnte. Mit Hilfe eines veränderbaren Vorwiderstandes könnte man stufenlos sämtliche Helligkeitswerte der Lampe zwischen dunkel und hell einstellen.

1.2.2 Kontaktlose Schalter

Hierbei handelt es sich um *Halbleiterbauelemente* für die Steuerungstechnik, deren Wirkungsweise in den folgenden Abschnitten kurz beschrieben