

Dipl.-Ing. Gottfried Fischer

STEUERUNGSTECHNIK

1

**Schaltalgebra und Synthese
von Kombinationsschaltungen**

Dieser Lehrbrief wurde

verfaßt von:

FSL Dipl.-Ing. Gottfried F i s c h e r
Fachschullehrer an der Ingenieurschule für Bergbau und
Energetik "Ernst Thälmann" Senftenberg

lektoriert von:

FSD Dipl.-Ing. Werner W e i s l e d e r
Fachschullehrer an der Ingenieurschule für Elektronik
Velten-Hohenschöpping

bearbeitet von:

FSD Erich A m m e d i c k
Beauftragter für die Entwicklung von Lehrbriefen an der
Ingenieurschule für Bergbau und Energetik "Ernst Thäl-
mann" Senftenberg

Redaktionsschluß: 1. 12. 1979

© Institut für Fachschulwesen der DDR, Karl-Marx-Stadt
Als Manuskript gedruckt • Alle Rechte vorbehalten
Printed in the German Democratic Republic
Druck und buchbinderische Verarbeitung:
Zentralstelle für Lehr- und Organisationsmittel des Ministeriums
für Hoch- und Fachschulwesen, Zwickau

1. Auflage 1980

6. unveränderter Nachdruck 1987

Ag 613/301/87/700

Vorzugsschutzgebühr: 2,50 M

Vorwort zur Lehrbriefreihe Steuerungstechnik

Automatisch ablaufende industrielle Prozesse erfordern neben der Meßtechnik und der ausgangsseitigen Prozeßbeeinflussung durch Stellglieder vor allem die Verarbeitung der im Prozeß anfallenden Informationen. Hauptelemente dafür sind Regelungen und Steuerungen. Ein Regelkreis besitzt als charakteristisches Element eine Rückführung, während bei der Steuerung eine offene Wirkungskette vorliegt. Bei einer Steuerung bilden die Eingangsgrößen also fortlaufend Ausgangsgrößen, ohne daß diese auf die Eingangsgrößen zurückwirken.

Sowohl Steuerungen als auch Regelungen können nach Art der verarbeiteten Signale analog oder digital arbeiten. Durch die Entwicklung der Elektronik sind heute Schaltelemente mit zwei Zuständen (Schalttransistor, Schaltkreis, Relais u. a.) sehr billig geworden, so daß der digitalen Seite der Steuerungstechnik eine außerordentliche Bedeutung zukommt. Diese Bedeutung hat die Steuerungstechnik auch dadurch erhalten, daß durch mathematische Verfahren der Schaltalgebra die Berechnung und damit Entwicklung solcher Schaltungen relativ einfach wird. Nach TGL 14591 wird heute nicht mehr nach Steuerung oder Regelung unterschieden, sondern es wurde dafür der Oberbegriff "Automatische Steuerung" gebildet. Er entspricht dem Terminus "engineering control", der in der anglo-amerikanischen Literatur von jeher üblich ist.

Die Vermittlung der theoretischen Verfahren der Steuerungstechnik ist Anliegen der ersten beiden Lehrbriefe dieser Lehrbriefreihe. Die damit vermittelte "Mathematik" oder "Theorie der Steuerungen" ist gleichzeitig auch Grundlage zum Verständnis aller folgenden Lehrbriefe dieser Reihe.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Lehrbriefreihe liegt auf der Synthese von Folgeschaltungen, für deren systematische Entwicklung hier einige neue Gesichtspunkte und ein neues Verfahren für ihre Synthese gezeigt werden.

Ein dritter Schwerpunkt ist den Steuerungssystemen gewidmet. Sie dienen der Realisierung der entwickelten Schaltungen. Der Markt der DDR bietet hier ein breites Sortiment an, aus dem

nach ökonomischen Erfordernissen zu wählen ist.

Der Automatisierungsingenieur trägt bei der Entwicklung von Steuerungen eine große Verantwortung bezüglich eines minimalen Aufwandes der Schaltung (dazu ist die Steuerungstheorie erforderlich) und der Auswahl des zweckmäßigsten Systems (dazu sind Kenntnisse über die Systeme notwendig). Erst die Verbindung beider Elemente gestattet die Synthese nach optimalen Gesichtspunkten in bezug auf Kosten, Zuverlässigkeit, Servicefreundlichkeit u. a.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß aus Platzgründen häufig auf Beweisführungen für die angegebenen Sätze verzichtet werden mußte. Solche Beweise sind nur dort angeführt, wo sie für das Verständnis und die praktische Realisierung von Schaltungen bedeutungsvoll sind. Dieser vorliegende erste Lehrbrief ist insbesondere eine Arbeitsunterlage, die die Systematik der Entwicklung der Theorie in bezug auf ihre praktische Anwendbarkeit in den Vordergrund stellt, wobei für die einzelnen Abschnitte je nach dem Grad der gewünschten Vertiefung noch weitere Literatur heranzuziehen ist.

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	Seite
1. Grundlagen	7
1.1. Arten der Signale	7
1.2. Schaltfunktionen	7
1.3. Arten der Steuerungen	8
1.4. Grundsaltungen mit einer Variablen	9
2. Grundfunktionen und Grundsaltungen zweier Variabler	11
2.1. Logische Grundfunktionen	11
2.2. Grundfunktionen der Ein-Elemente-Logik	13
2.3. Weitere Grundfunktionen	14
2.4. Triviale Grundfunktionen	16
2.5. Schaltfunktionen mit mehr als zwei Variablen	16
3. Gesetze und Rechenregeln der Schaltalgebra	18
3.1. Schaltalgebraische Rechenverfahren	18
3.2. Schaltfunktionen mit Konstanten	19
3.3. Schaltfunktionen mit einer Variablen	20
3.4. Schaltfunktionen mit zwei und mehreren Variablen	20
3.5. Klammerregeln der Schaltalgebra	23
3.6. Kürzungsregeln der Schaltalgebra	24
3.7. Anwendungsbeispiele	25
4. Darstellungsarten logischer Abhängigkeiten	29
4.1. Formen von Schaltfunktionen	29
4.2. Schaltbelegungstabelle (SBT) und Schaltfunktion (SF)	30
5. Minimierung nach Karnaugh	31
5.1. Kurzform der KDN	31
5.2. Das Karnaugh-Schema für 4 Variable	33
5.3. Eintragung in die Tafel	34
5.4. Ermittlung der minimierten Funktion	36
5.5. Karnaugh-Plan für 3 und 2 Variable	39
5.6. Karnaugh-Plan für 5 Variable	39
5.7. Verfahren der wählbaren Konstituenten	41
5.8. Anwendung des Karnaugh-Verfahrens	43

	Seite
6. Schaltungssynthese	45
6.1. Entwurfsalgorithmus	45
6.2. Anwendungsbeispiel	47
6.3. Schaltungsanalyse	51
7. Schaltungen in NAND-Technik	52
8. Schaltungen in NOR-Technik	54
9. Schaltungen in Implikations- und Inhibitions- technik	56
Antworten und Lösungen zu den Übungsaufgaben	60
Literaturverzeichnis	67

1. Grundlagen

1.1. Arten der Signale

Je nach der Signalform unterscheidet man analoge und diskrete Signale, wobei diese wieder nach binär und digital gegliedert werden können (Bild 1). Ein binäres Signal besitzt zwei Zustände, die mit 0 und 1 bezeichnet werden. Die Realisierung dieser Zustände erfolgt z. B. bei Kontakten durch aus- bzw. eingeschaltet und damit durch stromlos-stromführend, bei Halbleiterschaltungen innerhalb der Signalpegel durch spannungslos-spannungsführend, bei pneumatischen Schaltungen durch drucklos-druckführend usw. Digitale Signale besitzen mehr als zwei Zustände, sie können z. B. durch Spannungsstufung realisiert werden. In der Mehrzahl der Fälle werden sie aber durch Zuordnung zu Kombinationen mehrerer binärer Signale durch Kodierung erzeugt. Solche Kodierungsschaltungen sind ein breites Anwendungsfeld der Schaltalgebra (vgl. dazu Abschn. 5.2. und /5/, Versuch 2).

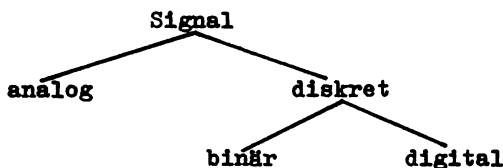


Bild 1: Signalformen

1.2. Schaltfunktionen

Die Schaltalgebra beruht auf der Booleschen Algebra zweiwertiger Variabler. In ihrer technischen Anwendung entstehen dadurch binäre Schaltsysteme. Darunter werden technische Einrichtungen verstanden, die binäre Eingangssignale zu einem binären Ausgangssignal verarbeiten (Bild 2).

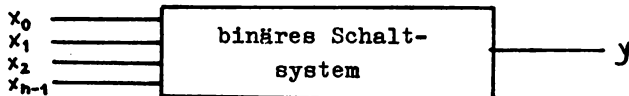


Bild 2: Binäres Schaltsystem

Analog der Algebra können nun für die hier vorliegenden Abhängigkeiten und damit für binäre Schaltsysteme Schaltfunktionen definiert werden, die die Ausgangsgröße y als Funktion der Eingangsgröße x beschreiben.

$$y = f(x_{n-1}, \dots, x_2, x_1, x_0) \quad (1)$$

Alle x und y können dabei nur die Werte 0 oder 1 annehmen.

1.3. Arten der Steuerungen

Ist die Ausgangsfunktion y nach Gleichung (1) nur von den Eingangsvariablen abhängig, so liegt eine Kombinationsschaltung vor. Beispiel sind die UND- oder die ODER-Funktion (siehe Abschn. 2.1.).

Ist die Ausgangsfunktion y nicht nur von den Eingangsvariablen, sondern noch von anderen Größen abhängig, so liegt eine Folgeschaltung oder Sequenzschaltung vor. Solche Einflußgrößen können z. B. der innere Zustand einer Schaltung oder die Zeit sein. Sequenzschaltungen enthalten stets Speicherelemente (Rückkopplungen oder RC-Glieder). Ihre Berechnung erfordert einige Besonderheiten. Darauf wird näher in den Lehrbriefen 2 und 3 dieser Reihe eingegangen.

Beispiel einer Sequenzschaltung ist die bekannte Selbsthaltungsschaltung, die für den gleichen Zustand der Eingangsvariablen (z. B. nicht betätigter Taster) einen unterschiedlichen Ausgangszustand liefert (z. B. Motor läuft bzw. Motor läuft nicht). In einer Kombinationsschaltung ist dagegen für gleiche Eingangsbelegungen der Variablen die Ausgangsbelegung für y immer die gleiche.

1.4. Grundsaltungen mit einer Variablen

Der einfachste Fall einer Steuerung liegt vor, wenn nur eine Eingangs- und eine Ausgangsvariable vorhanden sind (Bild 3).

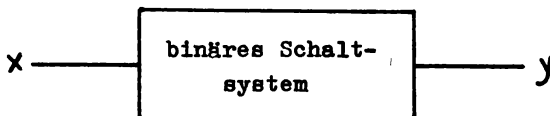


Bild 3: Schaltsystem mit einer Eingangsvariablen

Zwischen der Eingangsgröße und der Ausgangsgröße sind wegen der Zweiwertigkeit der Variablen nur bestimmte Zuordnungen möglich. Die Aufstellung aller möglichen Zuordnungen in Tabellenform zeigt Tafel 1.

Tafel 1: Tabelle aller Kombinationen

x	y ₀	y ₁	y ₂	y ₃
0	0	0	1	1
1	0	1	0	1

Tafel 2: Schaltbelegungstabelle eines Negators

x	y
0	1
1	0

Aus der Tafel erkennt man, daß insgesamt nur vier Zuordnungen möglich sind, die von 0 bis 3 durchnummeriert werden. Jede dieser Funktionen besitzt einen eigenen Namen, der der mathematischen Logik entnommen ist:

y₀ = Nullfunktion

y₁ = Identität, Variable x

y₂ = Negation

y₃ = Einsfunktion

Bedeutung besitzen von diesen Funktionen nur die Identität (als Verstärker) und die Negation als Signalumkehrung.

Die Anzahl aller möglichen Funktionen Z' mit n Eingangsvariablen berechnet sich allgemein zu:

$$Z' = 2^{2n} \cdot 2^{(2^n)} \quad (2)$$

Größere Bedeutung als die Tabelle der möglichen Kombinationen hat die Schaltbelegungstabelle, bei der nur eine logische Abhängigkeit zwischen Eingang und Ausgang dargestellt ist (Tafel 2).

Das Schaltsymbol und die technische Realisierung eines Negators zeigt Bild 4, wobei bezüglich der Funktionsweise der Schaltungen auf die Elektrotechnik bzw. Elektronik verwiesen werden muß. In der Relaisausführung wird die Negation durch einen Ruhekontakt (Öffner) realisiert.

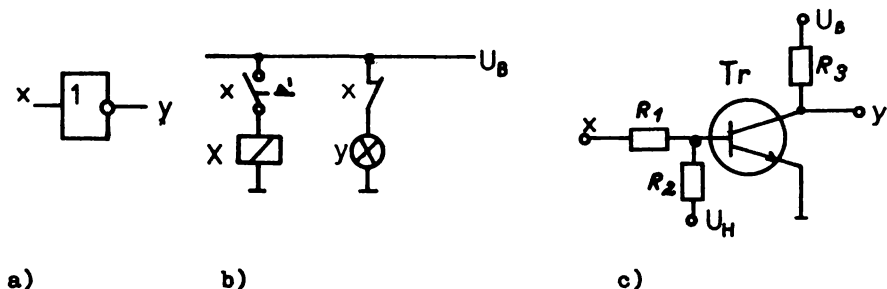


Bild 4: Negator

- a) Schaltsymbol nach TGL 16056
- b) Ausführung mit Relais
- c) Ausführung mit Transistor

Die Schaltfunktion ergibt sich für den Negator zu

$$y = \bar{x} \quad (3)$$

Ü b u n g s a u f g a b e n :

- A 1.1. Nennen Sie Beispiele für analoge Steuerungen!
- A 1.2. Welche logischen Verknüpfungen mit einer Signalvariablen haben eine technische Bedeutung?
- A 1.3. Wieviel mögliche Kombinationen in der Schaltbelegungstabelle ergeben sich für 5 Variable?

2. Grundfunktionen und Grundsaltungen zweier Variabler

2.1. Logische Grundfunktionen

Ein Schaltsystem mit 2 Eingangsvariablen besitzt nach Gleichung (2) 16 mögliche Grundfunktionen. Die Zusammenstellung zeigt Tafel 3, wobei die vier möglichen Kombinationen der Eingangsvariablen durch Kennzeichnung mit j durchnummeriert sind.

Tafel 3: Grundfunktionen zweier Variabler

j	x_1	x_0	y_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}	y_{15}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
2	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
3	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Diese Tafel zeigt die Zusammenstellung aller möglichen 16 einzelnen Schaltbelegungstabellen, von denen jedoch nur einige technische Bedeutung besitzen.

y_1 = UND-Funktion (Konjunktion)

Am Ausgang erscheint nur dann ein Signal, wenn beide Eingangsvariable x_1 und x_0 ein Eins-Signal führen. Das Schaltsymbol und die technische Realisierung zeigt Bild 5. In der Relaisausführung entspricht die Konjunktion einer Reihenschaltung der Kontakte.

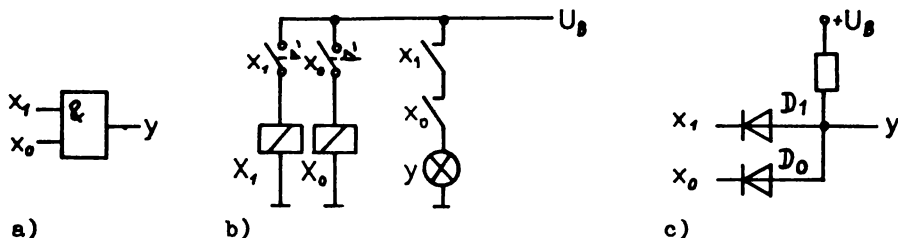


Bild 5: Konjunktion

- a) Schaltsymbol nach TGL 16056
- b) Ausführung mit Relais
- c) Ausführung mit Dioden

Die Schaltfunktion ergibt sich zu

$$y_1 = x_1 \wedge x_0 \quad (5)$$

wobei das Zeichen der logischen Konjunktion im allgemeinen fortgelassen wird (Gl. (6)).

$$y_1 = x_1 x_0 \quad (6)$$

y_7 = ODER-Funktion (Disjunktion)

Am Ausgang erscheint dann ein Signal, wenn eine der beiden oder beide Variable Eins-Signal führen. Das Schaltsymbol und die technische Realisierung zeigt Bild 6.

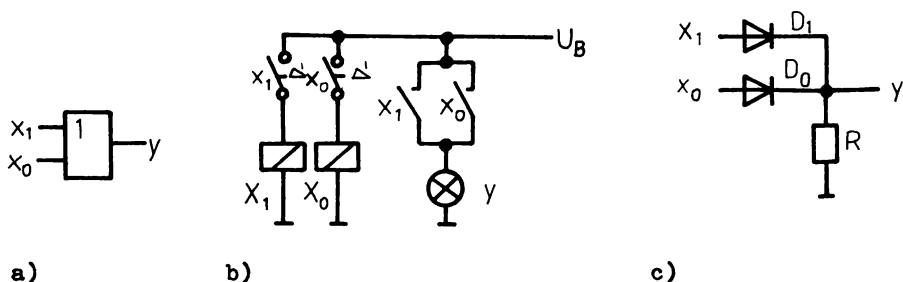


Bild 6: Disjunktion

a) Schaltsymbol nach TGL 16056

b) Ausführung mit Relais

c) Ausführung mit Dioden

In der Relaisausführung entspricht die Disjunktion einer Parallelschaltung der Kontakte.

Die Schaltfunktion ergibt sich zu

$$y_7 = x_1 \vee x_0 \quad (7)$$

Mit den Funktionen Negation, Konjunktion und Disjunktion lassen sich alle logischen Verknüpfungen der Kombinationsschaltungen realisieren. Wegen der drei notwendigen Funktionen spricht man in diesem Fall von der "Drei-Elemente-Logik". In dieser Technik arbeiten meist ältere Schaltsysteme oder solche, die nur für kleine oder mittlere Verknüpfungen konzipiert sind.

2.2. Grundfunktionen der Ein-Elemente-Logik

Moderne Schaltsysteme arbeiten meist in der sogenannten Ein-Elemente-Logik. Diese Funktionen sind dadurch gekennzeichnet, daß ein einziges logisches Element ausreicht, um alle logischen Verknüpfungen der Kombinationstechnik zu realisieren. Diese und nur diese Eigenschaften besitzen die NAND- und die NOR-Funktion.

y_{14} = NAND-Funktion

Die NAND-Funktion ist die negierte UND-Funktion. Daraus ist auch der Name entstanden, NOT - AND wurde zu NAND. Bild 7 zeigt das Schaltsymbol.

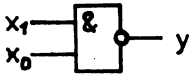


Bild 7: Schaltsymbol des
NAND-Gatters

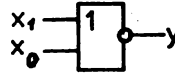


Bild 8: Schaltsymbol des
NOR-Gatters

Die Schaltfunktion ergibt sich zu

$$y_{14} = \overline{x_1 \cdot x_0} \quad (8)$$

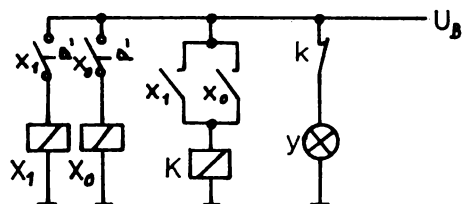
y_8 = NOR-Funktion

Die NOR-Funktion ist die negierte ODER-Funktion. Der Name entstand aus NOT - OR. Das Schaltsymbol zeigt Bild 8.

Die Schaltfunktion ergibt sich zu

$$y_8 = \overline{x_1 \vee x_0} \quad (9)$$

Die Realisierung beider Funktionen erfolgt in modernen Schaltsystemen häufig in integrierter Technik (TTL- bzw. MOS-Schaltkreise). In konventioneller Technik können diese Funktionen realisiert werden durch ein UND- bzw. ODER-Element mit nachgeschaltetem Negator (Bild 9).



a)



b)

Bild 9: NOR-Funktion

a) mit Relais

b) mit logischen Elementen

Die Relaisausführung erfordert dazu ein Hilfsrelais. Durch schaltalgebraische Umformungen (s. Abschnitt 4.3., Gl. (30) und (31)) läßt sich die Schaltung aber noch vereinfachen.

Die kontaktbehaftete Darstellung (Bild 9a) wird im allgemeinen als Stromlaufplan, die kontaktlose Darstellung (Bild 9b) als Signalflußplan bezeichnet.

2.3. Weitere Grundfunktionen

Bedeutung für technische Schaltungen haben noch vier der in Tafel 3 aufgeführten Funktionen, die paarweise zueinander negiert sind.

y_9 = Äquivalenz

Am Ausgang der Schaltung ergibt sich dann ein Signal, wenn die Eingangsvariablen gleiche Belegungen haben. Die zur Realisierung erforderliche Schaltung kann nicht mehr ohne weiteres angegeben werden, sie ist zweckmäßig aus der Schaltbelegungstabelle (Tafel 4) abzuleiten.

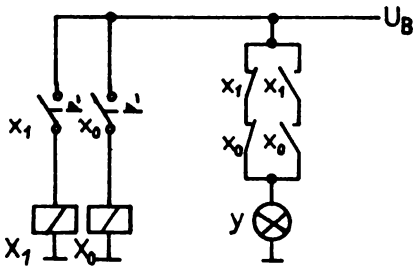
Nach dieser Tabelle hat die Variable y dann den Wert eins, wenn x_1 nicht UND x_0 nicht, ODER wenn x_1 UND x_0 Eins-Signal führen (vgl. dazu auch Abschn. 4.2.). Diese Überlegung ergibt die Schaltfunktion

$$y_9 = \bar{x}_1 \bar{x}_0 \vee x_1 x_0 \quad (10)$$

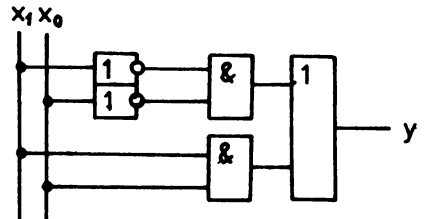
Tafel 4: Schaltbelegungstabelle der Äquivalenz

y	x_1	x_0	y
0	0	0	1
1	0	1	0
2	1	0	0
3	1	1	1

Nach den Gesetzen der Grundfunktionen in Abschn. 2.1. ergeben sich daraus der Stromlaufplan und der Signalflußplan (Bild 10).



a)
Bild 10: Äquivalenz-Funktion



b)
a) Stromlaufplan
b) Signalflußplan in
3-Elementelogik

Das Schaltsymbol der Äquivalenz nach TGL 16056 zeigt Bild 11.

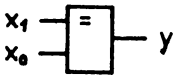


Bild 11: Schaltsymbol
der Äquivalenz

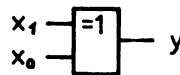


Bild 12: Schaltsymbol
der Antivalenz

y_6 = Antivalenz

Es ist die zur Äquivalenz negierte Funktion. Wegen der Verwandtschaft zur ODER-Funktion wird sie oft auch als Exklusiv-ODER bzw. Ausschließendes-ODER bezeichnet. Stromlaufplan und Signalflußplan sind ähnlich ableitbar wie die der Äquivalenz. Das Schaltsymbol zeigt Bild 12.

y_{11} ; y_{13} = Implikation

Aus der Schaltbelegungstabelle und unter Anwendung der Gesetze der Schaltalgebra (s. Abschn. 3.) ergibt sich die Schaltfunktion zu

$$y_{11} = x_1 \vee \bar{x}_0 \quad \text{bzw.} \quad y_{13} = \bar{x}_1 \vee x_0$$

Das Schaltzeichen ist in Bild 13 dargestellt.

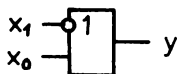


Bild 13: Schaltsymbol
der Implikation

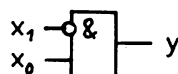


Bild 14: Schaltsymbol
der Inhibition

Diese Funktion ist die Basis der Logik des Steuerungssystems DRELOBA, hier stellt sie das aktive Element dar.

$y_2; y_4$ = Inhibition

Es ist die zur Implikation negierte Funktion.

$$y_2 = x_1 \bar{x}_0 \quad \text{bzw.} \quad y_4 = \bar{x}_1 x_0$$

Das Schaltzeichen zeigt Bild 14. Diese Funktion hat besondere Bedeutung im Steuerungssystem Ursalog 4000, im DRELOBA-System ist sie eine passive Funktion.

2.4. Triviale Grundfunktion

Die übrigen in Tafel 3 aufgeführten Funktionen haben keine Bedeutung. Es sind dies die Null- bzw. Eins-Funktion oder die Variable bzw. die negierte Variable (z. B. $y_{12} = \bar{x}_1$).

2.5. Schaltfunktionen mit mehr als zwei Variablen

Die angeführten Grundfunktionen lassen sich ohne weiteres auf Funktionen mit mehr Variablen übertragen. Als Beispiel ist in Tafel 5 die Schaltbelegungstabelle der Äquivalenz für 3 Variablen angegeben. Daraus ergibt sich die Schaltfunktion analog

Gl. (10) zu

$$y = \bar{x}_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0 \vee x_2 x_1 x_0 \quad (13)$$

In ähnlicher Weise wie oben sind damit der Stromlaufplan und der Signalflußplan zu zeichnen.

Tafel 5: Schaltbelegungstabelle der Äquivalenz für 3 Variable

j	x_2	x_1	x_0	y
0	0	0	0	1
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	1	0	0	0
5	1	0	1	0
6	1	1	0	0
7	1	1	1	1

An dieser Stelle sei noch ein Hinweis zur Systematik gegeben. Es ist zweckmäßig, die Variablen x_i in der Schaltbelegungstabelle wie in der Schaltfunktion nach fallenden Koeffizienten zu ordnen. Negierte Variable sollten in der Funktion vor wahren Variablen stehen. Die Numerierung der Variablen erfolgt von $x_{n-1} \dots x_0$. In der Tabelle wird die Variable x_0 einfach alternierend ($= 2^0$), Variable x_1 zweifach alternierend ($= 2^1$), Variable x_2 vierfach alternierend ($= 2^2$) usw. gewählt. Die dekadische Zählung j erfolgt von 0 ... (n - 1). Tabellen und Funktionen werden damit in einfacher Weise auf beliebig viele Variable erweiterbar. Diese Systematik erweist sich später bei den Rechen- und Minimierungsverfahren als unentbehrlich. Hat das Schaltsystem mehrere Ausgänge y_i , so sind diese in der Tabelle nach steigendem Index zu ordnen.

Ü b u n g s a u f g a b e n :

A 2.1. Skizzieren Sie den Signalflußplan der Funktion

$$y = \bar{x}_2 x_1 x_0 \vee x_2 \bar{x}_1 x_0 \vee x_2 x_1 \bar{x}_0$$

- A 2.2. Skizzieren Sie den Stromlaufplan der in A 2.1. gegebenen Funktion!
- A 2.3. Ermitteln Sie empirisch die Schaltbelegungstabelle der in A 2.1. gegebenen Funktion!
Welche Aufgabe erfüllt die Schaltung?
- A 2.4. In welchem Steuerungssystem hat die Implikation besondere Bedeutung?
- A 2.5. Stellen Sie zu der im Bild A 2.5. gegebenen zeitlichen Signalfolge von x_1 und x_0 die Konjunktion y_K und die Disjunktion y_D als Zeitfolgediagramm dar!

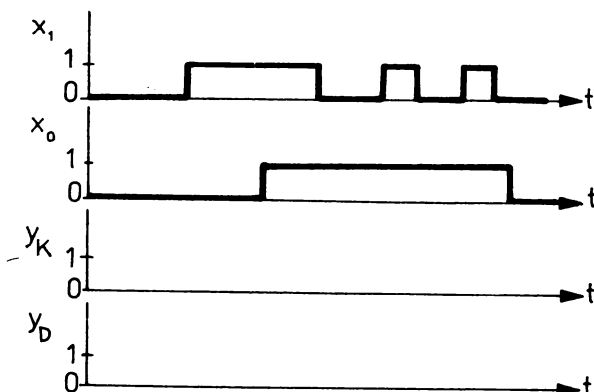


Bild zu A 2.5.

3. Gesetze und Rechenregeln der Schaltalgebra

3.1. Schaltalgebraische Rechenverfahren

Die Rechenverfahren der Algebra: Addition, Subtraktion, Multiplikation und andere sind für die Verknüpfung zweiwertiger Variabler nicht anwendbar. Solche Größen können nur durch logische Beziehungen miteinander verbunden werden; sie wurden in den Abschnitten 1.4. und 2.1. bereits abgeleitet. Negation, Konjunktion und Disjunktion stellen also Rechenverfahren dar,

die auf binäre Größen bzw. Variable angewandt werden können. Aus dieser Anwendung resultiert die Bezeichnung Schaltalgebra, da trotz dieser unterschiedlichen Operationen eine weitgehende formale Übereinstimmung zu den Gesetzen der gewöhnlichen Algebra besteht.

Natürlich lassen sich auch die Rechenverfahren der Äquivalenz, Antivalenz u. a. auf binäre Variable anwenden, doch gehen diese Betrachtungen über den hier gesteckten Rahmen hinaus. Die Anwendung der drei Grundfunktionen genügt, um dem Ingenieur ein ausreichendes theoretisches Rüstzeug für die Entwicklung von Schaltungen in die Hand zu geben. Dazu werden in den nächsten Abschnitten 20 Beziehungen abgeleitet, mit denen das geforderte Stoffgebiet zu beherrschen ist. In systematischer Reihenfolge werden die logischen Operationen zunächst auf konstante Schaltfunktionen, danach auf solche mit ein, zwei und mehr Variablen angewandt. Zur besseren Übersicht werden die 20 wesentlichen Gleichungen noch mit eckigen Klammern von [1] ... [20] durchnummeriert.

3.2. Schaltfunktionen mit Konstanten

Die logischen Werte "0" und "1" sind konstante Schaltfunktionen. Sie entsprechen im Stromlaufplan und im Signalflußplan einer dauernden Unterbrechung (0) bzw. einer dauernden, leitenden Verbindung (1). Eine Veränderung dieses Leitungszustandes kann also nicht erfolgen, da mathematisch gesehen keine Variable vorhanden ist, die diese Änderung bewirken könnte.

Negation: Wendet man die Negation auf die konstanten Schaltfunktionen 0 und 1 an, so ergibt sich folgendes Gleichungssystem:

$$\begin{array}{l} \overline{0} = 1 \\ \overline{1} = 0 \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \overline{0} = 1 \\ \overline{1} = 0 \end{array}} \right\} \quad (14) \quad [1]$$

Es ist erkennbar, daß diese beiden Gleichungen nichts anderes darstellen als die Schaltbelegungstabelle der Negation. Die Schreibweise als Gleichung gestattet aber ein "Rechnen" mit der logischen Funktion der Negation.

Konjunktion: Das Gleichungssystem (15) ergibt sich wiederum aus der Schaltbelegungstabelle der Konjunktion, wobei jede mögliche Kombination der Tabelle einer Gleichung entspricht.

$$\begin{array}{ll}
 0 \ 0 = 0 &) \quad (15) \quad [2] \\
 0 \ 1 = 0 &) \\
 1 \ 0 = 0 &) \\
 1 \ 1 = 1 &)
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{ll}
 0 \vee 0 = 0 &) \quad (16) \quad [3] \\
 0 \vee 1 = 1 &) \\
 1 \vee 0 = 1 &) \\
 1 \vee 1 = 1 &)
 \end{array}$$

Disjunktion: Die Anwendung der Disjunktion auf die konstanten Schaltfunktionen liefert die Gleichung (16). Die zweite Zeile dieser Gleichung sagt z. B. aus, daß die Parallelschaltung einer leitenden Verbindung mit einem unterbrochenen Leiterzug eine leitende Verbindung darstellt.

3.3. Schaltfunktionen mit einer Variablen

Negation: Die Anwendung der Negation auf eine Signalvariable führt zur negierten Variablen. Wird diese negierte Variable nochmals negiert, so ergibt sie wieder die ursprüngliche Variable. Daraus resultiert der wichtige Satz

$$\overline{\overline{x}} = x \qquad (17) \quad [4]$$

Konjunktion: Eine Signalvariable kann sowohl mit konstanten Schaltfunktionen als auch mit sich selbst verknüpft werden. Daraus ergeben sich die Beziehungen

$$\begin{array}{ll}
 0 \ x = 0 &) \quad (18) \quad [5] \\
 1 \ x = x &)
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{ll}
 x \ x = x &) \quad (19) \quad [6] \\
 x \ \overline{x} = 0 &)
 \end{array}$$

Disjunktion: Ganz analog erhält man für die Disjunktion

$$\begin{array}{ll}
 0 \vee x = x &) \quad (20) \quad [7] \\
 1 \vee x = 1 &)
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{ll}
 x \vee x = x &) \quad (21) \quad [8] \\
 x \vee \overline{x} = 1 &)
 \end{array}$$

3.4. Schaltfunktionen mit zwei und mehreren Variablen

In diesem Abschnitt treten die Ähnlichkeiten zur Algebra deutlich hervor. Die Übertragbaren Grundgesetze sollen deshalb hier

kurz zusammengestellt werden:

kommutatives Gesetz: $a + b = b + a$ (22)

assoziatives Gesetz: $a + (b+c) = (a+b) + c = a + b + c$ (23)

distributives Gesetz: $a (b+c) = ab + ac$ (24)

Das kommutative Gesetz gilt sowohl für die Konjunktion wie für die Disjunktion. Es besagt, daß die Reihenfolge bzw. die Anordnung der Kontakte beliebig ist (Gl. (25)).

$$\begin{array}{lcl} x_1 x_0 & = & x_0 x_1 \\ x_1 \vee x_0 & = & x_0 \vee x_1 \end{array} \quad (25) \quad [9]$$

Das assoziative Gesetz erlaubt die Erweiterung der Verknüpfungen auf mehr als zwei Variable. Für die Konjunktion gilt:

$$(x_2 x_1) x_0 = x_2 (x_1 x_0) = x_2 x_1 x_0 \quad (26) \quad [10]$$

Für die drei Teile der Gleichung ergeben sich die Signalflußpläne von Bild 15.

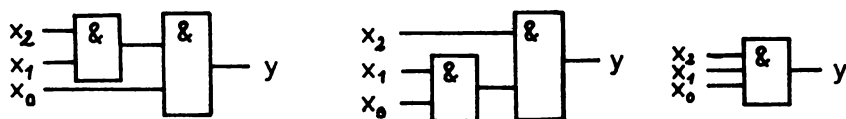


Bild 15: Darstellung des Assoziationsgesetzes nach Gl. (26)

Erkennbar ist die Einsparung an logischen Gattern im letzten Fall. Für die Disjunktion gilt ebenfalls das assoziative Gesetz

$$(x_2 \vee x_1) \vee x_0 = x_2 \vee (x_1 \vee x_0) = x_2 \vee x_1 \vee x_0 \quad (27) \quad [11]$$

mit den entsprechenden Signalflußplänen analog Bild 15.

Für das distributive Gesetz können je nach den gesetzten Verknüpfungszeichen zwei schaltalgebraische Varianten angegeben werden. Das erste Distributivgesetz lautet

$$x_2 (x_1 \vee x_0) = x_2 x_1 \vee x_2 x_0, \quad (28) \quad [12]$$

In diesem tritt die Ähnlichkeit zur Algebra besonders deutlich hervor.

Das zweite Gesetz lautet

$$x_2 \vee x_1 \cdot x_0 = (x_2 \vee x_1) (x_2 \vee x_0) \quad (29) \quad [13]$$

Beide Gesetze gelten in zwei Richtungen, sie können also sowohl von links nach rechts als auch von rechts nach links gelesen werden. Ein Ausdruck läßt sich also "ausmultiplizieren", es lassen sich aber auch Variable "ausklammern". Beide Gesetze lassen sich beweisen, indem die Signalflußpläne der Teilschaltungen gezeichnet und die zugehörigen Schaltbelegungstabellen aufgestellt werden. Bei Gleichheit der Tabellen müssen auch die Schaltungen die gleiche logische Abhängigkeit realisieren. Da die Schaltungen aber offenbar nicht "gleich" sind, werden sie äquivalente Schaltungen genannt.

Eine Sonderstellung in den Umformungen nimmt das de Morgansche Theorem oder der Inversionssatz ein. Es handelt sich hier um die Auflösung gemeinsam negierter Variabler, in der einfachsten Form, also der NAND- bzw. NOR-Funktion. Die Umformung gehorcht den folgenden beiden Gesetzen:

$$\overline{x_1 \cdot x_0} = \bar{x}_1 \vee \bar{x}_0 \quad (30) \quad [14]$$

$$\overline{\bar{x}_1 \vee \bar{x}_0} = x_1 \cdot x_0 \quad (31) \quad [15]$$

Der Beweis erfolgt wiederum über den Signalflußplan und die Schaltbelegungstabelle.

In Worten lautet der Inversionssatz:

Eine Negation zweier Signalvariabler wird aufgelöst, indem man die Variablen einzeln negiert und das Verknüpfungszeichen vertauscht.

Diese Regel gilt erweitert auch für die Auflösung beliebig vieler gemeinsam negierter Variabler.

3.5. Klammerregeln der Schaltalgebra

Das Setzen oder Auflösen von Klammern in schaltalgebraischen Ausdrücken ist (wie in der gewöhnlichen Algebra auch) ein Problem, welches besondere Sorgfalt erfordert. Hier treten erfahrungsgemäß die meisten Rechenfehler auf, insbesondere dann, wenn noch gemeinsam negierte Variable vorhanden sind.

Zunächst dienen die Klammerregeln zur Erweiterung schaltalgebraischer Gesetze auf beliebig viele Variable. Zur Ableitung dieser Gesetze ist zunächst ein Satz notwendig, der hier ohne Beweis angegeben wird, die Ersetzungsregel.

Setzt man in einer Schaltfunktion $f_1(x_1) = f_2(x_1)$ für eine Signalvariable x_n an allen Stellen, an denen sie in den Funktionen f_1 und f_2 vorkommt, eine beliebige andere Schaltfunktion $g(x_1)$ ein, so bleibt die Schaltgleichheit erhalten.

Dieser Satz kann zunächst dazu dienen, die Gleichungen (17)... (31) allgemein zu formulieren. Setzt man z. B. in Gl. (18.1.) für die Variable x die allgemeine und beliebig wählbare Schaltfunktion $f(x_1)$ ein, so ergibt sich die Beziehung

$$0 \vee f(x_1) = 0 \quad (32)$$

Sie sagt aus, daß jede beliebige Schaltfunktion in Reihe mit einer dauernden Unterbrechung den Funktionswert null ergibt.

Zur Ableitung der Klammerregeln geht man zweckmäßig vom verallgemeinerten 1. Distributivgesetz aus Gl. (28):

$$f_2(f_1 \vee f_0) = f_2 f_1 \vee f_2 f_0. \quad (33)$$

Substituiert man die Funktion f_2 durch eine Disjunktion

$$f_2 = f_a \vee f_b \quad (34)$$

und setzt diese in Gl. (33) ein, so ergibt sich

$$(f_a \vee f_b)(f_1 \vee f_0) = (f_a \vee f_b)f_1 \vee (f_a \vee f_b)f_0 \quad (35)$$

Die rechte Seite dieser Gleichung wird nach dem 1. Distributivgesetz entwickelt, daraus resultiert die endgültige Form:

$$(f_a \vee f_b)(f_1 \vee f_0) = f_a f_1 \vee f_b f_1 \vee f_a f_0 \vee f_b f_0 \quad (36) \quad [16]$$

Diese Gleichung zeigt wieder deutlich die Analogie zur Algebra. Entsprechend läßt sich aus dem 2. Distributivgesetz mit der Substitution

$$f_2 = f_a f_b \quad (37)$$

die zweite wesentliche Klammerregel ableiten:

$$f_a f_b \vee f_1 f_0 = (f_a \vee f_1)(f_a \vee f_0)(f_b \vee f_1)(f_b \vee f_0) \quad (38) \quad [17]$$

Mehrfache Anwendungen der gezeigten Substitutionen ergeben eine Erweiterung beider Gesetze auf beliebig viele Variable.

3.6. Kürzungsregeln der Schaltalgebra

Kürzungsregeln erlauben eine Vereinfachung von Schaltfunktionen ohne größeren Rechenaufwand. Sie können fast in jeder Umformung vorteilhaft angewandt werden.

$$\underline{1. \text{ Kürzungsregel: }} \quad x_1 x_0 \vee x_1 = x_1 \quad (39) \quad [18]$$

Der Beweis kann schaltalgebraisch oder mit Hilfe eines Stromlauf- bzw. Signalflußplanes erfolgen.

Entsprechend Gl. (18.2.) kann man Gl. (39) in der folgenden Form schreiben

$$x_1 x_0 \vee x_1 1 = x_1$$

Ausklammern von x_1 nach Gl. (28) liefert

$$x_1 (x_0 \vee 1) = x_1$$

Da der Klammerausdruck nach Gl. (20.2.) gleich 1 ist, ergibt sich mit Gl. (18.2.) die Beziehung $x_1 = x_1$, was zu beweisen war.

Der Stromlaufplan der Gl. (39) ist im Bild 16 dargestellt. Man erkennt, daß die Lampe y nur dann Eins-Signal führt, wenn das Relais x_1 erregt ist. Die Schaltung kann deshalb ersetzt werden durch einen einzigen Kontakt dieses Relais x_1 . Stellt man die Schaltbelegungstabelle auf, so erkennt man, daß die Schaltfunk-

tion identisch ist mit der Variablen x_1 .

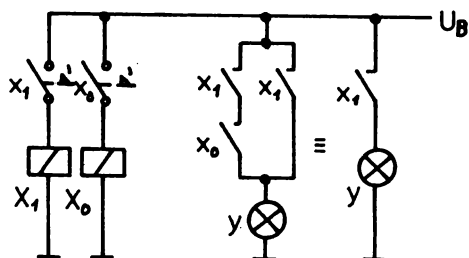


Bild 16: Stromlaufplan zur ersten Kürzungsregel

2. Kürzungsregel: $x_1 \bar{x}_0 \vee x_1 x_0 = x_1$ (40) [19]

Der Beweis ergibt sich durch Ausklammern von x_1 und Anwendung der Gl. (21.2.) auf den Klammerausdruck.

3. Kürzungsregel: $x_1 \bar{x}_0 \vee x_0 = x_1 \vee x_0$ (41) [20]

Zum Beweis wird nach dem zweiten Distributivgesetz der linke Ausdruck umgeformt in

$$(x_1 \vee x_0) (\bar{x}_0 \vee x_0) = x_1 \vee x_0, \quad (42)$$

woraus mit Gl. (21.2.) die Identität beider Seiten sofort erkennbar wird.

Mit Hilfe der Ersetzungsregel lassen sich die Kürzungsregeln auch wieder allgemein für Schaltfunktionen formulieren.

Es ist wichtig, sich die Gleichungen [1] bis [20] sicher einzuprägen, da sie für Umformungen ständig benötigt werden!

3.7. Anwendungsbeispiele

Mit dem bisher erarbeiteten Rüstzeug gelingt die Umformung von Schaltfunktionen. Damit kann sowohl eine Vereinfachung als auch eine systemgerechte Darstellung zur Realisierung der Funktionen in modernen Schaltsystemen erfolgen. Eine gewisse Übung im Umgang mit solchen Funktionen ist dazu aber erforderlich.

An zwei Beispielen sollen solche Umformungen gezeigt werden.

Beispiel 1 :

Die Schaltfunktion

$$y = x_3 (\overline{x_2} \vee x_1) x_0 \quad (43)$$

ist in die disjunktive Normalform (s. Abschn. 4.1.) zu überführen!

Lösung:

$$y = (\overline{x_3} \vee \overline{x_2} \vee x_1) x_0 \quad (\text{nach Gl. 30}) \quad (44)$$

$$y = (\overline{x_3} \vee x_2 \overline{x_1}) x_0 \quad (\text{nach Gl. 31}) \quad (45)$$

$$y = \overline{x_3} x_0 \vee x_2 \overline{x_1} x_0 \quad (\text{nach Gl. 33}) \quad (46)$$

Bei den Umformungen empfiehlt es sich, in jeder neuen Zeile nur einen Rechenschritt auszuführen, da andernfalls sehr leicht Rechen- oder Umformungsfehler entstehen. Der geringste Fehler in den Umformungen macht aber die gesamte Schaltung unbrauchbar.

Beispiel 2 :

Die Schaltfunktion

$$y = \overline{x_3} \overline{x_2} \vee x_1 (\overline{x_3} \vee x_1 x_0) \quad (47)$$

ist zu minimieren!

Lösung:

$$y = \overline{x_3} \overline{x_2} \overline{x_1} (\overline{x_3} \vee x_1 x_0) \quad (\text{nach Gl. 31}) \quad (48)$$

$$y = (x_3 \vee x_2) \overline{x_1} (\overline{x_3} \vee x_1 x_0) \quad (\text{nach Gl. 30}) \quad (49)$$

$$y = (x_3 \overline{x_1} \vee x_2 \overline{x_1}) (\overline{x_3} \vee x_1 x_0) \quad (\text{nach Gl. 33}) \quad (50)$$

$$y = \bar{x}_3 x_3 \bar{x}_1 \vee x_3 \bar{x}_1 x_1 x_0 \vee \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1 \vee x_2 \bar{x}_1 x_1 x_0$$

(nach Gl. 35) (51)

Nach Gl. (19.2.) werden der 1., 2. und 4. Ausdruck zu null, so daß sich als Lösung ergibt

$$y = \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1.$$

Die Funktion y ist also in diesem Falle von x_0 nicht abhängig. x_0 ist hier redundant.

Es ist zu beachten, daß jeder neuen Zeile in den Umformungen eine veränderte Schaltung entspricht, daß also ein neuer Signalfluß- bzw. Stromlaufplan zu zeichnen ist. Der Sinn solcher Umformungen besteht nun u. a. darin, eine gegebene logische Abhängigkeit mit dem geringsten Aufwand an logischen Elementen zu realisieren. Bild 17 zeigt diese Vereinfachungen anschaulich. Zweckmäßig werden in solchen Schaltungen die drei logischen Elemente auch getrennt gezeichnet. Zusammenfassungen zu NOR- bzw. NAND-Elementen bleiben den Systemen vorbehalten, in denen solche logischen Verknüpfungen als Bausteine vorhanden sind.

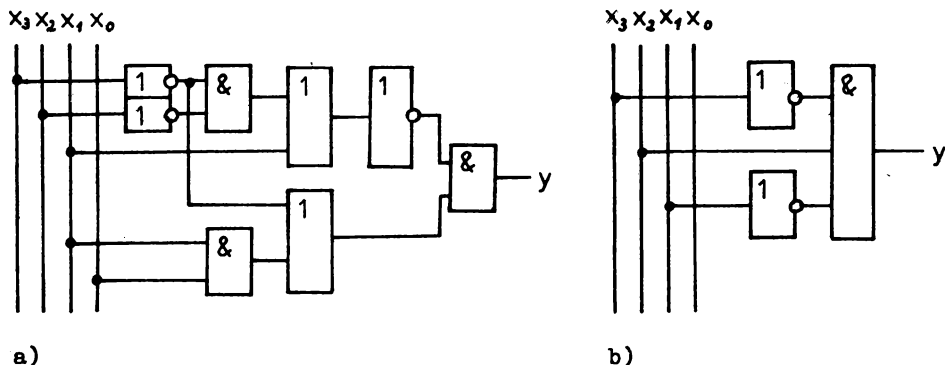


Bild 17: Signalflußplan zur Gl. (47)

- a) gegebene Form
- b) vereinfachte Form

Als weiteres Beispiel sei die Schaltung nach Bild 9 betrachtet. Die Auflösung der NOR-Funktion nach de Morgan liefert

$$y = \bar{x}_1 \bar{x}_0. \quad (31)$$

Die Realisierung erfolgt also durch zwei in Reihe geschaltete Ruhekontakte, wodurch das Hilfsrelais K eingespart wird.

Das Lösen weiterer Übungsaufgaben wird empfohlen, bis solche Umformungen sicher beherrscht werden (Übungsaufgaben, Literatur!).

Ü b u n g s a u f g a b e n :

A 3.1. Skizzieren Sie den Stromlaufplan der Gleichungen (18) ... (21), (28), (29), (30) und (31)!

A 3.2. Skizzieren Sie den Signalflußplan der Gleichungen (43) ... (46)!

A 3.3. Vereinfachen Sie folgende Schaltfunktionen nach den Methoden der Schaltalgebra:

$$y_1 = (x_3 \vee x_2) \overline{(x_1 \vee \bar{x}_0)} x_3 \bar{x}_2$$

$$y_2 = \overline{\bar{x}_3 \vee x_2 \bar{x}_1} x_0$$

$$y_3 = \overline{(\bar{x}_2 \vee x_0)} \overline{\bar{x}_2 \vee x_1 \vee \bar{x}_0}$$

$$y_4 = x_3 \overline{\bar{x}_2 x_1} \overline{x_2 \bar{x}_1} \vee x_3 (x_2 \vee x_0)$$

$$y_5 = \overline{\bar{x}_2 (\bar{x}_1 \vee x_0)} \bar{x}_2 (x_1 \vee x_0)$$

4. Darstellungsarten logischer Abhängigkeiten

4.1. Formen von Schaltfunktionen

Zweckmäßig ist die Klassifizierung gewisser Formen von Schaltfunktionen. Man spricht von einer Disjunktion bzw. von einer Konjunktion, wenn die Teilschaltfunktionen als Konjunktion (z. B. Gl. 47) oder als Disjunktion vorliegen.

Eine Elementarkonjunktion liegt vor, wenn in einer Schaltfunktion von n Variablen alle x je einmal vorhanden und konjunktiv verknüpft sind, wobei jede Variable entweder negiert oder nicht negiert sein kann.

B e i s p i e l :

$$y = \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1 x_0. \quad (53)$$

Entsprechend ergibt sich eine Elementardisjunktion, wenn alle n Variablen disjunktiv verknüpft sind.

B e i s p i e l :

$$y = x_3 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_1 \vee x_0. \quad (54)$$

Ein Fundamentalterm liegt vor, wenn in den Gl. (53) oder (54) eine oder mehrere Variable fehlen. Man spricht in diesem Fall von Fundamentalkonjunktion bzw. -disjunktion.

Eine disjunktive Normalform (Abkürzung: DN) liegt vor, wenn Fundamentalkonjunktionen disjunktiv miteinander verknüpft sind, z. B. Gl. (51). Entsprechend ergibt sich die konjunktive Normalform (KN) aus der Konjunktion von Fundamentaldisjunktionen, z. B. Gl. (38).

Treten die Elementarfunktionen in der Schaltfunktion auf, so entstehen die kanonischen Normalformen KDN (Kanonische Disjunktive Normalform) bzw. KKN. Diese Formen haben Bedeutung für die Ermittlung der Schaltfunktion aus der Schaltbelegungstabelle. Beispiele einer KDN sind die Gl. (10) und (13).

4.2. Schaltbelegungstabelle (SBT) und Schaltfunktion (SF)

Sowohl die Schaltbelegungstabelle als auch die Schaltfunktion ist eine mögliche Darstellung der Abhängigkeit zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen. Beide Darstellungsformen müssen deshalb ineinander überführbar sein. Am Beispiel der Äquivalenz (s. Abschn. 2.3.) wurde eine solche Umsetzung bereits behandelt.

Liegt die Tabelle vor und soll die Funktion ermittelt werden, so ergibt sich die KDN nach folgender Regel:

Es sind nur die Zeilen der SBT zu betrachten, in denen der Funktionswert für y gleich 1 ist. Man erhält die KDN, indem man in diesen Zeilen alle mit 1 belegten Variablen in wahrer und alle mit 0 belegten Variablen in negierter Form aufnimmt. Die Disjunktion aller dieser Elementarkonjunktionen ist die gesuchte KDN.

Auch die KKN läßt sich in der gleichen einfachen Weise bestimmen:

Es werden nur die Zeilen der SBT betrachtet, in denen der Funktionswert für $y = 0$ ist. Man erhält die KKN, indem man die Variablen in diesen Zeilen negiert bzw. unnegiert in die Elementardisjunktion aufnimmt und diese Terme dann sämtlich konjunktiv verknüpft.

Für die Äquivalenz ergibt sich so z. B. nach Tafel 4 die Funktion

$$y = (\bar{x}_1 \vee x_0) (x_1 \vee \bar{x}_0). \quad (54)$$

Liegt dagegen die Schaltfunktion vor und soll die Tabelle ermittelt werden, so ist zunächst die KDN bzw. KKN zu bilden. Durch die Umkehrung der entsprechenden oben angegebenen Regel erhält man dann die SBT aus der KDN nach folgendem Satz:

Die Disjunktionsglieder der KDN geben die Kombinationen der Signalvariablen an, für die der Funktionswert y in der Tabelle gleich 1 ist. Für alle anderen möglichen Kombinationen ist der Funktionswert y gleich Null.

Entsprechend läßt sich auch die KKN in die Tabelle überführen. Durch Anwendung des Karnaugh-Planes (vgl. Abschn. 5.) lassen sich diese Transformationen noch vereinfachen.

Die technische Realisierung der Funktionen KDN bzw. KKN mit Hilfe von Schaltsystemen würde einen hohen Materialaufwand erfordern. Deshalb ist die Minimierung (Vereinfachung) der aus der Tabelle ermittelten Funktionen notwendig. Diese Minimierung kann rechnerisch mit den Methoden der Schaltalgebra erfolgen. Sie kann aber auch graphisch erfolgen (Karnaugh-Plan) oder mit Hilfe weiterer Algorithmen (z. B. Verfahren von Quine-Mc-Clusky). Bis zu einer Zahl von 5 Variablen bietet der Karnaugh-Plan besondere Vorteile. Deshalb wird dieses Verfahren in diesem Lehrbrief angegeben.

Ü b u n g s a u f g a b e n :

- A 4.1. Was versteht man unter einer Elementarfunktion?
- A 4.2. Welche Bedeutung hat die KDN einer Schaltfunktion?
- A 4.3. Welche Form der Schaltfunktion erweist sich zur Darstellung des Signalflußplanes in der Drei-Elemente-Logik als zweckmäßig?
- A 4.4. Warum ist die disjunktive Normalform einer Schaltfunktion zur Realisierung im Stromlaufplan nicht zweckmäßig?

5. Minimierung nach Karnaugh

5.1. Kurzform der KDN

Die aus Tabellen ermittelten Kanonischen Disjunktiven Normalformen sind im allgemeinen recht lange Ausdrücke. Zur Abkürzung wird deshalb eine Schreibweise nach Gl. (55) verwendet

$$y = \vee K_j^n \quad (55)$$

gelesen: die Disjunktion aller Elementarkonjunktionen K von n Variablen mit dem dezimalen Äquivalent j.

Ein Beispiel für vier Variable zeigt Tafel 5. Es ist die logische Abhängigkeit für eine Schaltung, die dann 1-Signal am Ausgang liefert, wenn von vier Eingangsvariablen 3 oder 4 Variable 1-Signal führen.

Die ausführliche Schreibweise der KDN lautet:

$$y = \bar{x}_3 x_2 x_1 x_0 \vee x_3 \bar{x}_2 x_1 x_0 \vee x_3 x_2 \bar{x}_1 x_0 \vee x_3 x_2 x_1 \bar{x}_0 \vee x_3 x_2 x_1 x_0 \quad (56)$$

Tafel 5: Schaltbelegungstabelle für $y \geq 3$

j	x_3	x_2	x_1	x_0	y
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0
10	1	0	1	0	0
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	1

Die Kurzform lautet:

$$y = \vee K_j^n \quad (57)$$

$n = 4$

$j = 7, 11, 13, 14, 15$

Man erkennt die Einsparung an Schreibarbeit, aber auch die unbedingt notwendige Einhaltung der Systematik.

Analog kann eine Kurzform der KKN definiert werden, sie hat aber weniger Bedeutung.

Für die Tafel 5 lautet diese Formel

$$y = \bigwedge D_j^n \quad (58)$$

$n = 4$

$j = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12$

5.2. Das Karnaugh-Schema für 4 Variable

Das Verfahren beruht auf einer zweckmäßigen Anordnung von sogenannten Konstituenten in einer Tafel. Diese Tafel ist so angeordnet, daß sich zwei benachbarte Felder nur durch Änderung in einer Variablen unterscheiden (sie besitzen die Hemming-Distanz $h = 1$). Die Zahl der Felder der Tafel ist identisch mit der Anzahl der Kombinationen des dezimalen Äquivalents, die kürzer auch als Dualzahlen bezeichnet werden. Der Plan für 4 Variable hat also sechzehn Felder, wobei jedes Eckfeld als Anfangsfeld geeignet ist. Zweckmäßig beginnt man mit der Zählung links oben, da sie den Schreibgewohnheiten europäischer Sprachen entspricht. Werden die Dezimalzahlen j_1 der Tabelle gleich den Konstituenten K_1 gesetzt, so ergibt sich für den Plan das Bild 18.

x_0					
k_0	k_1	k_3	k_2		
k_4	k_5	k_7	k_6		
k_{12}	k_{13}	k_{15}	k_{14}		
k_8	k_9	k_{11}	k_{10}		
				x_1	

x_3

x_2

x_0					
0	0	0	0		
0	0	1	0		
0	1	1	1		
0	0	1	0		
				x_1	

x_3

x_2

Bild 18: Karnaugh-Plan für 4 Variable einschließlich Randschema

Bild 19: Karnaugh-Plan der Tafel 5

Die Konstituenten resultieren aus dem Randschema, wobei nur die wahren Variablen angeschrieben sind. Der oberen Zeile der Tafel sind die Variablen $\bar{x}_3$ und $\bar{x}_2$ gemeinsam, der unteren Zeile die Variablen x_3 und $\bar{x}_2$. Analoge Aussagen gelten für die Variablen x_1 und x_0 für die Spalten.

Der Konstituent K_0 wird also durch die Variablen $\bar{x}_3, \bar{x}_2, \bar{x}_1, \bar{x}_0$ bestimmt, was identisch ist mit der ersten Zeile der Schaltbelegungstabelle. Die in Tafel 5 gegebene Abhängigkeit kann damit bildlich wie im Bild 19 dargestellt werden.

Der Karnaugh-Plan ist also nichts anderes als eine geänderte Darstellung der Schaltbelegungstabelle. Er ist neben der Tabelle und der Schaltfunktion die dritte wesentliche Darstellungsform logischer Abhängigkeiten und mit diesen völlig gleichberechtigt.

Durch eine günstige Zusammenfassung der Konstituenten, die im Prinzip auf der zweiten Kürzungsregel beruht, läßt sich aus der Tafel dann sofort die minimierte Funktion bestimmen, ohne daß irgendeine Rechnung erforderlich ist. Das Karnaugh-Verfahren besteht nun aus zwei Schritten: der Eintragung in die Tafel und der Bestimmung der minimierten Funktion.

5.3. Eintragung in die Tafel

Liegt die logische Abhängigkeit als Schaltbelegungstabelle oder in der KDN vor, so gilt das K-Schema nach Bild 18. Es ist aber auch möglich, disjunktive Normalformen von Schaltfunktionen direkt in die Tafel einzutragen, ohne diese erst in die KDN überführen zu müssen. Fehlende Variable im Disjunktionsglied bedeuten dabei größere Anzahl von 1-Konstituenten. Es gilt der Satz:

Enthält das Disjunktionsglied nur $(n-q)$ -Variable, so entsprechen ihm in der Tafel 2^q 1-Konstituenten, die sich durch ein gemeinsames Rechteck umgrenzen lassen.

Für vier Variable gilt also die in Tafel 6 angegebene Zuordnung.

Tafel 6: Zuordnung für 4 Variable

Zahl der Variablen im Disjunktionsglied	Fehlende Variable	Zahl der 1-Konstituenten
4	0	1
3	1	2
2	2	4
1	3	8

Beispielsweise wird die Funktion

$$y = \bar{x}_3 \bar{x}_1$$

durch einen Block von 4 Einsen in der linken oberen Ecke der Tafel dargestellt.

Bei der Eintragung in die Tafel sind zwei Besonderheiten zu berücksichtigen:

Die Konstituententafel kann man sich über den Rand hinaus fortgesetzt denken, so daß jeweils der obere und untere sowie der rechte und linke Rand zusammenfallen.

Dieser Satz hat Bedeutung für die Umgrenzung der Rechtecke. Bild 20 zeigt als Beispiel die Darstellung der Funktion

$$y = \bar{x}_2 x_0.$$

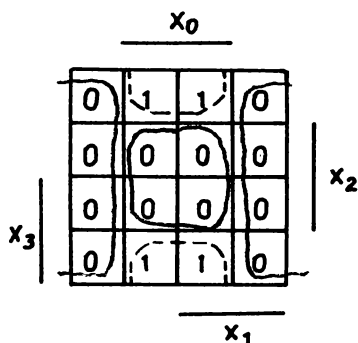


Bild 20: Karnaugh-Plan der Funktion $y = \bar{x}_2 x_0$

Eine Überlagerung mehrerer Rechtecke in der Tafel ist möglich, vorhandene 1-Konstituenten brauchen nicht doppelt eingetragen zu werden.

5.4. Ermittlung der minimierten Funktion

Die Strategie des Karnaugh-Verfahrens besteht in der optimalen Zusammenfassung der in der Tafel vorhandenen 1-Konstituenten. Dafür gilt folgende Regel:

In der Tafel sind die 1-Konstituenten zu möglichst wenigen, möglichst großen Rechtecken zu je 2, 4 oder 8 Feldern zusammenzufassen.

Jeder 1-Konstituent kann dabei zu beliebig vielen Rechtecken gehören.

In der Zusammenfassung beschreibt jedes Rechteck mit 2^q Feldern im Disjunktionsglied $(n-q)$ Variable (Tafel 6).

Diese Regel stellt also gewissermaßen die Umkehrung der Regeln für die Eintragung in den Karnaugh-Plan dar. Wird die Strategie des "möglichst wenig, möglichst groß" verletzt, so ergeben sich keine Minimalformen. Besondere Beachtung verdient hier die Zusammenfassung von Blöcken über den Rand der Tafel hinaus.

Für die Funktion nach Bild 19 lassen sich vier Zweier-Gruppen bilden. Die minimierte Funktion kann dann aus dem Plan sofort abgelesen werden zu

$$y = x_3 x_2 x_0 \vee x_2 x_1 x_0 \vee x_3 x_2 x_1 \vee x_3 x_1 x_0. \quad (60)$$

Die folgenden Beispiele 4 bis 6 sollen das Verfahren erläutern.

B e i s p i e l 4 :

$$y = \bar{x}_3 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 x_0 \vee x_3 x_1 x_0 \vee x_2 x_0 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2 x_1 x_0 \vee x_3 \bar{x}_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0 \quad (61)$$

$$y = x_3 \bar{x}_1 \bar{x}_0 \vee \bar{x}_2 \bar{x}_1 x_0 \vee \bar{x}_3 x_1 x_0 \vee x_2 x_1 \bar{x}_0 \quad (64)$$

Die Zusammenfassung der 1-Konstituenten ist also in gewissem Grade willkürlich; sie wird allein bestimmt durch die Zweckmäßigkeit. Die Funktionen Gl. (63) und Gl. (64) sind also äquivalent, obwohl sie ganz verschiedenes Aussehen besitzen!

B e i s p i e l 6 :

Die Funktion

$$y = \vee K_j^n \quad \begin{matrix} n = 4 \\ j = 1, 4, 5, 6, 8, 12, 13, 15 \end{matrix} \quad (65)$$

ist zu minimieren!

Lösung:

Nach Bild 23 wird die minimierte Form zu

$$y = x_3 \bar{x}_1 \bar{x}_0 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_1 x_0 \vee x_3 x_2 x_0 \vee \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_0 \quad (66)$$

ermittelt. Die Zusammenfassung des Blockes $x_2 \bar{x}_1$ ist also nicht notwendig, da alle 1-Konstituenten bereits "verbraucht" sind.

<u>x_0</u>				
x_3	0	1	0	0
	1	1	0	1
	1	1	1	0
	1	0	0	0
<u>x_1</u>				
x_2				

Bild 23: Karnaugh-Plan der Fkt. nach Gl. (65)

Die Minimierung nach Karnaugh ist durch Übungsaufgaben soweit zu festigen, daß sie als "Handwerkszeug" zur Verfügung steht!

5.5. Karnaugh-Plan für 3 und 2 Variable

Der Plan für 3 Variable kann aus Bild 18 für $x_3 = 0$ abgeleitet werden. Damit ergibt sich das in Bild 24 angegebene Schema.

x_0					x_2
k_0	k_1	k_3	k_2		
k_4	k_5	k_7	k_6		
x_1					

Bild 24: Karnaugh-Plan für
3 Variable

x_0			x_1
k_0	k_1		
k_2	k_3		

Bild 25: Karnaugh-Plan für
2 Variable

Für die Eintragung in die Tafel und die Ermittlung der minimierten Funktion gelten alle oben gemachten Aussagen; lediglich die Tafel 6 ist neu zu bestimmen. Zum Beispiel ergibt sich für 3 Variable im Disjunktionsglied ein 1-Konstituent im Plan, für eine Variable im Disjunktionsglied ein Viererblock.

Entsprechend zeigt Bild 25 den weiter abgerüsteten Plan für zwei Variable.

5.6. Karnaugh-Plan für 5 Variable

Es sind jetzt 32 Felder der Tafel erforderlich, die zweckmäßig in zwei Einzelpläne zu je 16 Feldern aufgeteilt werden. Dabei gilt der linke Plan für die Variable $\bar{x}_4$, der rechte Plan für die Variable x_4 (Bild 26).

Damit beginnt die Zählung j bzw. K_0 wieder links oben und endet mit dem Feld K_{31} .

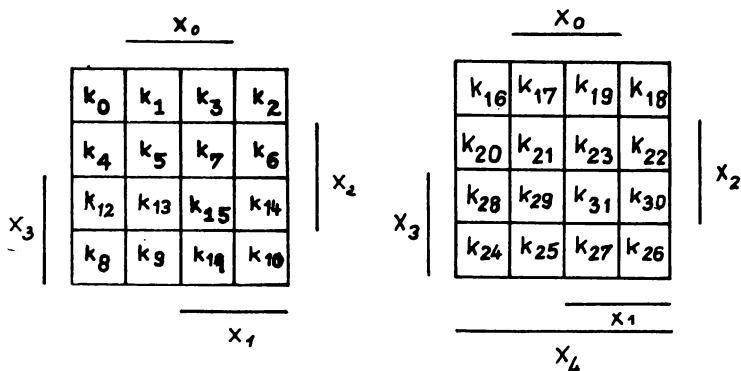


Bild 26: Karnaugh-Plan für 5 Variable

Für die Ermittlung der minimierten Funktion denke man sich nun den rechten Plan über den linken geschoben, so daß eine räumliche Anordnung entsteht. Die Zusammenfassung darf jetzt nicht nur in jeder Ebene, sondern muß auch räumlich erfolgen. Besitzen z. B. die Konstituenten K_1 , K_3 , K_{17} und K_{19} den Wert 1, so ergibt sich damit der Ausdruck $\bar{x}_3 \bar{x}_2 x_0$ als räumlich angeordneter Viererblock (entsprechend der erneut veränderten Tafel 6 bedingen 2 fehlende Variable einen Viererblock). Sind die Konstituenten K_0 und K_4 mit 1 belegt, so ergibt das die Variablenkombination $\bar{x}_4 \bar{x}_3 \bar{x}_1 \bar{x}_0$. Die Variable $\bar{x}_4$ tritt also nur dann auf, wenn die Zusammenfassung im linken bzw. unteren Plan erfolgt.

In dieser Form läßt sich der Plan mit 5 Variablen noch recht gut übersehen. Treten mehr als 5 Variable auf, so kann wieder eine Erweiterung erfolgen, und zwar auf 4 Einzelpläne mit je 16 Feldern. Doch werden diese Erweiterungen dann unübersichtlich, so daß andere Minimierungsverfahren angewandt werden sollten /7/.

5.7. Verfahren der wählbaren Konstituenten

In der Praxis treten häufig Fälle auf, in denen die Schaltungsbelegungstabelle Variablenkombinationen aufweist, für die der Funktionswert y beliebig ist.

In diesem Falle läßt sich auch in der Karnaugh-Tafel an dieser Stelle wahlweise ein 1- oder ein 0-Konstituent einsetzen. Diese Konstituenten sind also frei wählbar und werden mit dem Zeichen ϕ (sprich: f) belegt.

Beispiel 7 :

Es ist eine logische Schaltung zu entwickeln, welche die Dualzahlen 0 ... 5 um 2 erhöht!

Lösung:

Das Blockschaltbild zeigt Bild 27.

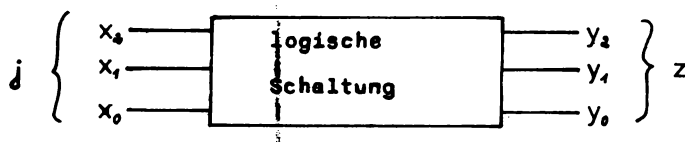


Bild 27: Blockschaltbild zur Dualzahlenerhöhung

Zur Darstellung der Ziffern 0 ... 7 ($= 5 + 2$) werden je 3 Eingangs- und Ausgangs-Variable benötigt, wobei die Kombinationen den Dezimalzahlen entsprechen. Es kann folgende Tabelle aufgestellt werden (Tafel 7):

Die Schaltung enthält also 3 Ausgangsvariable $y_2 \dots y_0$, die jede von $x_2 \dots x_0$ abhängig sind. Da die Eingangskombinationen $j = 6$ und $j = 7$ aber nicht vorkommen, ist die Ausgangsbelegung für $y_2 \dots y_0$ für diese Fälle beliebig.

Die Karnaugh-Pläne für y sind im Bild 28 dargestellt.

Tafel 7: Schaltbelegungstabelle zur Dualzahlenerhöhung

j	x_2	x_1	x_0	y_2	y_1	y_0	Z
0	0	0	0	0	1	0	2
1	0	0	1	0	1	1	3
2	0	1	0	1	0	0	4
3	0	1	1	1	0	1	5
4	1	0	0	1	1	0	6
5	1	0	1	1	1	1	7
6	1	1	0	ϕ	ϕ	ϕ	-
7	1	1	1	ϕ	ϕ	ϕ	-

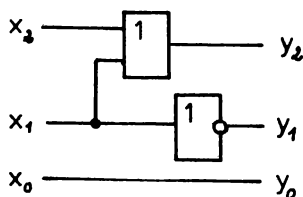


Bild 29: Signalflußplan zur Dualzahlenerhöhung

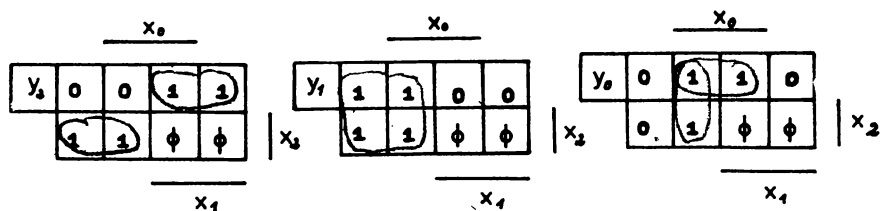


Bild 28: Karnaugh-Pläne für Tafel 7

Zur Minimierung von y_2 werden zweckmäßig beide ϕ für beide Zusammenfassungen gleich 1 gesetzt; für y_1 werden beide ϕ gleich 0 gesetzt, und für y_0 wird einmal der Wert 1 bzw. 0 gewählt. Das führt zu den Gleichungen:

$$\left. \begin{aligned} y_2 &= x_2 \vee x_1 \\ y_1 &= \bar{x}_1 \\ y_0 &= x_0 \end{aligned} \right\} \quad (67)$$

Als Schaltung ergibt sich daraus der Signalflußplan Bild 29.

Ohne dieses Verfahren der wählbaren Konstituenten hätte sich eine wesentlich aufwendigere Schaltung ergeben, die zum Ver-

gleich und zur Übung zu entwickeln ist (vgl. Übungsaufgabe A 5.3.).

5.8. Anwendungen des Karnaugh-Verfahrens

Das graphische Verfahren nach Karnaugh ist ein unentbehrliches Hilfsmittel für den Steuerungstechniker. Es ist nach einiger Übung sicher zu beherrschen, da der Algorithmus relativ einfach ist. Neben der Minimierung von Funktionen läßt es sich aber noch für viele weitere Aufgaben einsetzen, die im folgenden mit kurzen Erläuterungen aufgezählt werden.

1. Minimierung von Schaltfunktionen, die als Schaltbelegungstabelle, als KDN oder als DN vorliegen kann. Das Verfahren der wählbaren Konstituenten erlaubt die Ermittlung weitgehend minimierter Funktionen.
2. Ermittlung der KDN und damit der Schaltbelegungstabelle aus gegebenen disjunktiven Normalformen der Funktion.
Lösung: Für die gegebene DN wird der Karnaugh-Plan gezeichnet. Daraus kann die Kurzform der KDN sofort ermittelt werden, desgleichen die ausführliche Form, wenn jeder 1-Konstituent aus der Tafel einzeln entnommen wird.
3. Prüfung auf Äquivalenz von Schaltungen.
Satz: Sind zwei Schaltfunktionen äquivalent, so müssen ihre Karnaugh-Tafeln gleich sein.
4. Ermittlung der negierten Schaltfunktion $\bar{y}$.
Lösung: Werden die Null-Konstituenten im Karnaugh-Plan nach den gleichen Regeln zusammengefaßt wie die 1-Konstituenten, so ergibt sich die Funktion $\bar{y}$ in der disjunktiven Normalform.
5. Ermittlung konjunktiver Normalformen.
Lösung: Es wird zunächst nach Pkt. 4. die Funktion $\bar{y}$ ermittelt, die dann nochmals negiert wird. Auf der rechten Seite der Gleichung ergibt sich dann durch Umformung nach de Morgan die KN.

6. Ermittlung der kanonischen konjunktiven Normalform.

Lösung: Nach Pkt. 4. und 5. wird $\bar{y}$ als negierte kanonische Normalform gebildet, dann negiert und die rechte Seite der Gleichung umgeformt.

7. Ermittlung von Schaltfunktionen in NAND-Technik.

8. Ermittlung von Schaltfunktionen in NOR-Technik.

Die letzten beiden Punkte haben besondere Bedeutung für die Entwicklung von Schaltungen mit modernen Schaltsystemen, z. B. für mikroelektronische Systeme. Auf die Besonderheiten wird in den Abschnitten 7. und 8. des Lehrbriefes eingegangen.

Es muß noch darauf verwiesen werden, daß es kein Kriterium gibt, ob die nach Karnaugh ermittelten Funktionen wirklich minimal sind. Für die praktischen Anwendungen des Ingenieurs reichen die angegebenen Kriterien aber im allgemeinen aus.

Auf weitere Minimierungsverfahren muß hier aus Platzgründen verzichtet und auf die Literatur verwiesen werden, insbesondere auf /7/.

Ü b u n g s a u f g a b e n :

A 5.1. Nach Karnaugh sind zu minimieren:

$$Y_1 = \bar{x}_3 \bar{x}_2 x_1 \vee \bar{x}_3 x_2 x_1 x_0 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2 x_0 \vee x_3 x_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0 \\ \vee x_3 x_2 \bar{x}_1 x_0 \vee x_3 \bar{x}_2 x_0 \vee x_2 x_1 \bar{x}_0$$

$$Y_2 = \vee K_j \quad \begin{matrix} n = 3 \\ j = 1, 3, 4, 6, 7 \end{matrix}$$

$$Y_3 = \vee K_j \quad \begin{matrix} n = 4 \\ j = 3, 4, 6, 7, 8, 11, 12 \end{matrix}$$

$$Y_4 = \vee K_j \quad \begin{matrix} n = 5 \\ j = 3, 7, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 23, 31 \end{matrix}$$

A 5.2. Unter welchen Bedingungen kann das Verfahren der wählbaren Konstituenten angewandt werden?

A 5.3. Ermitteln Sie den redundanten Signalflußplan zur Dualzahlenerhöhung, und geben Sie die Einsparungen an, die

gegenüber der Schaltung von Bild 29 zu erzielen sind!

6. Schaltungssynthese

6.1. Entwurfsalgorithmus

Alle bisherigen Darlegungen dienen einem Ziel: der Entwicklung einer Schaltung aus einer gegebenen Aufgabenstellung. Diese Aufgabenstellung liegt im allgemeinen verbal vor. Es besteht für den Ingenieur die Aufgabe, eine Schaltung zu entwickeln, die bestimmte Funktionen erfüllen soll.

Mit dem bisher entwickelten Rüstzeug läßt sich eine solche Schaltung nach einem bestimmten Algorithmus "ausrechnen" bzw. entwickeln, ähnlich wie man z. B. eine quadratische Gleichung nach einem bestimmten Algorithmus löst und die beiden Ergebnismwerte x_1 und x_2 "rein schematisch" erhält. Da die Ermittlung der Schaltung auch Ähnlichkeit mit dem Aufbau einer chemischen Verbindung hat, hat sich dafür der Begriff "Schaltungssynthese" durchgesetzt. Das Beispiel im Abschnitt 5.7. wurde bereits nach diesem Verfahren entwickelt.

Im folgenden wird der Algorithmus noch einmal mit entsprechenden Hinweisen zusammengestellt.

Gegeben: Verbale Aufgabenstellung

Lösungsweg:

1. Blockschaltbild zeichnen.

Hier sind die Verbindungen zum Prozeß darzustellen sowie insbesondere die Ein- und Ausgangsgrößen festzulegen.

2. Schaltbelegungstabelle aufstellen.

Die im Blockschaltbild vorliegenden Abhängigkeiten sind entsprechend der Aufgabenstellung in 0 - 1 - Aussagen für x und y in die Schaltbelegungstabelle zu überführen.

3. Schaltfunktion ermitteln.

Hier ist im allgemeinen die KDN anzugeben. Zweckmäßig kann aber sofort der Karnaugh-Plan gezeichnet werden, um Schreib-

arbeit zu sparen.

4. Minimierung der Funktion.

Nach den Rechengesetzen ist aus der KDN oder graphisch nach Karnaugh die minimierte Funktion zu bestimmen. Je nach dem Schaltsystem zur Realisierung der Schaltung sind unterschiedliche Formen dieser minimierten Funktion zweckmäßig, so z. B. die DN, die NAND- oder NOR-Form (vgl. Pkt. 7. und 8.)

5. Schaltung zeichnen.

Je nach dem Schaltsystem wird entweder der Stromlaufplan (Realisierung durch Relais) oder der Signalflußplan (Realisierung durch Logikbausteine oder Schaltkreise) gezeichnet.

Damit ist die theoretische Entwicklungsarbeit der Schaltung abgeschlossen.

Es schließen sich nun noch Schritte zur Realisierung der Schaltung an, die zur Vervollständigung mit angegeben werden:

6. Auswahl des Schaltsystems.

Eine Vorauswahl mußte bereits unter Pkt. 4. getroffen werden, um eine systemgerechte Funktion zu erhalten. Bei gleicher Logikart (z. B. Drei-Elemente-Logik) können jedoch noch unterschiedliche Schaltsysteme verwendet werden (z. B. TRANSLOG 2 oder WEMALOG).

7. Festlegung der Bausteine.

Anhand des entsprechenden Typenkataloges sind Art und Anzahl der Bausteine auszuwählen.

8. Aufbau und Funktionserprobung der Schaltung.

Sie erfolgt in entsprechenden Laborversuchen an dafür eingerichteten Versuchsständen im Labor für Steuerungstechnik bzw. im praktischen Einsatz.

Die vorliegende Schaltungssynthese stellt eine Minimierung nach der Anzahl der verwendeten Bausteine dar. Die Schaltungsentwicklung ist aber auch nach anderen Kriterien möglich, z. B. nach einem minimalen Leistungsverbrauch (geringste Belastung des Stromversorgungsgerätes), nach minimalen Kosten je nach dem Preis der Bausteine oder ähnlichem. Doch stehen diese Kri-

terien mit dem nach dem geringsten Bausteinaufwand in engem Zusammenhang, sie sind gegebenenfalls zusätzlich zu berücksichtigen.

6.2. Anwendungsbeispiel

Es ist eine Sicherheitsschaltung für ein Sammeltransportband zu entwickeln. Das Sammelband kann durch maximal vier Zubringerbänder $x_4 \dots x_1$ beschickt werden, wobei wegen Überschüttung nur zwei Zubringerbänder gleichzeitig laufen dürfen. Die Verriegelungsschaltung soll das Einschalten weiterer Bänder verhindern, wenn bereits zwei Zubringer laufen.

Das Schalten der Bänder erfolgt über Taster, die nicht gleichzeitig betätigt werden dürfen. Das laufende Band liefert 1-Signal.

Lösung:

Aus dem Blockschaltbild (Bild 30) gewinnt man die Schaltbelegungstabelle (Tafel 8). y muß bereits dann ein 1-Signal führen, wenn zwei Förderbänder laufen, denn dieses Signal muß ja schon die Einschaltung des dritten Bandes verhindern. (Die Dezimaläquivalente $j = 7, 11, 13, 14$ und 15 könnten in diesem Falle auch durch die frei wählbaren Konstituenten ϕ belegt werden.)

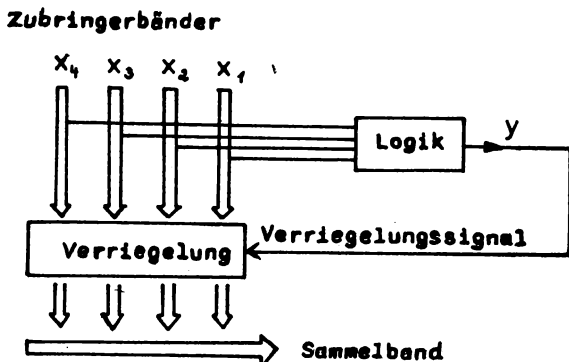


Bild 30: Blockschaltbild zur Bandverriegelungsschaltung

Tafel 8: Schaltbelegungstabelle zur Bandverriegelung

j	x_4	x_3	x_2	x_1	y
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	1
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1
7	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	1
10	1	0	1	0	1
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	1
13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	1

x_1				
0	0	1	0	
0	1	1	1	
1	1	1	1	
0	1	1	1	
x_4	x_3			
x_2				

Bild 31: Karnaugh-Plan zur Bandverriegelung

Aus dem Karnaugh-Plan (Bild 31) wird die minimierte Funktion ermittelt (Gl. (68)):

$$y = x_4 x_3 \vee x_4 x_2 \vee x_4 x_1 \vee x_3 x_2 \vee x_3 x_1 \vee x_2 x_1. \quad (68)$$

Der Stromlaufplan dieser Logik enthält 12 Kontakte. Eine Vereinfachung durch zweckmäßiges Ausklammern und Umformen (Gl. (69)) liefert eine Schaltung mit nur 8 Kontakten:

$$y = x_4 x_3 \vee x_2 x_1 \vee (x_4 \vee x_3) (x_2 \vee x_1). \quad (69)$$

Das Signal y der Logik ist damit nach den Gesetzen der Schaltungssynthese entwickelt. Es muß jedoch zur Lösung der Gesamtaufgabe noch in eine komplexere Schaltung eingearbeitet werden, deren Entwicklung über den Rahmen der hier vorliegenden Schaltungssynthese hinausgeht. Diese Thematik wird in den Lehrbriefen Steuerungstechnik 2 und 3 dieser Reihe behandelt.

Für die Verriegelung wird ein Hilfsrelais benötigt, welches über einen Ruhekontakt das Einschalten von jeweils zwei Bändern erlaubt. Damit entsteht aber für diese Bedingung bereits ein 1-Signal, welches das Hilfsrelais ansprechen läßt und den Ruhekontakt öffnet. Jetzt kann zwar ein weiterer Taster betätigt werden, aber trotzdem läuft dieses Band nicht mit. Damit laufende Bänder nicht abgeschaltet werden, müssen alle Selbsthaltekontakte an die Betriebsspannung gelegt werden. Den vollständigen Stromlaufplan zeigt Bild 32.

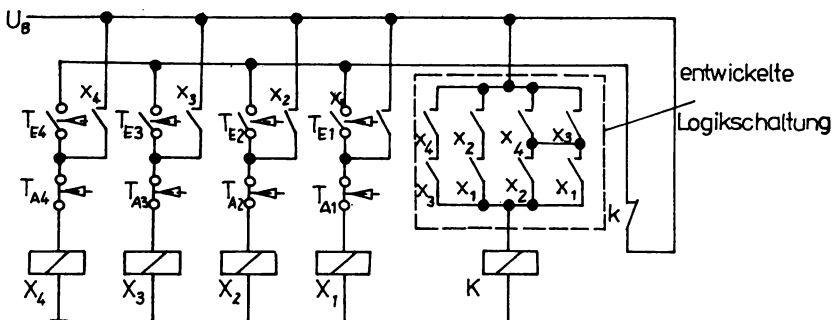


Bild 32: Stromlaufplan der Gesamtschaltung zur Bandverriegelung

In ähnlicher Weise kann der Signalflußplan entwickelt werden. Die Logik wird aber zweckmäßiger nach Gl. (68) realisiert. Der Ruhekontakt des Hilfsrelais wird hier durch einen Negator ersetzt. Bezüglich der kontaktlosen Selbsthalteschaltungen muß wieder auf den Lehrbrief Steuerungstechnik 2 dieser Reihe verwiesen werden. Damit ergibt sich der Signalflußplan der Gesamtschaltung entsprechend Bild 33.

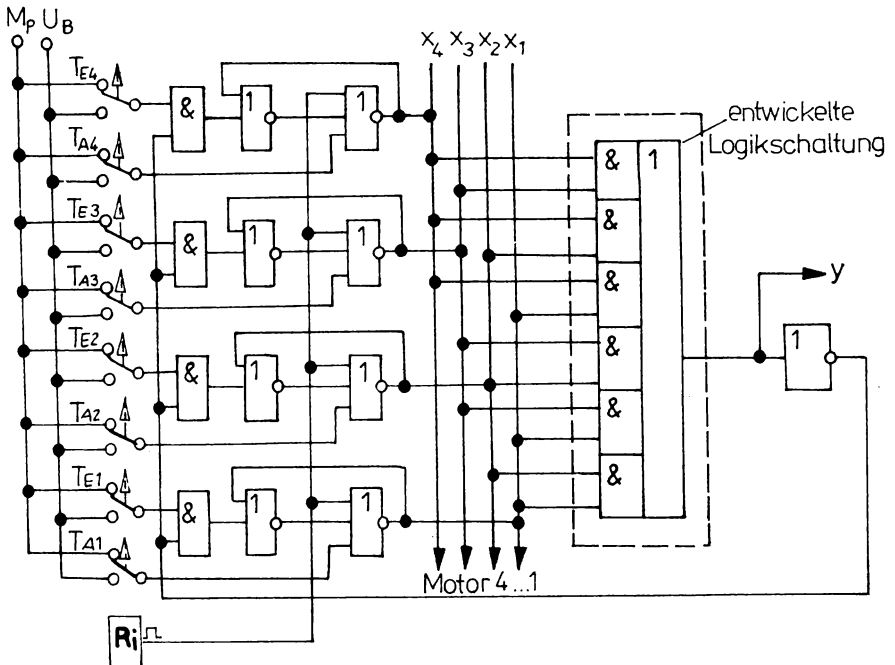


Bild 33: Signalflußplan der Gesamtschaltung zur Bandverriegelung

6.3. Schaltungsanalyse

Man versteht darunter die zur Synthese inverse Aufgabe, nämlich: aus einer vorgegebenen Schaltung deren Funktion zu ermitteln. Dazu wird der in Abschn. 6.1. gegebene Algorithmus in umgekehrter Reihenfolge durchlaufen, so daß aus der Schaltung die Schaltbelegungstabelle gewonnen wird und daraus auf die Funktion der Schaltung geschlossen werden kann.

Praktische Bedeutung hat die Analyse unter anderem bei der Modernisierung von Schaltungen, wenn z. B. eine gegebene Relaischaltung durch Halbleiterschaltungen oder integrierte Schaltkreise ersetzt werden soll. Es wird dann die Schaltfunktion der gegebenen Schaltung aufgestellt, die sich oftmals noch minimieren läßt. Mit schaltalgebraischen oder graphischen Methoden wird dann die entsprechende neue Form der Schaltfunktion ermittelt und die Schaltung nach den Regeln der Synthese für das modernere Schaltsystem entwickelt.

Ü b u n g s a u f g a b e n :

- A 6.1. Welche Schritte sind zur Synthese einer Steuerschaltung notwendig?
- A 6.2. In einer Mischungsanlage werden 3 Komponenten durch Rohrleitungen und Pumpen dem Mischkessel zugeführt. Eine Überwachungsschaltung soll die Anlage dann abschalten, wenn eine der drei Komponenten ausfällt. Der Stillstand einer Pumpe wird durch 0-Signal angezeigt. Bestimmen Sie von dieser Schaltung den Stromlaufplan und den Signalflußplan!

7. Schaltungen in NAND-Technik

Alle Kombinationsschaltungen lassen sich ausschließlich mit NAND-Elementen (vgl. Abschn. 2.2.) realisieren. Der Beweis für diese Behauptung ist erbracht, wenn die drei Grundfunktionen Negation, Konjunktion, Disjunktion durch NAND-Elemente darstellbar sind.

Negation: Werden beide Eingänge zusammengeschaltet, arbeitet das NAND-Element als Negator. Eine zweite Möglichkeit besteht darin, einen Eingang auf 1-Potential zu legen und den zweiten als Variableneingang zu benutzen (Beweis aus der Schaltbelegungstabelle!).

Konjunktion: Wird dem NAND-Element ein Negator nachgeschaltet, so arbeitet diese Kombination als Konjunktion.

Disjunktion: Wird jedem Eingang des NAND-Elements ein Negator vorgeschaltet, so arbeitet diese Kombination als Disjunktion. Der Beweis ergibt sich aus den de Morganschen Regeln.

Integrierte Schaltkreise der TTL-Technik (Baureihe D 10) arbeiten mit der NAND-Verknüpfung. Deshalb müssen die Schaltfunktionen zunächst in die NAND-Form umgewandelt werden. Für eine gegebene Schaltung in Drei-Elemente-Logik kann das nach den obigen Regeln gliedweise geschehen, doch ist dieses Verfahren umständlich und zeitaufwendig. Der Karnaugh-Plan gestattet hier eine wesentlich elegantere Lösung.

Aus dem Karnaugh-Plan wird die minimierte Funktion y ermittelt, diese zweimal negiert und der untere Negationsstrich nach den Regeln von de Morgan aufgelöst. Damit ergibt sich die NAND-Form der Schaltfunktion.

Da die Baureihe D 10 NAND-Gatter bis zu 8 Eingänge enthält, können maximal 8 Variable mit einem Element verknüpft werden. Treten mehr als 8 Variable in einem Disjunktionsglied auf, müssen diese Funktionen nach den Regeln der Schaltalgebra umgeformt werden.

In jedem Falle darf die Gleichung aber nur NAND-Verknüpfungen enthalten.

Als Beispiel soll die in Abschn. 6.2. entwickelte Logik in NAND-Technik dargestellt werden. Die aus dem Karnaugh-Plan (Bild 31) ermittelte Funktion (Gl. (68)) wird zunächst zweimal negiert, es ergibt sich Gl. (70):

$$y = \overline{\overline{x_4 x_3 \vee x_4 x_2 \vee x_4 x_1 \vee x_3 x_2 \vee x_3 x_1 \vee x_2 x_1}}. \quad (70)$$

Jetzt werden die Disjunktionen nach Gl. (31) aufgelöst. Daraus ergibt sich bereits die NAND-Form (Gl. (71)):

$$y = \overline{\overline{x_4 x_3} \overline{x_4 x_2} \overline{x_4 x_1} \overline{x_3 x_2} \overline{x_3 x_1} \overline{x_2 x_1}}. \quad (71)$$

Den zugehörigen Signalflußplan zeigt Bild 34.

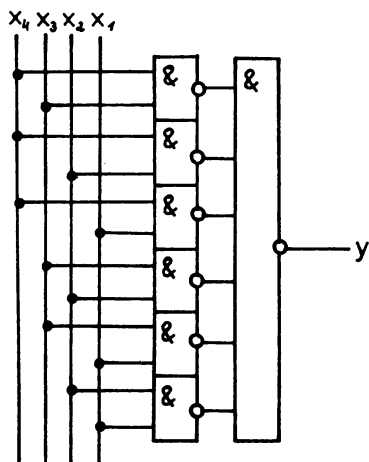


Bild 34: Signalflußplan der Verriegelungslogik in NAND-Technik

In der Baureihe D 10 sind noch weitere Funktionen integriert, z. B. die AND-NOR-Funktion im Schaltkreis D 150 oder D 154. Diese Logik wird zweckmäßig nach den Regeln für die NOR-Funktion entwickelt (vgl. Abschn. 8.).

Ü b u n g s a u f g a b e n :

- A 7.1. Welche Schritte sind zur Synthese einer Schaltung in NAND-Technik notwendig?
- A 7.2. Entwickeln Sie die Schaltung der Übungsaufgabe A 6.2. in NAND-Technik!

8. Schaltungen in NOR-Technik

Ähnlich der NAND-Funktion lassen sich alle Kombinationsschaltungen auch durch NOR-Elemente realisieren, wobei ähnliche Umformungsregeln gelten:

Negation: Die Eingänge des NOR-Elements sind zu verbinden, oder ein Eingang ist auf 0-Potential zu legen, wenn das NOR-Element als Negator arbeiten soll.

Konjunktion: Wird jedem Eingang des NOR-Elementes ein Negator vorgeschaltet, arbeitet es als Konjunktionsglied.

Disjunktion: Wird dem NOR-Element ein Negator nachgeschaltet, arbeitet es als Disjunktionsglied.

Das Schaltsystem TRANSLOG 2 arbeitet u. a. mit NOR-Elementen, wobei maximal vier Eingänge vorhanden sind. Die Schaltfunktionen sind also zunächst in die NOR-Form umzusetzen, dann kann der Signalflußplan sofort wieder gezeichnet werden. Die Lösung mit Hilfe des Karnaugh-Planes ist wiederum sehr elegant, erfordert aber die Beachtung einer Besonderheit.

Die NOR-Form einer Schaltfunktion erhält man, indem aus dem Karnaugh-Plan die 0-Konstituenten entnommen werden. Man bildet die konjunktive Normalform, die doppelt negiert und dann nach de Morgan umgeformt wird.

Als Beispiel werde wiederum die Verriegelungsschaltung des Abschn. 6.2. betrachtet. Aus dem Karnaugh-Plan (Bild 31) ergibt sich die Funktion

$$y = (x_4 \vee x_3 \vee x_2)(x_4 \vee x_3 \vee x_1)(x_4 \vee x_2 \vee x_1)(x_3 \vee x_2 \vee x_1) \quad (72)$$

woraus man durch doppelte Negation und Umformung nach Gl. (30) die NOR-Form gewinnt:

$$y = \overline{\overline{x_4 \vee x_3 \vee x_2} \vee \overline{x_4 \vee x_3 \vee x_1} \vee \overline{x_4 \vee x_2 \vee x_1} \vee \overline{x_3 \vee x_2 \vee x_1}} \quad (73)$$

Zum gleichen Ergebnis kommt man, wenn aus dem Plan (Bild 31) die negierte Funktion $\bar{y}$ in disjunktiver Normalform ermittelt wird (Gl. (74)):

$$\bar{y} = \bar{x}_4 \bar{x}_3 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_3 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_2 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_2 \bar{x}_1. \quad (74)$$

Beide Seiten werden dann negiert und vorhandene Konjunktionen nach de Morgan noch umgeformt. Den Signalflußplan dieser Schaltung in NOR-Technik zeigt Bild 35. Ohne Änderung der rechten Seite ergibt sich nach der Negation aus Gl. (74) sofort die AND-NOR-Form der Gleichung.

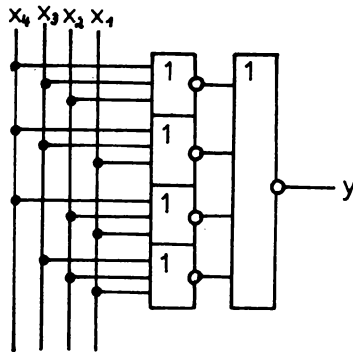


Bild 35: Signalflußplan der Verriegelungslogik in NOR-Technik

Ü b u n g s a u f g a b e n :

- A 8.1. Welche Schritte sind zur Synthese einer Schaltung in NOR-Technik notwendig?
- A 8.2. Entwickeln Sie die Schaltung der Übungsaufgabe A 6.2. in NOR-Technik!

9. Schaltungen in Implikations- und Inhibitionstechnik

Das pneumatische System DRELOBA arbeitet vorwiegend mit Implikationsverknüpfungen, wobei weiterhin die Funktionen Negation, Konjunktion, Inhibition und Disjunktion möglich sind. Für die Entwicklung von Schaltungen in dieser Technik gibt es keine so einfachen Algorithmen, wie sie in den Abschnitten 7. und 8. angegeben wurden. Man muß hier durch geschickte Umformungen versuchen, die Schaltungen so zu verwandeln, daß möglichst wenig Bauelemente zur Realisierung erforderlich werden. Erschwerend kommt noch hinzu, daß die Logikelemente (im allgemeinen Doppelmembranrelais) nur zwei Eingänge besitzen.

Als Beispiel werde die Äquivalenz betrachtet, die in dieser Technik realisiert werden soll. Die Schaltfunktion (Gl. (10)) wird im ersten Teil doppelt negiert und dann umgeformt (Gl. (75) und (76)):

$$y = \overline{\overline{x_1}} \overline{\overline{x_0}} \vee x_1 x_0 \quad (75)$$

$$y = \overline{\overline{x_1}} \vee \overline{\overline{x_0}} \vee x_1 x_0 \quad (76)$$

Die doppelte Negation der Variablen x_1 wird notwendig, weil sie am negierten Eingang des Implikationselementes wieder negiert werden muß. Den Signalflußplan zeigt Bild 36. Die Schaltung erfordert zur Realisierung 4 Doppelmembranrelais. Die Verwendung eines UND-Elementes ist dabei möglich und ergibt sich aus den Systembedingungen.

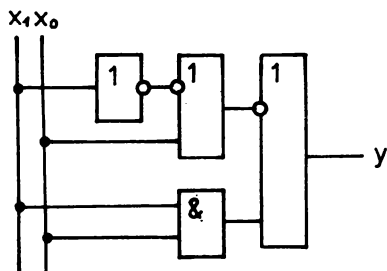


Bild 36: Signalflußplan der Äquivalenz in Implikationstechnik

Zur Realisierung der komplizierten Verriegelungsschaltung des Abschn. 6.2. wird die Schaltfunktion in die Form

$$y = \overline{\overline{x_4} \vee \overline{x_3} \vee x_3 x_2} \overline{\overline{x_4} \vee \overline{x_2} \vee x_3 x_1} \vee \overline{\overline{x_4} \vee \overline{x_1} \vee x_2 x_1} \quad (77)$$

gebracht. Den zugehörigen Signalflußplan zeigt Bild 37.

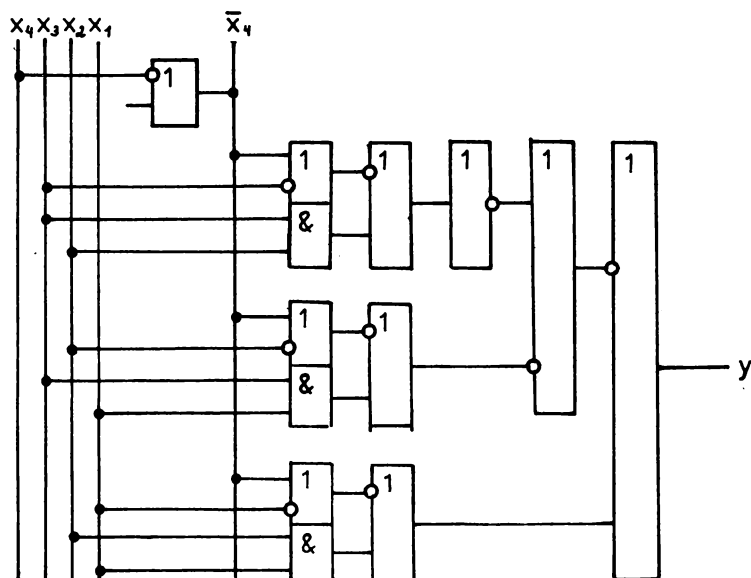


Bild 37: Signalflußplan der Verriegelungsschaltung in Implikationstechnik

Zum Aufbau der Schaltung sind 13 Doppelmembranrelais erforderlich.

Das moderne Schaltsystem Ursalog 4000 arbeitet mit Schaltkreisen in Inhibitionstechnik. Es stehen je Gatter 2, 3 oder 4 Eingänge zur Verfügung, wovon je einer negiert ist. Da die Ausgänge der Gatter bzw. der Schaltkreise aber durch Dioden disjunktiv verknüpft werden können, bietet der Entwurf von Schaltungen in dieser Technik keine Schwierigkeiten. Man entwickelt die Schaltung deshalb zweckmäßig in der 3-Elemente-Logik, wobei negierte Variable im Konjunktionsglied dem negierten Eingang des Gatters direkt zugeordnet werden können.

Die Verriegelungsschaltung nach Abschn. 6.2. wird zweckmäßig nach Gl. (69) realisiert.

An Aufwand werden dafür 2 Schaltkreise und 7 Dioden benötigt (Bild 38).

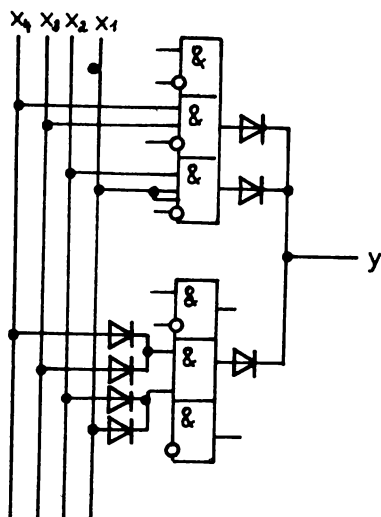


Bild 38: Signalflußplan der Verriegelungsschaltung in Inhibitionstechnik

Auch eine Realisierung der Schaltung nach Gl. (68) ist möglich, an Aufwand sind hier aber 3 Schaltkreise und 6 Dioden erforderlich.

Ü b u n g s a u f g a b e n :

- A 9.1. Entwickeln Sie den Signalflußplan der Antivalenz in Implikations-Inhibitionstechnik!
- A 9.2. Entwickeln Sie den Signalflußplan der Antivalenz mit den Elementen des Systems Ursalog 4000!
- A 9.3. Entwickeln Sie die Schaltung der Übungsaufgabe A 6.2. mit den Elementen des Systems Ursalog 4000!

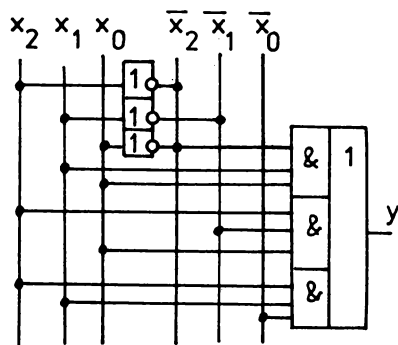
Antworten und Lösungen zu den Übungsaufgaben

A 1.1. Autolenkung, Steuerung des Schiffruders, Steuerung des Kollektorstromes durch den Basisstrom.

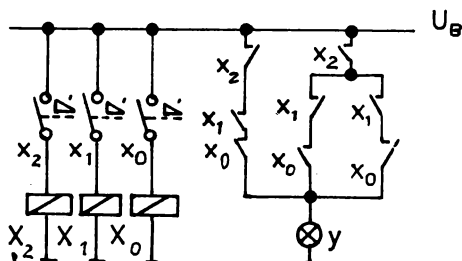
A 1.2. Negation, Identität.

A 1.3. Die Schaltbelegungstabelle hat 32 Kombinationen ($j = 0 \dots 31$).

A 2.1.



A 2.2.



A 2.3.

j	x_2	x_1	x_0	y
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	1
4	1	0	0	0
5	1	0	1	1
6	1	1	0	1
7	1	1	1	0

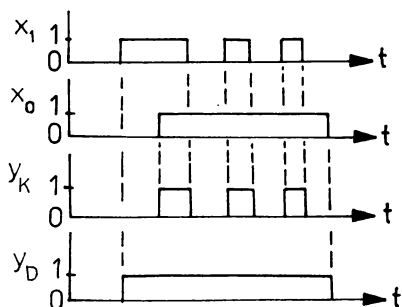
Die Schaltung liefert dann ein Ausgangssignal y, wenn von den 3 Eingangssignalen eines und nur eines den Wert null hat (Ausfall einer Eingangsgröße).

A 2.4. Grundverknüpfung des Systems DRELOBA ist die Implikation

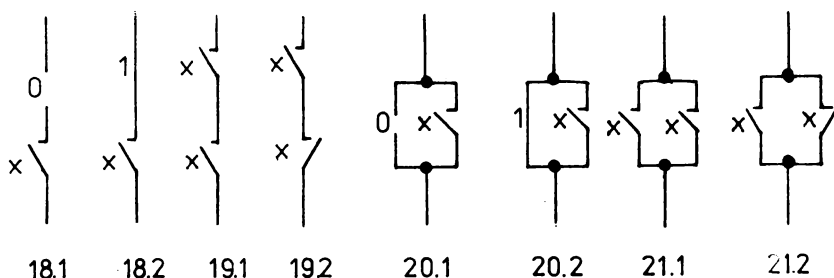
A 2.5. Das Zeitfolgediagramm ergibt sich durch die entsprechende logische Verknüpfung der Variablen:

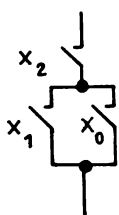
$$y_K = x_1 \cdot x_0$$

$$y_D = x_1 \vee x_0$$

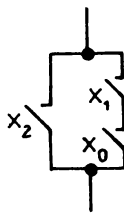
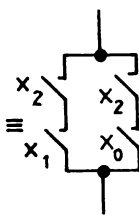


A 3.1. Unter Fortlassung der ansteuernden Relais ergeben sich folgende Schaltungen:

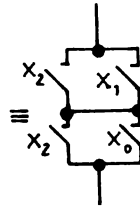
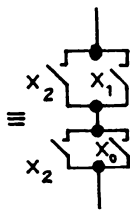




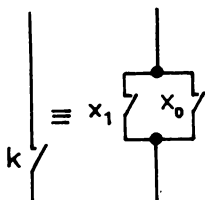
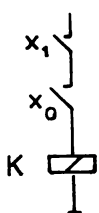
28



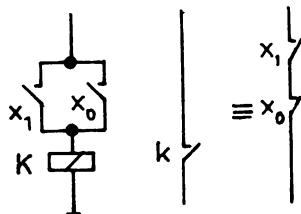
29



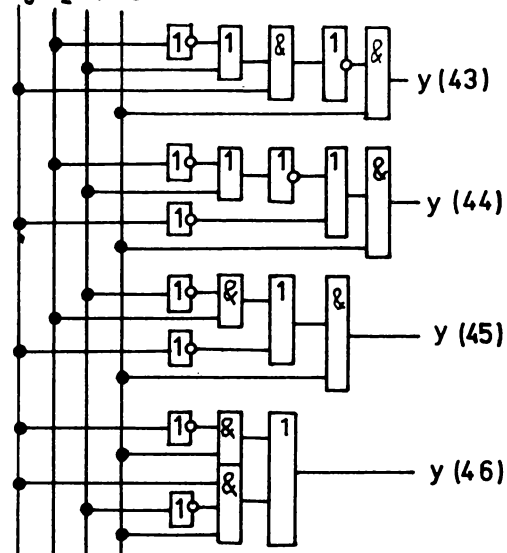
30



31



A 3.2.
 $x_3 \ x_2 \ x_1 \ x_0$



A 3.3. Die vereinfachten
 Funktionen lauten:

$$y_1 = x_3 \bar{x}_2 \bar{x}_1 x_0$$

$$y_2 = x_3 \vee x_2 x_1 \vee \bar{x}_0$$

$$y_3 = \bar{x}_2 \vee x_1 \vee \bar{x}_0$$

$$y_4 = x_3 x_2 \vee x_3 x_1 \vee x_3 x_0$$

$$y_5 = \bar{x}_2 x_1 \bar{x}_0$$

- A 4.1. Eine Elementarfunktion kann z. B. als Elementarkonjunktion auftreten. In ihr treten alle n Variablen in konjunktiver Verknüpfung in negierter oder unnegierter Form auf.
- A 4.2. Aus der KDN lassen sich ein-eindeutig die SBT und der Karnaugh-Plan ableiten.
- A 4.3. Für die Darstellung des Signalflußplanes in 3-Elemente-Logik erweist sich die DN als zweckmäßige Form der Schaltfunktion.
- A 4.4. Zur Erzielung eines minimalen Kontaktaufwandes sind gemeinsame Variable aus der DN auszuklammern.
- A 5.1. Die vereinfachten Funktionen lauten

$$y_1 = \bar{x}_3 x_1 \vee \bar{x}_2 x_0 \vee x_3 x_2 \bar{x}_1 \vee x_3 x_2 \bar{x}_0$$

$$y_2 = \bar{x}_2 x_0 \vee x_2 x_1 \vee x_2 \bar{x}_0$$

$$y_3 = \bar{x}_3 x_2 x_1 \vee \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_0 \vee x_3 \bar{x}_1 \bar{x}_0 \vee \bar{x}_2 x_1 x_0$$

$$y_4 = \bar{x}_4 x_3 x_2 x_1 \vee x_4 \bar{x}_3 x_2 \vee \bar{x}_3 x_1 x_0 \vee x_2 x_1 x_0$$

Für die Funktionen y_1 und y_3 ergibt sich noch je eine äquivalente Form.

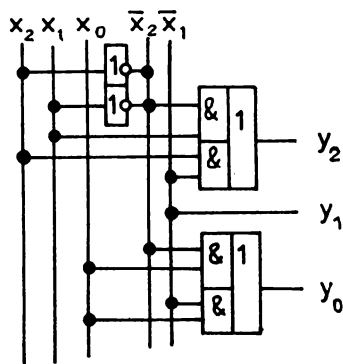
- A 5.2. Es muß eine nicht vollständig bestimmte Schaltbelegungstabelle vorliegen; die nicht bestimmten Variablen-Kombinationen werden mit ϕ belegt.
- A 5.3. Aus den Schaltfunktionen

$$y_2 = \bar{x}_2 x_1 \vee x_2 \bar{x}_1$$

$$y_1 = \bar{x}_1$$

$$y_0 = \bar{x}_2 x_0 \vee \bar{x}_1 x_0$$

ergibt sich der Signalflußplan:



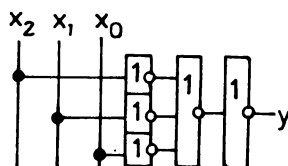
Durch die Schaltung nach Bild 29 werden 6 logische Elemente eingespart (1 x Negator, 3 x UND, 2 x ODER).

- A 6.1. Blockschaltbild - Schaltbelegungstabelle - Karnaugh-Plan - minimierte Funktion - Stromlaufplan- oder Signalflußplan.
- A 6.2. Die Lösung kann nach der Tabelle der Übungsaufgabe A 2.3. erfolgen, zweckmäßiger jedoch mit dem Verfahren der wählbaren Konstituenten. In diesem Falle weist die Tabelle nur für $j = 7$ den Funktionswert $y = 0$ aus, in allen anderen Fällen den Wert $y = 1$. Das aber ist die NAND-Verknüpfung $y = \overline{x_2 x_1 x_0} = \overline{x_2} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_0}$. Der Stromlaufplan besteht aus der Parallelschaltung der drei Ruhekontakte der Relais, der Signalflußplan aus einem UND-Gatter mit 3 Eingängen mit nachgeschaltetem Negator.
- A 7.1. Blockschaltbild - Schaltbelegungstabelle - Karnaugh-Plan - minimierte Funktion, als DN - Umformung in die NAND-Form - Signalflußplan.
- A 7.2. Die Schaltfunktion $y = \overline{x_2 x_1 x_0}$ liegt bereits in der NAND-Form vor, zur Realisierung ist ein NAND-Gatter mit 3 Eingängen erforderlich.
- A 8.1. Blockschaltbild - Schaltbelegungstabelle - Karnaugh-Plan - minimierte Funktion als KN - Umformung in die NOR-Form - Signalflußplan.

A 8.2. Die Funktion $y = \overline{x_2} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_0}$ wird doppelt negiert, damit ergibt sich

$$y = \overline{\overline{\overline{x_2} \vee \overline{x_1} \vee \overline{x_0}}}$$

Zur Realisierung sind 4 Negatoren und ein NOR-Gatter erforderlich.

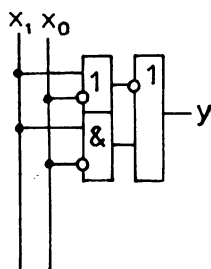


A 9.1. Die Umformung der Schaltfunktion ergibt:

$$y = \overline{\overline{x_1} \overline{x_0}} \vee x_1 \overline{x_0}$$

$$y = \overline{x_1 \vee \overline{x_0}} \vee x_1 \overline{x_0}$$

Damit läßt sich der Signalflußplan zeichnen. Die Realisierung erfordert 3 Elemente (3 Doppelmembranrelais).



Literaturverzeichnis

- /1/ Autorenkollektiv: Lehrbuch der Automatisierungstechnik, 12. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
- /2/ Autorenkollektiv: Automatisierungstechnik in Beispielen. Berlin: VEB Verlag Technik 1970.
- /3/ Autorenkollektiv: Laborübungen Automatisierungstechnik, Teil 2/2, Lehrwerk für das Ingenieurfernstudium, Katalog-Nr. 105.31-02 (neue Katalognummer 03 1007 02 0). Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR 1977.
- /4/ Bär, D.: Einführung in die Schaltalgebra. Reihe Automatisierungstechnik, Bd. 25. Berlin: VEB Verlag Technik 1970.
- /5/ Fischer, G.: Laborübungen Automatisierungstechnik, Teil 3, Lehrwerk für das Ingenieurfernstudium. Katalog-Nr. 105.31-06 (neue Katalognummer 03 1007 04 3). Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR.
- /6/ Kühn, E.; Schmied, H.: Handbuch Integrierte Schaltkreise. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.
- /7/ Oberst, E.: Entwurf von Kombinationsschaltungen. Reihe Automatisierungstechnik, Bd. 123. Berlin: VEB Verlag Technik 1972.
- /8/ TGL 16056/01 - 06: Logische binäre Elemente

Kataloge:

- /9/ RELOG: Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow. Ausgabe 1976.
- /10/ Translog 2: Elektronisches Digitalsystem des Kombinates VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow, Kenndatenblattsammlung, Ausgabe 1975.
- /11/ Bipolare digitale Schaltkreise: Kombinat VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder), Ausgabe 1979/80.
- /12/ MOS-Schaltkreise: Kombinat VEB Funkwerk Erfurt, Ausgabe 1977.
- /13/ Ursalog 4000: Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow, Ausgabe 1980.

FSD Dipl.-Ing. Jürgen Mewes

STEUERUNGSTECHNIK

2

**Analyse und Synthese
sequentieller Schaltungen**

Dieser Lehrbrief wurde

verfaßt von:

FSD Dipl.-Ing. Jürgen M e w e s
Fachschullehrer an der Ingenieurschule für
Automatisierung und Werkstofftechnik Hennigsdorf

lektoriert von:

Dipl.-Ing. Heinz G o t t s c h a l k
Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik
Berlin

bearbeitet von:

FSD Erich A m m e d i c k
Beauftragter für die Entwicklung von Lehrbriefen
an der Ingenieurschule für Bergbau und Energetik
"Ernst Thälmann" Senftenberg

Redaktionsschluß: 15. September 1980

© Institut für Fachschulwesen der DDR, Karl-Marx-Stadt

Als Manuskript gedruckt • Alle Rechte vorbehalten

Printed in the German Democratic Republic

Druck und buchbinderische Verarbeitung:

Zentralstelle für Lehr- und Organisationsmittel des Ministeriums

für Hoch- und Fachschulwesen, Zwickau

1. Auflage 1981

5. unveränderter Nachdruck 1987

Ag 613/300/87/600

Vorzugsschutzgebühr: 2,00 M

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	Seite
0. Einleitung	5
1. Elementare Speicherschaltungen	8
1.1. Aufgabenstellung	8
1.1.1. Verbale Formulierung	8
1.1.2. Schaltbelegungstabelle	9
1.1.3. Wirkungsplan	11
1.1.4. Zustandsgraf	12
1.1.5. Schaltbedingungen	13
1.2. Rückkopplungsschaltungen	13
1.3. R-S-Speicher	17
1.3.1. Schaltverhalten des R-S-Speicher	17
1.3.2. Dominierende Schaltbedingungen	18
1.3.3. Aufbau von R-S-Speichern	20
1.3.4. Herstellung definierter Ausgangszustände	22
1.3.5. Betriebsarten von R-S-Speichern	23
1.3.5.1. Statische Ansteuerung	23
1.3.5.2. Dynamische Ansteuerung	23
1.3.5.3. Getorte Ansteuerung	25
2. Entwurf einfacher sequentieller Schaltungen	27
2.0. Vorbemerkung	27
2.1. Aufgabenstellung	27
2.1.1. Verbale Formulierung	27
2.1.2. Festlegung der Signalbezeichnungen	28
2.1.3. Wirkungsplan	28
2.1.4. Formulierung der Schaltbedingungen	29
2.2. Schaltung mit Relais	29
2.3. Schaltung mit elektronischen Funktions- elementen	30
2.3.1. Schaltung mit UND, ODER und Negatoren (UON-Technik)	30
2.3.2. Schaltung mit NOR-Elementen (NOR-Technik)	32
2.3.3. Schaltung mit NAND-Elementen (NAND-Technik)	33
2.3.4. Schaltung mit R-S-Speicher	34

2.4.	Schaltung mit pneumatischen Funktions- elementen	34
2.4.1.	Aufgabenstellung	34
2.4.2.	Schaltbedingungen	35
2.4.3.	Rückkopplungsschaltung	35
2.4.4.	Schaltung mit R-S-Speicher	36
3.	Zeitschaltungen	38
3.1.	Allgemeines	38
3.2.	Zeitfunktionen	38
3.2.1.	0/1-Signalverzögerung	38
3.2.2.	1/0-Signalverzögerung	38
3.2.3.	0/1- und 1/0-Signalverzögerung	39
3.2.4.	Monostabile Funktion	39
3.2.5.	Wischfunktion	39
3.2.6.	Astabile Funktion	41
3.3.	Rechenregeln	42
3.4.	Zeitschaltelemente	43
3.4.1.	Zeitrelais	43
3.4.2.	Monostabiler Multivibrator (MMV)	43
3.4.3.	Signalverzögerer	45
3.4.4.	Astabiler Multivibrator (AMV)	45
3.4.5.	Digitale elektronische Zeitglieder	45
3.5.	Schaltungen mit Signalverzögerern	47
3.5.1.	1/0-Verzögerung mit 0/1-Verzögerern	47
3.5.2.	Monostabile Funktion mit Signalverzögerern	47
3.5.3.	Wischfunktion mit Signalverzögerern	48
3.5.4.	Astabile Funktion mit Signalverzögerern	49
3.6.	Schaltungen mit monostabilen Multivibratoren	51
3.6.1.	Signalverzögerung mit monostabilen Multivibratoren	51
3.6.2.	Astabile Funktion mit monostabilen Multivibratoren	54
	Lösungen der Aufgaben	55
	Literaturverzeichnis	60

0. Einleitung

Die Zielstellung dieses und der folgenden Lehrbriefe ist es, Kenntnisse und Methoden zu vermitteln, mit denen Steuerungsanlagen entworfen und analysiert werden können.

Dabei soll eine Einschränkung auf solche Steuerungsanlagen erfolgen, die mit binären Signalen arbeiten und durch einen kleinen bis mittleren Verknüpfungsgrad gekennzeichnet sind, wie es bei Anlagensteuerungen und nichtnumerischen Maschinensteuerungen der Fall ist. Der Verknüpfungsgrad ist dabei wie folgt definiert:

$$\text{Verknüpfungsgrad} = \frac{\text{Anzahl der Elemente für die Signalverarbeitung}}{\text{Anzahl der Elemente für die Signalein- und -ausgabe}}$$

Eine solche Einschränkung ist notwendig, da die Größe des Verknüpfungsgrades sowohl die Entwurfsmethodik als auch die technische Realisierung entscheidend bestimmt.

*zu steuernder Prozeß
(Maschine oder Anlage)*

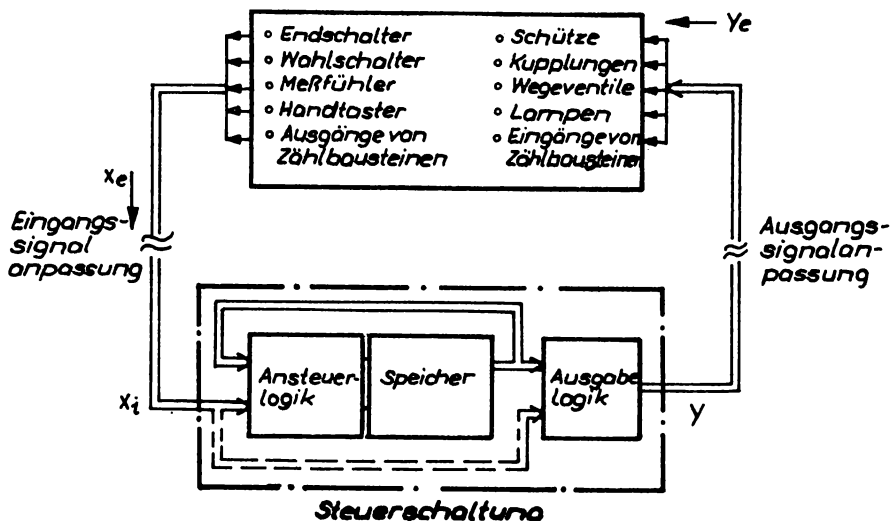
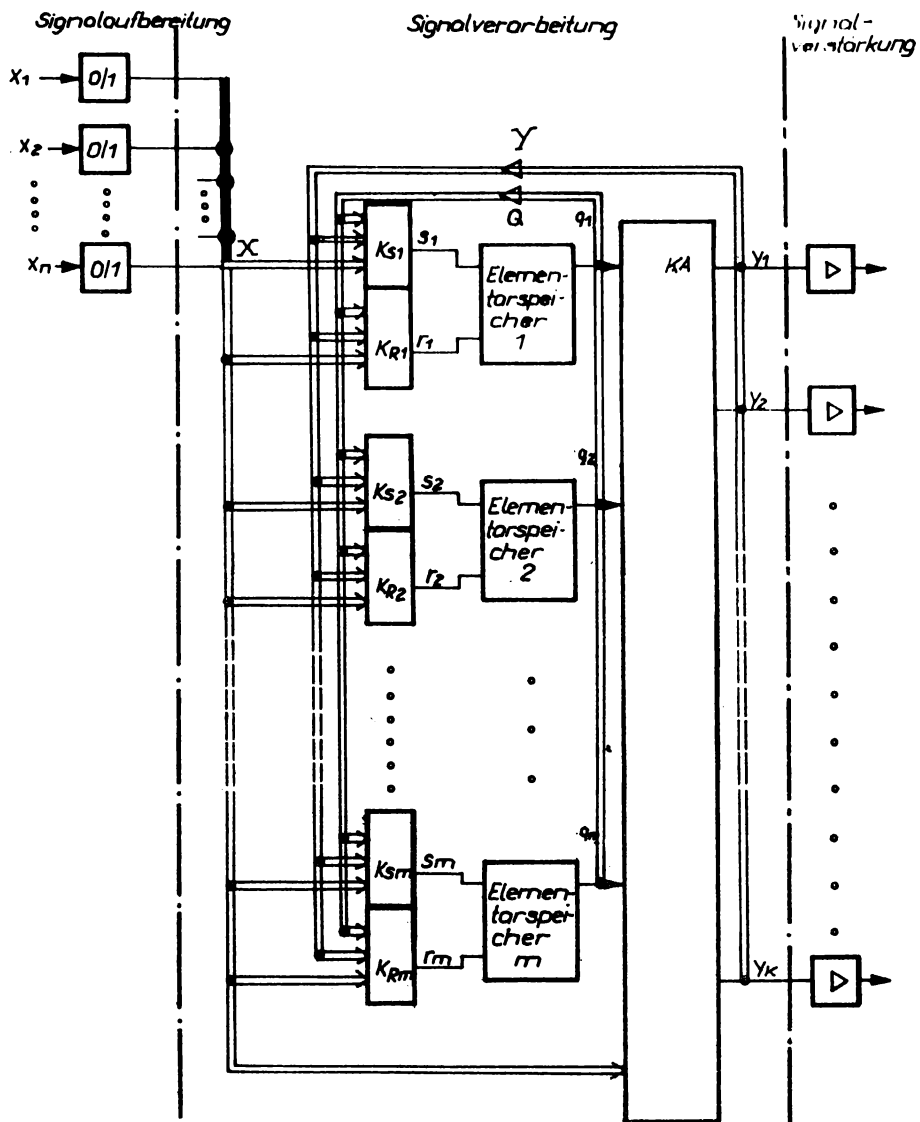


Bild 1.1.1: Prinzipieller Aufbau von Steuerungsanlagen



Y Gesamtheit der Stellsignale

X Gesamtheit der Eingangssignale

Q Gesamtheit der Zustandssignale

K_S Kombinatorische Schaltung zur Bildung des Setzsignals S_i

K_R " " " " " " Rücksetzsignals r_i

K_A " " " " " " der Stellsignale Y_k

Bild 1.1.2: Strukturelle Gliederung sequentieller Steuerschaltungen

Für den Entwurf einer Steuerschaltung entsprechend den Darstellungen in Bild 1.1.1 und Bild 1.1.2 gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten.

Erstes Verfahren

Die gesamte Schaltung wird nach Bild 1.1.1 als eine Einheit angesehen. Dazu werden alle Eingangs-, Ausgangs- und Zustands-signale in einem Algorithmus zusammengefaßt, der alle notwendigen Abhängigkeiten berücksichtigt. Dieser Algorithmus wird anschließend mit universell einsetzbaren speicherprogrammierbaren Rechenwerken (Mikrorechner, Prozeßrechner) realisiert.

Zweites Verfahren

Die Steuerschaltung wird nach Bild 1.1.2 in einzelne überschaubare Teilschaltungen mit möglichst hohem Wiederholgrad zerlegt. Die zu erfüllende Funktion wird durch "Verdrahtung" zwischen den einzelnen Schaltelementen realisiert. Die so entstandene Steuerschaltung wird als verdrahtungsprogrammiert bezeichnet.

Für Steuerschaltung mit kleinem bis mittlerem Verknüpfungsgrad kommt vorzugsweise das zweite Verfahren zur Anwendung. Es soll den Inhalt dieses und der folgenden Lehrbriefe bilden.

Bei der Zerlegung der gesamten Steuerschaltung in Teilschaltungen lassen sich folgende typische Schaltungsteile entsprechend Bild 1.1.2 feststellen:

- Kombinatorische Schaltungen,
- Speicherschaltungen,
- Schaltungen zur Signalaufbereitung an den Ein- und Ausgängen.

Der vorliegende Lehrbrief behandelt, aufbauend auf den Kenntnissen zu kombinatorischen Schaltungen, die Analyse und Synthese von Speicherschaltungen, die in ihrer Gesamtheit auch als sequentielle Schaltungen bezeichnet werden und deren Merkmale wie folgt definiert sind:

"Der Ausgangszustand (Signalwerte von y_1 bis y_k) einer sequentiellen Schaltung ist abhängig von dem Eingangszustand (Signalwerte von x_1 bis x_n) und von dem gespeicherten Zustand (Signalwerte von q_1 bis q_m), der von vergangenen Schaltzuständen der Ein- und Ausgangssignale abhängig ist".

Diese Schaltungen beinhalten also etwas, was als das Gedächtnis einer Steuerschaltung angesehen werden kann. Die Speicherung eines in der Vergangenheit stattgefundenen Ereignisses kann dabei in zweierlei Art erfolgen:

- Das Ereignis (z. B. Ein-Taster betätigt) wird solange gespeichert, bis ein zweites Ereignis eintritt (z. B. Aus-Taster betätigt) = ereignisabhängige Speicherung.
- Das Ereignis wird solange gespeichert, bis eine bestimmte Zeit vergangen ist = zeitabhängige Speicherung.

Es wird in den folgenden Abschnitten zur Vereinfachung bei ereignisabhängigen Speicherschaltungen nur der Begriff Speicherschaltung und bei zeitabhängigen Speicherschaltungen der Begriff Zeitschaltung gebraucht.

1. Elementare Speicherschaltung

1.1. Aufgabenstellung

1.1.1. Verbale Formulierung

Im Folgenden geht es darum, den Funktionsinhalt der in Bild 1.1.2 dargestellten Speicherschaltung so zu formulieren, daß eine schaltalgebraische Beschreibung und damit eine Realisierung mit den bereits bekannten kombinatorischen Funktionselementen möglich ist.

Alle ereignisabhängigen Speicherschaltungen lassen sich in ihrem Verhalten wie folgt beschreiben:

- Tritt ein "Ereignis 1" ein ($x_1 = 1$, z. B. Ein-Taster betätigt), so soll das Zustandssignal q am Ausgang des Speichers den Signalwert 1 annehmen, d. h. der Speicher wird durch das Ereignis 1 gesetzt.
- Tritt ein "Ereignis 2" ein ($x_2 = 1$, z. B. Aus-Taster betätigt), so soll das Zustandssignal q den Signalwert 0 annehmen, d. h. der Speicher wird rückgesetzt.

Sind die "Ereignisse 1 und 2" unabhängig voneinander, so müssen für den Fall, daß "Ereignis 1" und "Ereignis 2" gleichzeitig auftreten ($x_1 = x_2 = 1$) Festlegungen über den Signalwert von q

getroffen werden.

Speicher mit Dominierend-Ein-Verhalten:

Für den Fall $x_1 = x_2 = 1$ soll der Speicher gesetzt werden ($q = 1$).

Speicher mit Dominierend-Aus-Verhalten:

Für den Fall $x_1 = x_2 = 1$ soll der Speicher rückgesetzt werden ($q = 0$).

Für die weitere Bearbeitung der Aufgabenstellung wird das Signal zum Setzen des Speichers immer mit s und das Signal zum Rücksetzen immer mit r bezeichnet.

Damit gilt im vorliegenden Fall:

$$s = x_1$$

$$r = x_2$$

1.1.2. Schaltbelegungstabelle

Im Lehrbrief O3 1016 01 0 wurde dargelegt, daß vor dem Entwurf kombinatorischer Schaltungen die Aufgabenstellung in Form einer Schaltbelegungstabelle zu präzisieren ist und dann die weitere Entwurfsarbeit nach bestimmten Algorithmen zu erfolgen hat. Bei der Übertragung dieses Prinzips auf Speicherschaltungen ergibt sich die Schwierigkeit, daß eine Schaltbelegungstabelle nicht in der üblichen Weise ermittelt werden kann, denn für den Fall, daß weder ein "Ereignis 1" ($s = 0$) noch ein "Ereignis 2" ($r = 0$) vorliegt, ist der Signalwert von q nicht eindeutig bestimmt.

War das "Ereignis 1" als letztes eingetreten, so ist $q = 1$ und war das "Ereignis 2" das letzte, so ist $q = 0$. Der augenblickliche Signalwert von q ist also nicht nur von den Signalen s und r abhängig, sondern auch davon, welchen Signalwert q selbst als letztes hatte. Um diese Abhängigkeit zu präzisieren, muß der Begriff der Zeit in die Formulierung der Aufgabenstellung mit aufgenommen werden.

Für die weitere Bearbeitung wird deshalb zwischen einem neuen und einem alten Signalwert des Speichersignals q unterschieden. Welche Bedeutung der Zeitbestimmung mit neu und alt zuzuordnen ist, soll in Bild 1.1.3 deutlich werden. Es sei dabei an den

allgemeingültigen physikalischen Grundsatz erinnert, daß es keine trägheitslosen Übertragungsglieder gibt und somit die Reaktion am Ausgang verzögert gegenüber dem "Ereignis" am Eingang auftritt.

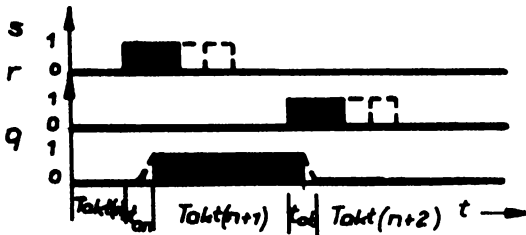


Bild 1.1.3: Dynamisches Schaltverhalten eines Elementarspeichers

Um unter Berücksichtigung der Schaltverzögerungen zu eindeutigen Aussagen zu kommen, wird folgendes entsprechend Bild 1.1.3 vereinbart:

- alter Signalwert $q(n)$ ist eindeutiger Signalwert von q während des Taktes (n) vor Eintreten des "Ereignisses".
- neuer Signalwert $q(n+1)$ ist eindeutiger Signalwert von q während des Taktes $(n+1)$ nach Eintreten des "Ereignisses".
- Ereignisdauer ist die Dauer des "Ereignisses", die zu einem eindeutigen Wechsel des Signalwertes von q führt.

Damit lassen sich die Schaltbelegungstafeln 1.1.1 und 1.1.2 aufstellen. Bei Tafel 1.1.1 bleibt für den Fall $s = r = 0$ der neue Wert von q unbestimmt, d. h., er ist gleich dem alten Wert von q .

In Tafel 1.1.2 wird der alte Wert von q gleich einem Eingangssignal gesetzt und damit für jede Signalkombination eine eindeutige Aussage erhalten. Beide Tafeln orientieren durch ihre Darstellungen auf verschiedene technische Realisierungen der Elementarspeicher.

Tafel 1.1.1: Schaltverhalten eines Elementarspeichers
a) Dominierend-Ein b) Dominierend-Aus

	$s \quad r$		$q^{(n+1)}$	$s \quad r$		$q^{(n+1)}$
	0	0	$q^{(n)}$	0	0	$q^{(n)}$
	0	1	0	0	1	0
	1	0	1	1	0	1
a)	1	1	1	b) 1	1	0

Tafel 1.1.2: Schaltverhalten eines Elementarspeichers
(ausführlich)
a) Dominierend-Ein b) Dominierend-Aus

	$s \quad r$		$q^{(n)}$	$q^{(n+1)}$	$s \quad r$		$q^{(n)}$	$q^{(n+1)}$
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	1	0	0	1	0
	0	1	0	0	0	1	0	0
	0	1	1	0	0	1	1	0
	1	0	0	1	1	0	0	1
	1	0	1	1	1	0	1	1
a)	1	1	0	1	1	1	0	0
	1	1	1	1	1	1	1	0

1.1.3. Wirkungsplan

Für die Bearbeitung komplexer Aufgabenstellungen ist die Aufstellung von Schaltbelegungstabellen im allgemeinen nicht mehr zweckmäßig, da die zeitlichen Abhängigkeiten nur sehr abstrakt berücksichtigt sind und die Schaltfolge kaum oder gar nicht erkennbar ist. Aus diesem Grund wird für die praktische Entwurfsarbeit die Präzisierung der Aufgabenstellung in Form eines Wirkungsplanes empfohlen. Darin werden alle möglichen Werteverläufe der Eingangssignale und die Reaktion der Ausgangssignale dargestellt. Die Schaltverzögerungen entsprechend Bild 1.1.3 können dabei allgemein durch einen Versatz der Schaltflanken in Ursache-Wirkungs-Richtung berücksichtigt werden.

In diese Darstellung werden bei der Behandlung der gesamten Steuerungsaufgabe auch die Werteverläufe der wesentlichen

technologischen Prozeßgrößen eingetragen.

Für den vorliegenden Elementarspeicher ergibt sich der Wirkungsplan von Bild 1.1.4.

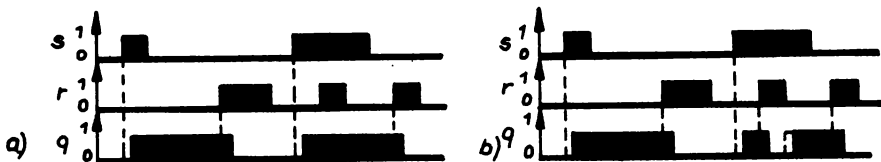


Bild 1.1.4: Wirkungsplan eines Elementarspeichers

a) Dominierend-Ein

b) Dominierend-Aus

1.1.4. Zustandsgraf

Besonders für sequentielle Schaltungen mit mehreren Elementarspeichern und hohem Verknüpfungsgrad hat sich die Beschreibung der Aufgabenstellung mit Zustandsgraphen bewährt. Dabei werden den möglichen Zuständen je ein Knoten zugeordnet und an die gerichteten Verbindungslinien (Kanten) wird die Kombination der Eingangs- und Ausgangssignale geschrieben, die zu dem entsprechenden neuen Zustand führt. In Bild 1.1.5 ist der Zustandsgraf für den Elementarspeicher dargestellt.

Es gibt zwei stabile Zustände "1" und "2". Von beiden Zuständen ausgehend können die vier möglichen Kombinationen für die Eingangsvariablen s und r auftreten.

Vom Zustand "1" ($q = 0$) ausgehend führt z. B. $s = r = 1$ bei "Dominierend-Aus" zum gleichen Zustand "1" zurück, d. h., es tritt keine Änderung ein.

Vom Zustand "2" ($q = 1$) ausgehend führt $s = r = 1$ zum Zustand 1 ($q = 0$) u. a. s. w.

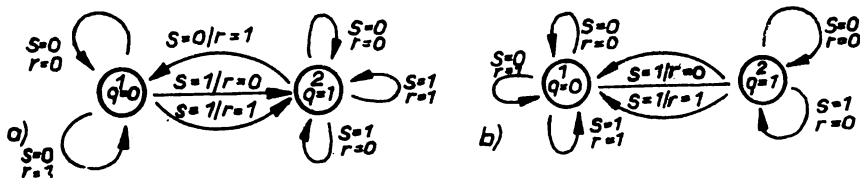


Bild 1.1.5: Zustandsgraphen für Elementarspeicher: a) Dominierend-Ein, b) Dominierend-Aus

1.1.5. Schaltbedingungen

In der allgemeinen Darstellung von Bild 1.1.2 ist erkennbar, daß das Setzen und das Rücksetzen des Speichers nicht durch einzelne Signale, sondern aus der kombinatorischen Verknüpfung mehrerer Signale erfolgt. Es ist zweckmäßig, diese kombinatorischen Teilschaltungen in der Entwurfsarbeit gesondert zu behandeln, indem für den Speicher eine Setzbedingung

$$s = f_s(x_i, y_i, q_i) \quad (1.1.1)$$

und eine Rücksetzbedingung

$$r = f_r(x_i, y_i, q_i) \quad (1.1.2)$$

formuliert wird.

1.2. Rückkopplungsschaltungen

Nachdem im Abschnitt 1.1. die Aufgabenstellung zur Funktion eines Elementarspeichers nach verschiedenen Verfahren präzisiert wurde, liegt jetzt die Aufgabe vor, eine Speicherschaltung unter Verwendung bekannter kombinatorischer Schaltelemente zu entwerfen. Die Grundlage dafür bieten die Schaltbelegungstabellen in Tafel 1.1.2.

Die Eingangssignale sind s , r und $q^{(n)}$. Das Ausgangssignal ist $q^{(n+1)}$. Diese Schaltbelegungstabellen können verwendet werden, um mit Hilfe des Karnaughplanes (Bild 1.2.1) die folgenden optimalen Schaltfunktionen für $q^{(n+1)}$ zu ermitteln.

a)

	$\bar{s}$	$\bar{r}$	$s\bar{r}$	$\bar{s}r$
$q^{(n)}$	1	1	1	0
$q^{(n)}$	0	1	1	0

$q^{(n+1)} = s \vee q^{(n)} \bar{r}$

b)

	$\bar{s}$	$\bar{r}$	$s\bar{r}$	$\bar{s}r$
$q^{(n)}$	1	1	0	0
$q^{(n)}$	0	1	0	0

$q^{(n+1)} = \bar{s} \bar{r} \vee q^{(n)} \bar{r}$
 $q^{(n+1)} = (\bar{s} \vee q^{(n)}) \bar{r}$

Bild 1.2.1: Karnaugh-pläne für Elementarspeicher
a) Dominierend-Ein b) Dominierend-Aus

$$\text{Dominierend-Ein: } q^{(n+1)} = s \vee q^{(n)} \bar{r} \quad (1.2.1)$$

$$\text{Dominierend-Aus: } q^{(n+1)} = (s \vee q^{(n)}) \bar{r} \quad (1.2.2)$$

Diese Schaltfunktionen haben für alle Speicherschaltungen grundlegende Bedeutung. Sie werden auch als Überföhrungs-funktionen bezeichnet, da der "alte" Signalwert $q^{(n)}$ entsprechend der Wertbelegung von s und r in den "neuen" Signalwert $q^{(n+1)}$ "überföhrt wird.

Die Schreibweise der Gleichungen (1.2.1) und (1.2.2) ist jedoch für den praktischen Gebrauch unzweckmäßig, Aus diesem Grunde soll im folgenden eine aus der Datenverarbeitungstechnik entlehnte Schreibweise erläutert und verwendet werden.

In den Programmbeschreibungen ist die Formulierung üblich
 $i := i + 1$ (1.2.3)

Das bedeutet: der neue Wert von i auf der linken Seite "ergibt sich" aus dem alten Wert von i auf der rechten Seite, erhöht um 1. Es wird also hier zwischen einem neuen und einem alten Wert unterschieden und das entspricht auch dem Anliegen bei der Beschreibung von Speicherschaltungen. Damit können die Schaltfunktionen (1.2.1) und (1.2.2) wie folgt geschrieben werden:

$$\text{Dominierend-Ein: } q := s \vee \bar{q} \cdot r \quad (1.2.4)$$

$$\text{Dominierend-Aus: } q := (s \vee q) \cdot \bar{r} \quad (1.2.5)$$

Ausgehend von diesen Schaltfunktionen lassen sich die Signalflußpläne in Bild 1.2.2 und die Stromlaufpläne in Bild 1.2.3 zeichnen.

Bei der Darstellung werden die Signale auf konkrete Schaltelemente bezogen:

$s \hat{=} S1$ (Ein-Taster)

$r \hat{=} S2$ (Aus-Taster)

$q \hat{=} K1$ (Relais)

Die als Stromlaufpläne dargestellten Relaisschaltungen sind im allgemeinen bereits als Selbsthalterschaltungen bekannt.

Bei der Analyse der nun vorliegenden Speicherschaltungen macht es sich notwendig, noch einmal auf den Begriff des "alten" und des "neuen" Signalwertes von q einzugehen.

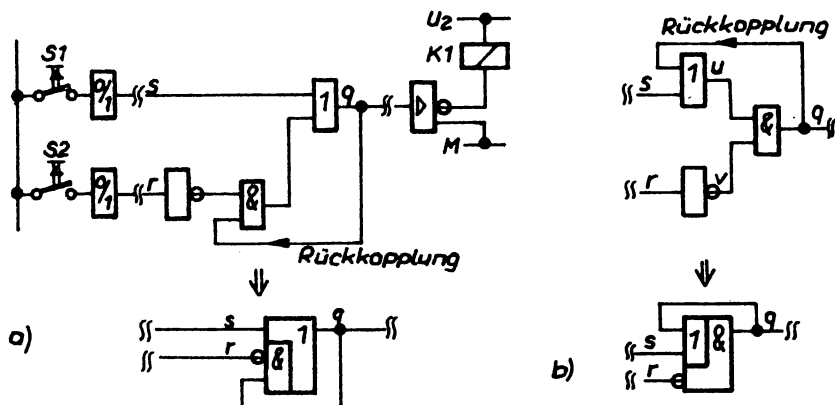


Bild 1.2.2: Signalflußpläne für Elementarspeicher:
a) Dominierend-Ein b) Dominierend-Aus

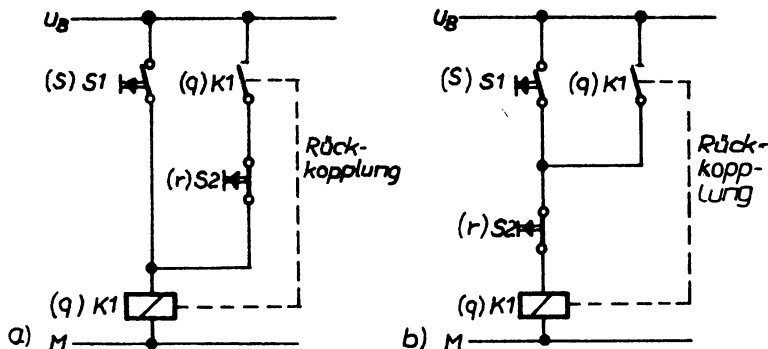


Bild 1.2.3: Stromlaufpläne für Elementarspeicher
a) Dominierend-Ein b) Dominierend-Aus

Es werden dazu die Stromlaufpläne nach Bild 1.2.3 zugrundegelegt.

Bei Betätigen des Tasters S1 kommt es zum Stromfluß durch die Relaisspule K 1. Bis zum Schalten des Relaiskontaktes K1 vergeht aber noch eine Zeit, die der Einschaltverzögerung des Relais entspricht. Beim Unterbrechen des Stromflusses durch S2 öffnet der Kontakt des Relais auch erst um die Ausschaltverzögerungszeit später. Damit sind zwar im stationären Zustand

die Signalwerte des Relaisantriebs (1= Strom fließt, 0= Strom fließt nicht) gleich dem Signalwert des Kontaktes (1= Kontakt in Arbeitsstellung, 0= Kontakt in Ruhestellung), aber beim Übergang "hinkt" die Änderung der Signalwerte der Kontakte der Änderung der Signalwerte des Antriebssystems nach. Deshalb können auch die Überföhrungsfunktionen nach (1.2.4) und (1.2.5) nicht mit einem Gleichheitszeichen geschrieben werden. Aus diesen Überlegungen wird deutlich, daß zum Setzen bzw. Rücksetzen die Betätigung der Taster eine bestimmte minimale Zeit dauern muß, denn die Schaltung ist erst dann sicher in den neuen Zustand überführt worden, wenn auf den Signalwechsel für das Antriebssystem auch der Signalwechsel bei den Kontakten erfolgt ist.

Ähnliche Überlegungen lassen sich an Hand der Signalflußpläne von Bild 1.2.2 anstellen. In Bild 1.2.4 ist der Wirkungsplan unter Berücksichtigung der Verzögerungszeiten dargestellt. Es läßt sich auch hier erkennen, daß eine Veränderung der Signalwerte von s und r eine bestimmte minimale Zeit dauern muß, damit eine eindeutige Reaktion am Ausgang erfolgt und das rückgekoppelte Signal dem neuen Signalwert entspricht.

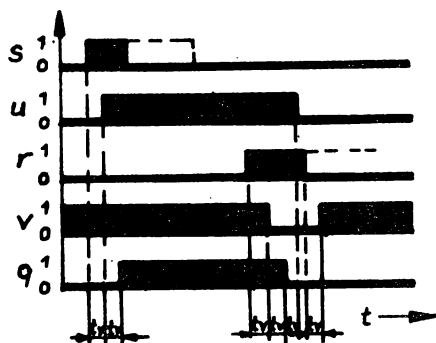


Bild 1.2.4: Wirkungsplan der Dominierend-Aus-Schaltung nach Bild 1.2.2b unter Berücksichtigung der Verzögerungszeiten

Zusammenfassung

Auf der Grundlage der Überföhrungsfunktionen lassen sich mit kombinatorischen Schaltelementen Speicherschaltungen aufbauen,

die als charakteristisches Merkmal eine Rückkopplung des Ausgangs auf den Eingang enthalten.

Dabei entsteht ein neuer Zustand der Speicherschaltung nur dann, wenn eine Veränderung der Wertbelegung der Eingangssignale zu einer eindeutigen Signalwertänderung des rückgekoppelten Signales geführt hat.

K o n t r o l l f r a g e n :

- K 1. Warum ist bei sequentiellen Schaltungen innerhalb einer Schaltfunktion zwischen altem und neuem Signalwert zu unterscheiden?
- K 2. Welcher Unterschied besteht in der Bedeutung des "Ergibt-sich"-Zeichens gegenüber dem einfachen Gleichheitszeichen?
- K 3. Warum ist für die Signale s und r eine Mindestdauer der Signalwerte gefordert? Wovon ist dieser Minimalwert abhängig?
- K 4. Welchen Signalwert erhält q in den Bildern 1.2.2 und 1.2.3 bei einem gleichzeitigen Wechsel der Signale s und r von 1 auf 0 ? Steht dieses Ergebnis im Widerspruch zur geforderten Speicherfunktion?

1.3. R-S-Speicher

1.3.1. Schaltverhalten des R-S-Speichers

Der R-S-Speicher ist ein Schaltelement, das in den meisten Schaltsystemen zusätzlich zu den kombinatorischen Elementen zur Realisierung von Speicherschaltungen angeboten wird. Im Bild 1.3.1 ist das Symbol und die Schaltbelegungstabelle eines R-S-Speichers dargestellt.

Dabei ist festzustellen, daß der R-S-Speicher das gleiche Schaltverhalten hat wie es in Tafel 1.1.1 als Aufgabenstellung für Elementarspeicher gefordert wurde, wenn der Fall $s = r = 1$ nicht berücksichtigt wird.

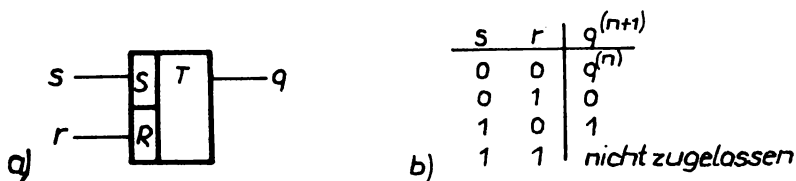


Bild 1.3.1: R-S-Speicher a) Symbol, b) Schaltbelegungstabelle

1.3.2. Dominierende Schaltbedingungen

Im Gegensatz zu den Rückkopplungsschaltungen ist beim R-S-Speicher der Fall $s=r=1$ nicht zugelassen.

Für diesen Fall soll jetzt durch zusätzliche Verwendung kombinatorischer Schaltelemente ein bestimmtes Dominierend-Schaltverhalten für die Speicherschaltung mit R-S-Speicher erreicht werden. Zur deutlichen Unterscheidung werden im folgenden die direkten Eingangssignale des Speichers mit Großbuchstaben gekennzeichnet.

Dominierend-Ein-Verhalten

Aus der Schaltbelegungstabelle von Bild 1.3.2 sind die Schaltfunktionen für Setzen und Rücksetzen leicht abzuleiten.

$$S = s \quad (1.3.1.)$$

$$R = r \bar{s} \quad (1.3.2.)$$

Der Signalflußplan ist in Bild 1.3.2 dargestellt.

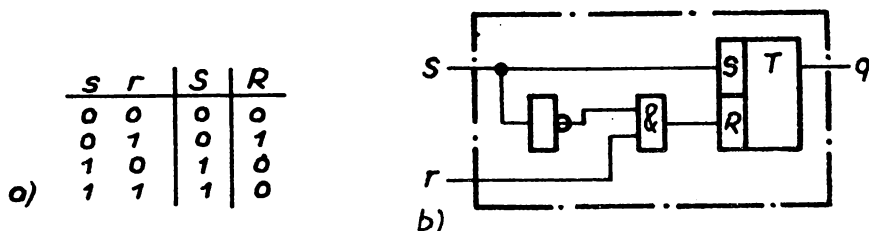


Bild 1.3.2: R-S-Speicher mit Dominierend-Ein-Verhalten

a) Schaltbelegungstabelle, b) Signalflußplan

Dominierend-Aus-Verhalten

Die Schaltfunktionen und der Signalflußplan von Bild 1.3.3 er-

geben sich nach den gleichen Überlegungen wie für Dominierend-Ein.

$$S = s \bar{r} \quad (1.3.3)$$

$$R = r \quad (1.3.4)$$

a)

s	r	S	R
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1

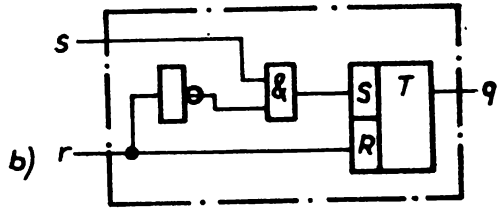
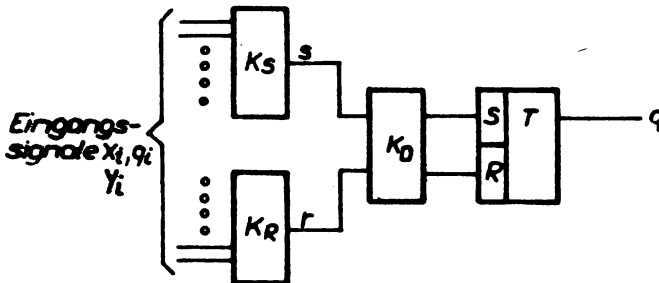


Bild 1.3.3: R-S-Speicher mit Dominierend-Aus-Verhalten
a) Schaltbelegungstabelle, b) Signalflußplan

Mit diesen Ergebnissen kann der Schaltungsentwurf von sequentiellen Schaltungen mit R-S-Speicher in der gleichen Weise wie bei Rückkopplungsschaltungen erfolgen. Dazu müssen die Schaltbedingungen sowie die geforderten Dominierend-Bedingungen bekannt sein.

Eine Übersicht dazu vermittelt Bild 1.3.4 .



K_D : Kombinatorische Schaltung zur Gewährleistung der Dominierend-Bedingung

Bild 1.3.4: Allgemeine Speicherschaltung mit R-S-Speicher

1.3.3. Aufbau von R-S-Speichern

Im Abschnitt 1.3.1. wurde der R-S-Speicher als selbständiges Schaltelement angenommen. Im folgenden soll gezeigt werden, daß R-S-Speicher aus kombinatorischen Schaltelementen aufgebaut sind und sich daraus einige Besonderheiten für die Anwendung ergeben.

Die Grundlage für die Realisierung bilden die bereits bekannten Überföhrungsfunktionen (1.2.4) und (1.2.5).

Solange die Belegung $s = r = 1$ nicht zugelassen ist, beschreiben beide Schaltfunktionen das gleiche Schaltverhalten.

Damit kann zum Aufbau der Schaltung die Schaltfunktion genutzt werden, die bei Verwendung spezieller kombinatorischer Schaltelemente den geringsten Aufwand erfordert.

Die entsprechenden Schaltungen sind in Bild 1.3.5 dargestellt. Bei der Analyse dieser Schaltungen ist festzustellen, daß fast alle einen symmetrischen Aufbau haben und unter der Voraussetzung, daß der Fall $s = r = 1$ ausgeschlossen ist auch das negierte Ausgangssignal $q_2 = q_1$ liefern. Damit kann der R-S-Speicher wie in Bild 1.3.6 dargestellt werden.

Wird das negierte Ausgangssignal nicht genutzt, so kann die Belegung $s = r = 1$ zugelassen werden und der Speicher hat dann das der zugrundegelegten Überföhrungsfunktion entsprechende dominierende Schaltverhalten, und es kann auf die kombinatorische Schaltung K_D verzichtet werden. In den Schaltungsunterlagen ist auf diese Variante hinzuweisen, da es noch keine Vereinbarung zur symbolischen Kennzeichnung des Dominierend-Verhaltens gibt.

Hinweis: Die in den Schaltsystemen angebotenen R-S-Speicher enthalten außer dem kombinatorischen Schaltelementen i. a. noch schaltungstechnische Maßnahmen zur Beeinflussung der Schaltgeschwindigkeit und damit der Störsicherheit.

Schaltfunktion	Signalflußplan	Speichersymbol	Schalt-system
Dorn. Aus $q := (s \vee q) \bar{r}$			ursalog 4000
Dorn.- Aus $q_1 := (s_1 \vee s_2 \vee q_1) \bar{r}_1 \vee \bar{r}_2$ $q_2 := \overline{s_1 \vee s_2 \vee q_1 \vee r_1 \vee r_2}$			TRANSLOG1 TRANSLOG2 KME 20(MOS) URSALOG S
Dorn. - Ein $q_1 := s_1 \vee s_2 \vee q_1 \bar{r}_1 \vee \bar{r}_2$ $q_2 := \overline{s_1 \vee s_2 \vee q_1 \vee r_1 \vee r_2}$	oder		KME 10 (TTL)
Dorn.- Ein $q_1 := s \vee q_1 \bar{r}$ $q_2 := s \vee \bar{q}_1 \vee \bar{r}$			DRELOBA

Bild 1.3.5: Schaltungsaufbau von R-S-Speichern in den verschiedenen Schaltsystemen

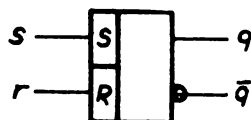


Bild 1.3.6: R-S-Speicher mit zwei Ausgängen

1.3.4. Herstellung definierter Ausgangszustände

Bei fast allen Speicherschaltungen, die mit elektronischen oder pneumatischen kombinatorischen Schaltelementen aufgebaut sind, ist der Signalwert von q am Ausgang des Speichers nach Zuschalten der Hilfsenergieversorgung unbestimmt, d. h., er kann 0 oder 1 sein. Aus diesem Grund muß für die gesamte Steuerschaltung ein Richtimpuls R_i gebildet werden, der bei der Inbetriebnahme alle Speicher in den gewünschten Anfangszustand bringt (Bild 1.3.7).

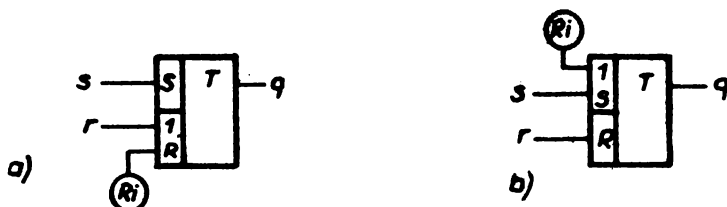


Bild 1.3.7: R-S-Speicher mit Richtimpuls

- a) Anfangszustand $q = 0$
- b) Anfangszustand $q = 1$

Dieser Richtimpuls kann von Hand oder automatisch mit Einschalten der Betriebsspannung ausgelöst werden.

Eine Ausnahme bilden R-S-Speicher, bei denen durch interne schaltungstechnische Maßnahmen ein definierter Anfangszustand entsteht, der dann, wie Bild 1.3.8 darstellt, gekennzeichnet werden kann.



Bild 1.3.8: R-S-Speicher mit definiertem Anfangszustand

- a) Anfangszustand $q = 0$
- b) Anfangszustand $q = 1$

1.3.5. Betriebsarten von R-S-Speichern

1.3.5.1. Statische Ansteuerung

Bei den bisher vorgestellten Speicherschaltungen erfolgte das Setzen oder Rücksetzen durch 1-Signal an den Eingängen S bzw. R. Die Wirkung auf die betreffenden Eingänge ist dabei solange vorhanden, wie das 1-Signal anliegt. Eine solche Ansteuerung des Speichers wird als statische Ansteuerung und die entsprechenden Eingänge als statische Eingänge bezeichnet.

1.3.5.2. Dynamische Ansteuerung

Für verschiedene Speicherbausteine ist eine zweite Art der Ansteuerung möglich. Dabei reagiert der Eingang nur auf den Signalwechsel von 0 nach 1, wenn die Signaländerung mit ausreichend großer Geschwindigkeit erfolgt. Diese Art der Ansteuerung wird als dynamische Ansteuerung und die entsprechenden Eingänge werden als dynamische Eingänge bezeichnet. Das Verhalten läßt sich mit dem eines Differenziergliedes vergleichen, wenn als ergänzende Bedingung angenommen wird, daß am Ausgang nur Systemsignale auftreten können, d. h., daß die Differentiation nur in einer Richtung erfolgt. In Bild 1.3.9 ist das Verhalten eines solchen dynamischen Eingangs grafisch dargestellt.

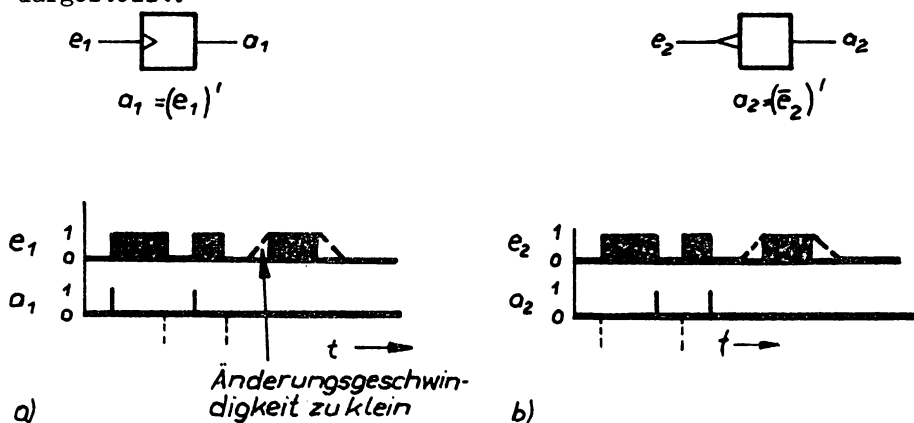


Bild 1.3.9: Schaltverhalten dynamischer Eingänge
a) Reaktion auf 0/1-Wechsel, b) Reaktion auf 1/0-Wechsel

Die Dauer des 1-Signals am Ausgang ist eine systemtypische Größe und kann für alle weiteren Betrachtungen als sehr klein angenommen werden.

In den schaltalgebraischen Beschreibungen kann die dynamische Reaktion durch das Differentiationszeichen zum Ausdruck gebracht werden. Um Verwechslungen mit ähnlichen Kennzeichnungen der Variablen zu vermeiden, sollte das zu differenzierende Eingangssignal noch in Klammern gesetzt werden. Für den Speicher nach Bild 1.3.10 gilt dann:

Setzen: $S = (e_1)'$ (1.3.6)

Rücksetzen: $R = (e_2)'$

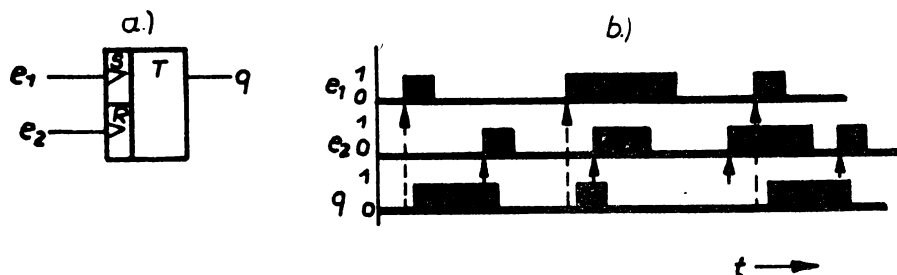


Bild 1.3.10: R-S-Speicher mit dynamischer Ansteuerung (0/1-Wechsel)

a) Symbol, b) Wirkungsplan

Soll die Reaktion auf 1/0-Wechsel erfolgen, so gilt:

Setzen: $S = (\overline{e_1})'$ (1.3.7.)

Rücksetzen: $R = (\overline{e_2})'$ (1.3.8.)

Vielfach besitzen die Speicher dynamische und statische Eingänge, wobei die statischen in ihrer Wirkung gegenüber den dynamischen dominieren. Welche Art der Ansteuerung gewählt wird, hängt von einer genauen zeitlichen Analyse der Aufgabenstellung ab. Die statischen Eingänge sind jedoch zu bevorzugen, da sie eine größere Störsicherheit haben, die sich durch besondere schaltungstechnische Maßnahmen noch erhöhen läßt.

In Schaltsystemen mit großer Laufzeit der Schaltelemente ist die Realisierung einer echten dynamischen Ansteuerung nicht möglich (ursalog 4000). Die Aufgaben der dynamischen Speicher übernehmen dann hochintegrierte Schaltkreise mit komplexen

Schaltverhalten (z. B. digitale Langzeitglieder, Zähler, Schieberegister).

1.3.5.3. Getorte Ansteuerung

Bei bestimmten Anwendungsfällen ist es zweckmäßig, das Setzen oder Rücksetzen nur zu diskreten Zeitpunkten zuzulassen. Damit können in sehr komplexen Anlagen weitgehend Fehlschaltungen durch Störbeeinflussungen vermieden werden.

Die Signale s und r werden zu diesem Zweck vor dem Speichereingang mit einem Taktsignal c kombiniert.

Eine solche Betriebsart wird auch als getaktete oder synchrone Arbeitsweise und die bisher vorgestellten Betriebsarten als asynchrone Arbeitsweise bezeichnet.

Für die Kombination mit dem Taktsignal gibt es zwei Varianten:

- das Taktsignal wird statisch kombiniert (Bild 1.3.11)

$$\text{Setzen: } S = s \cdot c \quad (1.3.9)$$

$$\text{Rücksetzen: } R = r \cdot c \quad (1.3.10)$$

- das Taktsignal wird dynamisch kombiniert

- . bei Reaktion auf 0/1-Wechsel

$$\text{Setzen: } S = s(c)' \quad (1.3.11)$$

$$\text{Rücksetzen: } R = r(c)' \quad (1.3.12)$$

- . bei Reaktion auf 1/0-Wechsel

$$\text{Setzen: } S = s(\bar{c})' \quad (1.3.13)$$

$$\text{Rücksetzen: } R = r(\bar{c})' \quad (1.3.14)$$

In Bild 1.3.12 ist ein Speicher mit statisch und dynamisch getorter Ansteuerung (1/0-Wechsel) dargestellt. Dieser Speicher läßt sich schaltalgebraisch unter Berücksichtigung der dominierenden statischen Ansteuerung wie folgt beschreiben:

$$\text{Setzen: } S = s_1 \vee s_2(\bar{c})' \cdot \overline{r_1} \quad (1.3.15)$$

$$\text{Rücksetzen: } R = r_1 \vee r_2(\bar{c})' \cdot \overline{s_1} \quad (1.3.16)$$

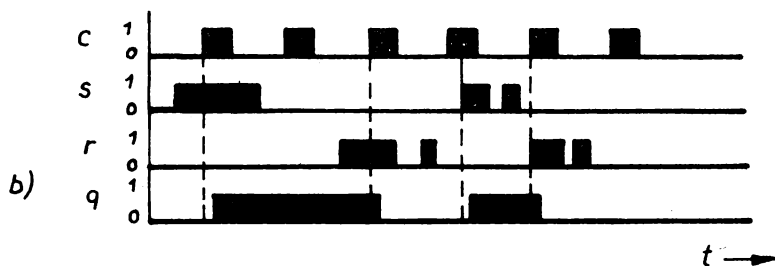
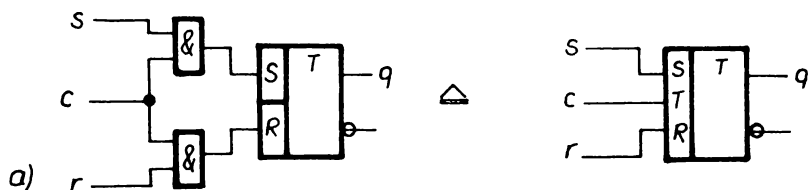


Bild 1.3.11: Speicher mit statisch getorter Ansteuerung
a) Signalflußplan b) Wirkungsplan

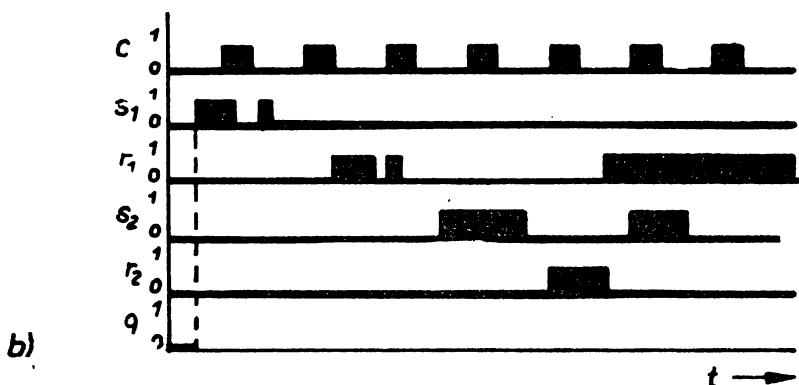
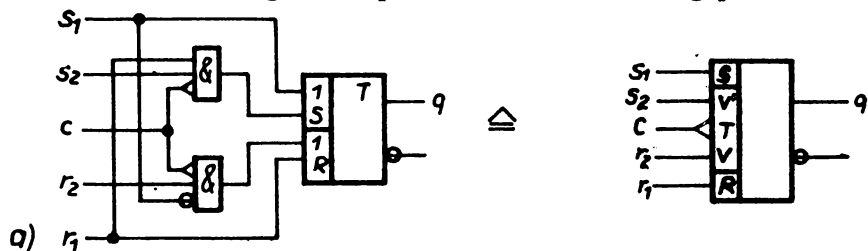


Bild 1.3.12: Speicher mit statisch und dynamisch getorter Ansteuerung
a) Signalflußplan b) Wirkungsplan

K o n t r o l l f r a g e n :

- K 5. Unter welcher Voraussetzung kann das Signal q_2 in Bild 1.3.5 als das negierte Signal von q_1 weiterverarbeitet werden?
- K 6. Unter welchen Bedingungen ist die Ansteuerung der R-S-Speicher in Bild 1.3.5. mit den Signalwerten $s = r = 1$ möglich?
- K 7. Warum benötigen elektronische und pneumatische Speicherschaltungen einen Richtimpuls und Relaisschaltungen nicht?

A u f g a b e n :

- A 1. Ermitteln Sie die vollständige Schaltbelegungstabelle zu den R-S-Speichern mit NOR-Elementen entsprechend Bild 1.3.5! .
- A 2. Tragen Sie in Bild 1.3.12 den Werteverlauf von q in Abhängigkeit von dem Werteverlauf der Eingangssignale ein!

2. Entwurf einfacher sequentieller Schaltungen

2.0. Vorbemerkung

Ausgehend von einem einfachen technologischen Beispiel werden im folgenden in zusammenfassender Form sequentielle Schaltungen für verschiedene Gerätetechniken entworfen. Eine Bewertung des unterschiedlichen Aufwandes wird hier nicht vorgenommen.

2.1. Aufgabenstellung

2.1.1. Verbale Formulierung

B e i s p i e l 2.1.:

Ein Lüfter zur Belüftung eines Maschinenraumes ist zu steuern. Das Ein- und Ausschalten soll von Hand über zwei Taster von einem Steuerpult aus erfolgen. Außerdem soll durch Temperaturfühler mit Grenzwertschaltern in Abhängigkeit von der Raumtemperatur der Lüfter ein- und ausgeschalten werden. Die Auslösung durch Grenzwertschalter soll Vorrang gegenüber der Be-

tätigung der Handtaster haben. Die Schaltung soll der "Dominierend-Aus-Bedingung" entsprechen.

2.1.2. Festlegung der Signalbezeichnungen

Voraussetzung für die schaltalgebraische Bearbeitung der Aufgabenstellung ist eine eindeutige Kennzeichnung aller Ein- und Ausgangssignale. Dazu werden die Kurzzeichen nach /3/ und /4/ angewendet:

Ein-Taster:	$S1 (x_1)$
Aus-Taster:	$S2 (x_2)$
Oberer Grenzwert:	$S3 (x_3)$
Unterer Grenzwert:	$S4 (x_4)$
Schaltenschutz für Lüftermotor:	$Q1 (y_1)$

2.1.3. Wirkungsplan

Entsprechend den Forderungen von Abschnitt 2.1.1. erhält man den in Bild 2.1.1 dargestellten Wirkungsplan.

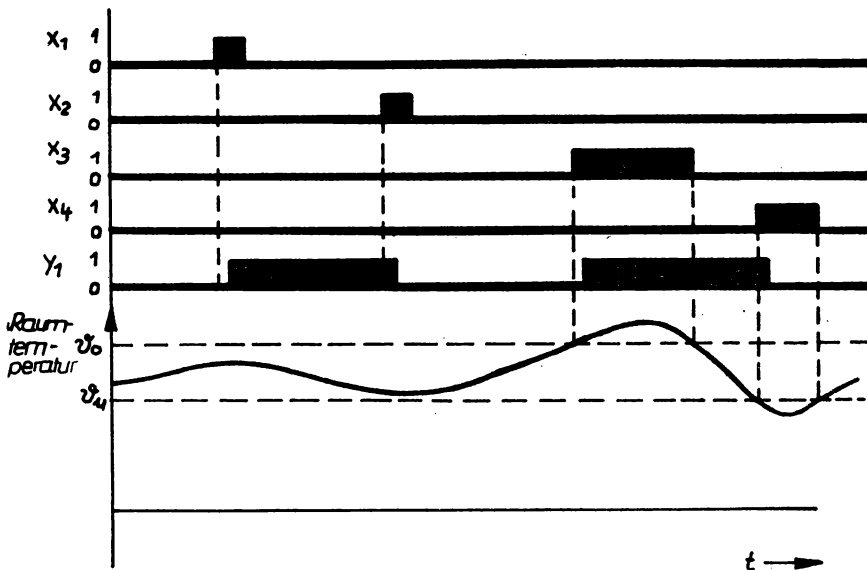


Bild 2.1.1: Wirkungsplan zum Beispiel 2.1.

2.1.4. Formulierung der Schaltbedingungen

Es gilt hier die Aufgabenstellung zu präzisieren und entsprechend der Aussagenlogik zu formulieren, so daß sie unmittelbar in Schaltfunktionen umgesetzt werden kann.

Damit werden auch bereits die Voraussetzungen für eine Beschreibung der fertigen Schaltung geschaffen, wie sie in der technischen Erläuterung eines Projektes enthalten sein muß.

Für dieses Beispiel gilt:

Der Lüfter soll einschalten $(y_1=1)$

wenn

der Ein-Taster S1 betätigt ist $(x_1=1)$

UND

der untere Grenzwert nicht erreicht ist $(x_4=0)$

ODER

der obere Grenzwert erreicht ist $(x_3=1)$

$$s = x_1 \bar{x}_4 \vee x_3 \quad (2.1.1)$$

Der Lüfter soll ausschalten $(y_1=0)$

wenn

der Aus-Taster S2 betätigt ist $(x_2=1)$

UND

der obere Grenzwert nicht erreicht ist $(x_3=0)$

ODER

der untere Grenzwert erreicht ist $(x_4=1)$

$$r = x_2 \bar{x}_3 \vee x_4 \quad (2.1.2)$$

2.2. Schaltung mit Relais

Aus der Aufgabenstellung ist erkennbar, daß das Ausgangssignal y identisch mit dem Ausgangssignal q des Speichers ist. Damit kann die Überföhrungsfunktion (1.2.5) wie folgt geschrieben werden:

$$y_1 = (s \vee y_1) \bar{r} \quad (2.2.1)$$

Mit den Ergebnissen (2.1.1) und (2.1.2) erhält man:

$$y_1 = (x_1 \bar{x}_4 \vee x_3 \vee y_1) x_2 \bar{x}_3 \vee x_4 \quad (2.2.2)$$

Nach Ausführung der Negation:

$$y_1 := (x_1 \bar{x}_4 \vee x_3 \vee y_1) (\bar{x}_2 \vee x_3) \bar{x}_4 \quad (2.2.3)$$

(Achtung! Auf richtiges Setzen der Klammern achten!)

Die so erhaltene Schaltfunktion ist soweit als möglich zu optimieren.

$$1. \text{ Schritt: } y_1 := (x_1 \vee x_3 \vee y_1) (\bar{x}_2 \vee x_3) \bar{x}_4 \quad (2.2.4)$$

$$2. \text{ Schritt: } y_1 := [(x_1 \vee y_1) \bar{x}_2 \vee x_3] \bar{x}_4 \quad (2.2.5)$$

Dieses Ergebnis ist als Stromlaufplan in Bild 2.2.1 dargestellt.

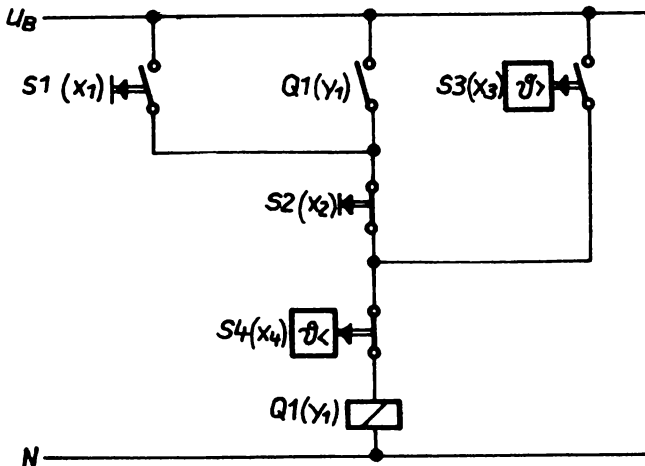


Bild 2.2.1: Stromlaufplan zu Beispiel 2.1.

2.3. Schaltung mit elektronischen Funktionselementen

2.3.1. Schaltung mit UND, ODER und Negation (UON-Technik)

Es gelten die gleichen Schaltbedingungen und die gleiche Überföhrungsfunktion wie bei der Schaltung mit Relais. Wegen des erforderlichen Nullstellungszwangs bei elektronischen Speicherschaltungen ist die Ausschaltbedingung (2.1.2) um den Richtimpuls R_1 zu ergänzen.

$$r = x_2 \bar{x}_3 \vee x_4 \vee R_1 \quad (2.3.1)$$

Damit ergibt sich die optimale Schaltfunktion:

$$y_1 := [(x_1 \vee y_1) \overline{x_2} \vee x_3] \overline{x_4} \overline{R_1} \quad (2.3.2)$$

Der Signalflußplan ist in Bild 2.3.1 dargestellt.

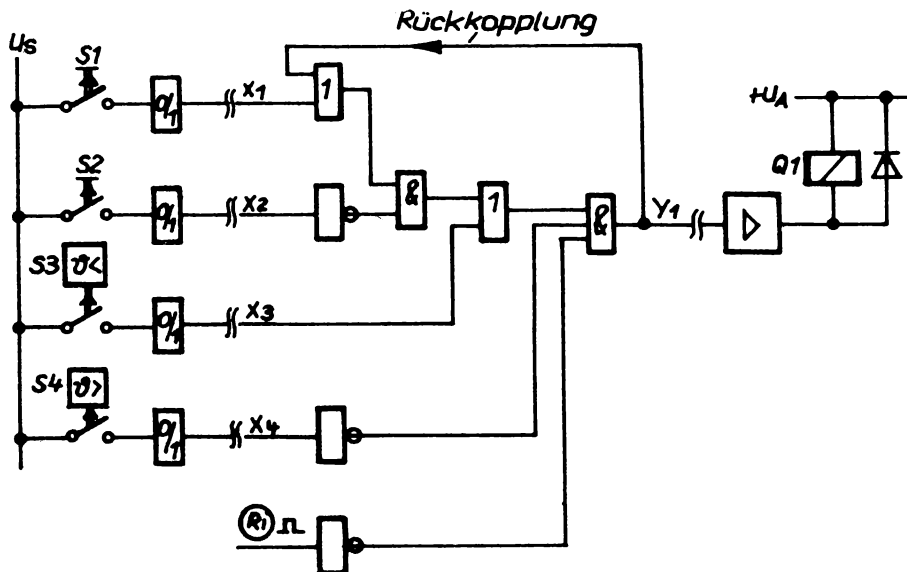


Bild 2.3.1.: Signalflußplan zu Beispiel 2.1. in UON-Technik

Eine Abwandlung dieser Schaltungstechnik ergibt sich durch den Einsatz von "Sperr-UND" und Diodengattern. Das Sperr-UND übernimmt die Funktion der Negation eines Eingangssignals und anschließender UND-Verknüpfung mit weiteren nicht negierten Eingangssignalen.

Die ODER-Verknüpfung wird von Diodengattern übernommen. Damit bleibt die Übersichtlichkeit dieser Schaltungstechnik gewährleistet, und es kommt nur ein aktiver Schaltkreistyp (Sperr-UND) zum Einsatz. Diese Schaltungsvariante wurde mit dem integrierten Schaltkreis D 410 im System ursalog 4000 realisiert. Die entsprechende Schaltung ist in Bild 2.3.2 dargestellt. Der Richtvorgang muß in diesem Fall nicht durch ein logisches Eingangssignal ausgelöst werden, sondern wird durch eine besondere Beschaltung des Schaltkreises gewährleistet.

Schaltkreis D410D

Diodengatter

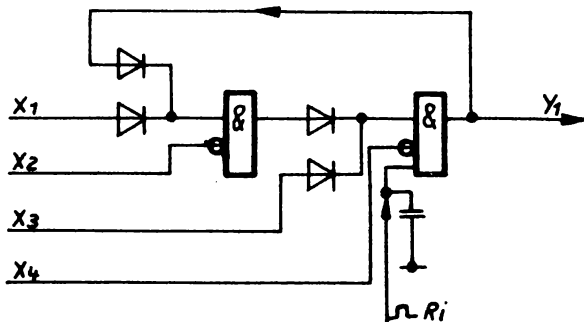
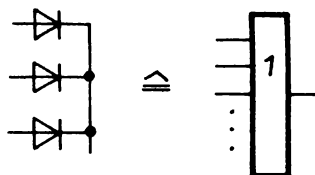
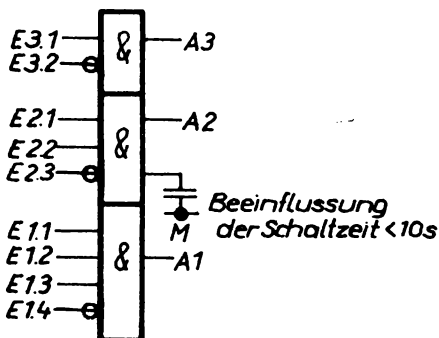


Bild 2.3.2: Signalflußplan zu Beispiel 2.1. mit "Sperr-UND"

2.3.2. Schaltung mit NOR-Elementen (NOR-Technik)

Die Schaltfunktion (2.3.2) wird durch doppelte Negation so umgeformt, daß sie entsprechend Bild 2.3.3 ausschließlich mit NOR-Elementen realisiert werden kann.

$$y_1 = \overline{[(x_1 \vee y_1) \bar{x}_2 \vee x_3] \bar{x}_4 R_1} \quad (2.3.3)$$

$$y_1 = x_1 \vee y_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee R_1 \quad (2.3.4)$$

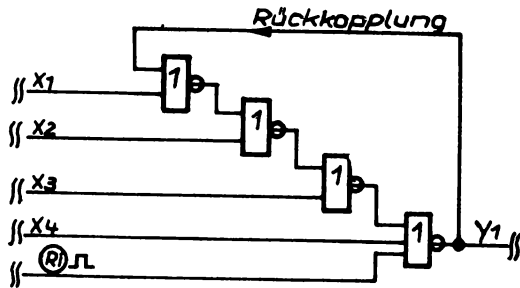


Bild 2.3.3: Signalflußplan zu Beispiel 2.1. in NOR-Technik

2.3.3. Schaltung mit NAND-Elementen (NAND-Technik)

Die Schaltfunktion (2.3.2) wird durch doppelte Negation so umgeformt, daß sie entsprechend Bild 2.3.4 ausschließlich mit NAND-Elementen realisiert werden kann.

$$y_1 = \overline{\overline{(x_1 \vee y_1)} \cdot \overline{x_2} \vee x_3 \cdot \overline{x_4} \cdot \overline{R_1}} \quad (2.3.5)$$

$$y_1 = \overline{\overline{x_1} \cdot \overline{y_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4} \cdot \overline{R_1}} \quad (2.3.6)$$

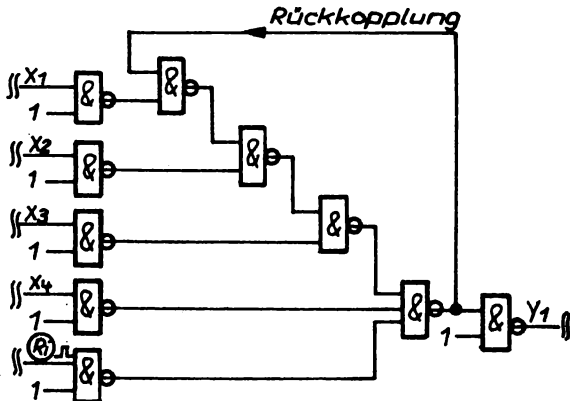


Bild 2.3.4: Signalflußplan zu Beispiel 2.1. in NAND-Technik

2.3.4. Schaltung mit R-S-Speicher

Bei dieser Schaltungsvariante wird die Speicherschaltung von Bild 1.3.4 zugrundegelegt und die kombinatorischen Schaltungen K_S und K_R zum Bilden der Signale s und r entsprechend den Funktionen (2.1.1) und (2.1.2) realisiert. Der Signalflußplan ist in Bild 2.3.5 dargestellt.

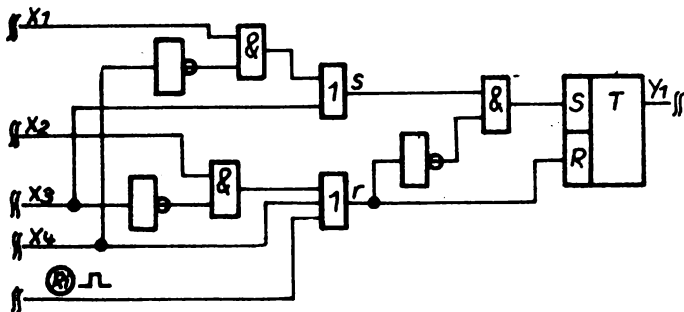


Bild 2.3.5: Signalflußplan zu Beispiel 2.1. in UON-Technik mit R-S-Speicher

Zusammenfassung

Für Schaltungen mit elektronischen Funktionselementen gibt es eine Vielzahl möglicher Schaltungsvarianten. Welche Schaltung zur Anwendung kommt, hängt von dem betrachteten Bausteinsystem ab. Dabei sind Schaltungen mit R-S-Speicher zu bevorzugen, da sie in der Analyse übersichtlicher sind, und durch Beschaltung störsicher gemacht werden können.

2.4. Schaltung mit pneumatischen Funktionselementen

2.4.1. Aufgabenstellung

Das Beispiel 2.1. wird so abgewandelt, daß pneumatische Funktionselemente zum Einsatz kommen können.

Beispiel 2.2.

Mit einem einseitig wirkenden pneumatischen Stellkolben soll eine Lüftungsklappe in einem überdruckbelüfteten Raum betätigt werden.

Die Betätigung des Stellkolbens soll von Hand über zwei Taster von einem Steuerpult aus erfolgen. Außerdem soll durch Druckschalter mit Grenzwertschaltern in Abhängigkeit vom Überdruck im Raum die Lüftungsklappe geöffnet und geschlossen werden. Die Auslösung der Grenzwertschalter soll Vorrang gegenüber der Betätigung der Handtaster haben. Die Schaltung soll der "Dominierend-Ein"-Bedingung entsprechen.

Signalbezeichnungen:

Ein-Taster:	x_1
Aus-Taster:	x_2
Oberer Grenzwert überschritten:	x_3
Unterer Grenzwert unterschritten:	x_4
Stellkolben:	y_1

2.4.2. Schaltbedingungen

Das geforderte Verhalten der Schaltung ist äquivalent dem vom Beispiel 2.1., nur die "Dominierend"-Bedingung hat sich geändert. Damit können die Schaltbedingungen (2.1.1) und (2.3.1) übernommen werden.

2.4.3. Rückkopplungsschaltung

Für das Dominierend-Ein-Verhalten gilt die Überföhrungsfunktion (1.2.4). Entsprechend der Aufgabenstellung gilt auch hier:

$$y_1 = q$$

Damit ergibt sich die Überföhrungsfunktion zu:

$$y_1 = s \vee y_1 \bar{r} \quad (2.4.1)$$

Setzt man die Schaltbedingungen (2.1.1) und (2.3.1) in (2.4.1) ein, so erhält man:

$$y_1 = x_1 \bar{x}_4 \vee x_3 \vee y_1 \quad (\overline{x_2 \bar{x}_3 \vee x_4 \vee R_1}) \quad (2.4.2)$$

Diese Schaltfunktion wird nach den Rechenregeln der Schaltalgebra so umgewandelt, daß sie mit einer minimalen Anzahl an Implikationselementen realisiert werden kann.

$$y_1 = \overline{x_1 \vee x_4} \vee x_3 \vee \overline{\bar{y}_1 \vee (\overline{x_2 \vee x_3 \vee x_4 \vee R_1})} \quad (2.4.3)$$

Das Ergebnis ist in Bild 2.4.1 dargestellt.

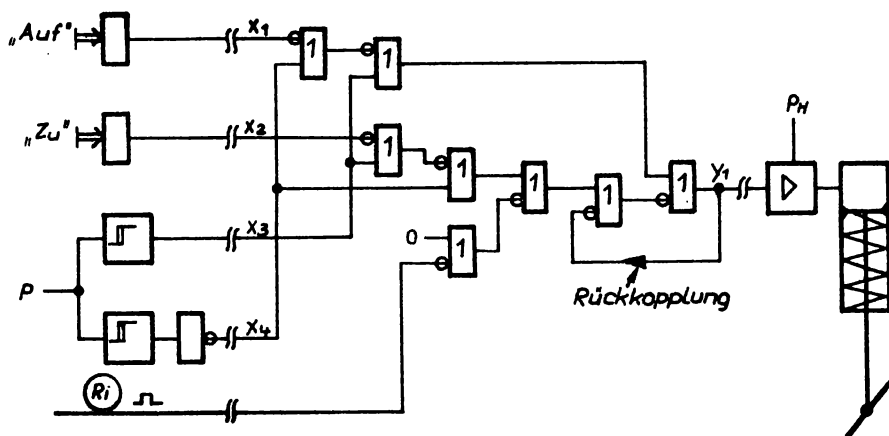


Bild 2.4.1: Signalflußplan zu Beispiel 2.2. mit Implikationselementen

2.4.4. Schaltung mit R-S-Speicher

Die Grundlage für die Schaltungsentwicklung bildet der R-S-Speicher nach Bild 1.3.5, der unter der Voraussetzung, daß das negierte Ausgangssignal nicht genutzt wird bereits "Dominierend-Ein"-Verhalten hat. Damit ist es nur noch erforderlich die kombinatorischen Schaltungen zur Bildung von s und r so umzuwandeln, daß sie mit Implikationselementen realisiert werden können.

$$s = \overline{x_1 \vee x_4} \vee x_3 \quad (2.4.4)$$

$$r = \overline{x_2 \vee x_3} \vee x_4 \vee \bar{R}_1 \quad (2.4.5)$$

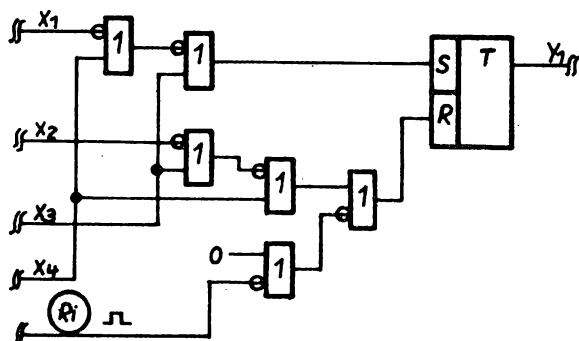


Bild 2.4.2: Signalflußplan zu Beispiel 2.2. mit Implikations-
elementen und R-S-Speichern

K o n t r o l l f r a g e :

K 8. Welcher Zusammenhang läßt sich zwischen den Bildern
2.4.1 und 2.4.2 feststellen?

A u f g a b e :

A 3. Für eine Speicherschaltung sind aus der Aufgabenstellung
folgende Schaltbedingungen formuliert worden:

$$s = x_1 \vee x_2 \bar{x}_3 \vee x_4$$

$$r = x_5 \bar{x}_6$$

Die Speicherung soll der Dominierend-Ein-Bedingung ent-
sprechen!

Entwickeln Sie die Schaltung in den folgenden Schaltungs-
techniken:

A 3.1. Relaisstechnik,

A 3.2. UND-, ODER-, NICHT-Technik mit R-S-Speicher,

A 3.3. NAND-Technik mit R-S-Speicher aus NAND-Elementen,

A 3.4. Implikationselemente mit R-S-Speicher!

3. Zeitschaltungen

3.1. Allgemeines

Bei den bisher behandelten Speicherschaltungen erfolgte das Setzen und Rücksetzen der Speicher durch Signale, die äußere Ursachen hatten, d. h., die durch Handbetätigung oder durch Grenzwertsignalisationen in ihrem Signalwert bestimmt werden. Im folgenden werden die Schaltfunktionen und Schaltglieder vorgestellt, deren Schaltverhalten durch einen internen Zeitgeber mitbestimmt wird.

Durch eine allgemeingültige Darstellung dieser Art von Schaltungen werden die Voraussetzungen geschaffen, die Schaltungsentwicklung mit den verschiedensten Schaltsystemen zu beherrschen. Die dabei verwendete schaltalgebraische Beschreibung bildet die Grundlage für die Anwendung auch auf speicherprogrammierbare Steuerungsstrukturen mit Mikrorechnern.

3.2. Zeitfunktionen

3.2.1. 0/1-Signalverzögerung

Für dieses Schaltverhalten nach Bild 3.2.1a ist auch die Bezeichnung "Einschaltverzögerung" üblich. Das verzögerte Signal e_1 wird in den schaltalgebraischen Beschreibungen durch einen nach oben weisenden Pfeil hinter der Variablen gekennzeichnet und die Verzögerungszeit indiziert hinter dem Pfeil angegeben.

$$a_1 = e_1 \uparrow t_1 \quad (3.2.1)$$

Diese Schreibweise ist nicht allgemein vereinbart, wurde aber bereits in der Literatur benutzt /1;2/.

3.2.2. 1/0-Signalverzögerung

Das Schaltverhalten nach Bild 3.2.1b wird auch als "Ausschaltverzögerung" gekennzeichnet. Für die schaltalgebraische Beschreibung gilt das oben Gesagte. Durch die Pfeilrichtung nach unten wird auf die Verzögerung des Ausschaltvorgangs verwiesen.

$$a_2 = e_2 \downarrow t_2 \quad (3.2.2)$$

3.2.3. 0/1- und 1/0-Signalverzögerung

Dieses Verhalten nach Bild 3.2.1c entspricht der Kombination der Varianten 3.2.1. und 3.2.2. und bedeutet sowohl Einschalt- als auch Ausschaltverzögerung.

$$a_3 = e_3 \uparrow t_E \downarrow t_A \quad (3.2.3)$$

3.2.4. Monostabile Funktion

Das Schaltverhalten ist in den Bildern 3.2.1d und 3.2.1e dargestellt. Das charakteristische dieser Zeitfunktion ist, daß bei einem 0/1-Wechsel bzw. 1/0-Wechsel des Eingangssignals das Ausgangssignal den Signalwert 1 annimmt und nach einer vorgegebenen Zeit wieder auf 0 wechselt.

Dabei spielt die Dauer des Eingangssignals keine Rolle. Es handelt sich hierbei um eine dynamische Ansteuerung und bezüglich der schaltalgebraischen Beschreibung gilt die in Abschnitt 1.3.5.2. vereinbarte Schreibweise.

Reaktion auf 0/1-Wechsel:

$$a_4 = (e_4)' \downarrow t_4 \quad (3.2.4)$$

Reaktion auf 1/0-Wechsel:

$$a_5 = (\overline{e_5})' \downarrow t_5 \quad (3.2.5)$$

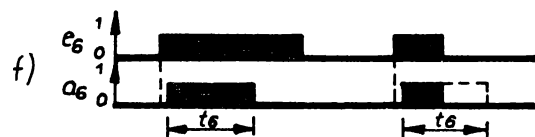
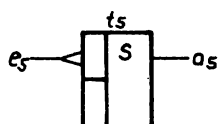
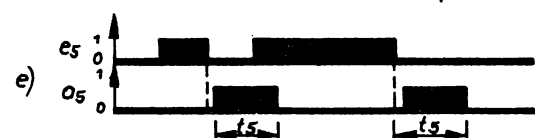
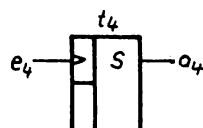
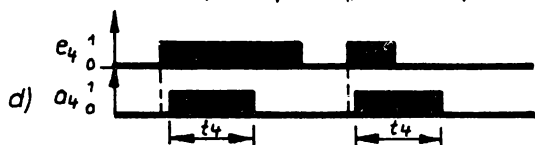
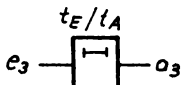
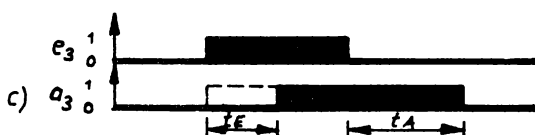
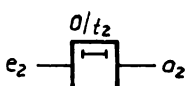
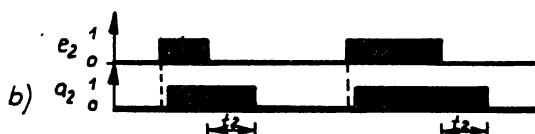
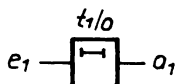
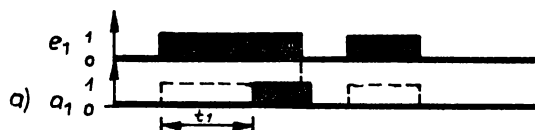
3.2.5. Wischfunktion

Dieses Verhalten ist ähnlich dem von 3.2.4. bei Reaktion auf 0/1-Wechsel. In diesem Fall wirkt sich jedoch die Dauer des 1-Signals am Eingang auf die Dauer des 1-Signals am Ausgang aus.

Das Ausgangssignal hat den Wert 1 nach einem 0/1-Wechsel am Eingang entsprechend der eingestellten Zeit. Wechselt das Eingangssignal jedoch vor Ablauf der Zeit auf 0, so wird auch das Ausgangssignal 0. Das Schaltverhalten ist in Bild 3.2.1f dargestellt. Die Schaltfunktion wird unter Nutzung der bereits bekannten Zeitfunktionen formuliert.

Wirkungsplan

symbolische Beschreibung



siehe Bild 32.2

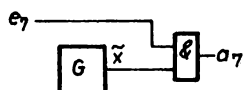
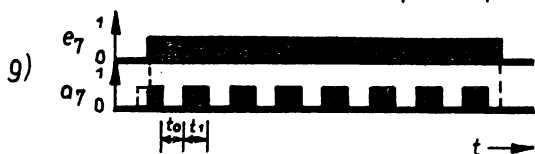


Bild 3.2.1: Zeitfunktionen: a) 0/1-Signalverzögerung, b) 1/0-Signalverzögerung, c) 0/1- und 1/0-Signalverzögerung, d) Monostabile Funktion auf 0/1-Wechsel, e) Monostabile Funktion auf 1/0-Wechsel, f) Wischfunktion, g) Astabile Funktion

Dynamisch reagierend:

$$a_6 = e_6 (e_6)' \downarrow t_6 \quad (3.2.6)$$

Statisch reagierend:

$$a_6 = e_6 \overline{e_6} \uparrow t_6 \quad (3.2.7)$$

Im Bild 3.2.2 und 3.2.3 sind die Signalflußpläne und die ausführlichen Wirkungspläne dargestellt.

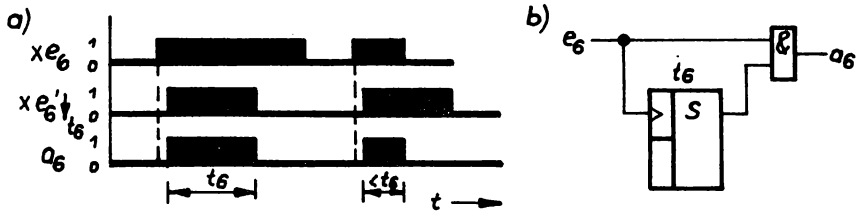


Bild 3.2.2: Wischfunktion (dynamisch reagierend)

a) Wirkungsplan

b) Signalflußplan

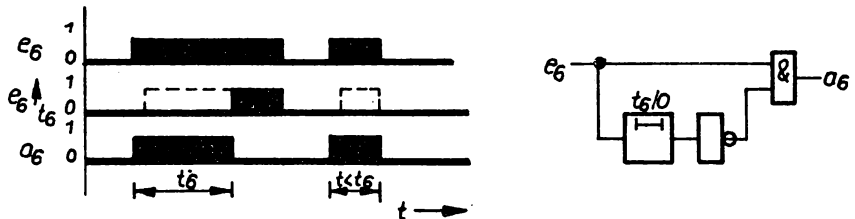


Bild 3.2.3: Wischfunktion (statisch reagierend)

a) Wirkungsplan

b) Signalflußplan

3.2.6. Astabile Funktion

Diese Funktion beschreibt ein periodisches Schaltverhalten. Die Signalwerte 1 und 0 wechseln in gleichbleibenden Intervallen. Für jeden Signalwert ist eine bestimmte Zeitdauer festge-

legt. Dieses Schaltverhalten wird in den meisten Fällen durch Kombination des Eingangssignals mit einem periodischen Signal aus einem Taktgenerator realisiert.

$$a_7 = e_7 \tilde{x}_{t_1}/t_0 \quad (3.2.8)$$

t_1 Zeitdauer des 1-Signals

t_0 Zeitdauer des 0-Signals

3.3. Rechenregeln

Für die technische Realisierung der Zeitschaltfunktionen stehen im allgemeinen nur einige spezielle Bauelemente mit vorgegebenem Schaltverhalten zur Verfügung. Daraus ergibt sich für den Anwender die Aufgabe unter Nutzung zusätzlicher kombinatorischer Schaltelemente das gewünschte Zeitschaltverhalten zu realisieren. Dazu werden neben den bekannten schaltalgebraischen Rechenregeln noch die folgenden nur für Zeitfunktionen gültigen benutzt.

Negationsregel für Signalverzögerung

Eine verzögerte Variable wird negiert, indem die Variable selbst negiert wird und die Verzögerung sich umkehrt.

Damit ergeben sich die folgenden Schaltgleichungen:

$$\overline{e_1 \uparrow t_1} = \bar{e}_1 \downarrow t_1 \quad (3.3.1)$$

$$e_2 \downarrow t_2 = \bar{e}_2 \uparrow t_2 \quad (3.3.2)$$

$$e_3 \uparrow t_3 = \overline{e_3 \uparrow t_3} = \overline{\bar{e}_3 \downarrow t_3} \quad (3.3.3)$$

$$e_4 \downarrow t_4 = \overline{e_4 \downarrow t_4} = \overline{\bar{e}_4 \uparrow t_4} \quad (3.3.4)$$

Klammerregel für Zeitschaltfunktionen

In allen Schaltgleichungen können anstelle von Variablen, die den zeitlichen Abhängigkeiten entsprechen (3.2.1) bis (3.2.8) unterliegen, Teilschaltfunktionen mit mehreren Variablen eingesetzt werden. Die Klammern müssen bei allen schaltalgebraischen Umformungen erhalten bleiben, z. B.

$$\overline{e_1} \uparrow t_1 \quad e_2 = \overline{e_1} \downarrow t_1 \quad e_2 \quad (3.3.5)$$

$$e_1 = e_{11} \overline{e_{12}} \vee e_{13} \quad (3.3.6)$$

(3.3.6) eingesetzt in (3.3.5)

$$(\overline{e_{11}} \overline{e_{12}} \vee e_{13}) \uparrow t_1 \quad e_2 = (\overline{e_{11}} \overline{e_{12}} \vee e_{13}) \downarrow t_1 \quad e_2 \quad (3.3.7)$$

weiter umgeformt

$$= [(\overline{e_{11}} \vee e_{12}) \overline{e_{13}}] \downarrow t_1 \quad e_2 \quad (3.3.8)$$

$$= [\overline{e_{11}} \quad \overline{e_{13}} \vee e_{12} \quad \overline{e_{13}}] \downarrow t_1 \quad e_2 \quad (3.3.9)$$

3.4. Zeitschaltelemente

3.4.1. Zeitrelais

Diese Schaltelemente sind dadurch gekennzeichnet, daß das Eingangssignal, der geschaltete Stromfluß des Antriebssystems und das Ausgangssignal die Schaltstellung eines oder mehrerer verzögerter Kontakte sind. Eine Übersicht über das Schaltverhalten handelsüblicher Bauarten gibt Bild 3.4.1. Die technische Realisierung dieser Zeitrelais baut auf Wirkprinzipien auf, die Zeitabhängigkeiten physikalischer Vorgänge zur Zeitbestimmung ausnutzen. Dabei bestimmt das Wirkprinzip i.a. auch das Schaltverhalten. Nach der Art des Aufbaus unterscheidet man zwischen mechanisch analogen, mechanisch digitalen, elektronisch analogen und elektronisch digitalen Zeitrelais.

3.4.2. Monostabiler Multibibrator (MMB)

Diese Schaltelemente entsprechen in ihrem Schaltverhalten den Zeitfunktionen von Bild 3.2.1d bzw. 3.2.1b. Sie sind i. a. Bestandteil elektronischer und pneumatischer Schaltsysteme. Die Zeiteinstellung erfolgt vorzugsweise analog. Die Zeitbestimmung wird aus dem Aufladevorgang einer R-C-Kombination bei elektronischen und einer Drossel-Volumen-Kombination bei pneumatischen Schaltsystemen abgeleitet. Die angebotenen MMV besitzen i.a. noch einen weiteren Eingang, über den eine vorzeitige Nullstellung des Ausgangssignals erreicht werden kann.

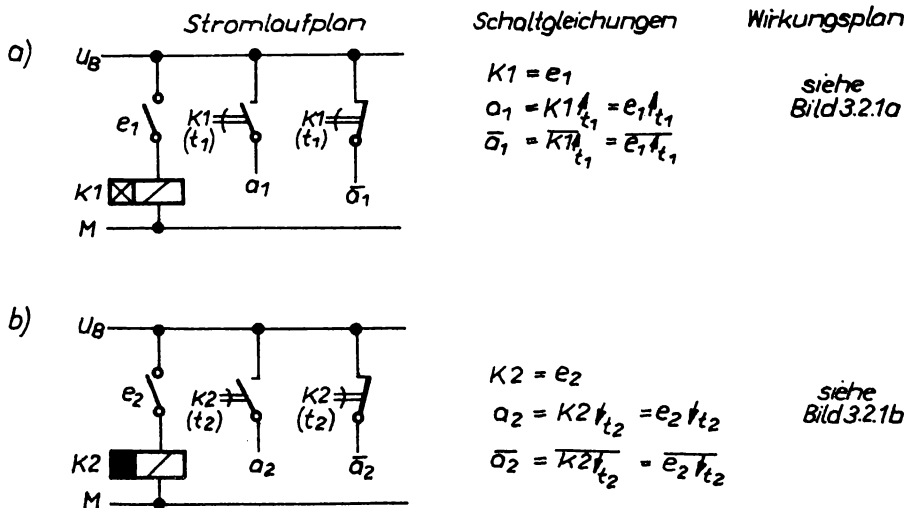


Bild 3.4.1: Schaltverhalten von Zeitrelais

a) einschaltverzögert b) ausschaltverzögert

Über diesen Eingang erfolgt erforderlichenfalls der Nullstellungszwang durch einen Richtimpuls beim Einschalten der Versorgungsspannung (siehe Bild 3.4.2).

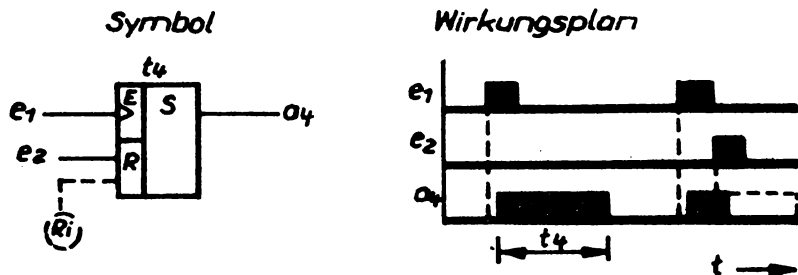


Bild 3.4.2: Monostabiler Multivibrator mit Rücksetzeingang

3.4.3. Signalverzögerer

Diese Schaltelemente entsprechen in ihrem Schaltverhalten den Zeitfunktionen von Bild 3.2.1a, 3.2.1b und 3.2.1c

Die Zeitbestimmung erfolgt nach den gleichen Wirkprinzipien wie bei den MMV!

3.4.4. Astabiler Multivibrator (AMV)

Mit diesem Schaltelement wird die Schaltfunktion nach Bild 3.2.1f realisiert. In den verschiedenen Bausteinsystemen werden i.a. solche MMV angeboten, bei denen die Frequenz und das Verhältnis $t_1/t_0 = (0,5 \text{ bis } 2)$ analog einstellbar sind. Für besondere Ansprüche an das Start-Stop-Verhalten und das Verhältnis t_1/t_0 lassen sich Schaltungen mit anderen Zeitschaltelementen aufbauen, wie in den folgenden Abschnitten noch gezeigt wird.

3.4.5. Digitale elektronische Zeitglieder

Mit den integrierten Schaltkreisen E 355 D und E 350 D stehen jetzt grundsätzlich neue Schaltelemente zur Verfügung, die bereits Bestandteil der Systeme TRANSLOG 2 und ursalog 4000 geworden sind /7/ und die perspektivisch den Aufbau und die Funktion fast aller zeitabhängiger Schaltelemente beeinflussen werden.

Die für den speziellen Anwendungsfall geforderte Zeitfunktion (siehe Bild 3.2.1) kann durch eine Codierung der Betriebsart nach Tafel 3.4.1 programmiert werden.

Der Beginn des zeitabhängigen Schaltvorgangs wird durch eine 0/1-oder 1/0-Flanke des Eingangssignals ausgelöst.

Die Zeitdauer ist gleichfalls in diskreten Werten durch einen Code programmierbar, und eine Feineinstellung erfolgt durch Potentiometerabgleich.

Tafel 3.4.1: Betriebsartenprogrammierung

Eingang			Betriebsart
NB 2	NB 1	NB 0	
0	0	0	Funktion nicht definiert
0	0	1	Astabile Funktion
0	1	0	Wischfunktion
0	1	1	Monostabile Funktion
1	0	0	1/0-Signalverzögerung
1	0	1	Summierende 0/1-Signalverzögerung
1	1	0	0/1-Signalverzögerung
1	1	1	Funktion nicht definiert

Im Bild 3.4.3 ist die symbolische Beschreibung einer solchen universellen Zeitschaltbaugruppe aus dem System ursalog 4000 dargestellt. In dieser Baugruppe ist der Potentiometerabgleich digitalisiert worden, so daß die gesamte Zeiteinstellung durch ein 8-bit-Codewort programmiert werden kann.

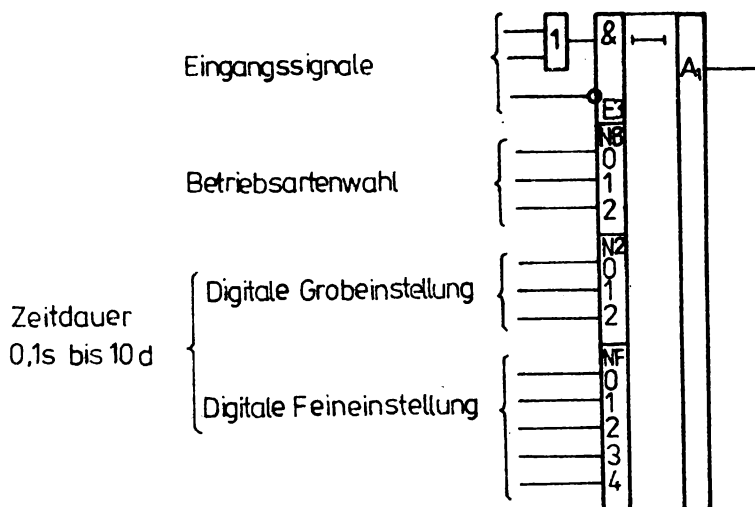


Bild 3.4.3: Langzeitbaugruppe Typ 2724.02 im System ursalog 4000

3.5. Schaltungen mit Signalverzögerern

3.5.1. 1/0-Verzögerung mit 0/1-Verzögerern

Unter Nutzung der Gleichung (3.3.4) ergeben sich die Schaltungen nach Bild 3.5.1.

Bei einer Analyse dieser Schaltungen ist festzustellen, daß beim Einschalten der Betriebsspannung der Ausgang während der Dauer t_4 den Signalwert 1 hat. Dieser Effekt ist beim Inbetriebnahmeregime der Steuerungsanlage entsprechend zu berücksichtigen.

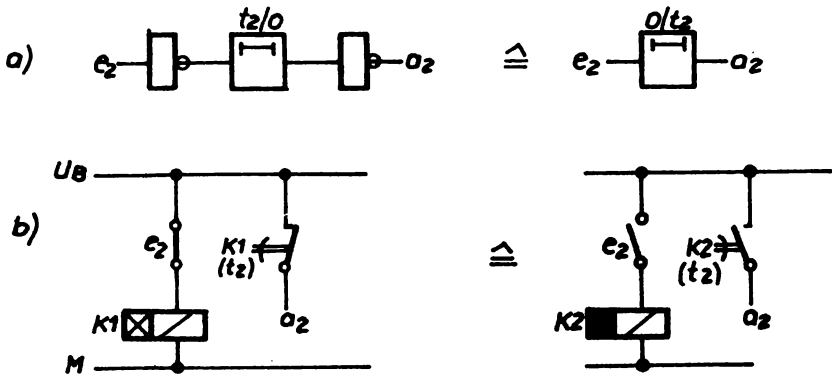


Bild 3.5.1: 1/0-Verzögerung mit 0/1-Verzögerern

a) Signalflußplan

b) Kontaktschaltung

3.5.2. Monostabile Funktion mit Signalverzögerern

Reaktion auf 0/1-Wechsel

Das Ausgangssignal soll bei diesem Schaltverhalten unabhängig von der Eingangssignaldauer sein. Daraus folgt, daß das Ausgangssignal mit einer Speicherschaltung gebildet werden muß. Für den Speicher ergeben sich die Setz- und Rücksetzbedingungen wie folgt:

Der Speicher soll gesetzt werden ($q_4 = 1$),

wenn $e_4 = 1$ ist.

Daraus folgt: $s_4 = e_4$

(3.5.1)

Der Speicher soll verzögert rückgesetzt werden ($q_4 = 0$),

wenn $e_4 = 1$ ist

ODER

$q_4 = 1$ ist.

Daraus folgt: $r_4 = (e_4 \vee q_4) \uparrow t_4$ (3.5.2)

Für den Speicher gilt Dominierend-Aus.

Als Überföhrungsfunktion erhält man:

$q_4 := (e_4 \vee q_4) \overline{(e_4 \vee q_4) \uparrow t_4}$ (3.5.3)

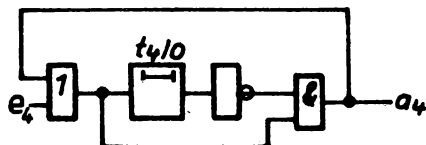
Damit gilt:

$a_4 = q_4$

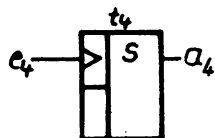
$a_4 := (e_4 \vee a_4) \overline{(e_4 \vee a_4) \uparrow t_4}$ (3.5.4)

Die Ergebnisse sind in Bild 3.5.2 dargestellt.

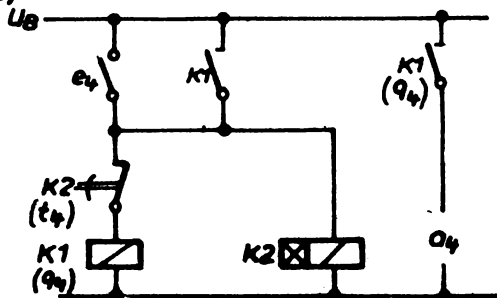
a)



$\cong$



b)



$\cong$

*ein spezielles
Relais mit diesem
Schaltverhalten
gibtes nicht*

Bild 3.5.2: Monostabile Funktion (0/1-Reaktion) mit 0/1-Signalverzögerern

a) Signalflußplan

b) Kontaktschaltung

3.5.3. Wischfunktion mit Signalverzögerern

Die entsprechenden Schaltungen lassen sich unter Verwendung der Schaltgleichung (3.2.7) sofort angeben (siehe auch Bild 3.2.3).

3.5.4. Astable Funktion mit Signalverzögerern

Diese Funktion enthält die zwei Zeiten t_1 und t_0 .

Damit sind zu ihrer Realisierung mindestens zwei Zeitschalt-elemente, d. h. zwei Signalverzögerer erforderlich.

Die Schaltfunktionen können aus dem Wirkungsplan von Bild 3.5.3 unmittelbar abgeleitet werden.

$$a_1 = \bar{a}_2 \uparrow t_1 \quad (3.5.5)$$

$$a_2 = a_1 \uparrow t_0 \quad (3.5.6)$$

(3.5.6) in (3.5.5) eingesetzt:

$$a_1 = \overline{a_1 \uparrow t_0} \downarrow t_1 \quad (3.5.7)$$

Die Schreibweise mit "ergibt sich" ist hier notwendig, da die gleichen Überlegungen wie bei Speicherschaltungen gelten und zwischen dem "alten" Signalwert auf der rechten Seite der Gleichung und dem "Neuen" Signalwert auf der linken Seite der Gleichung zu unterscheiden ist.

Entsprechend Gleichung (3.2.8) gilt:

$$a_1 = \tilde{x}_{t_1/t_0} \quad (3.5.8)$$

$$a_7 = e_7 \quad a_1 \quad (3.5.9)$$

Für die entsprechende Kontaktschaltung mit einschaltverzögerten Relais ist in diese Gleichung einzusetzen:

$$a_1 = K1$$

$$a_2 = K2$$

Die Ergebnisse sind in Bild 3.5.3 dargestellt.

Bei der praktischen Nutzung dieser Schaltung ist zu beachten, daß sich die kurze Ausschaltzeit des Signalverzögerers D2 bzw. des Zeitrelais K2 auf die Genauigkeit der eingestellten Zeit auswirken kann. Deshalb wird eine zweite Schaltungsvariante vorgestellt, die zur Bildung des Signals a_7 von einer Speicherschaltung mit folgenden Schaltbedingungen ausgeht:

$$S_7 = e_7 \quad \bar{a}_7 \uparrow t_0 \quad (3.5.10)$$

$$r_7 = a_7 \uparrow t_1 \quad (3.5.11)$$

$$a_7 = q \quad (3.5.12)$$

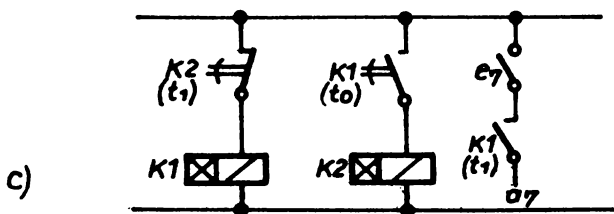
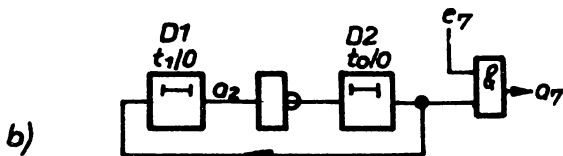
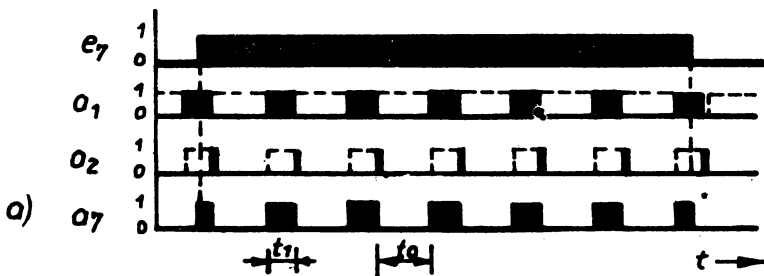


Bild 3.5.3: Astabile Funktion mit 0/1-Signalverzögerern
a) Wirkungsplan b) Signalflußplan
c) Kontaktschaltung

Eine bestimmte Dominierend-Bedingung muß hier nicht berücksichtigt werden.

Für die Überföhrungsfunktion wurde gewählt:

$$q: = (s \vee q) \bar{r}$$

Damit erhält man:

$$a_7: = (e_7 \bar{a}_7 \uparrow_{t_0} \vee a_7) \bar{a}_7 \uparrow_{t_0} \quad (3.5.13)$$

Für die Relaisschaltung gilt:

$$K1 = a_7 \quad (3.5.14)$$

$$K2 = \bar{a}_7 = K1 \quad (3.5.15)$$

$$\bar{a}_7 \uparrow_{t_0} = K2 \uparrow_{t_0} \quad (3.5.16)$$

$$K3 = a_7 = K_1 \quad (3.5.17)$$

$$a_7 \uparrow t_0 = K3 \downarrow t_1 \quad (3.5.18)$$

$$K1: = (e_7 K2 \uparrow t_0 \vee K1) \overline{K3 \uparrow t_1} \quad (3.5.19)$$

Mit dieser Schaltungsvariante werden außerdem definierte Start-Stop-Bedingungen der Impulsfolge gewährleistet. Die Ergebnisse sind in Bild 3.5.4 dargestellt.

3.6. Schaltungen mit Monostabilen Multivibratoren

3.6.1. Signalverzögerung mit MMV

0/1-Verzögerung:

Das geforderte Schaltverhalten entspricht Bild 3.2.1a und zur Verfügung steht ein Schaltelement mit dem Verhalten von Bild 3.2.1d. Geht man davon aus, daß die Zeitbestimmung nur über die Dauer des 1-Signals am Ausgang des MMV möglich ist, so muß der 0/1-Wechsel des Eingangssignals e_1 zum Ansprechen des MMV führen. Damit ergeben sich die ersten beiden Zeilen des Wirkungsplans von Bild 3.6.1 und es läßt sich daraus die Schaltfunktion für das Ausgangssignal a_1 ableiten:

$$a_1 = e_1 \overline{(e_1)' \downarrow t_1} = e_1 \uparrow t_1 \quad (3.6.1)$$

Damit nach kurzem 1-Signal (Dauer kleiner als t_1) von e_1 sofort wieder die volle Verzögerungszeit wirksam wird, ist es notwendig, den MT mit dem Signal $\bar{e}_1$ zurückzusetzen.

1/0-Verzögerung

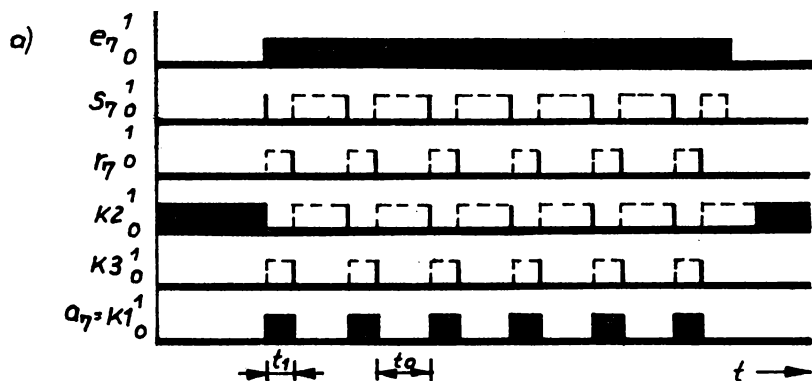
Die Schaltfunktion für diese Schaltung erhält man unter Nutzung der Schaltgleichungen (3.3.4) und (3.6.1)

$$a_2 = e_2 \downarrow t_2 = e_2 \uparrow t_2 \quad (3.6.2)$$

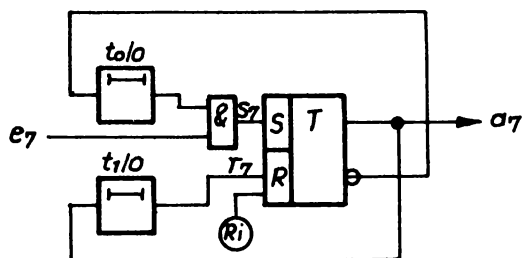
$$\bar{e}_2 \uparrow t_2 = \bar{e}_2 \overline{(e_2)' \downarrow t_2} \quad (3.6.3)$$

(3.6.3) in (3.6.2) eingesetzt:

$$a_2 = \overline{\bar{e}_2 \overline{(e_2)' \downarrow t_2}} = e_2 \vee \overline{(e_2)' \downarrow t_2} \quad (3.6.4)$$



b)



c)

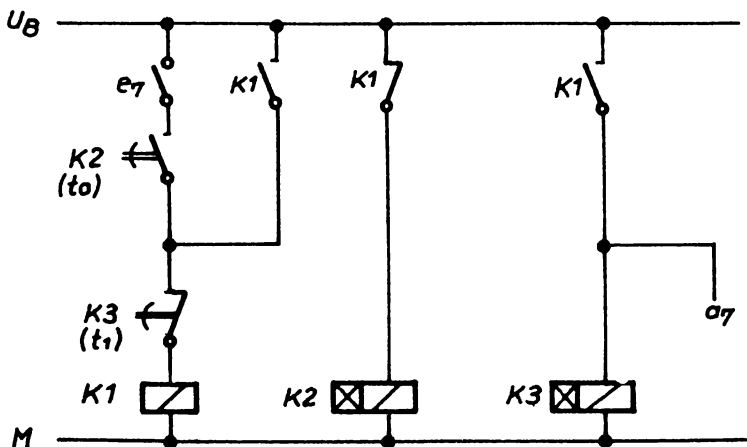
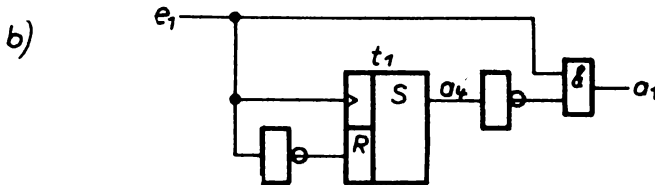
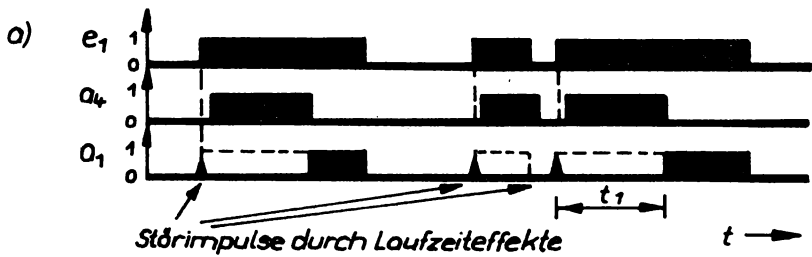


Bild 3.5.4: Astabile Funktion mit 0/1-Verzögerern und Speicherschaltung

- a) Wirkungsplan
- b) Signalflußplan
- c) Kontaktschaltung



3.6.1: 0/1-Verzögerung mit MMV

a) Wirkungsplan b) Signalflußplan

Damit auch hier nach diesem kurzen 0-Signal von e_2 wieder die volle Verzögerungszeit wirksam wird, ist es notwendig, den MMV mit dem Signal e_2 zurückzusetzen. Die Ergebnisse sind in Bild 3.6.2 dargestellt.

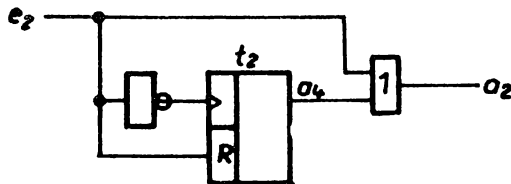
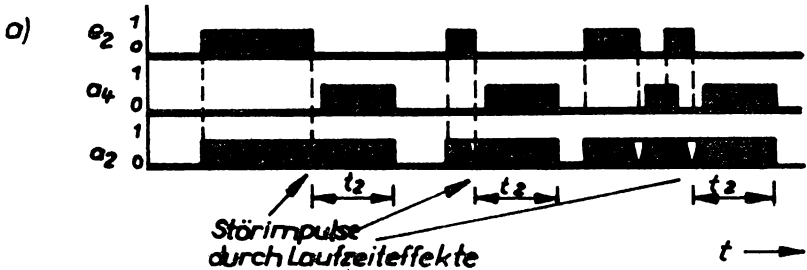


Bild 3.6.2: 1/0-Verzögerung mit MMV

a) Wirkungsplan

b) Signalflußplan

Hinweis:

In beiden Schaltungen werden die Eingangssignale in verschiedenen Schaltungsteilen weiterverarbeitet und dann wieder kombiniert. Dabei können Störsignale durch unterschiedliche Laufzeiten entstehen. Mit Dämpfungsgliedern müssen diese Laufzeitunterschiede ausgeglichen und das Entstehen solcher Störsignale verhindert werden. In den verschiedenen Bausteinsystemen gibt es dazu entsprechende Schaltungsvorschläge.

3.6.2. Astable Funktion mit MMV

Diese Schaltung läßt sich aus den Schaltgleichungen für Signalverzögerer (3.5.7) ableiten, und die Signalverzögerung kann wie in Abschnitt 3.6.1. beschrieben werden.

Die besondere Funktion des MMV macht jedoch eine andere Schaltungsvariante möglich, die einfacher und übersichtlicher ist. Für die Zeiten t_1 und t_0 ist je ein MMV notwendig, deren Ausgangssignale während dieser Zeiten den Wert 1 haben. Aus der Periodizität der Signale läßt sich feststellen, daß das eine Signal immer dann auf 1 wechseln muß, wenn das andere auf 0 wechselt.

$$a_1 = (\overline{a_2})' \downarrow_{t_1} \quad (3.6.5)$$

$$a_2 = (\overline{a_1})' \downarrow_{t_0} \quad (3.6.6)$$

$$a_7 = a_1 \quad (3.6.7)$$

Die Darstellungen in Bild 3.6.3 machen Aufbau und Wirkungsweise dieser Schaltung deutlich.

K o n t r o l l f r a g e n :

- K 9. Welche Wirkungsprinzipien werden zur Realisierung mechanisch-analoger Zeitrelais verwendet?
- K 10. Welcher Unterschied besteht zwischen analog und digital arbeitenden Zeitrelais?

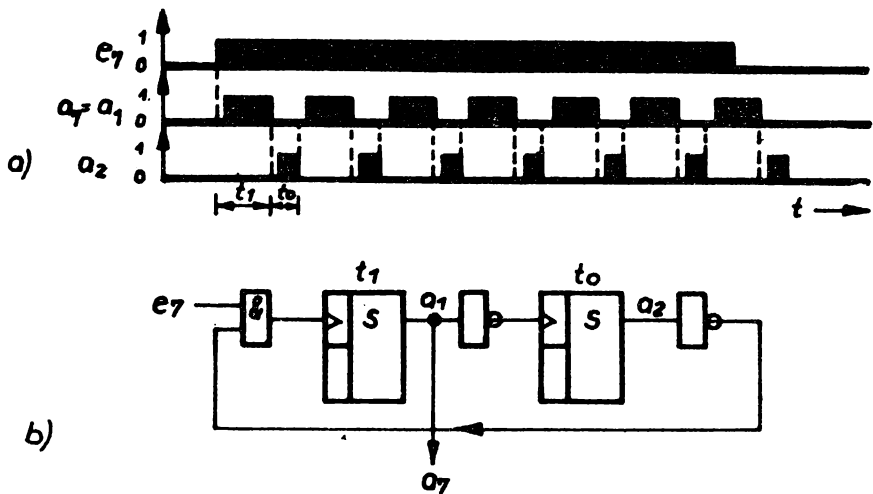


Bild 3.6.3: Astabile Funktion mit MMV

a) Wirkungsplan

b) Signalflußplan

A u f g a b e n :

- A 4. Begründen Sie, warum in der Ausschaltbedingung (3.5.2) das Eingangs- und Ausgangssignal disjunktiv verknüpft ist und warum "Dominierend-Aus" gefordert ist!
- A 5. Entwickeln Sie unter Nutzung der Rechenregeln die Schaltung zur 0/1-Verzögerung mit 1/0-Verzögerern! Stellen Sie das Ergebnis als Kontaktschaltung und als Signalflußplan dar!
- A 6. Die Schaltungen nach Bild 3.5.2, 3.5.3 und 3.5.4 sind mit 1/0-Verzögerern zu entwerfen und darzustellen!

Lösungen der Aufgaben

- A 1. Schaltbelegungstabelle des R-S-Speicher mit NOR-Elementen nach Bild 1.3.5

s_1	s_2	r_1	r_2	$q_1^{(n+1)}$	$q_2^{(n+1)}$
s_1	s_2	r_1	r_2	$q_1^{(n)}$	$\bar{q}_1^{(n)}$
0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	1	0
1	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1
1	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0
1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	0	1
1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0
1	1	0	1	0	0
0	0	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0
1	1	1	1	0	0

A 2. Schaltbelegungstabelle des R-S-Speichers mit NAND Elementen nach Bild 1.3.5

$\bar{s}_1$	$\bar{s}_2$	$\bar{r}_1$	$\bar{r}_2$	$q_1^{(n+1)}$	$q_2^{(n+1)}$
0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	1	1
0	1	0	0	1	1
1	1	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1
1	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	1
1	1	1	0	0	1
0	0	0	1	1	1
1	0	0	1	1	1
0	1	0	1	1	1
1	1	0	1	0	1
0	0	1	1	1	0
1	0	1	1	1	0
0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	$q_1^{(n)}$	$q_1^{(n)}$



Bild A 2.: Werteverlauf von q zu Bild 1.3.12

A 3. A 3.1. Relaistechnik

Mit den angegebenen Schaltbedingungen ergibt sich die Überföhrungsfunktion

$$y_1 = (x_1 \vee x_2 \bar{x}_3 \vee x_4 \vee y_1) \overline{x_5 x_6}$$

Negation ausgeföhrt:

$$y_1 = (x_1 \vee x_2 \bar{x}_3 \vee x_4 \vee y_1) (\bar{x}_5 \vee \bar{x}_6)$$

A 3.2. UON-Technik mit R-S-Speicher

Es ist die Schaltung nach Bild 1.3.3 zugrunde zu legen, und die Schaltbedingungen in kombinatorischen Teilschaltungen sind zu realisieren.

A 3.3. NAND-Technik mit R-S-Speicher

Der R-S-Speicher mit NAND-Elementen hat "Dominierend-Ein"-Verhalten. Deshalb muß eine Anpassung des Dominierend-Verhaltens wie in Bild 1.3.3 erfolgen.

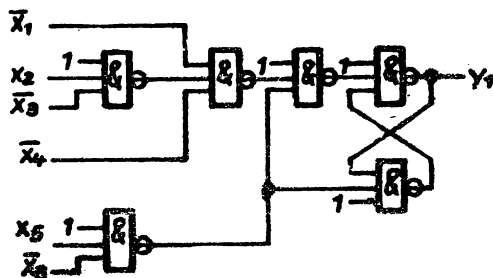


Bild A 3.3.: Schaltung in NAND-Technik mit R-S-Speicher

A 3.4. Implikationselemente mit R-S-Speicher

Es gilt hier das gleiche wie in Bild A 3.3.

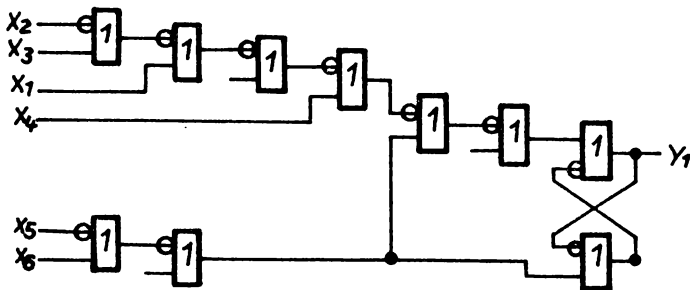


Bild A 3.4.: Schaltung mit Implikationselementen und R-S-Speicher

- A 4. Bei der Schaltbedingung (3.5.2) muß e_4 und q_4 aus den folgenden Gründen disjunktiv verknüpft sein:
- Dauert das 1-Signal von e_4 kürzer als die eingestellte Verzögerungszeit t_4 , so wird der zu verzögernde Signalwert durch q_4 aufrechterhalten.
 - Dauert das 1-Signal von e_4 länger als die eingestellte Verzögerungszeit t_4 , so wird durch e_4 in der Rücksetzbedingung verhindert, daß r_4 nach erfolgter Speicherlöschung 0 wird und durch die noch vorhandene Einschaltbedingung $s_4 = e_4 = 1$ der Speicher erneut gesetzt wird. Aus diesem Grunde ist auch Dominierend-Aus erforderlich, da nach Ablauf der Zeit t_4 Setz- und Rücksetzbedingung gleich 1 sind.

- A 5. Die zu entwerfende Schaltung zur Signalverzögerung soll der Schaltfunktion

$$a = e \uparrow_{t_1}$$

entsprechen. Unter Nutzung der Negationsregeln erhält man das Ergebnis von (3.3.3)

$$a = e \uparrow_{t_1} = \overline{\overline{e \uparrow_{t_1}}} = \overline{\overline{e} \downarrow_{t_1}}$$

Die Schaltungen sind in Bild A 5. dargestellt.

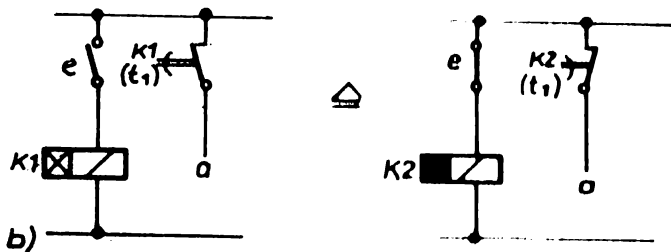


Bild A 5.: O/1-Verzögerer mit 1/0-Verzögerern

a) Signalfußplan b) Kontaktschaltung

A 6. Unter Nutzung der Schaltglochung (3.3.3) ergeben sich die Schaltungen nach Bild A 6.1, A 6.2 und A 6.3 .

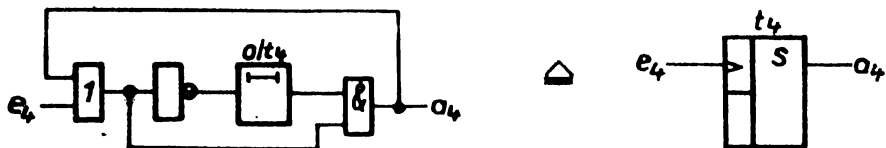


Bild A 6.1: Monostabile Funktion (O/1-Reaktion) mit 1/0-Signalverzögerern

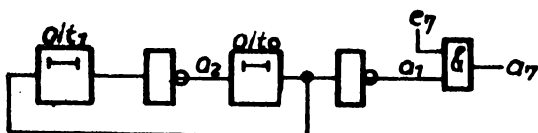


Bild A 6.2: Astabile Funktion mit 1/0-Signalverzögerern

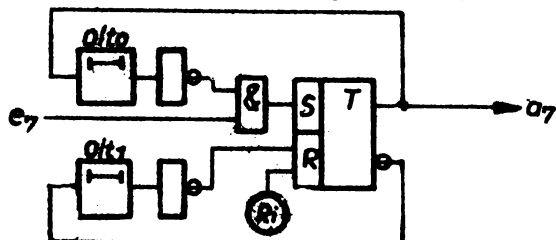


Bild A 6.3: Astabile Funktion mit 1/0-Verzögerern und R-S-Speicher

Literaturverzeichnis

- /1/ Birnstiel, H.: Lehrgang "Einführung in die Digitaltechnik". Zeitschrift msr 16/17 ap (1973/74).
- /2/ Zühlsdorf, W.; Meude, H.G.: Kleines Handbuch der Steuerungstechnik. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH 1972.
- /3/ TGL 16082/01: Schaltpläne der Elektrotechnik. Kurzbezeichnungen, Begriffe, Systematik.
- /4/ TGL 16082/02: Schaltpläne der Elektrotechnik. Kurzbezeichnungen, Codebuchstaben für die Bezeichnung von Bauelementen und Bauteilen/Geräten.
- /5/ Autorenkollektiv: VEM-Taschenbuch, Automatisierungs- und Elektroenergie-Anlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.
- /6/ Autorenkollektiv: Lehrbuch der Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.
- /7/ Gottschalk, H.: Digitale Bausteinsysteme für elektronische Steuerungen. Reihe Automatisierungstechnik Band 189. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.

Ansatz

Benennung	alt	neu	Benennung	alt	neu
Öffner (Relais)			Relaispule Schützspule allgemein		
Schließer (Relais)			Relaispule mit Ansprechverzögerung		
Öffner (Leistungskontakt)			Relaispule mit Abfallverzögerung		
Schließer (Leistungskontakt)					
einschaltverzögerter Öffner					
einschaltverzögerter Schließer					
ausschaltverzögerter Öffner					
ausschaltverzögerter Schließer					
Drucktasten					
Handschalter					

FSD Dipl.-Ing. Jürgen Mewes

STEUERUNGSTECHNIK

3

Antriebssteuerungen

Herausgeber:
Ingenieurschule
für Bergbau und Energetik
"Ernst Thälmann"
Senftenberg

03 1016 03 0

Dieser Lehrbrief wurde

verfaßt von:

FSD Dipl.-Ing. Jürgen M e w e s

Fachschullehrer an der Ingenieurschule für

Automatisierung und Werkstofftechnik Henningsdorf

lektoriert von:

Dipl.-Ing. Heinz G o t t s c h a l k

Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik Berlin

bearbeitet von:

FSD Erich A m m e d i c k

Beauftragter für die Entwicklung von Lehrbriefen

an der Ingenieurschule für Bergbau und Energetik

"Ernst Thälmann" Senftenberg

Redaktionsschluß: 15. Dezember 1980

Als Manuskript gedruckt • Alle Rechte vorbehalten

Veröffentlicht:

**INSTITUT FÜR FACHSCHULWESEN DER
DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
Karl-Marx-Stadt**

Druck und buchbinderische Verarbeitung:

**ZENTRALSTELLE FÜR LEHR- UND ORGANISATIONSMITTEL DES
MINISTERIUMS FÜR HOCH- UND FACHSCHULWESEN, ZWICKAU**

Ag 613/246/85/600

1. Ausgabe

4. Auflage

Vorzugsschutzgebühr: 1,50 M

Inhaltsverzeichnis

	Seite
0. Einleitung	5
1. Begriffsbestimmungen und allgemeine Forderungen	6
1.1. Begriffe	6
1.2. Anordnung, Kennfarben und Kennzeichnung von Befehlsgeräten und Meldeleuchten	8
1.3. Zustandsmeldungen in zentralen Steuerstellen	9
1.4. Forderungen zur Auswahl der Befehlsgeräte	13
2. Relais- und Schützsteuerungen	14
2.1. Allgemeines	14
2.2. Einrichtungsantrieb-durchlaufend	15
2.3. Zweirichtungsantrieb-durchlaufend	17
2.4. Zweirichtungsantrieb-stellend	20
2.5. Anlaß- und Bremsschaltungen	23
2.6. Pneumatische und hydraulische Stellantriebe (Stellkolben)	27
3. Elektronische Antriebssteuerungen	29
3.1. Anlagengestaltung	29
3.2. Kopplung zur E-Anlage	33
3.3. Einfachantrieb	33
3.4. Einrichtungsantrieb	39
3.5. Zweirichtungsantrieb	40
3.6. Zusammenfassung	41
Lösungen zu den Übungsaufgaben	41
Literaturverzeichnis	47

0. Einleitung

Antriebssteuerungen sind wesentlicher Bestandteil von Automatisierungsanlagen. In der Vergangenheit waren der Entwurf und die Projektierung vorrangig die Aufgabe des Projektanten im Elektroanlagenbau. Das ist damit begründet, daß in der Antriebssteuerung der Schutz des Antriebes und die Auswahl der Leistungsschalteneinrichtungen die Hauptprobleme darstellten. Automatisierungsaufgaben wurden in die Antriebssteuerungen hineinintegriert, und die Handfahrweise der Antriebe dominierte vielfach im technologischen Betrieb. Im Laufe der Entwicklung vollzog sich eine weitgehende Standardisierung der Antriebs-schaltungen bezüglich ihrer starkstromtechnischen Gestaltung und der Schutzzeineinrichtungen. Damit konzentriert sich die Entwurfsarbeit mehr auf die Automatikfunktion des Antriebs und rückt so verstärkt in den Aufgabenbereich des Automatisierungsingenieurs. Diese Entwicklung wird unterstützt durch das Angebot störsicherer elektronischer Schaltungstechniken (ursalog 4000), die den Entwurf vollelektronischer Antriebssteuerungen ermöglichen. Damit wird eine weitere Überschneidung der Aufgabenbereiche von Automatisierungs- und Elektroanlagenbau erfolgen, die ein wechselseitiges Verständnis der beteiligten Fachingenieure erforderlich macht. Der vorliegende Lehrbrief soll den Automatisierungsingenieur befähigen, Antriebsschaltungen zu verstehen, selbst zu entwerfen und Aufgabenstellungen zu ihrem Entwurf zu erarbeiten.

Ein besonderes Gewicht bekommt dabei der Schutz des Menschen in der technologischen Anlage, der Schutz des Antriebs und deren Auswirkungen auf den automatisierten technologischen Ablauf. Die Antriebssteuerung als Bindeglied zum technologischen Prozeß wird in Zukunft die Qualität der gesamten Steuerungsanlage wesentlich mitbestimmen.

1. Begriffsbestimmungen und allgemeine Forderungen

1.1. Begriffe

Antriebssteuerung

Die kleinste und niedrigste Funktionseinheit bei der Steuerung technologischer Prozesse ist die Einzelsteuerung für ein Stellglied z.B. Magnetventil, Motorantrieb usw. . Diese Steuereinrichtung wird als Antriebssteuerung bezeichnet. Die Eingabe der Schaltbefehle erfolgt von Hand oder durch übergeordnete Funktionseinheiten. Zur Gewährleistung einer sicheren Prozeßführung sind in der Steuerung Schutzverriegelungen und technologisch bedingte Verriegelungen enthalten. Die Störungserfassung und Signalisation der Betriebszustände erfolgt in der Antriebssteuerung i.allg. durch einen Überwachungs- und Meldeteil.

Zentralsteuerung

Eine Vielzahl zu steuernder Antriebe wird von einer zentralen Steuerstelle (Warte) geschaltet. Die Befehls- und Meldegeräte können in einem Leuchtschaltbild, Steuerpult usw. angeordnet sein (TGL 12468-1.1).

Leuchtschaltbild

Es sind Befehls- und Meldegeräte enthalten, deren symbolische Darstellung dem technologischen Ablauf entspricht (TGL 12468-1.1).

Örtliche Steuerung (Reparatursteuerung, Vor-Ort-Steuerung)

Es kann an der örtlichen Steuerstelle (Reparaturschaltkasten) ein Antrieb im entriegelten Zustand (Aufhebung der technologisch bedingten Verriegelungen) für Reparaturzwecke gesteuert werden (TGL 12468-5).

Verriegelung

Darunter wird die zwangsläufige Abhängigkeit von mehreren Antriebssteuerungen untereinander verstanden. Die Antriebe einer

technologischen Anlage sind so zu verriegeln, daß keine technologisch unzulässigen Betriebszustände entstehen können.

Einschaltverriegelung/Ausschaltverriegelung

Das Einschalten/Ausschalten eines Antriebs ist nur unter bestimmten Bedingungen möglich. Diese Verriegelungsbedingungen sind nur im Augenblick der Befehlseingabe wirksam.

Blockierverriegelung/Freigabebedingung

Bei Eintreten bestimmter Situationen wird damit die Stillsetzung der Stellantriebe gewährleistet. Dazu werden die Befehlsspeicher rückgesetzt oder deren Ausgangssignal blockiert.

Notabschaltung

Damit erfolgt nach TGL 12468-1.3 die unverzügerte Ausschaltung eines in Betrieb befindlichen Antriebs, einer Anlage oder eines zu überwachenden Bereiches, die im Falle einer Gefahr vorgenommen wird. Eine Notabschaltung muß sowohl zentral als auch örtlich möglich sein.

Betriebsbereitschaft

Diese ist vorhanden, wenn alle Antriebe, die zentral angefahren werden sollen, auf zentrale Steuerung geschaltet sind, keine Notabschaltung vorliegt und von der Niederspannungsschaltanlage die Schaltfähigkeit gewährleistet ist.

Verriegelungsschema

Das Verriegelungsschema ist wichtiges Hilfsmittel beim Entwurf und der Prüfung industrieller Steuerungen /1/ /2/. Es gibt Auskunft über

- Wechselbeziehungen der Aggregate zueinander,
- Materialflußrichtung,
- Einschaltfolge,
- Ausschaltfolge.

Die Aggregate werden durch Kreise dargestellt, die durch Wirkungslinien entsprechend der Technologie der Anlage verbunden werden. Das Verriegelungsschema ist die Grundlage für die Fest-

legung der Verriegelungsbedingungen für die Einzelantriebssteuerungen.

1.2. Anordnung, Kennfarben und Kennzeichnung von Befehlsgeräten und Meldeleuchten

Die Anordnung und Kennzeichnung der Befehlsgeräte erfolgt nach TGL 13097. Die grundsätzliche Anordnung von Tastern zeigt das Bild 1.1.

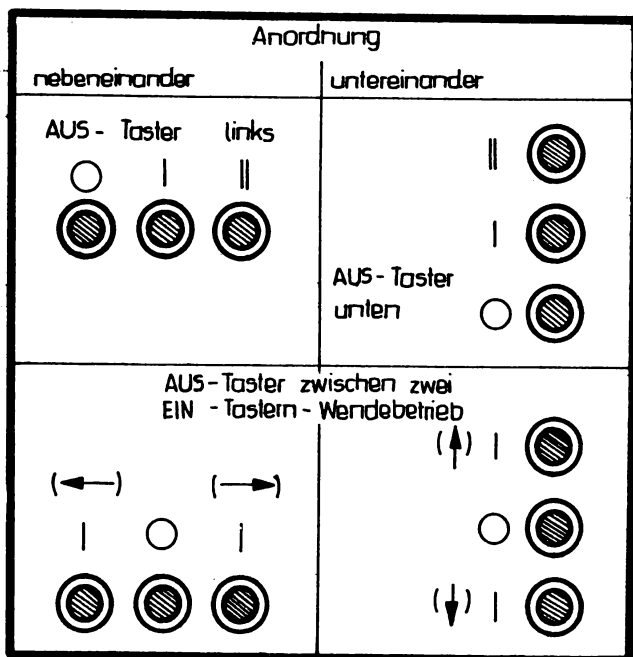


Bild 1.1: Anordnung von Tastern und Leuchttastern /1/

Für die Sinnbilder 0 und 1 können andere Sinnbilder verwendet werden, sofern sie spezielle Funktionen ausdrücken, z.B. Halt, Auf, Ab.

Für die Farbkennzeichnung gelten als allgemeine Richtlinie die in Tafel 1.1 angegebenen Farben.

Tafel 1.1: Farbkennzeichnung von Tastern /1/

Betätigung	Farbe	
	Knopf	Rosette
Einschalten	schwarz (sw)	
Einschalten, wenn nicht gewarnte Personen zu Schaden kommen können	gelb (gb)	schwarz (sw)
Ausschalten	rot (rt)	schwarz (sw)
Schalten bei Not und Gefahr	rot (rt)	rot (rt)
Ein-/Ausschalten (Einknopfbetätigung)	schwarz (sw)	schwarz (sw)

1.3. Zustandsmeldungen in zentralen Steuerstellen

Für zentralgesteuerte Anlagen gelten die Festlegungen der TGL 12468 (Entwurf März 1979) "Anfahr- und Signalordnung". In der Tafel 1.2 sind die wichtigsten Zustandssignale dargestellt.

Werden für Blinklicht zwei Blinkfrequenzen verwendet, so müssen sie sich deutlich voneinander unterscheiden. Für Störungsmeldungen ist die höhere Blinkfrequenz und zur Meldung von Stellbewegungen bei Schiebern und Ventilen die langsamere Blinkfrequenz zu verwenden.

Für Anlagen mit umfangreichen Meldetableaus kommen zur Verbesserung der Übersichtlichkeit, der Bedienfreundlichkeit und der Fehlererkennung besondere Verfahren zur Anwendung.

Tafel 1.2: Signalisation der Zustände in einer zentralen Steuerstelle

Farbe	Bedeutung der Farbe	Darstellung	Betriebszustände
Rot	<u>G e f a h r,</u> <u>A l a r m,</u> <u>S t ö r u n g,</u> sofortiges Eingreifen erforderlich, Gefährdung für Personen oder Sachwerte	Dauerlicht	- Gefahr, Alarm oder Störung - Notabschaltung
		Blinklicht	- Gefahr, Alarm, Störung nicht quittiert - Grenzwert mit Gefahr für Leben oder Sachwerte überschritten - Notabschaltung
Gelb	<u>S t ö r u n g,</u> <u>W a r n u n g,</u> Achtung,	Dauerlicht	- Störung, Warnung - Meßgröße hat einen kritischen Grenzwert erreicht - Ungewollter Zwischenhalt von Stellgliedern - Automatischer Betrieb
		Blinklicht	- Störung, Warnung nicht quittiert - Automatik gestört - Sicherheitsabschaltung - Handsteuerung gestört - Störung der Betriebsbereitschaft - Störung des Anfahrzustandes - Meßgröße hat einen kritischen Grenzwert erreicht, nicht quittiert - Anfahrwarnung
Grün	<u>S i c h e r e</u> <u>B e t r i e b s-</u> <u>z u s t ä n d e</u>	Dauerlicht	- Betriebsbereitschaft - Hilfseinrichtungen in Betrieb - Steuerung auf örtliche Steuerstelle geschaltet

Fortsetzung Tafel 2

Farbe	Bedeutung der Farbe	Darstellung	Betriebszustände
Weiß, Glas- klar, Farb- los, Opal	<u>N o r m a l -</u> <u>z u s t ä n d e</u>	Dauerlicht	- Anlage eingeschaltet - Betriebsbereitschaft - Anlage angefahren - Hilfseinrichtungen in Betrieb - Stellglied aufgefahren - Kennzeichnung von Förderwegen und Materialflüssen sowie von Symbolen für Aggregate, Maschinen, Stellglieder, Schriftfelder - Grenzwerte im Arbeitsbereich - Bestätigung (Quittierung) v.Schalthandlungen - Automatik außer Betrieb - Sonstige Betriebszustände, soweit diese nicht durch die anderen zulässigen Farben darzustellen sind
		Blinklicht	- Anlage im Anfahrzustand - Stellglied fährt auf - Fehler in der Stellgliedbewegung "Auf" bei Verwendung mehrerer Blinkfrequenzen - Anwahl - Fehlerhafte Zustandsänderung bei Verwendung nur einer Anzeige
Blau	<u>S o n s t i g e</u> <u>B e t r i e b s -</u> <u>z u s t ä n d e</u>	Dauerlicht	- Anlage abgefahren - Stellglied zugefahren - Schleichgang
		Blinklicht	- Stellglied fährt zu - Fehler in der Stellgliedbewegung "Zu" bei Verwendung mehrerer Blinkfrequenzen - Anlage im Abfahrzustand

Örtliche Steuerung: Diese Betriebsart hat Vorrang gegenüber der Zentralsteuerung. Die Betriebsartenumschaltung sollte deshalb durch Öffnen eines Kontaktes ausgelöst werden. Für einen Einrichtungsantrieb könnte eine Zusammenschaltung der Befehlsgeräte im Reparaturschaltkasten entsprechend Bild 3.2. empfohlen werden.

2. Relais- und Schützsteuerungen

2.1. Allgemeines

In Anlagen mit kleinem Verknüpfungsgrad ($V \approx 2$) und geringen Anforderungen an die Überwachung des Antriebs erfolgt die Ausführung der Antriebssteuerung vorzugsweise als Schütz- oder Relaissteuerung.

Bei der Schützsteuerung erfolgt die Signalverarbeitung mit der gleichen Steuerspannung, wie sie als Betriebsspannung für den Antrieb des Schaltschützes gefordert ist. Hilfs- oder Steuerkontakte werden zum Aufbau von Verknüpfungs- und Speicherschaltungen genutzt. Bei nicht ausreichender Kontaktzahl und zum Aufbau zusätzlicher Speicherschaltungen werden Hilfs- oder Befehlsschütze mit gleicher Betriebsspannung eingesetzt.

Ist der Aufbau als Schützensteuerung aus bestimmten Gründen nicht möglich bzw. sinnvoll, so wird die Signalverarbeitung mit Relais bevorzugt und mit einer Steuerspannung von 48 oder 60 V GS /2/ ausgeführt. Die Ansteuerung der Schaltschütze erfolgt mit Arbeitskontakten der entsprechenden Relais.

Antriebssteuerungen kommen in großer Anzahl in den industriellen Anlagen zum Einsatz. Um Möglichkeiten zur Rationalisierung in der Projektierung, der Fertigung, der Prüfung, der Inbetriebnahme und der Wartung zu erschließen, gibt es eine Vielzahl von Bemühungen, die Varianten im Steuerungsaufbau einzuschränken und zu standardisieren.

Diese Tendenzen finden ihren Ausdruck in den Standardschaltungen der Systeme ISA 2000, IKS 500 /3/ und auf höherer Ebene im System ursalog 4000 /4/ /5/ /6/.

In den folgenden Abschnitten werden charakteristische Schal-

tungen vorgestellt, die diesen Tendenzen entsprechen und durch Ergänzungen entsprechend dem Einsatzfall modifiziert werden können.

2.2. Einrichtungsantrieb - durchlaufend

Antriebssteuerungen dieser Art beinhalten die Ansteuerung, Überwachung und Verriegelung von Stellgeräten mit einer Ruhelage.

Dazu gehören elektromotorische Antriebe, die nur mit einer Drehrichtung laufen und elektromagnetisch geschaltete Stellantriebe, Kupplungen, Ventile usw.

Für die Schaltungsentwicklung der Steuerschaltung werden folgende Bedingungen als allgemeingültig angenommen:

- Für das Ein- und Ausschalten gibt es mehrere auslösende Ereignisse.
- Das Ein- und Ausschalten ist an die Erfüllung von Verriegelungsbedingungen gebunden.
- Eine Schutzabschaltung soll erfolgen, wenn das Thermorelais im Energiekreis anspricht bzw. die Spannung im Energiekreis ausfällt.

Damit ergeben sich für die Speicherschaltung (realisiert durch das Schaltschutz des Leistungskreises) folgende Schaltbedingungen:

Setzen des Speichers	(Q1: = 1)
wenn	
der Einschaltbefehl 1 gegeben ist	(Ein 1 = 1)
UND	
die entsprechende Verriegelungsbedingung erfüllt ist	(VE-EIN 1 = 1)
ODER	
der Einschaltbefehl 2 gegeben ist	(EIN 2 = 1)
UND	
die entsprechende Verriegelungsbedingung erfüllt ist	(VE-EIN 2 = 1)

ODER

•
•
•

$$S-Q1 = (EIN\ 1 \wedge VE-EIN\ 1) \vee (EIN\ 2 \wedge VE-EIN\ 2) \vee \dots \quad (2.1)$$

Rücksetzen des Speichers (Q1: = 0)

wenn:

der Ausschaltbefehl 1 gegeben ist (AUS 1 = 1)

UND

die entsprechende Verriegelungsbedingung
erfüllt ist (VE-AUS 1 = 1)

ODER

der Ausschaltbefehl 2 gegeben ist (AUS 2 = 1)

UND

die entsprechende Verriegelungsbedingung
erfüllt ist (VE-AUS 2 = 1)

ODER

•
•
•

ODER

das Thermorelais anspricht (F3 = 1)

ODER

die Versorgungsspannung im Energiekreis
ausfällt (F2 = 0)

$$R - Q1 = (AUS\ 1 \wedge VE-AUS\ 1) \vee (AUS\ 2 \wedge VE-AUS\ 2) \vee \dots$$
$$\dots \vee F3 \vee \overline{F2} \quad (2.2.)$$

Für die Speicherschaltung in Antriebssteuerungen ist i. allg.
"Dominierend-AUS" gefordert. Damit ergibt sich die folgende
Überföhrungsfunktion:

$$Q1: = (S - Q1 \vee Q1) \overline{R - Q1} \quad (2.3.)$$

(2.1.) und (2.2.) in (2.3.) eingesetzt ergibt

$$Q1: = \frac{[(EIN\ 1 \wedge VE-EIN\ 1) \vee (EIN\ 2 \wedge VE-EIN) \vee \dots \vee Q1] \wedge}{(AUS\ 1 \wedge VE-AUS\ 1) \vee (AUS\ 2 \wedge VE-AUS\ 2) \vee \dots \vee F2 \vee F3}$$

-

(2.4.)

Ausführung der Negation:

$$Q1: = \left[(EIN\ 1 \wedge VE-EIN\ 1) \vee (EIN\ 2 \wedge VE-EIN\ 2) \vee \dots \vee Q1 \right] \wedge \\ (AUS\ 1 \vee VE-AUS\ 1) \wedge (AUS\ 2 \vee VE-AUS\ 2) \wedge \dots \wedge F2 \wedge F3 \\ (2.5.)$$

Die entsprechende Steuerschaltung ist in Bild 2.1 dargestellt. Für den konkreten Einsatz dieser Schaltung sind nicht benötigte Elemente wegzulassen bzw. die Schaltbedingungen nach dem vorgegebenen Schema zu erweitern. Die Reihenfolge der Schaltelemente in der Steuerschaltung von Bild 2.1 entspricht der dafür üblichen Anordnung.

2.3. Zweirichtungsantrieb-durchlaufend

Diese Steuerschaltung kommt für elektromotorische Antriebe mit zwei Drehrichtungen ohne funktionsbedingte Begrenzung der Einschaltdauer zur Anwendung. Charakteristische Bedingungen für diese Steuerschaltung sind:

- getrennte Einschaltbefehle und Verriegelungsbedingungen für beide Drehrichtungen,
- gemeinsame Ausschaltbedingungen für beide Drehrichtungen,
- Schutzverriegelung beider Schütze.

Der Schutzverriegelung kommt eine wesentliche Bedeutung in der Steuerschaltung zu. Damit soll gewährleistet werden, daß nie gleichzeitig beide Schütze im Energiekreis eingeschaltet sind. Ein solcher Fall würde zu einem Kurzschluß und damit zu einer Störung in der Schaltanlage führen. Ist mit einem relativ langdauernden Abrißlichtbogen im Energiekreis zu rechnen, so sind Schaltverzögerungen einzubauen, die beim schnellen Umschalten von der einen auf die andere Drehrichtung wirksam werden. Eine weitere Forderung in bezug auf die Sicherheit der Steuerschaltung besteht darin, daß die EIN-Befehle für beide Drehrichtungen sich wechselseitig blockieren müssen bzw. einer Drehrichtung die dominierende Funktion zugeordnet wird. Auf der Grundlage eines Schaltungsentwurfs, wie in Abschnitt 2.1. erläutert, ergibt sich die in Bild 2.2 dargestellte Steuerschaltung.

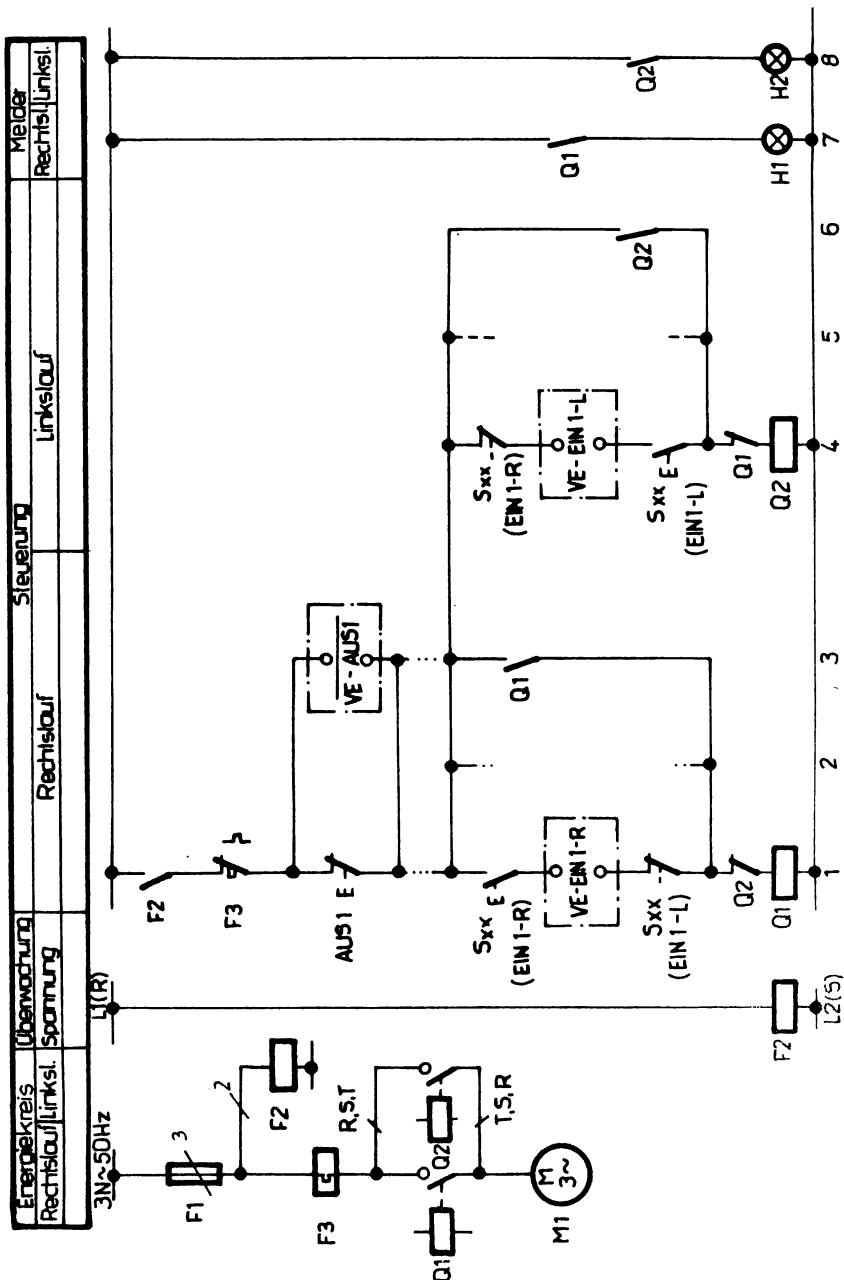


Bild 2.2: Zweirichtungsantrieb-durchlaufend

2.4. Zweirichtungsantrieb-stellend

Zu dieser Antriebsart gehören alle elektromotorisch betriebenen Stellantriebe an Klappen, Schiebern, Ventilen usw. sowie alle elektromotorischen Antriebe, die eine Verfahrbewegung bewirken, der technologisch durch Endpunkte Grenzen gesetzt sind.

Gegenüber dem Zweirichtungsantrieb-durchlaufend ergeben sich folgende Veränderungen in der Aufgabenstellung für die Steuerung und die Meldung:

- Bei Erreichen der Endlagen (Betätigung der wegabhängigen oder drehmomentabhängigen Schalter / Initiatoren) kommt es zu einer zwangsläufigen Stillsetzung des Antriebs.
- Zur Vermeidung von Antriebsschäden im elektrischen und mechanischen Teil sind im allgemeinen Drehmomentschalter vorgesehen, die richtungsabhängig oder -unabhängig das Überschreiten des zulässigen Drehmoments signalisieren und eine Abschaltung im Energiekreis auslösen.

In Tafel 2.1 sind die Ausschaltvarianten für Stellantriebe zusammengestellt. Zwischenstellungen der Antriebe, die durch Drehmomentabschaltung bzw. Betätigung des HALT-Tasters entstehen, sind im allgemeinen technologisch unzulässig und müssen als Störungsfälle charakterisiert werden. Häufig ist die Ausgabe eines HALT-Befehls einer NOT-Abschaltung gleichgesetzt.

Tafel 2.1: Ausschaltvarianten für Stellantriebe /1/

Ausschaltung des Stellantriebes erfolgt	Ausschalt-variante 1	Ausschalt-variante 2	Ausschalt-variante 3
in Schließendstellung	drehmomentabhängig	wegabhängig	drehmomentabhängig
in Öffnungsendstellung	wegabhängig	wegabhängig	drehmomentabhängig
während des Laufes in Schließ- und Öffnungsrichtung	drehmomentabhängig, wenn das Abschaltmoment überschritten wird		

Weitere Forderungen können wie folgt gestellt sein:

- Die normale Endlagenabschaltung erfolgt wegababhängig. Drehmomentschalter sprechen beim unzulässigen Überfahren der wegababhängigen Schalter an, lösen die Abschaltung des Antriebs aus und führen zu einer Störungsmeldung.
- Beim Anfahren aus der Stellung "ZU" ist der Drehmomentschalter für die Bewegungsrichtung "AUF" durch den wegababhängigen Schalter "ZU" überbrückt. Das gleiche gilt für die andere Bewegungsrichtung. Damit soll erreicht werden, daß mit einem maximalen Losbrechmoment angefahren werden kann.

Für eine Schaltungsvariante, bei der eine wegababhängige Endabschaltung und eine drehmomentabhängige Sicherheitsabschaltung erfolgt, ist in Bild 2.3 die Steuerschaltung dargestellt.

Der Energiekreis ist entsprechend Bild 2.2 aufgebaut.

Für die Meldung gelten folgende Bedingungen:

- Signalisation der Endstellungen mit Dauerlicht auf getrennten Meldeleuchten,
- Signalisation der Bewegung in Richtung auf eine der beiden Endlagen durch langsames Blinklicht auf der entsprechenden Meldeleuchte,
- Signalisation der Drehmomentabschaltung.

Diese Bedingungen sind nicht allgemeingültig und können entsprechend innerbetrieblicher Standards anders festgelegt sein. Eine allgemeingültige Festlegung der Meldeordnung ist jedoch für die Zukunft zu erwarten.

A u f g a b e

A 2.1. Gegeben ist ein elektromotorischer Stellantrieb mit Drehstromasynchronmotor und drehmoment- und wegababhängigen Schaltern in beiden Richtungen.

Es ist eine Steuerschaltung zu entwerfen, die folgende Forderungen erfüllt:

- Eingabe der Stellbefehle AUF, ZU und HALT von Hand,
- wegababhängige Abschaltung in den Endlagen,
- drehmomentabhängige Sicherheitsabschaltung,
- Anfahren aus den Endlagen mit maximalem Drehmoment durch Blockierung der Drehmomentschalter,

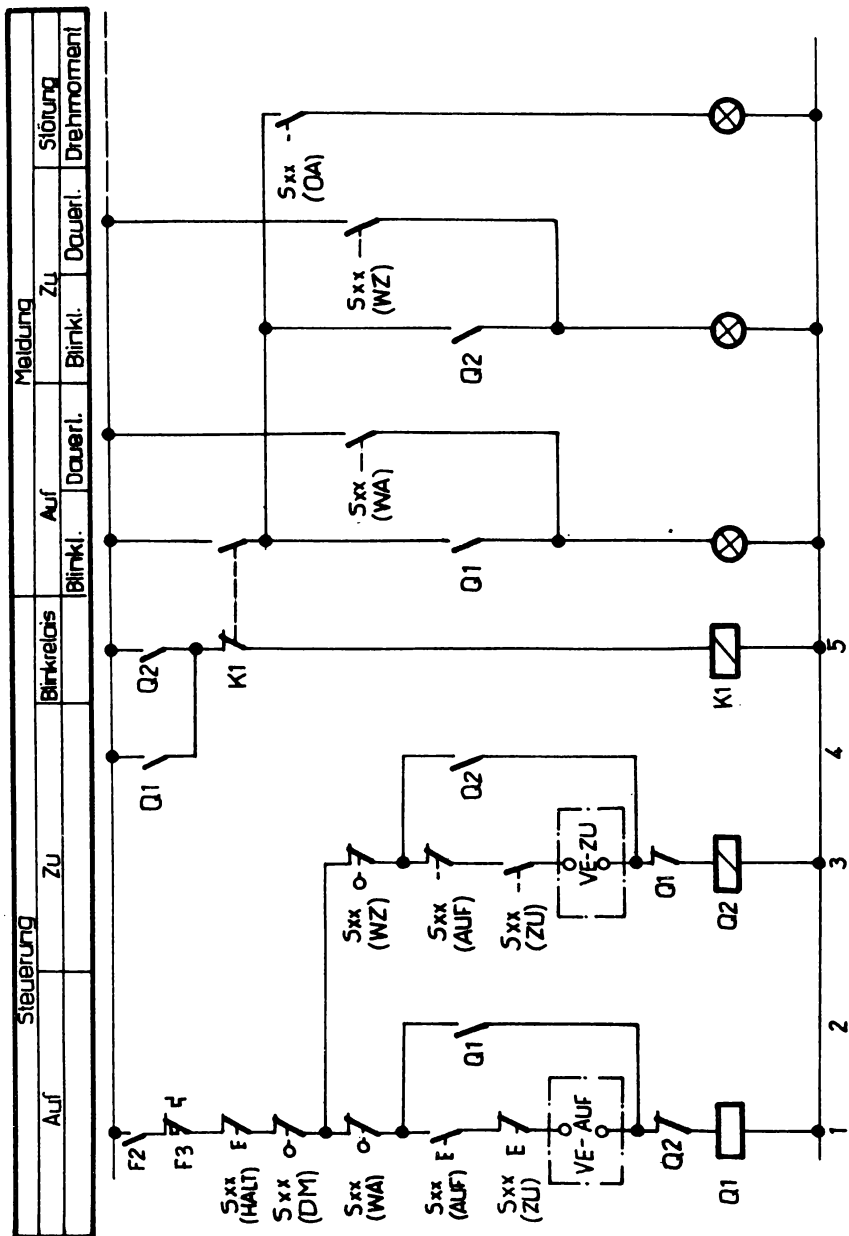


Bild 2.3: Schaltungsbeispiel für Zweirichtungsantrieb-stellend

- Signalisation der Endlagen mit Dauerlicht,
- Signalisation der Bewegung mit Blinklicht,
- Signalisation der Drehmomentabschaltung durch Dauerlicht!

2.5. Anlaß- und Bremsschaltungen

Bei verschiedenen Einsatzfällen ist eine Verbesserung des Anlaß- und Bremsverhaltens von Drehstromasynchronmotoren gefordert. Entsprechende Wirkprinzipien sind Inhalt des Lehrgebietes "Elektrische Maschinen und Antriebe".

Übliche Steuerelemente für Anlaß- und Bremsschaltungen sind die Stern-Dreieckanlaßautomatik, die Widerstands-Anlaßautomatik und die automatische Gleichstrombremsschaltung.

Diese Verfahren werden anhand von Aufgabenstellungen näher erläutert.

A u f g a b e n

A 2.2. Analysieren Sie die Funktion der Schaltung für eine Stern-Dreieck-Anlaßautomatik an Hand eines Schaltfolgeplanes! Überprüfen Sie, ob gesichert ist, daß Stern- und Dreieckschutz immer im stromlosen Zustand schalten! Welcher Vorteil ergibt sich daraus für die Auswahl der Schaltgeräte?

A 2.3. Ermitteln Sie den Schaltfolgeplan der in Bild 2.5 dargestellten Widerstands-Anlaßautomatik! Welche Kriterien bestimmen die Festlegung der Verzögerungszeit für die Widerstandsabschaltung?

A 2.4. Ermitteln Sie den Schaltfolgeplan der in Bild 2.6 dargestellten automatischen Gleichstrombremsschaltung! Warum ist zwischen dem Abschalten vom Drehstromnetz und dem Zuschalten der Gleichspannung eine Pause gelassen? Warum wird die Gleichspannung nach Stillstand des Motors abgeschaltet?

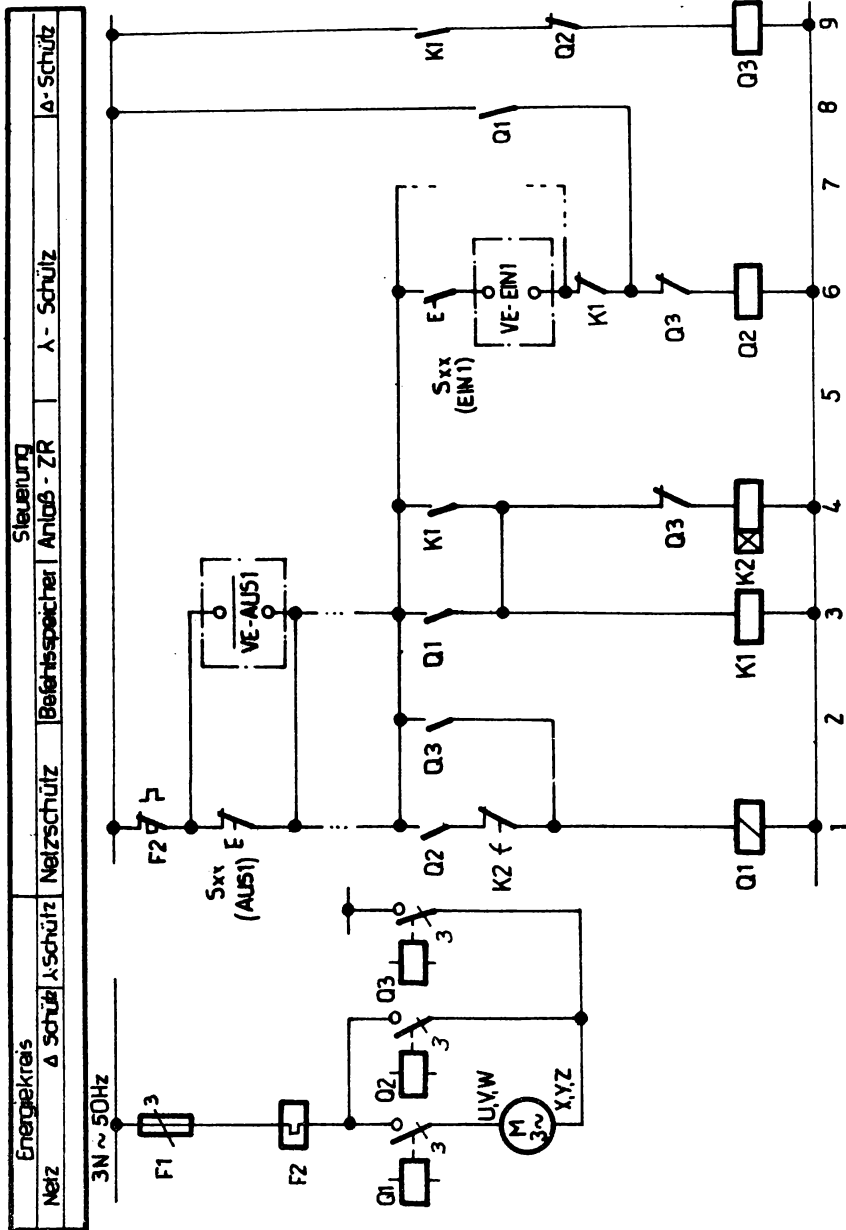


Bild 2.4: Stern-Dreieck-Anlaßautomatik

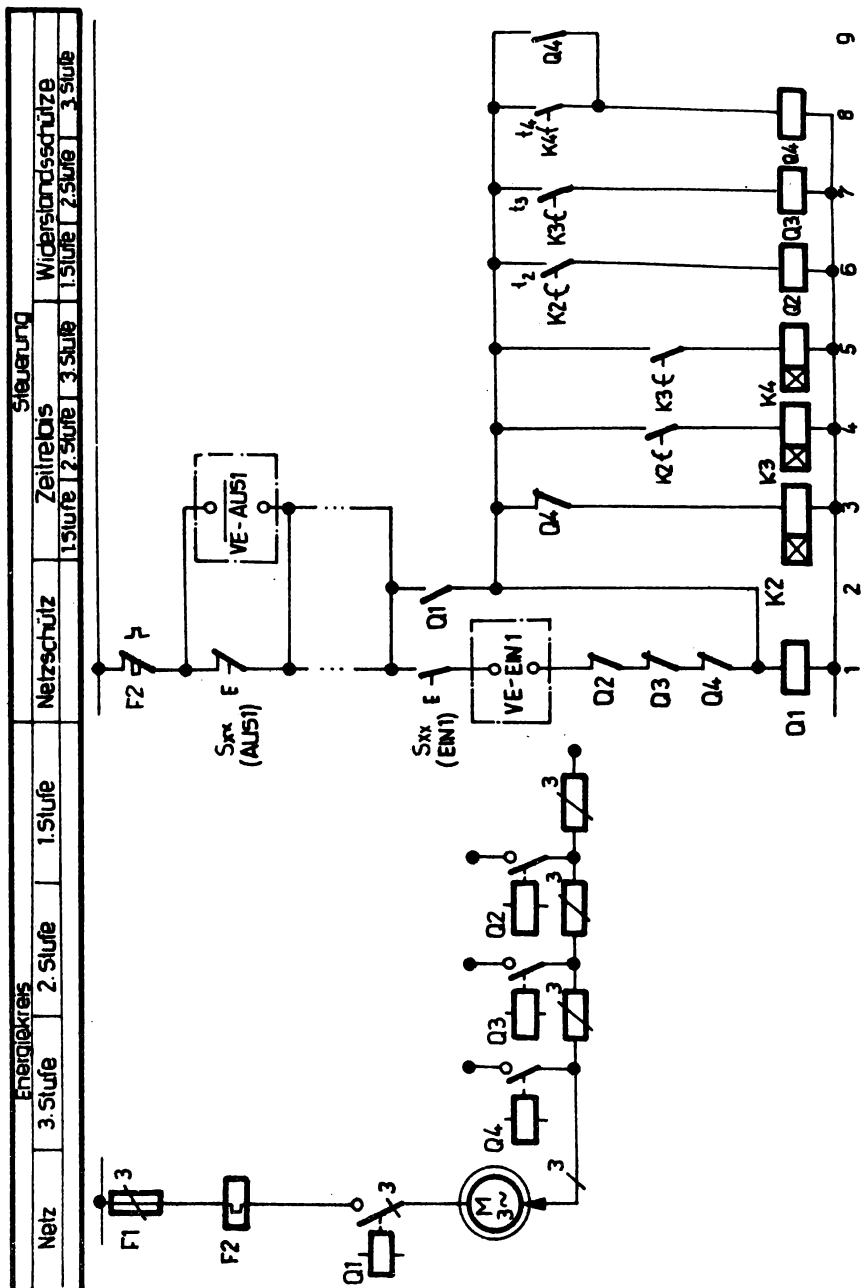


Bild 2.5: Widerstands-Anlaßautomatik

2.6. Pneumatische und hydraulische Stellantriebe (Stellkolben)

Ein großer Anteil von Stellantrieben wird bei Automatisierungsvorhaben mit pneumatischen oder ölhydraulischen Stellkolben ausgerüstet. Die Kopplung zur Automatisierungsanlage erfolgt über elektrisch betätigte Magnetventile zur Steuerung des Energiestromes. Für die Steuerschaltung der Magnetventile ergeben sich aus der Charakteristik der Stellkolben typische Merkmale, die von denen bei elektromotorischem Antrieb abweichen.

Einseitig wirkender pneumatischer Stellantrieb (Bild 2.7)

Es gibt keinen elektrischen Überlastschutz. Die Funktion entspricht dem Einrichtungsantrieb-durchlaufend.

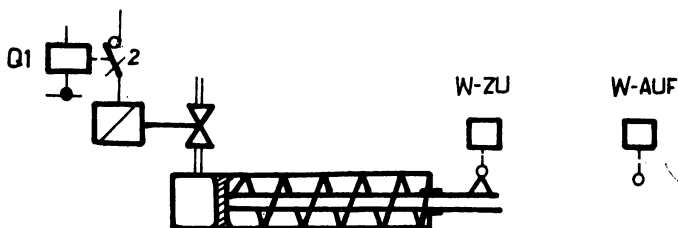


Bild 2.7: Einseitig wirkender pneumatischer Stellantrieb

Beidseitig wirkender pneumatischer Stellantrieb (Bild 2.8)

Es gibt keinen elektrischen Überlastschutz. Es gilt immer $Q2 = \overline{Q1}$ (Bedingung für definierte Stellung). Die Funktion entspricht dem Einrichtungsantrieb-durchlaufend.

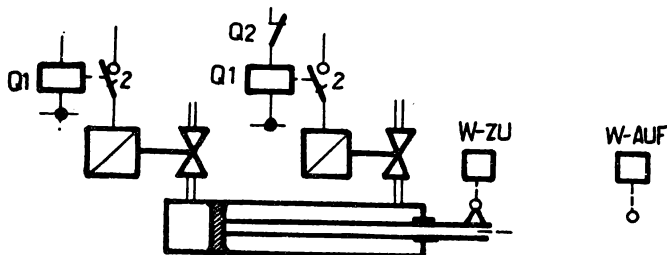


Bild 2.8: Beidseitig wirkender pneumatischer Stellantrieb

Beidseitig wirkender hydraulischer Stellantrieb (Bild 2.9)

Er hat keinen elektrischen Überlastschutz. Bei Erreichen der Endlage erfolgt Sperrung der Ölzufuhr. Der Bewegungsablauf entspricht dem Zweirichtungsantrieb-stellend.

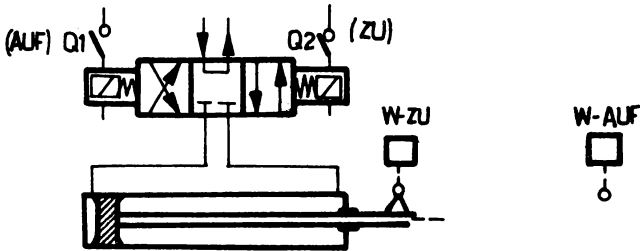


Bild 2.9: Beidseitig wirkender hydraulischer Stellantrieb

Störungsüberwachung

Für diese Stellantriebe gilt, daß kein elektrischer Überlastschutz vorhanden ist. Damit sind Störungen durch Blockierung der Stellbewegung nicht als Überlastung feststellbar. Eine einfache Methode, Störungen dieser Art zu erfassen und zu melden, beruht auf einer Stellzeitüberwachung. Die Stellzeit, die im Normalbetrieb bei der Bewegung zwischen beiden Endlagen zu erwarten ist, wird als Richtwert an einem Verzögerungsglied eingestellt. Die tatsächliche Stellzeit wird mit der eingestellten Verzögerungszeit verglichen und bei Überschreitungen des Richtwertes wird eine Störungsmeldung ausgelöst und gespeichert, die durch Quittierung gelöscht werden kann (siehe Bild 2.10)

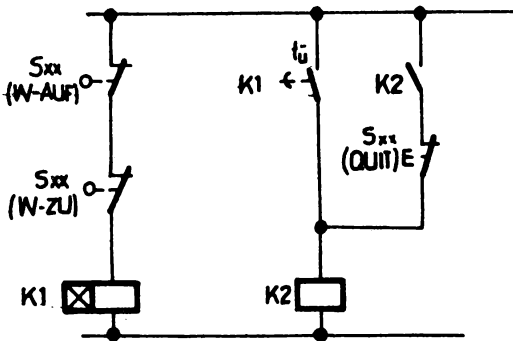


Bild 2.10: Stellzeitüberwachung

3. Elektronische Antriebssteuerungen

3.1. Anlagengestaltung

Bei dem künftigen Entwurf von Anlagensteuerungen zeichnen sich eine Anzahl charakteristischer Forderungen ab:

- Der Automatisierungsgrad ist zu erhöhen.
- Die Bedienfreundlichkeit ist zu verbessern.
- Der Überwachungsgrad und die Zuverlässigkeit sind zu erhöhen.
- Die Projektierung, Fertigung und Inbetriebnahme und der Service sind zu vereinfachen.

Diese sich scheinbar widersprechenden Forderungen sind zu erfüllen, wenn von einer gleichbleibenden hierarchischen Ordnung der Steuerungsanlage, wie in Bild 3.1 dargestellt, ausgegangen wird.

Damit wird es möglich in den einzelnen Ebenen Baueinheiten einzusetzen, die sich immer wiederholen. Die Anpassung an die konkret geforderte Funktion erfolgt durch entsprechende Leitungsverbindungen. Spezielle Schaltungsteile, die auf Grundverknüpfungen aufbauen, entfallen somit weitestgehend. Der Projektant kann sich damit auf standardisierte Schaltungen und Dokumentationen stützen, die günstigenfalls nur durch Bau-

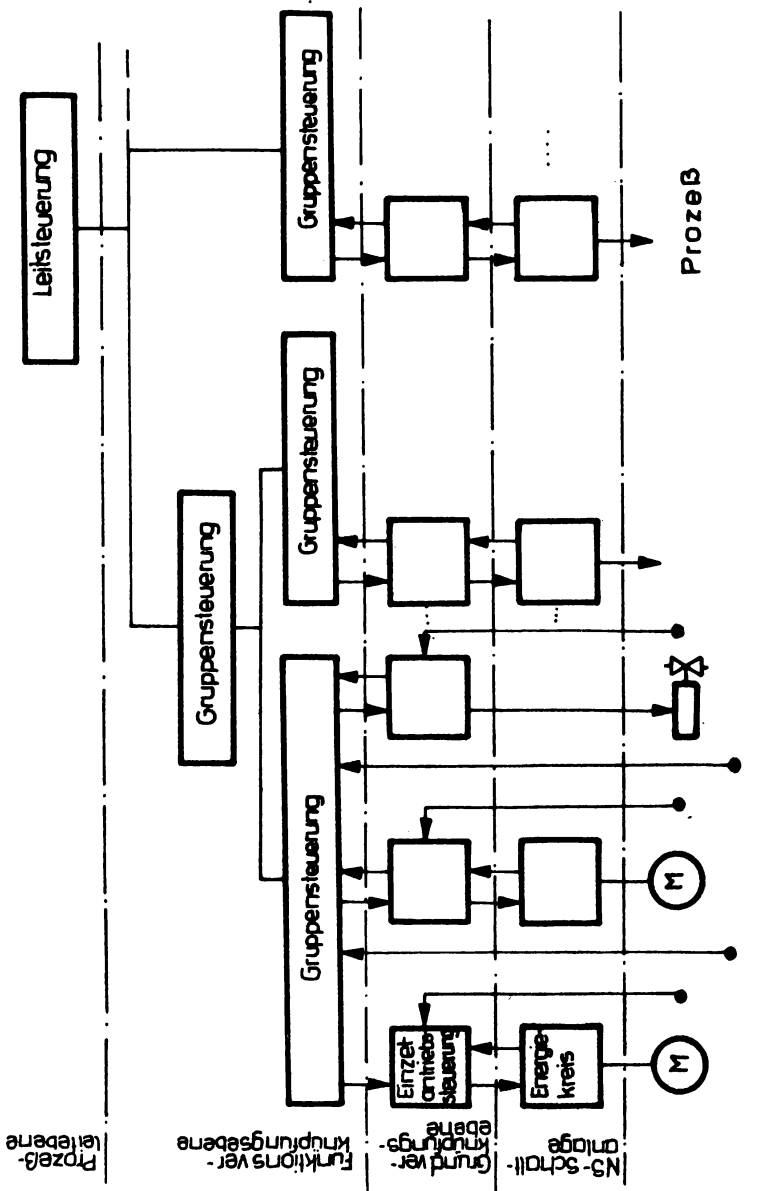


Bild 3.1: Struktur von Anlagensteuerungen

schaltlisten ergänzt werden müssen. Damit sind gleichzeitig die Voraussetzungen für eine Projektierung mit EDV-Unterstützung geschaffen.

Die Aufgabenverteilung auf die einzelnen Steuerebenen ist wie folgt festgelegt.

Grundverknüpfungsebene

Dieser Ebene sind die Einzelantriebssteuerungen zugeordnet. Sie besitzen folgenden Funktionsinhalt:

- Ansteuerung durch Hand- bzw. Automatikbetrieb oder durch Vor-Ort-Steuerung,
- Verriegelung der Schaltbefehle,
- Schutzauslösung,
- Funktionsüberwachung,
- Meldung der charakteristischen Zustände,
- Ausgabe der Steuerbefehle über Leistungsverstärker.

Eine Übersicht über das Zusammenwirken dieser Funktionen vermittelt Bild 3.2.

Als wesentlich ist festzustellen, daß alle Funktionen, die im Zusammenhang mit der technologischen Automatisierung stehen, aus der Antriebssteuerung herausgelöst sind.

Funktionsverknüpfungsebene

Dieser Ebene sind die Programmsteuerungen zur Automatisierung der Technologie zuzuordnen. Es handelt sich dabei vor allem um festverdrahtete Programme, z.B. das An- und Abfahren bestimmter Förderstrecken, die Steuerung von Fertigungsabläufen usw. Die technologische Realisierung der dazu erforderlichen Programmsteuerwerke ist Inhalt weiterer Lehrbriefe.

Prozeßleitebene

In der Leitsteuerung werden ausgewählte prozeßabhängige Daten sowie zentrale Informationen zum technologischen Prozeß verarbeitet.

Im Ergebnis werden Programmabläufe gestartet bzw. unterbrochen, Förderstrecken und die Dauer der Förderung vorgegeben sowie die

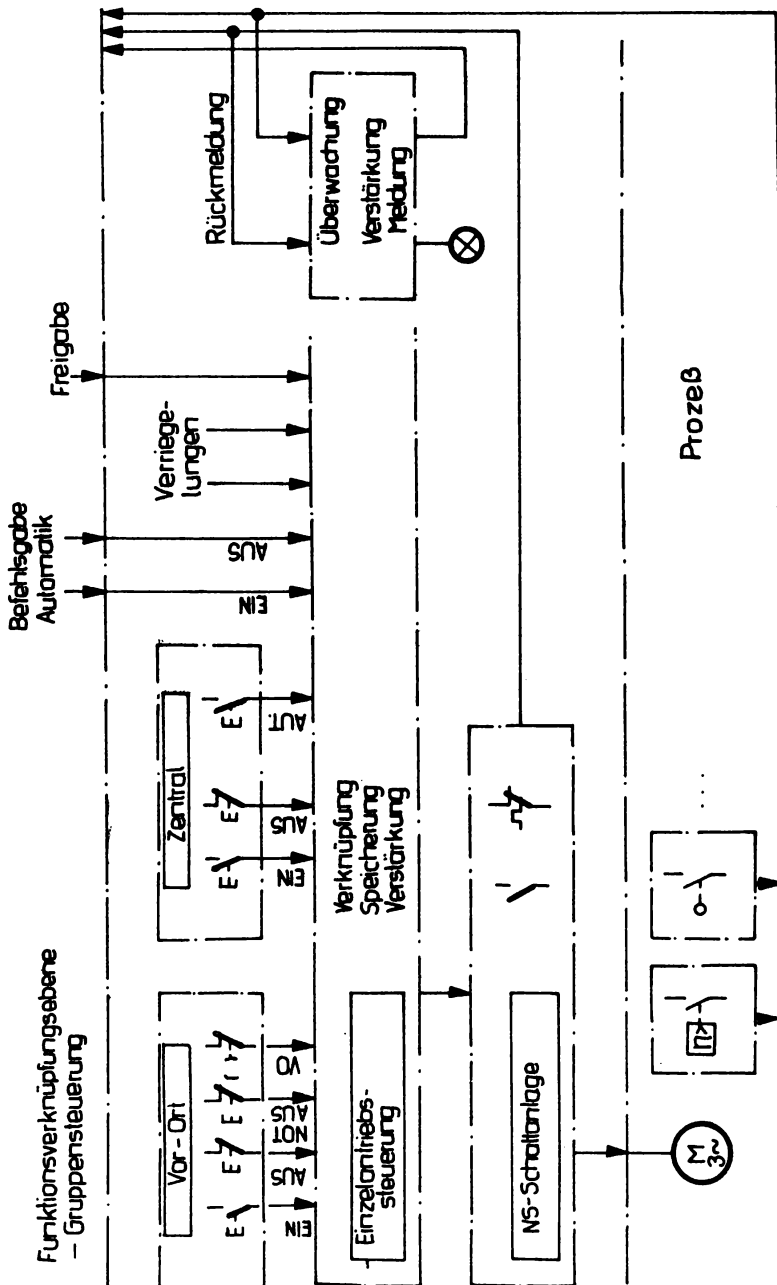


Bild 3.2: Kopplung der Einzelantriebssteuerungen

notwendigen Informationen an einen zentralen Leitstand ausgegeben. Die technische Realisierung dieser Ebene erfolgt in Zukunft vorzugsweise mit speicherprogrammierten Steuerungen, Mikrorechnern und Prozeßrechnern.

3.2. Kopplung zur E-Anlage

Der Nahtstelle zwischen E-Anlage und elektromotorischer Steuerung kommt eine besondere Bedeutung zu. Hier spielen nicht nur funktionelle Zusammenhänge eine Rolle sondern auch Kompetenzen zwischen Automatisierungs- und Elektroanlagenbau bzw. im Wartungsbereich zwischen Elektromonteur und BMSR-Mechaniker. Dazu kommen Kriterien, die die Störbeeinflussung und das Verschleppen gefährlicher Spannungspotentiale betreffen. Für ausgewählte Anlagenbereiche ist die Zielstellung für die Gestaltung dieser Nahtstellen in /7/ dargestellt worden.

In Bild 3.3 ist diese Kopplung im Zusammenspiel mit der örtlichen Steuerung dargestellt. Neben dieser Variante sind aber auch Lösungen denkbar, bei denen die Vor-Ort-Steuerung und die Handsteuerung als Schütz- oder Relaissteuerung realisiert sind und nur der Automatikteil eine elektronische Steuerung ist, deren Ausgangssignale über Koppelrelais wirksam werden. Vielfach sind es gerade die Mischtechniken, die einen optimalen ökonomischen Effekt bringen.

In den folgenden Abschnitten werden die typischen elektronischen Antriebssteuerungen, die als problemorientierte Baugruppen im System ursalog 4000 realisiert sind, mit ihren wesentlichen Merkmalen vorgestellt.

3.3. Einfachantriebssteuerung

Diese Steuerungseinrichtung umfaßt alle Funktionen, die zur Steuerung von durchlaufenden Einrichtungsantrieben bzw. von magnetischen und elektropneumatischen einseitig wirkenden Stellantrieben erforderlich sind. Sie entspricht damit in den Grundzügen der in Abschnitt 2.1. beschriebenen Steuerschaltung. Eine Erweiterung erfolgte durch eine mögliche Betriebsumschaltung auf "Vor-Ort"-Betrieb und eine Störungsüberwachung und die Signalisation.

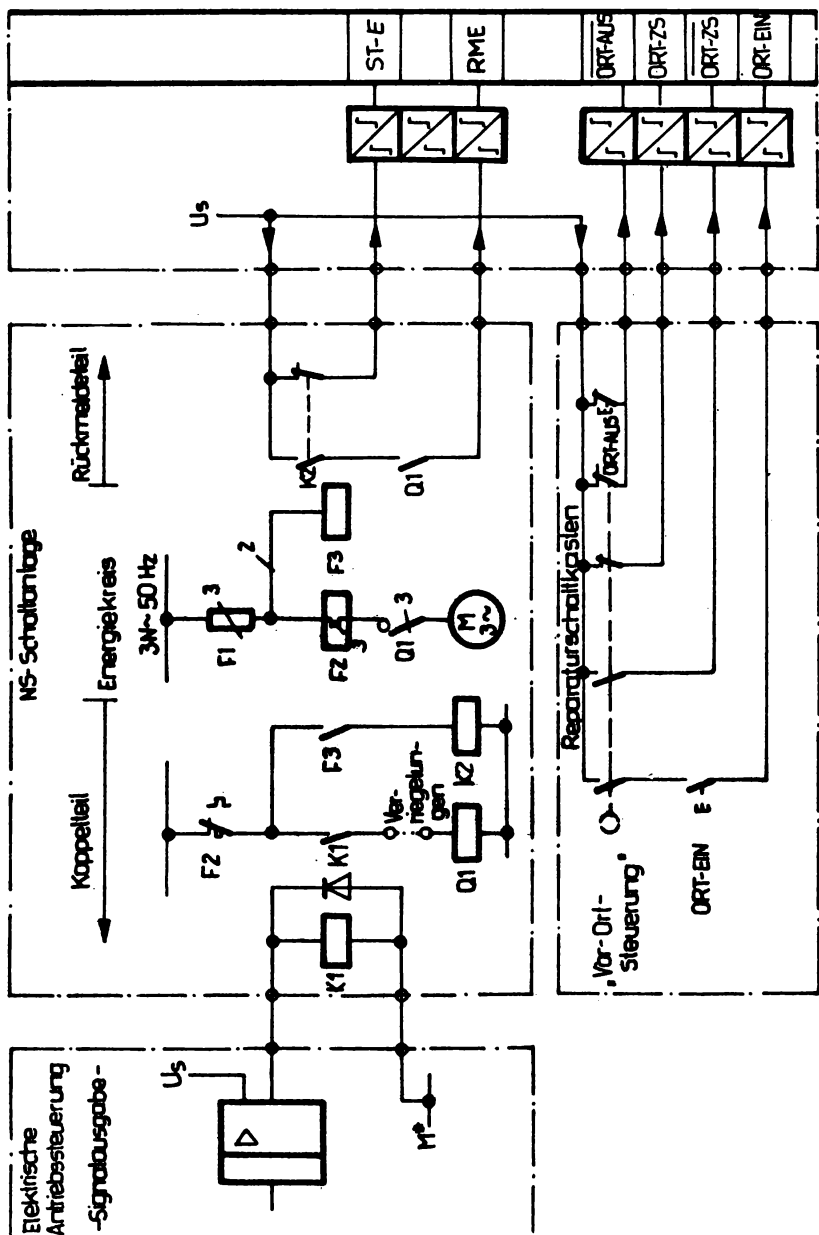


Bild 3.3: Kopplung zwischen Antriebssteuerung, NS-Schaltanlage und örtlicher Steuerung

Die Steuerschaltung besteht aus mehreren Funktionseinheiten, deren Funktionsinhalt im folgenden beschrieben wird.

Befehlsspeicher (QB)

Setzen des Befehlsspeichers wenn: (S-QB = 1)
die Betriebsart Zentralsteuerung gewählt ist (ORT-ZS = 1)
UND
von der Zentralsteuerung EIN-Befehl vorliegt (ZS-EIN = 1)
UND
die Einschaltverriegelungsbedingung erfüllt ist (ZVE-EIN = 1)
ODER
von der örtlichen Steuerung EIN-Befehl vorliegt (ORT-EIN = 1)

(Hinweis: Ein EIN-Befehl kann von der örtlichen Steuerung nur gegeben werden, wenn die Betriebsart "Vor-Ort" gewählt ist, siehe auch Bild 3.3)

$S-QB = (ZS-EIN \wedge ZVE-EIN \wedge ORT-ZS) \vee ORT-EIN$ (3.1.)

(Hinweis: Das Setzen des Befehlsspeichers kann nur erfolgen, wenn kein Rücksetzbefehl vorliegt, da der Speicher auf Grund seiner Struktur "Dominierend-Aus-Verhalten" besitzt.)

Rücksetzen des Befehlsspeichers wenn: (R-QB = 1)
die Betriebsart Zentralsteuerung gewählt ist (ORT-ZS = 1)
UND
von der Zentralsteuerung AUS-Befehl vorliegt (ZS-AUS = 1)
ODER
von der örtlichen Steuerung AUS-Befehl vorliegt (ORT-AUS = 0)
ODER
kein Satzbefehl vorliegt (S-QB = 0)
UND
eine Stell- oder Schaltzeitüberschreitung erfolgt ist (STZÜ = 1)
UND
diese Störung quittiert wird (QUIT = 1)
ODER
die Betriebsart Zentralsteuerung gewählt ist (ORT-ZS = 1)
UND

die Fortschaltbedingung nicht erfüllt ist (FB = 0)

$$R-QB = (ORT-ZS \wedge ZS-AUS) \vee \overline{ORT-AUS} \vee \overline{S-QB} \wedge STZÜ \wedge QUIT \\ \vee (ORT-ZS \wedge FB) \quad (3.2.)$$

Meldespeicher (QM)

Setzen des Meldespeichers wenn: (S-QM = 1)

die Rückmeldung vorliegt, daß die elektrische Leistungsschalteneinrichtung den Stellbefehl ausgeführt hat (siehe auch Bild 3.3) bzw. durch andere Geber der Einschaltzustand des Antriebs gemeldet wird.

(RME = 1)

$$S-QM = RME \quad (3.3.)$$

Rücksetzen des Meldespeichers wenn: (R-QM = 1)

ein Rücksetzbefehl für den Befehlsspeicher vorliegt

(R-QB = 1)

ODER eine Stellzeitüberschreitung erfolgt ist (STZÜ = 1)

$$R-QM = R-QB \vee STZÜ$$

Stellzeitüberschreitung (STZÜ)

Nach Ausgabe des Stellbefehls (EFA-EIN = 1) erfolgt eine Kontrolle, ob innerhalb einer vorgegebenen Zeit die Leistungsschalteneinrichtung oder ein anderer Geber die Ausführung des Stellbefehls zurückmeldet (RME = 1).

Eine Stellzeitüberschreitung ist erfolgt wenn: (STZÜ = 1)
einschaltverzögert

(der Befehlsspeicher gesetzt ist (QB = 1)

UND

keine Rückmeldung vorliegt) (RME = 0)

$$STZÜ = (QB \wedge \overline{RME}) \uparrow t_{AN} \quad (3.4.)$$

Stellbefehl (EFA-EIN)

Der Stellbefehl wird ausgegeben wenn:

der Befehlsspeicher gesetzt ist (QB = 1)

UND

Die Freigabeverriegelungsbedingung erfüllt ist (VE-EFA = 1)

UND

keine Stellzeitüberschreitung erfolgt ist (STZÜ = 0)

EFA-EIN = QB $\wedge$ VE-EFA $\wedge$ STZU (3.5.)

Zustandsmeldung (RMA)

Der Zustand "Antrieb eingeschaltet" wird durch eine gelbe Leuchtmeldung signalisiert wenn:

der Meldespeicher gesetzt ist (QM = 1)

Das Signal RMA wird außerdem an die Zentralsteuerung zur Leuchtmeldung auf dem Steuerpult weitergeleitet.

Störungsmeldung (ST-LA, ST-dyn)

Eine Störungsmeldung kann durch Blinklicht und Dauerlicht mit verschiedener Bedeutung erfolgen.

"Störung - Blinklicht" wird durch eine rote Leuchtmeldung signalisiert, wenn eine Stellzeitüberschreitung erfolgt ist bzw. während des Einschaltzustandes das Rückmeldesignal (RME) über die Zeitdauer t_{AN} hinaus ausfällt. Kurzzeitige Spannungsausfälle bzw. Umschaltungen im Energiekreis des Antriebs führen innerhalb dieser Zeit zu keiner Störungsmeldung.

Bei Auftreten einer Störung wird diese als Impuls (ST-dyn) und als Dauersignal (ST) an die Zentralsteuerung weitergemeldet. Bei Rücksetzen des Befehlsspeichers erlischt die Meldung.

"Störung - Dauerlicht" wird signalisiert, wenn die Betriebsart "Vor-Ort" gewählt ist.

Betriebsartenmeldung

Die Wahl der Betriebsart "Vor-Ort" wird durch grüne Leuchtmeldung signalisiert.

Die formulierten Schaltbedingungen sind in Bild 3.4 in einem zusammenfassenden Signalflußplan dargestellt.

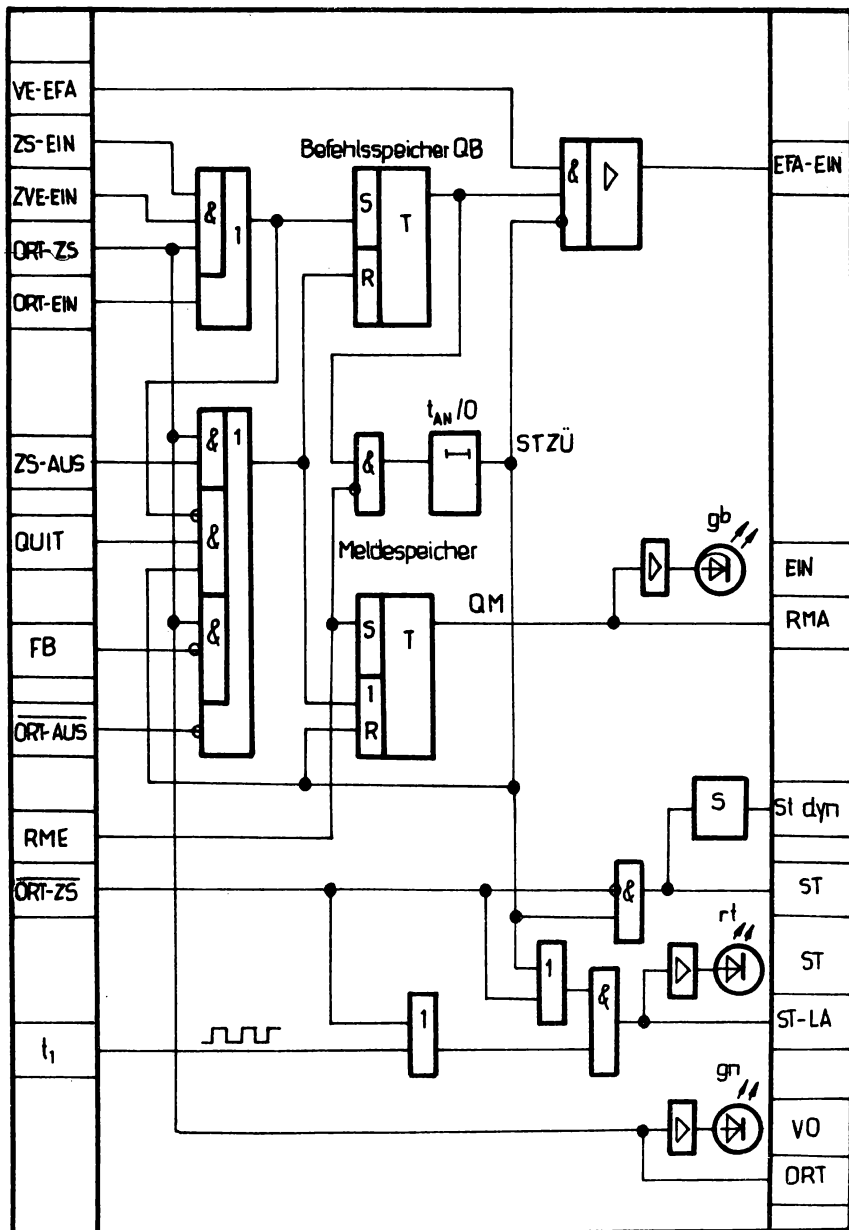


Bild 3.4: Signalflußplan - Einfachantriebssteuerung

A u f g a b e

A 3.1. Zeichnen Sie zu der Einfachantriebssteuerung einen Schaltfolgeplan unter Berücksichtigung aller Eingangs- und Ausgangssignale sowie der Meldungen unter Annahme verschiedener Reihenfolgen der Eingangssignale.

- a) - Einschaltung durch Zentralsteuerung,
 - Rückmeldung EIN,
 - Ausschaltung durch Zentralsteuerung.
- b) - Einschaltung durch Zentralsteuerung,
 - Stellzeitüberschreitung,
 - Quittierung.
- c) - Einschaltung durch Zentralsteuerung,
 - Rückmeldung EIN,
 - Aufhebung der Fortschaltbedingung.
- d) - Einschaltung durch Zentralsteuerung,
 - Stellzeitüberschreitung,
 - Umschaltung auf "Vor-Ort"-Steuerung,
 - Ausschaltung durch "Vor-Ort"-Steuerung.
- e) - Einschaltung durch "Vor-Ort"-Steuerung,
 - Ausfall von RMW-EIN nach erfolgter Einschaltung über die Zeitdauer größer als t_{AN} ,
 - Ausschaltung durch "Vor-Ort"-Steuerung.

3.4. Einrichtungsantrieb

Diese Schaltung ist gegenüber dem Einfachantrieb um folgende Funktionsinhalte erweitert:

- Tippbetrieb: Bei der Auswahl dieser Betriebsart erfolgt die Einschaltung des Antriebs nur solange wie der EIN-Taster betätigt ist.
- Schutzauslösung: Die Schutzauslösung wird indirekt über die elektronische Steuerschaltung wirksam.
- Störungsmeldungen: Neben den Störungen, die im Antrieb selbst entstehen können, werden folgende Störungsmeldungen von der Gesamtanlage verarbeitet:
 - . Störung - Anlage,
 - . Störung - Elektroanlage,
 - . nicht schaltfähig.

Dementsprechend ist auch die Meldung erweitert mit:

Antrieb EIN	(gb)
Störung	(rt)
Vor-Ort	(gn)
Störung elektrisch	(rt)

Durch eine erweiterte Programmierung der Hochlaufzeit ist insbesondere eine Verbesserung der Anpassung an Antriebe möglich, bei denen das Signal "Rückmeldung - EIN" über Umlaufkontrollgeräte gebildet wird.

Insgesamt ergibt sich eine Verbesserung der Überwachung der Antriebssteuerung gegenüber der Variante "Einfachantrieb" (siehe auch /5/ und /8/).

3.5. Zweirichtungsantrieb

Diese Steuerschaltung umfaßt den kompletten Funktionsinhalt zur Steuerung und Überwachung von Zweirichtungsantrieben-durchlaufend und -stellend. Bei der Antriebsart -stellend sind alle Bedingungen der Endabschaltung entsprechend Tafel 2.1 programmierbar.

Realisierter Funktionsinhalt /4/ /8/:

- Steuerung durch Hand /Zentral bzw. Automatik/ Zentral oder Vor-Ort (siehe auch Einfachantrieb),
- Tipfbetrieb in beiden Drehrichtungen (siehe Einrichtungsantrieb),
- Verriegelungen getrennt für beide Laufrichtungen,
- zeitabhängige Reversiersperre,
- weg- bzw. drehmomentabhängige Abschaltung,
- Überwachung der Anlaufzeit (siehe Einfachantrieb),
- programmierbare dominierende Bewegungsrichtung,
- Schutzabschaltung im Antriebs- und Ruhestromprinzip,
- Blockierung des Ausgangsbefehls im Störfall und Abgabe einer Störungsmeldung,
- Anzeige der Laufrichtung durch langsames Blinklicht,
- Anzeige der Zustände "Antrieb AUF", "Antrieb ZU", "Antrieb gestört", "Steuerung Vor-Ort", "elektrische Störung" und "Drehmomentenstörung".

3.6. Zusammenfassung

Mit den im Baugruppensystem ursalog 4000 angebotenen Standardschaltungen für die Antriebssteuerungen sind die Voraussetzungen geschaffen, die Projektierung und Fertigung wesentlich zu vereinfachen. Das gleiche gilt für die Betreuung der Anlagen, bei denen sich die Einheitlichkeit der Baugruppen besonders positiv bemerkbar machen wird. Demgegenüber steht ein höherer Investitionsaufwand, der dann vertretbar ist, wenn die Vorteile des Systems zum Tragen kommen. Das ist jedoch nur dann möglich, wenn der entsprechende Bildungsverlauf bei den betroffenen Personenkreisen gesichert ist. In dieser Richtung soll der vorliegende Lehrbrief eine Unterstützung geben.

Lösungen zu den Aufgaben

A 2.1. Die Grundlage für die Schaltungsentwicklung bildet der Stromlaufplan für den Zweirichtungsantrieb stellend in Bild 2.3. Auf Grund der Aufgabenstellung ergeben sich folgende Veränderungen:

- Die Ausschaltbedingungen für die beiden Drehrichtungen erweitern sich durch die Drehmomentabschaltung, d.h., außer der gemeinsamen Ausschaltbedingung gilt für Q1:

Rücksetzen wenn:

Wegschalter AUF betätigt ist (W-AUF = 1)
ODER

Drehmomentschalter AUF betätigt ist (D-AUF = 1)
UND

Wegschalter ZU nicht betätigt ist (W-ZU = 0)

$R-Q1 = W-AUF \vee (D-AUF \wedge \overline{W-ZU})$

für Q2 gilt:

Rücksetzen wenn:

Wegschalter ZU betätigt ist (W-ZU = 1)
ODER

Drehmomentschalter ZU betätigt ist (D-ZU = 1)
UND

Wegschalter AUF nicht betätigt ist (W-AUF = 0)

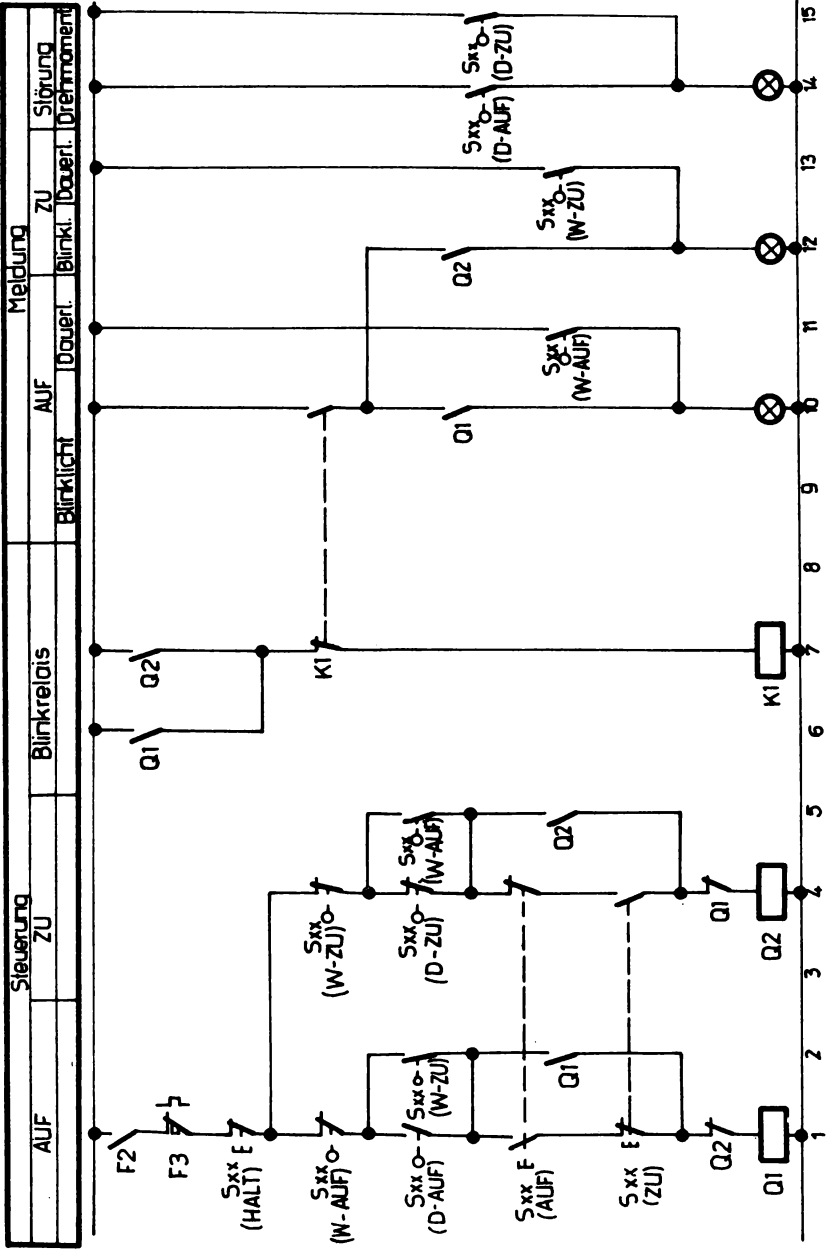


Bild A 2.1: Zweirichtungsantrieb-stellend

$$R-Q2 = W-ZU \vee (D-ZU \wedge \overline{W-AUF})$$

Die übrigen Schaltbedingungen gelten wie in Bild 2.3.

Der Stromlaufplan ist in Bild A 2.1 dargestellt.

A 2.2. Der Schaltfolgeplan ist in Bild A 2.2 dargestellt. Es ist gesichert, daß nur das Netzschütz den Stromkreis unterbricht und Stern- und Dreieckschütz im stromlosen Zustand schalten. Diese beiden Schütze müssen damit nur den Dauerstrom führen und können wesentlich kleiner ausgewählt werden.

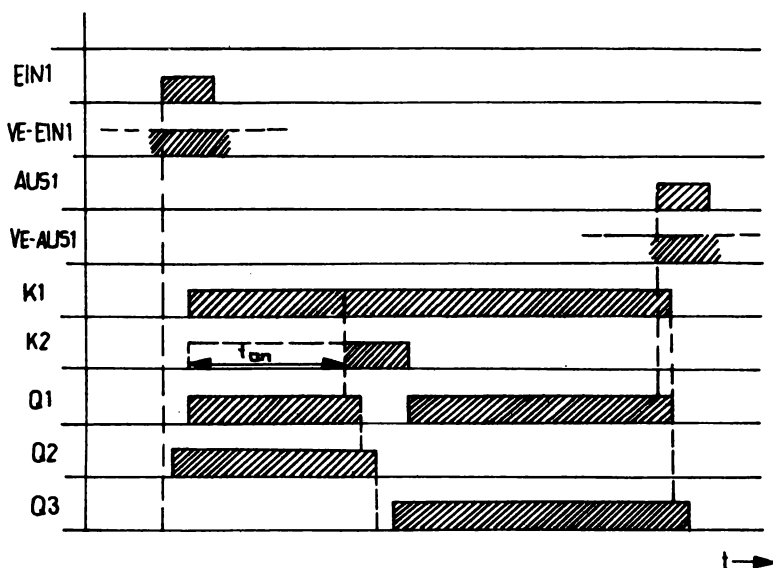


Bild A 2.2: Stern-Dreieck-Anlaßautomatik/Schaltfolgeplan zu Bild 2.4

A 2.3. Der Schaltfolgeplan ist in Bild A 2.3 dargestellt. Die Zeiten werden an Hand der Hochlaufcharakteristik so ausgewählt, daß die Abschaltung einer Widerstandsstufe immer dann erfolgt, wenn der Läuferstrom einen bestimmten Wert unterschritten hat.

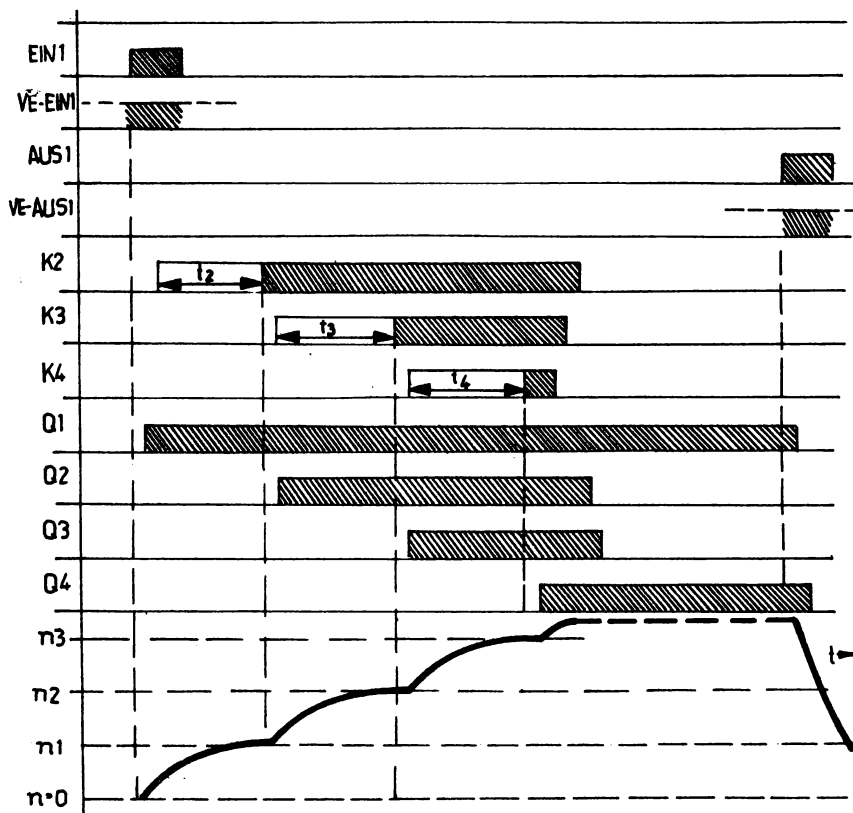


Bild A 2.3: Widerstands-Anlaßautomatik/Schaltfolgeplan zu
Bild 2.5

A 2.4. Der Schaltfolgeplan ist in Bild A 2.4 dargestellt. Die Pausenzeit bis zur Zuschaltung der Gleichspannung ist notwendig, damit Induktionsspannungen an den Motorwicklungen auf einen zulässigen Wert abgeklungen sind. Die Dauer der Gleichstrombremsung muß aus thermischen Gründen begrenzt werden, da es im Stillstand des Motors zu keiner Eigenbelüftung mehr kommt. Außerdem ist das erreichbare Bremsmoment im Stillstand der Maschine sehr klein.

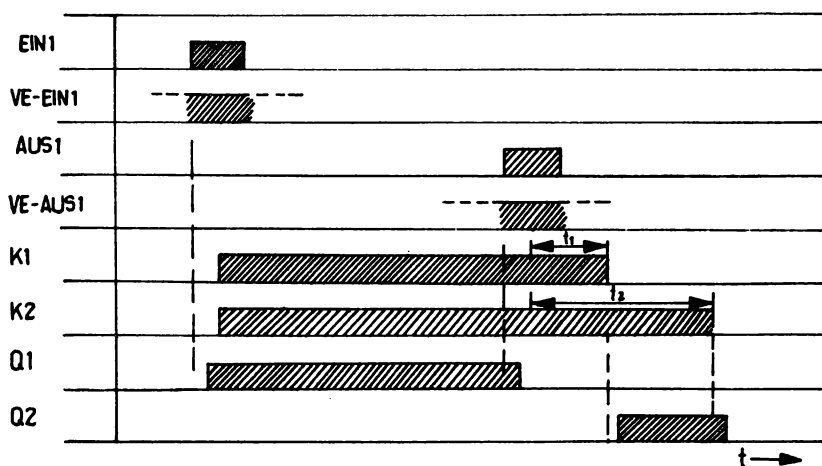


Bild A 2.4: Automatische Gleichstrom-Bremsschaltung
(Schaltfolgeplan zu Bild 2.6)

A 3.1. siehe Bild A 3.1.

Literaturverzeichnis

- /1/ Elektrotechnische Einrichtungen von Steuerungsanlagen-Kontaktsteuerungen, Inbetriebsetzungsvorschrift. VVB Automatisierungs- und Elektroenergieanlagen, verbindlich ab 1.4.1978.
- /2/ Ten Brink; Kauffold: Entwurf und Ausführung von Steueranlagen. 3. Auflage, Band 9 der Reihe Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.
- /3/ Relaissteuerungssystem IKS 500, Projektierungsvorschrift 6.6/10.77. Berlin: Institut für Elektro-Anlagen.
- /4/ Gottschalk, H.: Digitale Bausteinsysteme für elektronische Steuerungen. 1. Auflage, Band 189 der Reihe Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
- /5/ Kenndatenblätter und Leitkennblatt ursalog 4000. Berlin: Druckschrift des KEAW 1979.
- /6/ Projektierungshinweise ursalog 4000. Berlin: Institut für Elektro-Anlagen.
- /7/ Beitrag zur Anpassung des Leistungsteils von DS-Niederspannungs-Antriebsschaltungen für Walz- und Zementwerke an die Bedingungen elektronischer Steuerungen. VEM-Elektro-Anlagenbau, H. 16 (1980) 3, S. 132 ... 133.
- /8/ Zahn, W.; Neubert, P.; Richter, B.: Einsatz des Baugruppensystems ursalog 4000 zur Realisierung der Grundverknüpfungsebene. Der VEM-Elektro-Anlagenbau H. 15 (1979) 1, S. 12 ... 16.
- /9/ VEM Handbuch - Die Technik der elektrischen Antriebe/Grundlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.

FSD Dipl.-Ing. Jürgen Mewes

STEUERUNGSTECHNIK

4

Programmsteuerungen

Dieser Lehrbrief wurde
verfaßt von:

FSD Dipl.-Ing. Jürgen M e w e s
Fachschullehrer an der Ingenieurschule für Auto-
matisierung und Werkstofftechnik Hennigsdorf

lektoriert von:

Dipl.-Ing. Heinz G o t t s c h a l k
Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik
Berlin

bearbeitet von:

FSD Erich A m m e d i c k
Beauftragter für die Entwicklung von Lehrbriefen an
der Ingenieurschule für Bergbau und Energetik
"Ernst Thälmann" Senftenberg

Redaktionsschluß: April 1985

Als Manuskript gedruckt - Alle Rechte vorbehalten

Veröffentlicht:

INSTITUT FÜR FACHSCHULWESEN DER
DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
Karl-Marx-Stadt

Druck und buchbinderische Verarbeitung:

ZENTRALSTELLE FÜR LEHR- UND ORGANISATIONSMITTEL DES
MINISTERIUMS FÜR HOCH- UND FACHSCHULWESEN, ZWICKAU

Ag 613/594/85/1000

2. Ausg. 1. Aufl.

Vorzugschutzgebühr: 2,50 M

Inhaltsverzeichnis

	Seite
0. Einleitung	5
1. Klassifizierung der Programmsteuerungen	6
1.1. Merkmale einer Programmsteuerung	6
1.2. Typische Schaltungstechniken	6
1.2.1. Maschinensteuerungen	6
1.2.2. Anlagensteuerungen	9
2. Beschreibungsverfahren für Steuerungsprogramme	10
2.1. Aufgabenstellung	10
2.2. Verbale Beschreibung	12
2.3. Wirkungsplan	13
2.4. Programmablaufplan	14
3. Ablaufsteuerungen	17
3.1. Schaltungen ohne Programmsteuerwerk	19
3.2. Schaltungen mit Programmsteuerwerk	24
3.2.1. Programmsteuerwerke mit paralleler Signaleingabe (Taktkettensteuerung)	24
3.2.1.1. Schaltungen mit unverzweigter Programmstruktur	24
3.2.1.2. Schaltungen mit verzweigter Programmstruktur	29
3.2.2. Programmsteuerwerke mit serieller Signaleingabe	35
3.2.2.0. Vorbemerkungen	35
3.2.2.1. Programmsteuerwerke mit elektromechanischen Schrittschaltwerken	35
3.2.2.2. Programmsteuerwerke mit Registerschaltungen	36
4. Zeitplansteuerungen	39
4.0. Vorbemerkungen	39
4.1. Programmsteuerwerke mit gleichen Taktzeiten	40
4.2. Programmsteuerwerke mit ungleichen Taktzeiten	42
4.2.1. Zeitstaffelkette mit 0/1-Signalverzögerern	42
4.2.2. Zeitstaffelkette mit Monostabilen Multivibratoren	44

	Seite
4.2.3. Taktkettensteuerung mit 0/1-Signalverzögerern	45
Lösungen zu den Aufgaben	48
Literaturverzeichnis	58
Anlage: Ergänzungen zu ausgewählten Abschnitten	

0. Einleitung

Programmsteuerungen bilden einen wesentlichen Anteil der Automatisierungseinrichtungen zur Steuerung technologischer Prozesse. Sie bilden die Voraussetzung für höhere Arbeitsgeschwindigkeiten, zuverlässigere Gestaltung der Produktionsprozesse und Entlastung des Menschen von Routinearbeiten.

Charakteristisch für die Struktur industrieller Programmsteuerungen ist die Gliederung in eine Antriebssteuerebene, die weitgehend auf den Standardschaltungen von /3/ aufbaut, und in eine Programmsteuerebene, in der grenzwert- und/oder zeitabhängig die Schaltbefehle für die Antriebssteuerebene gebildet werden.

Für eine erfolgreiche Automatisierung technologischer Prozesse mittels Programmsteuerung sind beim Entwurf die folgenden Forderungen konsequent zu erfüllen.

- Umfassende Analyse des technologischen Prozesses unter besonderer Berücksichtigung von Störungsfällen und möglichen Veränderungen in der Technologie.
- Eindeutige und allgemein verständliche Präzisierung der Aufgabenstellung für den Schaltungsentwurf.
- Auswahl besonders zuverlässiger gerätetechnischer Systeme.
- Einsatz standardisierter Baugruppen, mit denen möglichst flexible Steuerprogramme realisiert werden können.
- Ausarbeitung von Dokumentationen, die durch ihre präzise Darstellung und Faßlichkeit die notwendigen Zeiten für Inbetriebnahme und Fehlersuche auf ein Minimum reduzieren helfen.

Im vorliegenden Lehrbrief werden die theoretischen Grundlagen zur Erfüllung dieser Forderungen vermittelt. Es wird darauf orientiert, anstelle des intuitiven Schaltungsentwurfs eine Methode zu wählen, die zu einer allgemeingültigen, von der Gerätetechnik unabhängigen Lösung führt und damit auch für die Zukunft Bestand haben wird. Auf Grund der Komplexität des Entwurfsprozesses kann dieser Lehrbrief nur erste Schritte in die jeweilige Richtung darlegen. Durch Literaturhinweise werden Anregungen zum weiteren Selbststudium gegeben.

1. Klassifizierung der Programmsteuerung

1.1. Merkmale einer Programmsteuerung

Wird ein technologischer Prozeß durch eine Programmsteuerung automatisiert, so gelten für den gesteuerten Ablauf im allgemeinen die folgenden Merkmale:

- Der technologische Prozeß ist in Arbeitszyklen untergliedert, die sich periodisch wiederholen.
- Innerhalb eines Zyklus werden Programmschritte (Arbeitstakte) nach einem bestimmten Algorithmus abgearbeitet.
- Während eines Programmschrittes ändert sich der Zustand der den Prozeß beeinflussenden Stellgrößen nicht.
- Der Wechsel von einem Programmschritt zum nächsten wird ausgelöst durch das Erreichen technologisch bedingter Grenzwerte und deren Signalisation durch entsprechende Geber (Ablaufsteuerung) oder durch den Ablauf vorgegebener Zeiten (Zeitplansteuerung).

Aus diesen Merkmalen ergibt sich die Schlußfolgerung, daß die Voraussetzung für eine Programmsteuerung eine eindeutige logische Beschreibbarkeit des technologischen Prozesses ist. Die in der Programmsteuereinrichtung eingeschriebenen Programme sind fest vorgegeben und können in Abhängigkeit von logischen Bedingungen oder durch Handsteuerbefehle periodisch aufgerufen und abgearbeitet werden.

Die Tätigkeit des Bedienungspersonals beschränkt sich auf das Überwachen des automatischen Arbeitsablaufs, auf das Eingreifen in Havariefällen und gegebenenfalls Auswahl der Programme.

1.2. Typische Schaltungstechniken

1.2.1. Maschinensteuerungen

Für Steuereinrichtungen von Be- und Verarbeitungsmaschinen ergeben sich im allgemeinen folgende Forderungen:

- Es sind zwei Betriebsarten vorzusehen:
 - a) Die Handsteuerung der Einzelantriebe bzw. die Einzeltaktsteuerung (Einrichten der Maschine),

b) die Automatiksteuerung.

- Die eingesetzte Gerätetechnik muß die maximale Arbeitsgeschwindigkeit der Maschine gewährleisten.
- Das Bauvolumen für die Steuereinrichtung soll möglichst klein sein.
- Die Steuereinrichtung befindet sich in unmittelbarer Nähe der Maschine bzw. wird selbst zum Bestandteil der Maschine.
- Die Steuerprogramme sollen im Rahmen der technologischen Freiheitsgrade veränderbar sein.

Diese Forderungen beeinflussen entscheidend die schaltungstechnische Realisierung, und es ergeben sich daraus typische Arten von Programmsteuereinrichtungen.

Festverdrahtete Programmsteuerung

Der Algorithmus für den Programmablauf wird mit Hilfe von logischen Verknüpfungselementen und Elementarspeichern in eine Schaltung mit Relais (Schütze) bzw. mit elektronischen oder pneumatischen Schaltelementen umgesetzt. Der Aufwand an Elementen wird im Interesse der Volumenreduzierung und der Kosten weitestgehend minimiert. Das Ergebnis ist eine maschinenspezifische Schaltung, die folgende Vor- und Nachteile hat:

- Eine Anpassung an einen veränderten Programmablauf ist kaum möglich.
- Die Bereiche Fertigung, Inbetriebnahme und Wartung müssen sich mit einer ganz speziellen Schaltung auseinandersetzen.
- Vorgefertigte Baugruppen werden nur unvollkommen ausgenutzt.
- Der Aufwand an Elementarspeichern ist gegebenenfalls minimal.

Verdrahtungsprogrammierbare Steuerung

Für Programmsteuerungen lassen sich bestimmte Grundsaltungen (problemorientierte Baugruppen) verwenden, wenn die Forderung nach einem minimierten Aufwand an Schaltelementen nicht gestellt wird.

Die Anpassung dieser mehr oder weniger vorgefertigten Grundsaltungen an das spezielle Programm erfolgt durch elektrische Verbindungen (Drahtbrücken, Kreuzschienenverteiler, Diodenmatrizen) oder durch Programmierung mechanischer Schalteinrichtungen (Ku-

gelschrittschaltwerke). Durch den Einsatz solcher standardisierter Baugruppen ergeben sich wesentliche Vorteile in der Fertigung, bei der Prüfung und Inbetriebnahme sowie in der Wartung und der Ersatzteilerhaltung. Außerdem kann die Steuerung im begrenzten Umfang an veränderte Arbeitsprogramme der Maschine angepaßt werden.

Die Anwendung dieser Schaltungstechnik setzt die Bereitstellung solcher standardisierten Baugruppen mit kleinem Volumen und niedrigem Preis voraus und ist vorzugsweise auf den Einsatz elektronischer oder pneumatischer Bauelemente orientiert.

Für den Projektanten der Steuereinrichtung bedeutet diese Konzeption, eigene Schaltungsvarianten weitestgehend zurückzustellen und in vorgegebenen Bahnen zu entwerfen und zu projektieren. Die schöpferische Arbeit konzentriert sich damit auf eine gründliche Analyse des technologischen Prozesses und die Formulierung der Aufgabenstellung. Beide Varianten bilden die Gruppe der Verbindungsprogrammierten Steuerungen (VPS).

Speicherprogrammierte Steuerung (SPS)

Bei diesen Steuerungen wird das Programm in einen Speicher eingeschrieben, d. h. die gesamten Schaltfunktionen, die die Programmsteuerung beschreiben, sind als Speicherinhalt festgelegt. Sie werden durch eine Steuereinheit (Mikroprozessor) nacheinander aufgerufen, und aus den Eingangssignalen und den abgespeicherten Schaltfunktionen werden die Ausgangssignale gebildet.

Die Vorteile liegen in der nahezu unbegrenzten Anpaßfähigkeit an Programmänderungen sowie in der Realisierung sehr umfangreicher Programme bzw. mehrerer Programmvarianten. Der materielle Aufwand (hardware) ist nahezu unabhängig vom Programmumfang und wird im wesentlichen nur durch die Anzahl der Ein- und Ausgangssignale und den Bedarf an Speicherplätzen bestimmt, was sich für Steuerungen mit geringem Verknüpfungsgrad kostengünstig auswirkt.

Alle aufgeführten Schaltungsvarianten haben für die Zukunft Bedeutung. Ihre Auswahl wird bestimmt durch die Vor- und Nachteile, bezogen auf die Aufgabenstellung, sowie durch die Stückzahl der zu fertigenden Steuereinrichtungen eines Typs.

1.2.2. Anlagensteuerung

Diese Steuerungen finden bei Förder- und Transportanlagen, sowie bei Kraftwerks-, Walzwerks- und Zementanlagen Anwendung. Sie sind durch folgende Merkmale charakterisiert:

- Die Steuerung erfolgt in drei Betriebsarten:
 - . Handsteuerung der Einzelantriebe von einer zentralen Warte (Zentral-Hand),
 - . Handsteuerung der Einzelantriebe vor Ort,
 - . Automatikbetrieb (Zentral-Automatik).
- Die Steuereinrichtung befindet sich in einer zentralen Warte, und es ergeben sich lange Wege zu den gesteuerten Antrieben und zu den Signalgebern. Es ist keine direkte Sicht und keine visuelle Kontrolle möglich.
- Der gesamte Steuerungsablauf sowie die Einzelantriebssteuerungen sind umfassend zu überwachen, und auftretende Störungen müssen schnell lokalisierbar sein. Das Steuerprogramm muß auf Störungen mit einer möglichst optimalen Variante zur Aufrechterhaltung bzw. gezielten Stillsetzung des technologischen Prozesses reagieren.
- Die Programme der Steuereinrichtung sollen im begrenzten Umfang veränderbar und erweiterbar sein.

Der Schwerpunkt beim Schaltungsentwurf verschiebt sich gegenüber den Maschinensteuerungen in Richtung auf eine umfassende Überwachung und hohe Störsicherheit des technologischen Prozesses. Die Schaltgeschwindigkeit und das Bauvolumen haben nicht diese wesentliche Bedeutung wie bei den Maschinensteuerungen.

Typisch für die Anlagensteuerung ist auch die geringe Zahl gleichartiger Steuerungseinrichtungen, da die technologischen Prozesse durch die wissenschaftlich-technische Entwicklung ständigen Veränderungen unterliegen und für die Anlagen im allgemeinen lange Bauzeiten gelten.

Aus diesen Gründen kommen für die Realisierung der Anlagensteuerungen vorzugsweise Verdrahtungsprogrammierbare Steuerungen bzw. Speicherprogrammierbare Steuerungen zur Anwendung.

2. Beschreibungsverfahren für Steuerungsprogramme

2.1. Aufgabenstellung

Vor dem Entwurf einer Programmsteuerung ist eine umfassende Analyse des technologischen Ablaufes im ungestörten und gestörten Betrieb notwendig. Dazu ist es erforderlich, mit Technologen, Anlagenbetreibern sowie Inbetriebnahme- und Servicepersonal zusammenzuarbeiten und die Ergebnisse in einer eindeutigen, übersichtlichen und allgemeinverständlichen Dokumentation festzulegen.

Für die Beschreibung der kombinatorischen und sequentiellen Schaltungsteile wurden bereits in /1/, /2/ und /3/ geeignete Darstellungsmittel in Form von Schaltbelegungstabellen, Wirkungsplänen und Schaltfunktionen angegeben.

Zur Beschreibung von Programmabläufen gibt es mehrere Darstellungsmöglichkeiten, die sich in bezug auf Genauigkeit und Anschaulichkeit unterscheiden. Die wichtigsten werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt. Zur Erläuterung wird dabei von einem leichtverständlichen technologischen Beispiel ausgegangen, für das sich vielfältige Arbeitsprogramme vorgeben lassen.

B e i s p i e l 2. 1. :

Zur Handhabung von Werkstücken und zur Bewegung von Maschineneinrichtungen gehören zu einer Bearbeitungsmaschine vier Stellantriebe mit beidseitiger Ruhelage. Die Stellantriebe können als elektromotorische, hydraulische oder pneumatische angenommen werden. Die Schaltbefehle zur Steuerung des Energieflusses werden in jedem Fall über elektrische Schalteinrichtungen gegeben. Für die Darstellung in Bild 2.1.1. werden hydraulische Stellantriebe angenommen.

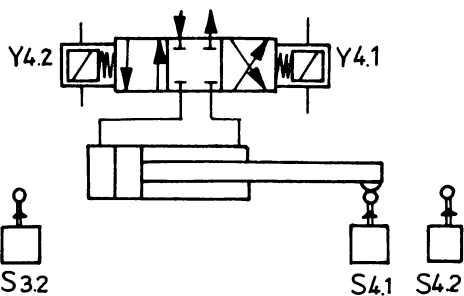
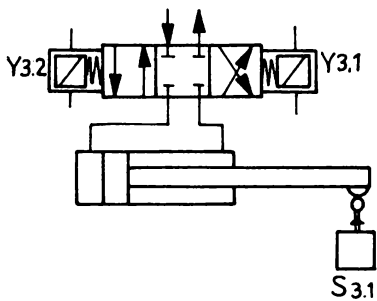
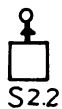
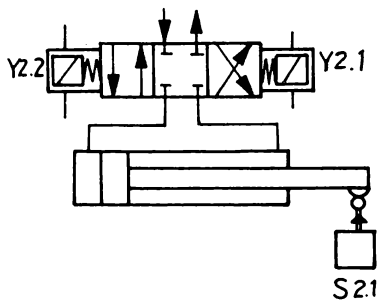
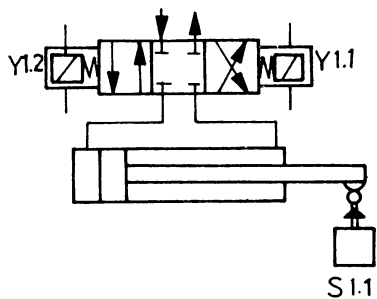


Bild 2.1.1.: Technologisches Schema für Beispiel 2.1.

2.2. Verbale Beschreibung

Diese Art der Beschreibung ist die älteste Form, sie ist ohne Spezialkenntnisse formulierbar und lesbar, setzt aber eine eindeutige Definition aller verwendeter Begriffe voraus. Trotzdem ist sie in vielen Fällen mehrdeutig und weitschweifig. Die Darstellung von zeitgleich ablaufenden Vorgängen ist nur mangelhaft möglich.

Der Text für ein mögliches Programm des Bewegungsablaufes der Stellantriebe des Beispiels 2.1. wird im folgenden formuliert. "Nach Betätigung des Starttasters SO.1 und wenn sich alle Stellkolben in der Ausgangslage befinden, erfolgt durch 1-Signal von $y_{1,2}$ die Bewegung des Kolbens 1 nach rechts, bis er die rechte Endlage erreicht hat und S1.2 1-Signal führt. Daraufhin erhalten $y_{2,2}$ und $y_{3,2}$ 1-Signal und die Stellkolben 2 und 3 bewegen sich gleichfalls nach rechts. Sobald S2.2 betätigt ist, wechseln $y_{1,2}$ und $y_{2,2}$ auf 0-Signal und $y_{1,1}$ auf 1-Signal. Kolben 1 bewegt sich nach links. Wenn der Kolben 3 die rechte Endlage erreicht hat, wechseln $y_{3,2}$ auf 0-Signal und $y_{4,2}$ und $y_{3,1}$ auf 1-Signal. Kolben 3 bewegt sich nach links und Kolben 4 nach rechts. Haben die Kolben 3 die linke Endlage und Kolben 4 die rechte Endlage erreicht, bewegt sich Kolben 4 durch ein Signal von $y_{4,1}$ nach links. Bei Erreichen der linken Endlagen wechseln $y_{3,1}$ und $y_{4,1}$ auf 0-Signal und durch 1-Signal von $y_{2,1}$ bewegt sich der Kolben 2 nach links.

Haben alle Stellkolben die linke Ausgangsstellung erreicht, so soll eine Frei-Meldung durch eine Meldeleuchte H 01 erfolgen. Während des Bewegungsablaufes der Kolben soll der Start-Taster unwirksam sein.

Die Stellantriebe dürfen nicht gleichzeitig mit Schaltbefehlen für entgegengesetzte Bewegungsrichtungen angesteuert werden."

An diesem Beispiel sind Mängel im Ausdruck und in der Aussage sofort erkennbar, was sich bei der verbalen Beschreibung von technischen Zusammenhängen auch nur schwer vermeiden läßt. Die Gefahr des Weglassens wesentlicher Informationen ist sehr groß, und bei Übersetzungen in eine andere Sprache (Exportlieferung) kann es zu Verfälschungen in den Aussagen kommen. Aus diesen

Gründen ist diese Form für eine ingenieurmäßige Beschreibung nicht geeignet. Sie sollte nur als Kommentar im Zusammenhang mit anderen Darstellungsmitteln Anwendung finden.

2.3. Wirkungsplan (Schaltfolgeplan)

Die Grundsätze für die Beschreibung von Schaltvorgängen in Form von Wirkungsplänen bzw. Schaltfolgeplänen wurden bereits in /2/ dargelegt. Für einen möglichen Bewegungsablauf der Stellantriebe von Beispiel 2.1. ergibt sich der Wirkungsplan (Bild 2.3.1.).

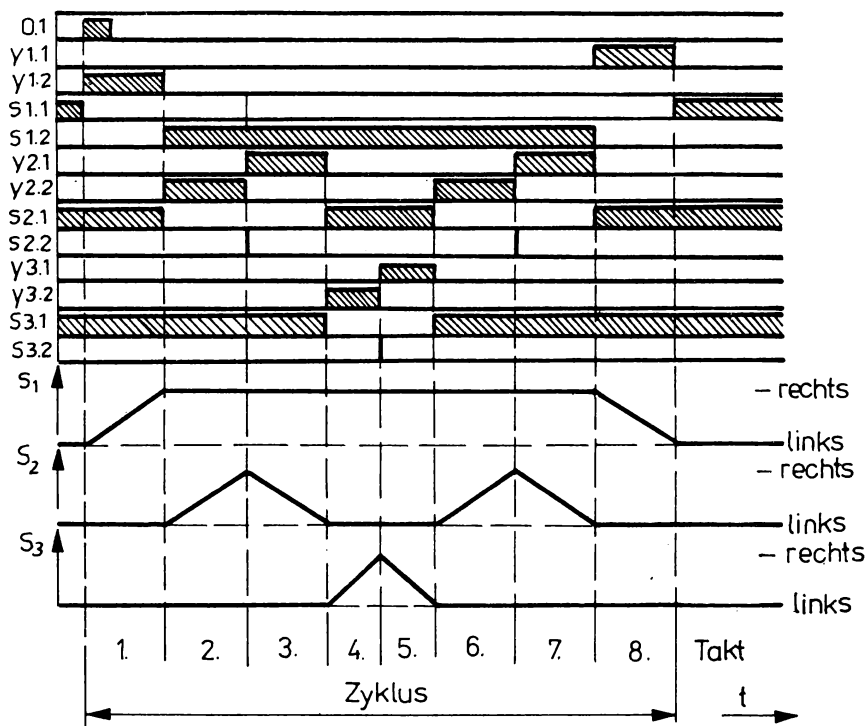


Bild 2.3.1.: Wirkungsplan zu Beispiel 2.1.

Diese Form der Beschreibung von Wirkungsplänen ist eindeutig und übersichtlich unter der Voraussetzung, daß alle Bewegungen

nacheinander ausgeführt werden. Kommt es zu gleichzeitigen Bewegungen der Stellkolben, so kann der Schaltfolgeplan, bedingt durch unterschiedliche Stellzeiten, den Sachverhalt nicht mehr eindeutig beschreiben. Für diesen Fall sind ergänzende verbale Erläuterungen erforderlich. Außerdem müssen notwendige Verriegelungen entsprechend der Vereinbarung von /3/ dargestellt werden. Ein besonderer Vorteil des Wirkungsplanes ist die mögliche Markierung von Programmschritten oder Takten, wie es in Bild 2.3.1 geschehen ist. Damit kommt erstmalig eine neue Form der Betrachtungsweise von Programmabläufen zum Ausdruck. Die Zustände der Stellantriebe werden nicht mehr nacheinander und voneinander unabhängig beschrieben. Dafür wird ein Zustand (Programmschritt, Takt) für die gesamte Programmsteuerung formuliert, der sich aus den Zuständen der Einzelantriebe zusammensetzt. Dieser Wechsel in der Betrachtungsweise beeinflusst wesentlich die schaltungs-technische Realisierung der Programmsteuereinrichtung.

A u f g a b e n :

A 2.1. Beschreiben Sie den Bewegungsablauf von der im Abschnitt 2.2. gegebenen verbalen Beschreibung in Form eines Wirkungsplanes! Ergänzen Sie die Darstellung durch notwendige Erläuterungen und die Zusammenstellung der Verriegelungsbedingungen!

A 2.2. Beschreiben Sie die aufeinanderfolgenden Zustände des in Bild 2.3.1 dargestellten Steuerungsablaufes unter Bezugnahme auf die Zustände der einzelnen Stellantriebe. Welche möglichen Zustände gibt es für einen Stellantrieb? Wie groß ist theoretisch die Anzahl der möglichen Zustände für die vier Stellantriebe? Welche dieser Zustände dürfen auftreten?

2.4. Programmablaufplan (PAP)

Bei der Abarbeitung des Programmes einer Programmsteuerung geht es um Programmschritte, die in Abhängigkeit von inneren und äußeren Bedingungen (Zeitabläufe, Situationen im technologischen Prozeß) aufeinanderfolgen. Für die Beschreibung solcher be-

dingungsabhängigen Programmabarbeitungen hat es sich angeboten, die in der BDV gültigen Beschreibungsformen und Symbole (TGL 22451) zu verwenden. Dieses Verfahren hat sich seit nunmehr zehn Jahren in der Praxis bewährt und wurde in einer Vielzahl von Veröffentlichungen beschrieben /4; 5; 6; 7; 8/. Dafür wurden teilweise neue Bezeichnungen eingeführt, wie Steuerungsablaufplan (STAP) oder Prozeßablaufplan (PRAP), womit auf die inhaltliche Bedeutung hingewiesen werden soll. In den formalen Mitteln der Beschreibung gibt es keine Unterschiede. In der Tafel 2.4.1 erfolgt eine Zusammenstellung der verwendeten Sinnbilder.

Für die Eintragungen in die Operationskästchen gibt es 2 Möglichkeiten.

1. Variante: Es werden die Ausgangssignale eingetragen, deren Wert sich mit Beginn des Programmschrittes ändert. Zum deutlichen Hinweis auf die eintretende Änderung wird die Schreibweise mit "ergibt sich" angewandt,

z. B.: $y_i := 1$ (2.4.1)

bzw. $y_i := 0$ (2.4.2)

2. Variante: Es werden alle Ausgangssignale mit dem Signalwert eingetragen, den sie bei diesem Programmschritt führen. Zum Hinweis auf den stationären Zustand während des Programmschrittes wird die Schreibweise mit "gleich" angewandt, z. B.

$y_i = 1$ (2.4.3)

bzw. $y_i = 0$ (2.4.4)

Welche Möglichkeit genutzt wird, hängt von der Anschaulichkeit und der Art der zu entwerfenden Programmsteuereinrichtung ab. Im folgenden wird die 1. Variante bevorzugt.

Liegt die vollständige Beschreibung in Form eines Programmablaufplanes vor, so können daraus leicht die Programmschritte (Takte) festgelegt werden, da sie jeweils einer "Operation" entsprechen. Schwieriger ist es, einen Überblick über den zeitlichen Verlauf insbesondere der Eingangssignale zu erhalten. Aus diesem Grund ist es häufig notwendig, den Wirkungsplan als ergänzendes Darstellungsmittel zu verwenden.

Lfd. Nr.	Sinnbilder	Bedeutung
1		Programmlinie (Pfeilspitze kann bei Eindeutigkeit entfallen)
2		Operation allgemein
3		Operation manuell wird durch die Logik nicht erfaßt
4		Weiterschreiten im Programm sobald $FB=1$ ist (gilt für Endschalter, Meßfühler, Taster u.a.)
5		Vergleichsoperation zur bedingungsabhängigen Programmverzweigung in Abhängigkeit vom Signalwert der eingetragenen Variablen p.
6		Bedingungsabhängiges Verzweigen bzw. Auseinanderführen der Programmlinie beim Vorliegen komplexer Entscheidungssituationen. Welche Wege weiterverfolgt werden, richtet sich nach der jeweiligen Bedingungskonstellation. (Entscheidungstafel entspricht Schaltbelegungstabelle Eingangssignale $\hat{=}$ Bedingungen Ausgangssignale $\hat{=}$ α_i)
7		Unterprogramm beinhaltet eine vereinbarte Operationsfolge
8		Auseinanderführen der Programmlinie. (Aufspaltung des Programmablaufs in parallele Wege die gleichzeitig abgearbeitet werden)
9		Zusammenführung der Programmlinien, Übergang zur nächsten Operation erfolgt sobald einer der ankommenden Zweige abgearbeitet ist.
10		Sammelstelle. Weiterschreitung im Programm erfolgt sobald alle Operationen in den parallel ankommenden Zweigen ausgeführt sind.
11		Trennstelle in der Programmlinie - Konnektor
12		Programmanfang Programmende
13		Zuweisung von Erläuterungen zu den Symbolen

Tafel 2.4.1: Sinnbilder für Programmablaufpläne mit spezifischer Bedeutung für Programmsteuerungen

Weitere Mittel zur Beschreibung von Programmsteuerungen sind:

- Arbeits- bzw. Verknüpfungsmatrizen,
- Programmablaufgrafen,
- Automatentabellen,
- Entscheidungstabellen.

Für die Nutzung dieser Darstellungsmittel sind weiterführende Spezialkenntnisse erforderlich, und die Programmbeschreibungen sind nicht mehr einem möglichst großen Personenkreis ohne weiteres verständlich. Es lassen sich jedoch mit diesen Verfahren in verschiedenen Fällen besser optimierte Lösungen für festverdrahtete Schaltungen finden (s. auch Anlage, S. 59).

B e i s p i e l 2. 4. :

Ein mögliches Programm für den Bewegungsablauf der Stellkolben ist in Bild 2.4.1 als Programmablaufplan dargestellt.

A u f g a b e n :

A 2.3. Schreiben Sie den PAP für die in den Abschnitten 2.2. und 2.3. gegebenen Beispiele!

A 2.4. Zeichnen Sie den Wirkungsplan für das Beispiel 2.4.!

3. Ablaufsteuerung

Bei dieser Art von Programmsteuerung erfolgt der Wechsel zum nächsten Programmschritt, wenn eine Rückmeldung vorliegt, daß der vorhergehende Programmschritt vollständig abgearbeitet ist, und alle Bedingungen zur Ausführung des Programmschrittes erfüllt sind.

Die Rückmeldungen können wegabhängige Signale von Initiatoren (siehe auch die Beispiele in den Abschnitten 2.1., 2.2., 2.3. und 2.4.) oder Grenzwertsignale für beliebige physikalische Größen sein. Typische Beispiele sind Wegplansteuerungen, bei denen ein Objekt bewegt wird und das Erreichen bestimmter Positionen signalisiert und daraufhin der Bewegungsablauf verändert wird (Fahrstuhlsteuerung, Werkzeugmaschinensteuerung usw.). Die Programmsteuereinrichtungen können dabei für gleiche Aufgabenstellungen sehr unterschiedlich aufgebaut sein. Ver-

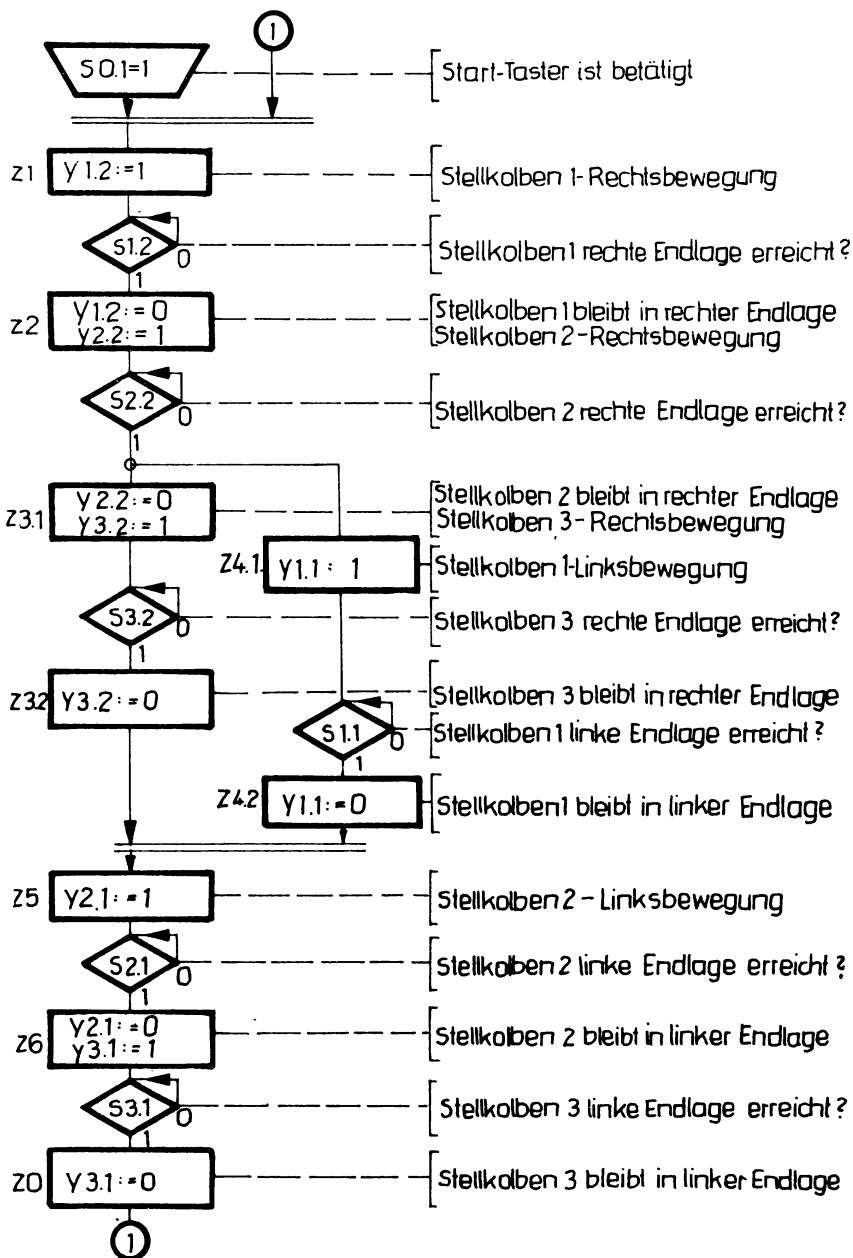


Bild 2.4.1: Programmablaufplan zu Beispiel 2.4.

schiedene mögliche Varianten werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt. Diese sind für konkrete Entwurfsaufgaben entsprechend ihren Vor- und Nachteilen auszuwählen.

3.1. Schaltungen ohne Programmsteuerwerk

Diese Schaltungstechnik ist vorzugsweise für Relais- und Schützensteuerungen anwendbar. Sie ist auch historisch in diesem Bereich entstanden.

Für die Programmsteuerungen wird keine besondere Steuerebene vorgesehen. Die Schaltbedingungen, die sich aus dem automatisierten Ablauf ergeben, werden Bestandteil der Antriebsstauerebene, wie es bereits in /3/ angedeutet ist. Dieses Verfahren macht es möglich, die Anzahl der notwendigen Relais oder Schütze zum Aufbau von Speicherschaltungen möglichst klein zu halten. Die Methode des Schaltungsentwurfes wird an dem folgenden einfachen Beispiel abgehandelt. Voraussetzung ist auch hier eine gründliche Analyse der Aufgabenstellung in Form von Programmablaufplänen, Schaltfolgeplänen und Verriegelungsschemen. Bei den Schaltfolgeplänen ist es wichtig, die Schaltverzögerungen beim Taktwechsel deutlich zu machen, um Entwurfsfehler in Form von Wettlauferscheinungen zu vermeiden.

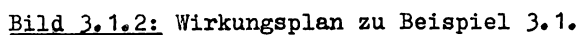
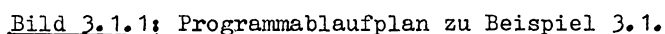
B e i s p i e l 3.1. :

Als technologisches Beispiel wird eine Wegplansteuerung mit zwei Stellantrieben entsprechend Beispiel 2.1. angenommen. Der Programmablaufplan ist in Bild 3.1.1 und der Schaltfolgeplan in Bild 3.1.2 dargestellt.

Das Verriegelungsschema (Bild 3.1.3) umfaßt die Bedingungen, die sich aus der Forderung ergeben, daß sich gleichzeitig nur ein Stellkolben bewegen darf.

Die Schaltungsentwicklung geht von vier Speichereinheiten aus, die den einzelnen Stellsignalen zugeordnet werden. Die Handsteuerung wird beim Schaltungsentwurf noch unberücksichtigt gelassen.

Es gilt jetzt, aus dem PAP, dem Schaltfolgeplan und dem Verriegelungsschema die Schaltbedingungen zum Setzen bzw. Rücksetzen zu formulieren.



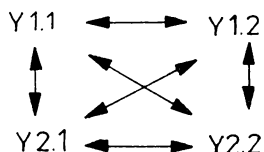


Bild 3.1.3: Verriegelungs-
schema zu
Beispiel 3.1.

Diese Entwurfsphase sollte immer in vier Schritten ablaufen.

1. Schritt: Aus dem Programmablaufplan wird das Signal ermittelt, das den Programmschrittwechsel verursacht und eine Veränderung der Signalwerte der Stellsignale bewirken muß.

Y 1.2: s = S0.1 (3.1.1.)

 r = S1.2 (3.1.2.)

Y 1.1: s = S2.1 (3.1.3.)

 r = S1.1 (3.1.4.)

Y 2.2: s = S1.2 (3.1.5.)

 r = S2.2 (3.1.6.)

Y 2.1: s = S2.2 (3.1.7.)

 r = S2.1 (3.1.8.)

2. Schritt: An Hand des Schaltfolgeplans ist zu überprüfen, ob diese Bedingung eindeutig ist, d. h., ob immer dann, wenn das Eingangssignal dieser Bedingung entspricht, auch das entsprechende Setzen oder Rücksetzen erfolgen soll.

Y 1.2: Die Bedingung (3.1.1.) ist nicht eindeutig, da während des Bewegungsablaufes ein erneutes Betätigen des Start-Tasters erfolgen kann. Als ergänzende Bedingung wird angenommen, daß sich die Stellantriebe in der Ausgangsstellung befinden.

s = S0.1 S1.1 S2.1 (3.1.9.)

Die Bedingung (3.1.2.) ist eindeutig.

Y 1.1: Die Bedingung (3.1.3.) ist nicht eindeutig, da der Signalgeber S2.1 schon im Ruhezustand und im ersten Takt betätigt ist und hier noch kein Setzen erfolgen soll. Beim Suchen nach geeigneten Nebenbedingungen ist darauf

zu achten, daß diese durch den Schaltvorgang selbst nicht beeinflußt werden, denn dann kann es auf Grund von Wettlauferscheinungen zu zufälligen Fehlern kommen.

Aus dem vorliegenden Schaltfolgeplan ist keine eindeutige Bedingung zu ermitteln, und es muß deshalb ein Hilfspeicher mit dem Ausgangssignal $z_{1.1}$ eingeführt werden. Die Schaltbedingungen werden wie folgt gewählt (Der Signalverlauf ist in Bild 3.1.2 nachzutragen!):

$$z_{1.1}: s = S2.2 \quad (3.1.10.)$$

$$r = \overline{S1.2} \quad (3.1.11.)$$

Damit ergibt sich die eindeutige Setzbedingung für $y_{1.1}$

$$s = S2.1 \cdot z_{1.1} \quad (3.1.12.)$$

Die Bedingung (3.1.4.) ist eindeutig.

Y 2.2: Die Bedingung (3.1.5.) ist nicht eindeutig, da S1.2 länger betätigt ist, als der Speicher gesetzt werden soll. Auch hier kann durch das Signal $z_{1.1}$ die Bedingung eindeutig gemacht werden.

$$s = S1.2 \cdot \overline{z_{1.1}} \quad (3.1.13.)$$

Die Bedingung (3.1.6.) ist eindeutig.

Y 2.1: Die Bedingungen (3.1.7.) und (3.1.8.) sind eindeutig.

3. Schritt: Die Schaltbedingungen werden um die Verriegelungsbedingungen ergänzt. Es werden Dominierend-Aus-Speicher angenommen. Damit werden die hier gültigen Verriegelungsbedingungen nach /3/ in die Rücksetzbedingungen aufgenommen.

Es ergeben sich folgende Schaltbedingungen:

$$Y 1.2: r = S1.2 \vee Y 1.2 \vee Y 2.1 \vee Y 2.2 \quad (3.1.14.)$$

$$Y 1.1: r = S1.1 \vee Y 1.2 \vee Y 2.1 \vee Y 2.2 \quad (3.1.15.)$$

$$Y 2.2: r = S2.2 \vee Y 1.1 \vee Y 1.2 \vee Y 2.1 \quad (3.1.16.)$$

$$Y 2.1: r = S2.1 \vee Y 1.1 \vee Y 1.2 \vee Y 2.2 \quad (3.1.17.)$$

4. Schritt: Die Schaltbedingungen werden auf Redundanz überprüft, d. h., eventuell mögliche Vereinfachungen sind auf der Grundlage schaltalgebraischer Regeln auszuführen.

Für das vorliegende Beispiel sind alle Schaltbedingungen redundanzfrei [(3.1.9.), (3.1.12.), (3.1.13.), (3.1.7.)]. Die sich ergebende Schaltung ist in Bild 3.1.4. dargestellt.

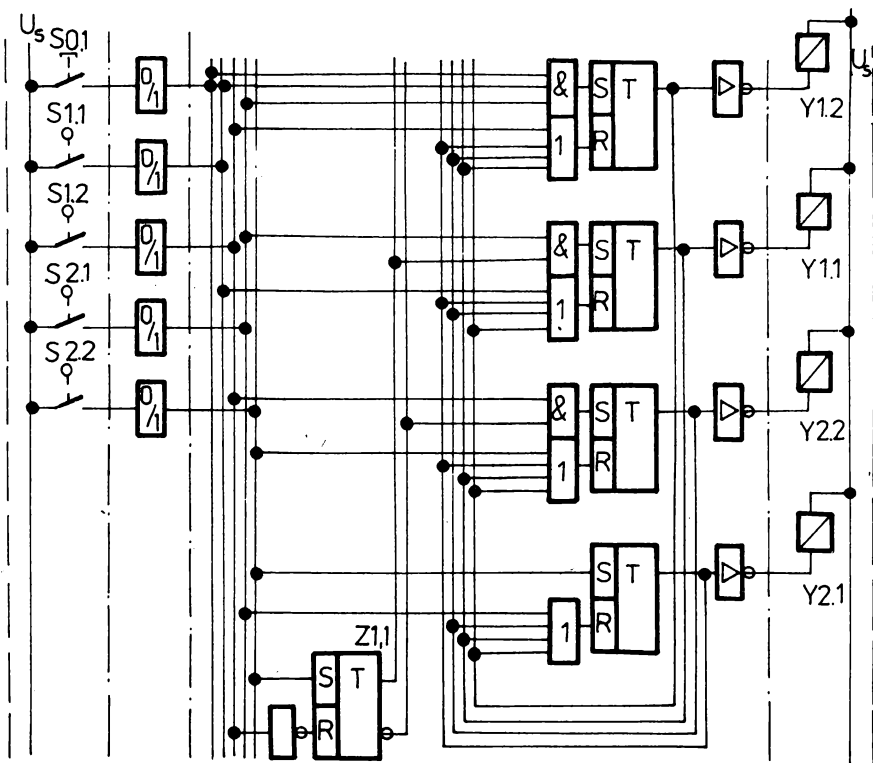


Bild 3.1.4: Signalflußplan zu Beispiel 3.1. (ohne Programmsteuerwerk)

Zusammenfassung: Man kann feststellen, daß bei diesem Verfahren bereits für einfache Aufgabenstellungen intuitive Lösungsschritte (Einführung von $z_{1.1}$) notwendig sind und damit Fehler auftreten können. Die Schaltung ist nur für den vorgegebenen Programmablauf verwertbar. Schaltungsteile sind auf andere Aufgabenstellungen nicht übertragbar. Veränderungen im Programm führen im allgemeinen zu einer vollständigen Strukturänderung der Schaltung. Als vorteilhaft ist anzusehen, daß eine Orientierung auf eine minimale Speicheranzahl vorliegt.

A u f g a b e :

A 3.1.: Entwerfen Sie die Schaltung zu Beispiel 3.1. in Relais-technik, und zeichnen Sie den Stromlaufplan!

3.2. Schaltungen mit Programmsteuerwerk

3.2.1. Programmsteuerwerk mit paralleler Signaleingabe (Taktkettensteuerung)

3.2.1.1. Schaltungen mit unverzweigter Programmstruktur

Bei dieser Schaltungskonzeption wird, wie in den vorangegangenen Abschnitten bereits angedeutet, von einer grundlegend anderen Betrachtungsweise der Aufgabenstellung ausgegangen. Der Grundgedanke ist die Gliederung des Steuerprogramms in Programmschritte bzw. Takte. Jedem dieser Takte wird ein Speicher zugeordnet, dessen Ausgangssignal als Zustandssignal z_i bezeichnet wird und nur dann den Signalwert "1" hat, wenn gerade der betreffende Takt abgearbeitet wird. Die Gesamtheit aller n -Zustandssignale entspricht damit in ihrer Wertbelegung dem "1 aus n "-Code.

Das Setzen des Zustandsspeichers mit dem Signal z_i erfolgt dann, wenn der Zustandsspeicher des vorangegangenen Taktes z_{i-1} gesetzt ist und die Fortschaltbedingung FB_i für den Taktwechsel erfüllt ist.

$$z_i : s = z_{i-1} \cdot FB_i \quad (3.2.1.)$$

Das Rücksetzen des Zustandsspeichers z_i wird durch das 1-Signal des gesetzten Speichers für z_{i+1} ausgelöst. Damit wird eine überlappende "1 aus n "-Belegung gewährleistet.

$$z_i : r = z_{i+1} \quad (3.2.2.)$$

Diese Bedingungen gelten jedoch nur für einwegige Programmablaufpläne mit rein serieller Abarbeitung der Programmschritte. Das Verfahren soll im folgenden durch einen Schaltungsentwurf für die Aufgabenstellung nach Beispiel 3.1. demonstriert werden. Einer besonderen Festlegung bedarf die Bedingung für den Programmstart. Zwei Verfahren sind dafür möglich, und ihre Anwendung ist von Fall zu Fall abzuwägen.

1. Verfahren: Dem Ruhezustand der technologischen Anlage wird auch ein Zustandssignal z_0 zugeordnet. Dieses Signal hat den Wert "1", wenn ein Programmzyklus beendet ist und kein erneuter Start ausgelöst wird. Das ermöglicht es, die Speicher in einem

geschlossenen Ring zusammenzuschalten und die Startbedingung einfach zu definieren. Dazu ist es aber notwendig, daß beim Einschalten der Hilfsenergie der Speicher für z_0 durch einen Richtimpuls gesetzt wird.

2. Verfahren: Nach der Abarbeitung des gesamten Programmzyklus sind alle Zustandsspeicher rückgesetzt. Der Ruhezustand der technologischen Anlage entspricht dann auch dem "Ruhezustand" der Zustandsspeicher. Dabei ist es jedoch manchmal schwierig, für das erste Zustandssignal eine eindeutige Startbedingung zu formulieren.

Schaltungsentwurf der Programmsteuerebene für Beispiel 3.1.

(1. Verfahren)

Das Programm enthält vier Arbeitstakte und einen Ruhetakt. Durch fünf Speicher werden eindeutige Zustandssignale für diese Takte gebildet (Bild 3.1.1).

z_1 :	$s = z_0$ S0.1	(3.2.3.)
	$r = z_2$	(3.2.4.)
z_2 :	$s = z_1$ S1.2	(3.2.5.)
	$r = z_3$	(3.2.6.)
z_3 :	$s = z_2$ S2.2	(3.2.7.)
	$r = z_4$	(3.2.8.)
z_4 :	$s = z_3$ S2.1	(3.2.9.)
	$r = z_0$	(3.2.10.)
z_0 :	$s = z_4$ S1.1	(3.2.11.)
	$r = z_1$	(3.2.12.)

Schaltungsentwurf der Programmsteuerebene für Beispiel 3.1.

(2. Verfahren)

Die Startbedingung zum Setzen des Speichers ist im vorliegenden Fall eindeutig durch die Ausgangslage der Stellkolben bestimmt.

$$z_1 : s = S0.1 \quad S1.1 \quad S2.1 \quad (3.2.13.)$$

Für die Rücksetzbedingung des Speichers von z_4 gilt:

$$z_4 : r = S1.1 \quad S2.1 \quad (3.2.14.)$$

Alle anderen Schaltbedingungen bleiben gleich. Der Speicher für z_0 entfällt.

Damit ist die Aufgabenstellung jedoch nicht vollständig gelöst. Gesucht ist noch die Schaltung zur Bildung der Stellsignale y_i . Dafür sind wieder zwei Verfahren möglich.

1. Verfahren: Die Stellsignale werden durch rein kombinatorische Verknüpfungen (ODER-Schaltungen bzw. Diodenmatrizen) unter Berücksichtigung der Verriegelungsbedingungen aus den Zustandssignalen gebildet.

2. Verfahren: Für die Stellsignale existieren bereits Speicher in der Antriebssteuerebene, da auch eine Hand- bzw. Vor-Ort-Steuerung gefordert ist. Dann werden für diese Speicher aus den Zustandssignalen Schaltbedingungen für das Setzen und Rücksetzen gebildet.

Schaltungsentwurf der Antriebssteuerebene für Beispiel 3.1.
(1. Verfahren)

$$y_{1.1} = z_4 \overline{y_{1.2}} \overline{y_{2.1}} \overline{y_{2.2}} \quad (3.2.15.)$$

$$y_{1.2} = z_1 \overline{y_{1.1}} \overline{y_{2.1}} \overline{y_{2.2}} \quad (3.2.16.)$$

$$y_{2.1} = z_3 \overline{y_{1.1}} \overline{y_{1.2}} \overline{y_{2.2}} \quad (3.2.17.)$$

$$y_{2.2} = z_2 \overline{y_{1.1}} \overline{y_{1.2}} \overline{y_{2.1}} \quad (3.2.18.)$$

Im Bild 3.2.1 ist der vollständige Signalflußplan dargestellt.

Schaltungsentwurf der Antriebssteuerebene für Beispiel 3.2.
2. Verfahren

$$y_{1.1} : s = z_4 \quad (3.2.19.)$$

$$r = z_0 \vee y_{1.2} \vee y_{2.1} \vee y_{2.2} \quad (3.2.20.)$$

$$y_{1.2} : s = z_1 \quad (3.2.21.)$$

$$r = z_2 \vee y_{1.1} \vee y_{2.1} \vee y_{2.2} \quad (3.2.22.)$$

$$y_{2.1} : s = z_3 \quad (3.2.23.)$$

$$r = z_4 \vee y_{1.1} \vee y_{1.2} \vee y_{2.2} \quad (3.2.24.)$$

$$y_{2.2} : s = z_2 \quad (3.2.25.)$$

$$r = z_3 \vee y_{1.1} \vee y_{1.2} \vee y_{2.1} \quad (3.2.26.)$$

Dem 2. Verfahren ist im allgemeinen der Vorzug zu geben, da die Trennung in Programm- und Antriebssteuerebene die Übersichtlichkeit der Steuerungsstruktur erhöht. Im Bild 3.2.2 ist der Signal-

flußplan und in Bild 3.2.3 der Schaltfolgeplan unter Berücksichtigung der Schaltzeiten dargestellt.

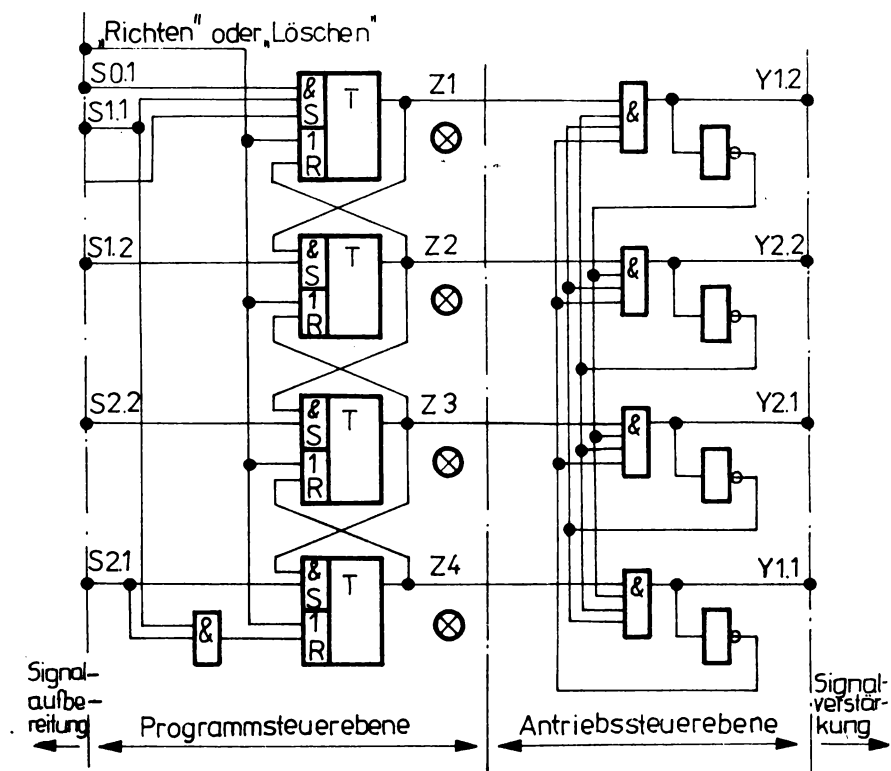


Bild 3.2.1: Signalflußplan zu Beispiel 3.1. (Programmsteuerebene: 2. Verfahren; Antriebssteuerebene: 1. Verfahren)

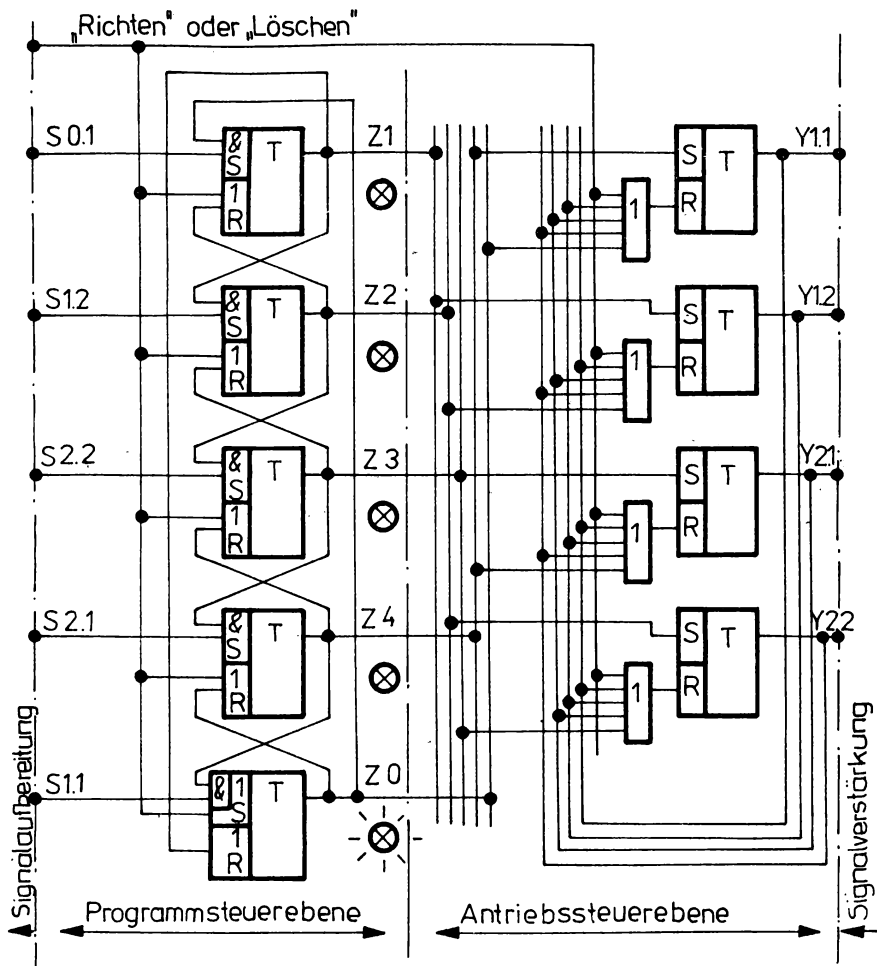


Bild 3.2.2: Signalflußplan zu Beispiel 3.1. (Programmsteuer-
ebene: 1. Verfahren; Antriebssteuerebene: 2. Ver-
fahren)

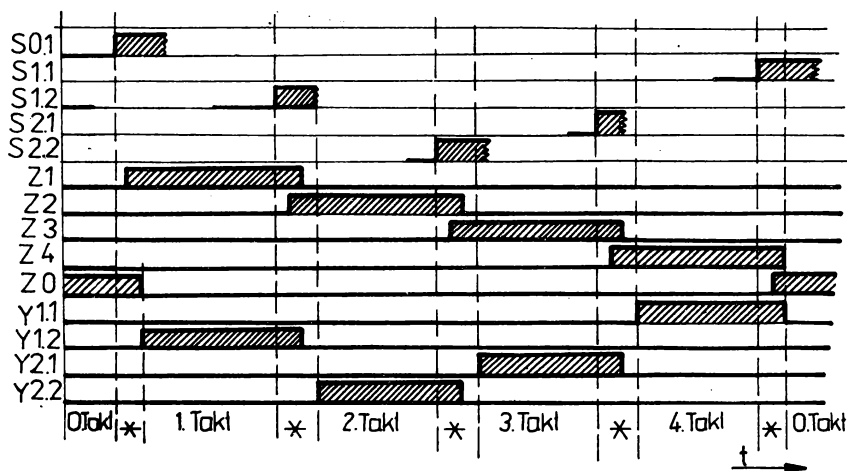


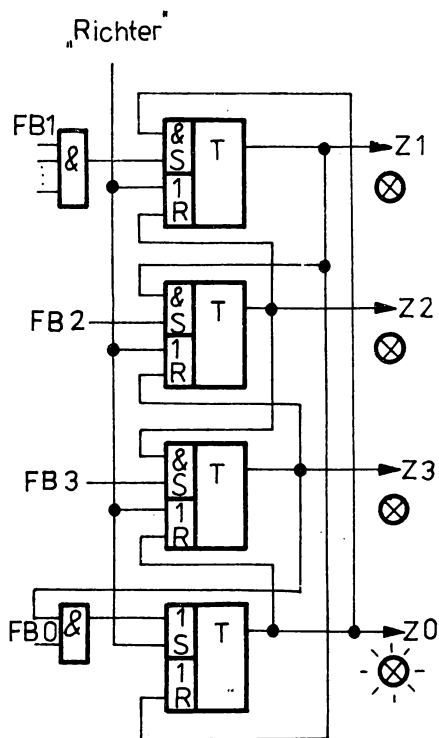
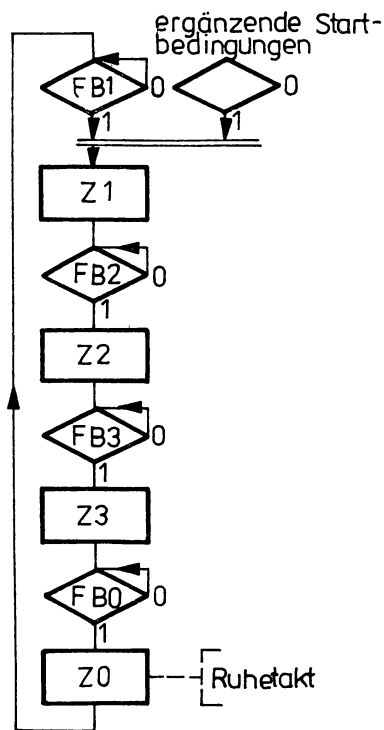
Bild 3.2.3: Schaltfolgeplan zu Beispiel 3.1. (Bild 3.2.2)

3.2.1.2. Schaltungen mit verzweigter Programmstruktur

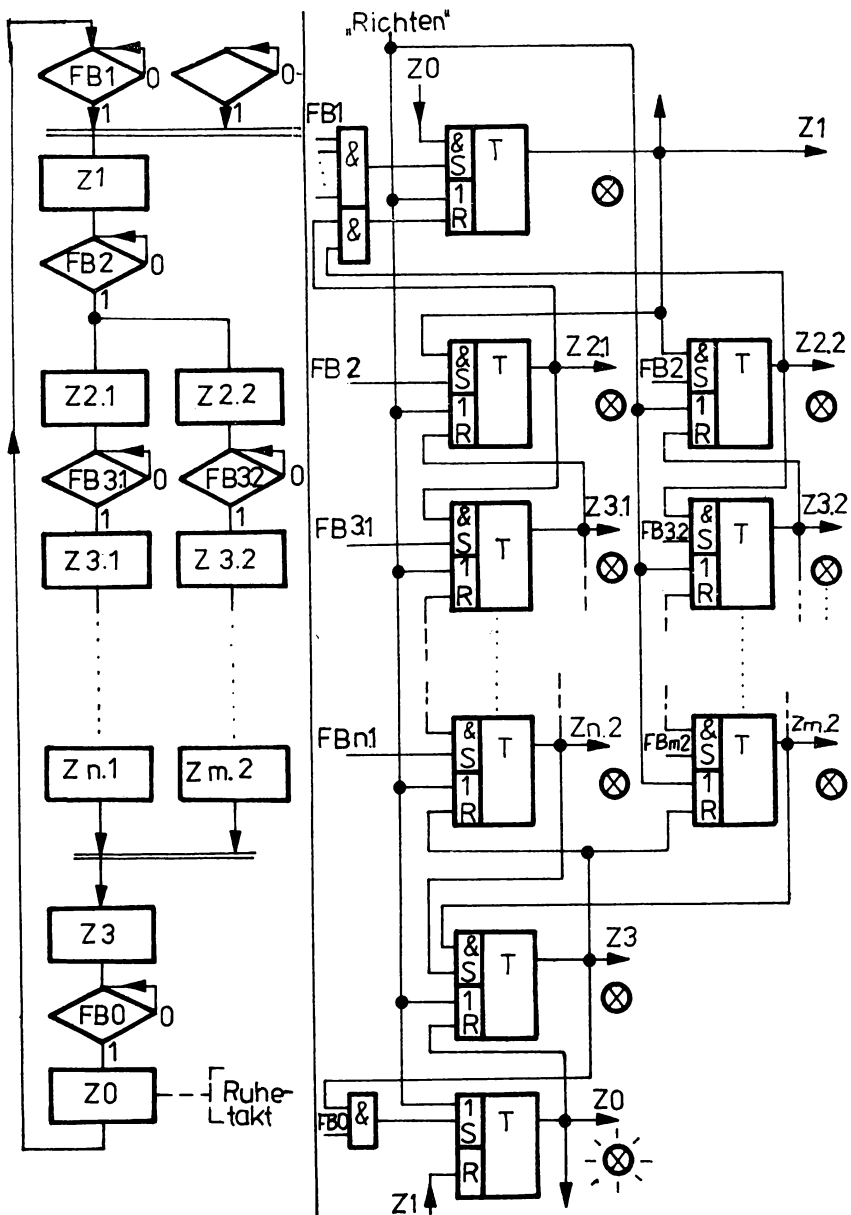
Neben der rein seriellen Abarbeitung der Programmschritte in unverzweigten Programmabläufen sind alle Strukturen von Programmen denkbar, wie sie sich durch Programmablaufpläne unter Verwendung der Symbole von Tafel 2.4.1. darstellen lassen. Der besondere Vorteil der zustandsorientierten Schaltungsentwicklung liegt darin, daß jedem Abschnitt des PAP eine charakteristische Schaltung der Zustandsspeicher zugeordnet werden kann (Tafel 3.2.1.)

Aus diesen Schaltungen von Tafel 3.2.1 a, b, c, d läßt sich eine universelle Baugruppe für einen Zustandsspeicher entwerfen, der an jeder beliebigen Stelle eines zweiwegigen Programms einsetzbar ist.

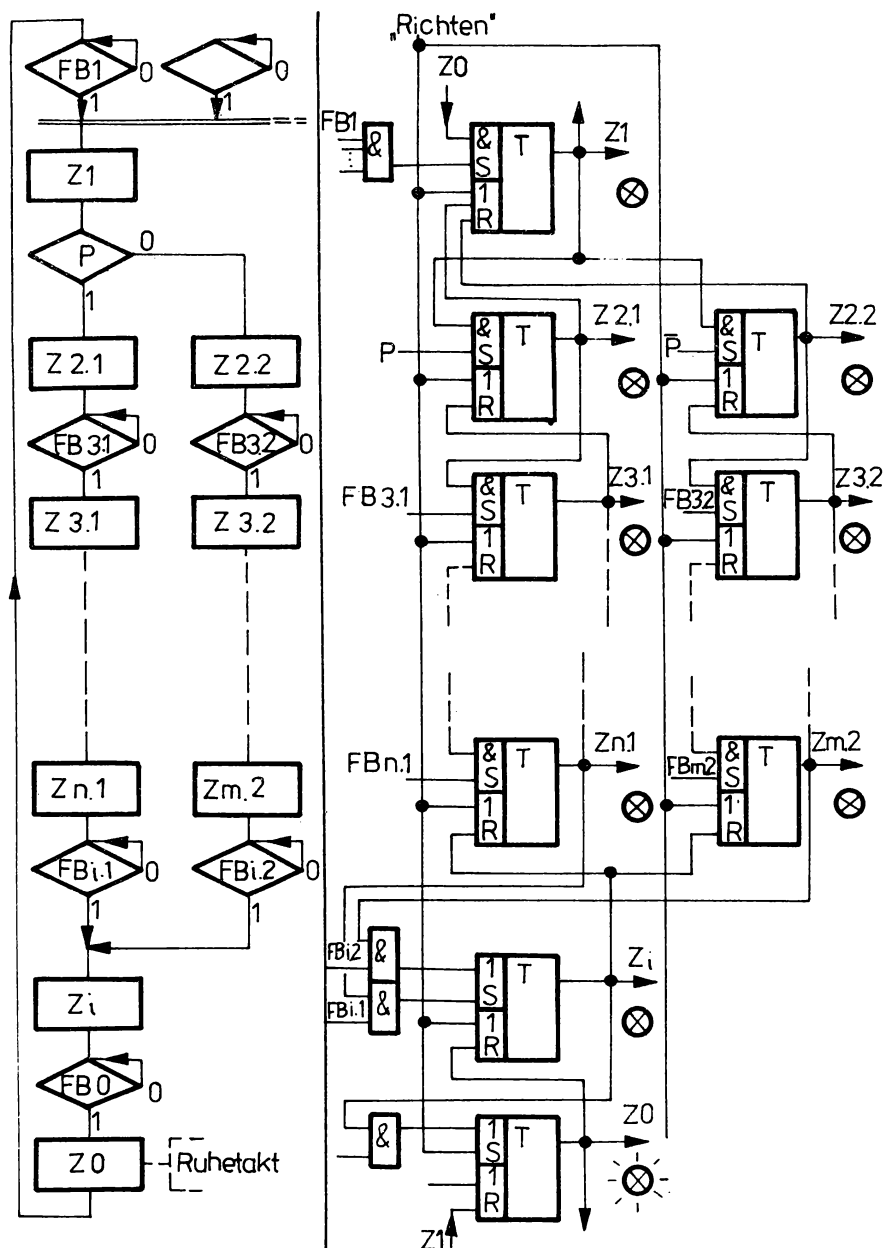
Die Programmierung erfolgt durch das Verdrahten der entsprechenden Signalleitungen. Innerhalb der durch die Baugruppe vorgegebenen Freiheitsgrade ist jede Programmänderung möglich.



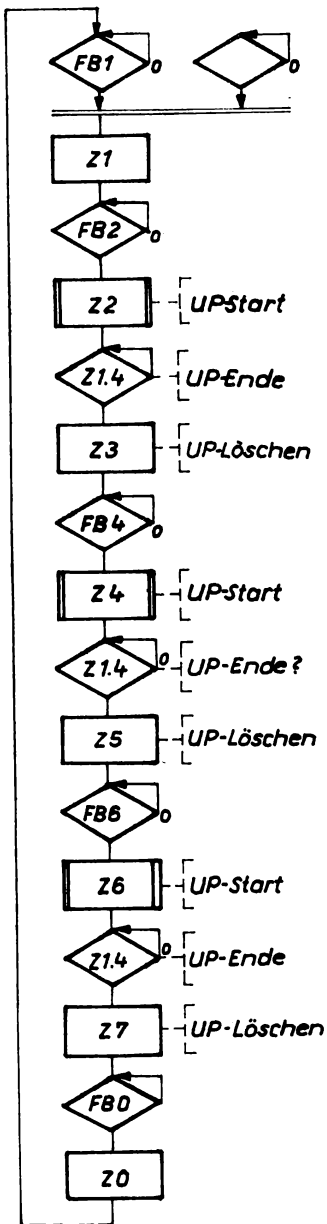
Tafel 3.2.1a: Umsetzungsregeln: Programmablaufplan - Programmsteuerschaltung (lineares Programm)



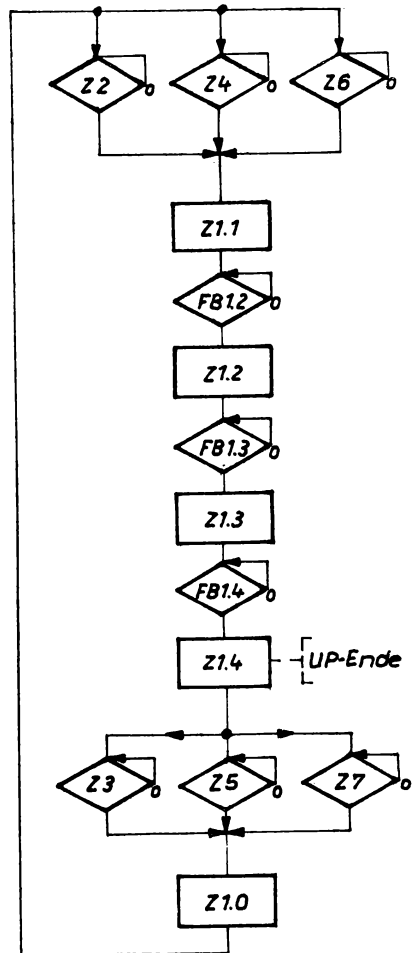
Tafel 3.2.1b: Verzweigtes Programm mit Parallellauf



Tafel 3.2.1c: Verzweigtes Programm ohne Parallellauf



Unterprogramm



Tafel 3.2.1d: Lineares Programm mit Unterprogramm

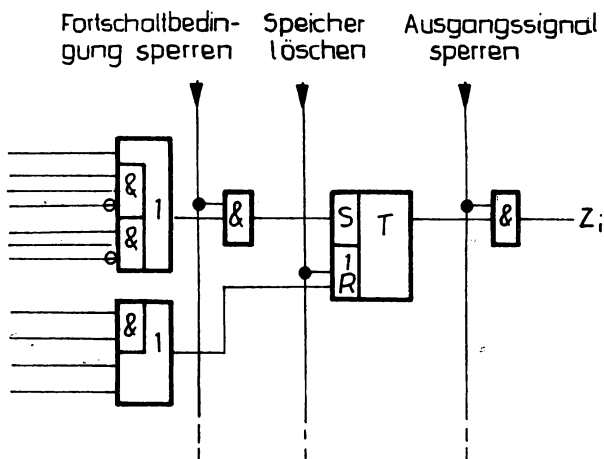


Bild 3.2.4: Universelle Speicherbaugruppe für Taktkettensteuerung

Zusammenfassung:

Nach dem Prinzip der Taktkettenschaltung sind in der Vergangenheit eine Vielzahl industrieller Steuerungen entworfen und realisiert worden. In verschiedenen Schaltsystemen (Semielektronik, ursalog 4000, DRELOBA) werden dafür vorgefertigte Baugruppen angeboten. Es ist eine begrenzte Anpassung an Programmänderungen möglich, da Verdrahtungsänderungen nur an bestimmten Stellen vorgenommen werden müssen und die Schaltungsstruktur sonst erhalten bleibt. Besonders einfache und übersichtliche Schaltungen entstehen auf der Grundlage einwegiger Programmabläufe.

Mit diesem Schaltungskonzept wird eine eindeutige Trennung zwischen Programmsteuerebene und Antriebssteuerebene durchgesetzt. Damit sind die Voraussetzungen für den weitgehenden Einsatz vorgefertigter Baugruppen geschaffen.

Der festzustellende höhere Aufwand an Speicherelementen gegenüber anderen Verfahren wird durch den wachsenden Integrationsgrad elektronischer Schaltungen bzw. durch eine speicherprogrammierte Realisierung bedeutungslos. Dafür werden die Vorteile der leichten Überschaubarkeit und vereinheitlichten Struktur in der Fertigung, der Inbetriebnahme und Wartung immer deutlicher

zum Ausdruck kommen. Die Einführung rechnergestützter Projektierungsverfahren wird weitgehend auf der Grundlage solcher Entwurfsprinzipien beruhen (s. auch Anlage, S. 63).

A u f g a b e n :

- A 3.2.: Entwerfen Sie die in Bild 3.2.2 dargestellte Schaltung als Relaissteuerung und zeichnen Sie den Stromlaufplan!
- A 3.3.: Entwerfen Sie den Signalflußplan für die Taktkettensteuerung zum Beispiel 2.4. auf der Grundlage des PAP von Bild 2.4.1! Verriegelungen müssen beim Entwurf nicht berücksichtigt werden.

3.2.2. Programmsteuerwerke mit serieller Signaleingabe

3.2.2.0. Vorbemerkungen

Bei der im Abschnitt 3.1. dargelegten Schaltungsstruktur liegen die Eingangssignale stündig an den Setzeingängen der Zustandspeicher an, und sie werden dann zur Setzbedingung aktiviert, wenn die entsprechende Stelle im Programm erreicht ist. Bei der im folgenden beschriebenen Schaltungskonzeption werden die Eingangssignale, die erreichte Grenzwerte im Prozeß signalisieren, über einen Multiplexer taktabhängig nacheinander (seriell) auf einen Eingang der Programmsteuereinheit geschaltet. Damit ist von Fall zu Fall ein höherer Integrationsgrad der Schaltung möglich. Voraussetzung für eine sinnvolle Anwendung dieses Konzepts ist eine einwegige Programmstruktur.

3.2.2.1. Programmsteuerwerke mit elektromechanischen Schrittschaltwerken

Zur Anwendung kommen elektromechanische Drehwähler und Kugelschrittschaltwerke, wobei letztere vor allem bei Werkzeugmaschinensteuerungen eine bedeutende Rolle spielen.

Die Auswahl und die Programmierung einer solchen Steuerung geschieht in den folgenden Schritten:

- Die Anzahl der anzusteuernenden Stellglieder bestimmt die An-

zahl der Nockenbahnen, d. h., jeder Nockenbahn wird ein Stellglied fest zugeordnet.

- Die Anzahl der Programmschritte bestimmt die Anzahl der Nocken, die auf den Nockenbahnen unterzubringen sind (maximal 80 bis 100 Programmschritte).
- Bei der Abtastung der Nockenbahnen erfolgt auch die Programmierung der Grenzwertsignale, die bei dem jeweiligen Programmschritt durch ein impulsförmiges Signal ein Weiterschalten des Schrittschaltwerkes auslösen.

Programmsteuerungen dieser Konzeption haben sich in der Vergangenheit bewährt. Ein Vorteil ist, daß mit einer einheitlichen gerätetechnischen Ausrüstung unterschiedlichste Aufgabenstellungen gelöst werden können.

Die Steuerungen sind im begrenzten Umfang frei programmierbar und können veränderten Technologien angepaßt werden. Die mechanische Einstellung der Nocken erfordert jedoch einen nicht unbeträchtlichen Arbeitsaufwand, so daß der Wiederholgrad eines Programms möglichst groß sein muß.

3.2.2.2. Programmsteuerwerke mit Registerschaltungen

Die Grundlage dieser Programmsteuerwerke bilden Umlaufregister (Ringzähler), die mit elektronischen oder pneumatischen Bauelementen aufgebaut sind. An Hand der symbolischen Darstellung und des Schaltfolgeplans in Bild 3.3.1 soll die Funktion kurz erläutert werden:

- Durch Anlegen eines Richtimpulses wird das Ausgangssignal z_0 auf "1" und alle übrigen Ausgänge auf "0" gesetzt.
- Bei jeder 0/1-Flanke des Taktsignals wird das 1-Signal um eine Stufe weiter geschoben.
- Erreicht das 1-Signal den Ausgang A_1 , der auf dem Eingang E_8 rückgekoppelt ist, so wird mit der nächsten Schaltflanke das 1-Signal zum Ausgang A_0 geschaltet, und der Durchlauf kann von neuem beginnen.

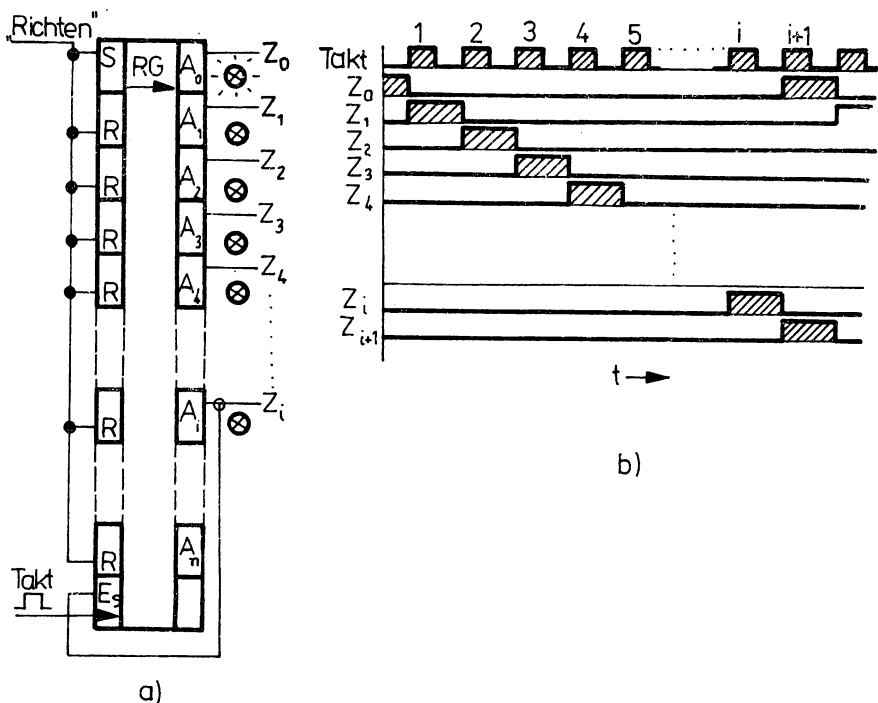


Bild 3.3.1: Umlaufregister:

a) Symbol

b) Schaltfolgeplan

Die Funktion eines solchen Umlaufregisters entspricht dem eines Programmsteuerwerkes, wenn den einzelnen Programmschritten die Ausgangssignale z_i als charakteristische Zustandssignale zugeordnet werden. Das Signal z_0 entspricht dann dem Ruhezustand der technologischen Einrichtung. Das Taktsignal ist so zu bilden, daß eine 0/1-Flanke immer dann entsteht, wenn ein Programmschritt ausgeführt ist und die Bedingung für die Weitschaltung erfüllt ist. Das bedeutet, daß die in Abschnitt 3.2.1. formulierten Setzbedingungen für die Zustandsspeicher disjunktiv verknüpft und auf den Takteingang des Umlaufregisters geschaltet werden. Ein Monostabiler Multivibrator gewährleistet die systemabhängige Mindestimpulsdauer für das Taktsignal.

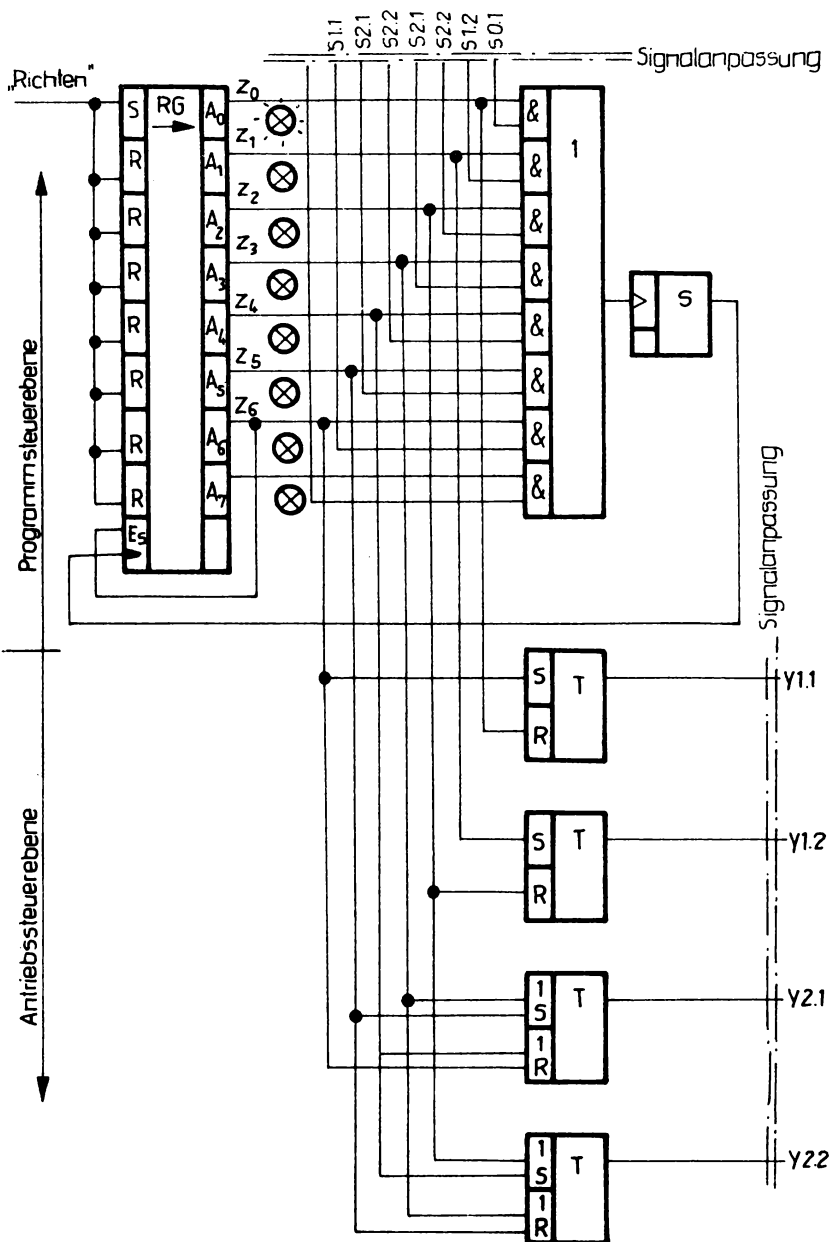


Bild 3.3.2: Programmsteuerwerk mit Umlaufregister
(Beispiel 2.3.)

Die Auswertung der Zustandssignale zur Bildung der Stellsignale erfolgt wie in Abschnitt 3.1..

Im Bild 3.3.2 ist der Signalflußplan für die Programmsteuer-
einrichtung im Beispiel des Abschnittes 2.3. (Bild A 2.3.2) dar-
gestellt. Das Umlaufregister wurde mit 8 Stufen ausgewählt
(s. auch Anlage, S. 63).

Zusammenfassung

Liegen Programmabläufe vor, bei denen die Programmschritte nur zeitlich nacheinander (seriell) abgearbeitet werden, so können Schaltungen mit Umlaufregistern zur Anwendung kommen. Sie erweisen sich dann als vorteilhaft, wenn das Programm viele Takte umfaßt. Die Schaltung hat außerdem nur einen störungsgefährdeten Eingang (Taktingang des Registers). Eine Veränderung in der Programmierung ist in gleicher Weise möglich, wie bei den Programmsteuerungen mit parallel arbeitendem Steuerwerk.

A u f g a b e :

A 3.4.: Entwerfen Sie zu dem in Bild 3.1.1. beschriebenen Programmablaufplan eine Programmsteuerung mit Umlaufregister!

4. Zeitplansteuerungen

4.0. Bemerkungen

Bei diesen Steuerungen erfolgt die Programmabarbeitung zeitabhängig, das heißt, die Bedingung für den Übergang zum nächsten Programmschritt ist erfüllt, wenn eine bestimmte Zeit abgelaufen ist.

Zeitplansteuerungen findet man bei Schweißmaschinen, Zentrifugen, Waschmaschinen sowie bei Einrichtungen, die automatisch Reinigungs-, Anwärm-, Sinter-, Glüh- und Trocknungsprozesse verwirklichen. Diese Steuerungen sind verhältnismäßig billig, da keine Meßeinrichtungen zur Bildung technologieabhängiger Grenzwertsignale erforderlich sind. Die Technologien müssen jedoch sehr stabil sein, da eine Steuerung auf Unregelmäßigkeiten im Prozeßablauf nicht reagieren kann.

Die Entwurfsmethodik und die Klassifizierung der Programmsteuerwerke entspricht im wesentlichen der der Ablaufsteuerungen. Für reine Zeitplansteuerungen haben jedoch Schaltungen ohne Programmsteuerwerk keine Bedeutung. Der Aufbau der Programmsteuerung wird im wesentlichen durch die Zusammenhänge zwischen den Taktzeiten bestimmt.

4.1. Programmsteuerwerke mit gleichen Taktzeiten

Die Grundlage für die Schaltungsentwicklung bildet eine Analyse der Aufgabenstellung in Form eines Wirkungsplanes. Dieser Wirkungsplan wird in gleichlange Takte unterteilt bzw. in Takte, deren Zeitdauer dem ganzzahligen Vielfachen des Grundtaktes entsprechen.

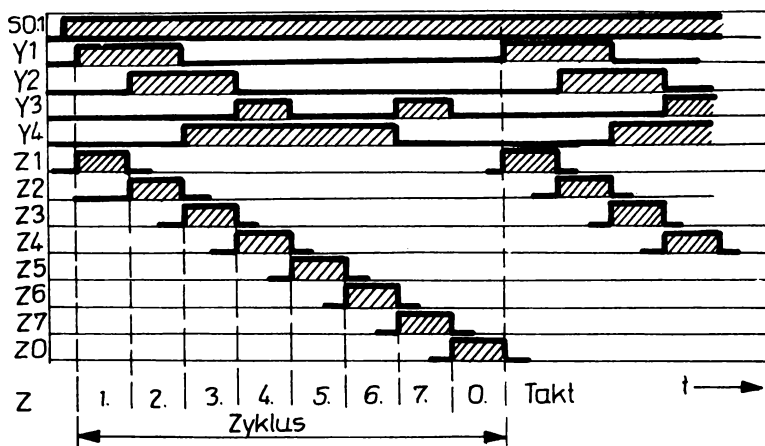


Bild 4.1.1: Wirkungsplan einer Zeitplansteuerung
(Beispiel 4.1.)

Im Bild 4.1.1 ist als Beispiel 4.1. ein willkürlicher Wirkungsplan angenommen worden, der diese Bedingungen erfüllt. Den einzelnen Programmschritten werden wie bei den Ablaufsteuerungen Zustandssignale z_i zugeordnet. Damit ergibt sich eine formale Ähnlichkeit zu den Ablaufsteuerungen mit einwegigen Programmabläufen.

Der Unterschied liegt in den fest vorgegebenen Taktzeiten. Als Programmsteuerwerke können Kugelschrittschaltwerke, Nockensteuerwerke und Umlaufregister eingesetzt werden, wenn das Taktsignal nicht mehr durch Grenzwertsignale gebildet wird, sondern durch einen Taktgenerator in Form eines astabilen Multivibrators, durch einen Uhrenimpuls oder durch einen von der gesteuerten Maschine periodisch betätigten Kontakt. Damit ist eine wesentliche Vereinfachung des Schaltungsaufbaus möglich. An Stelle des Umlaufregisters können auch elektronische Zähler zur Anwendung kommen, deren Zählergebnisse im "1 aus n"-Code decodiert sind. Die Bildung der Stellsignale erfolgt nach den gleichen Prinzipien wie bei den Ablaufsteuerungen.

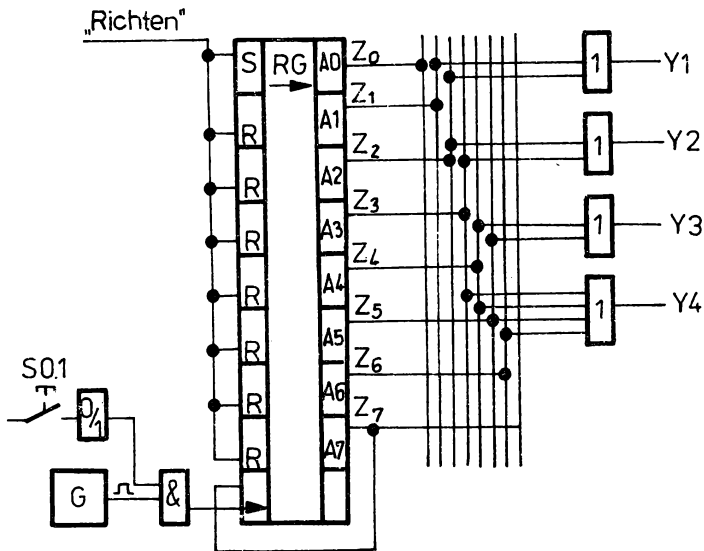


Bild 4.1.2: Signalflußplan der Zeitplansteuerung für Beispiel 4.1.

Im Bild 4.1.2. ist eine Zeitplansteuerung mit Umlaufregister für Beispiel 4.1. dargestellt.

4.2. Programmsteuerwerke mit ungleichen Taktzeiten

Aus der Aufgabenstellung ergibt sich häufig die Forderung, Taktzeiten zu verwirklichen, die unterschiedlich lang sind und unabhängig voneinander einstellbar sein sollen. In Abhängigkeit vom Programmumfang und den zur Verfügung stehenden Zeitschaltelementen ergeben sich dafür die in den Abschnitten 4.2.1. und 4.2.2. dargestellten Schaltungsvarianten.

4.2.1. Zeitstaffelkette mit 0/1-Signalverzögerern

Die Grundlage für die Schaltungsentwicklung soll der Wirkungsplan von Beispiel 4.2. (Bild 4.2.1) bilden.

Da sich mit 0/1-Signalverzögerern nicht ohne weiteres Zustands-signale im "1 aus n"-Code bilden lassen, wird von der in Bild 4.2.1 dargestellten Signalfolge ausgegangen. Aus dieser Signalfolge lassen sich die Stellsignale wieder eindeutig decodieren.

Die gesamte Schaltung wird durch die folgenden Schaltfunktionen beschrieben.

Zustandssignale:

$$z_0 : s = S0.1 \quad (4.2.1.)$$

$$r = z_0 \uparrow t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = z_4 \quad (4.2.2.)$$

$$z_1 = z_0 \uparrow t_1 \quad (4.2.3.)$$

$$z_2 = z_1 \uparrow t_2 = z_0 \uparrow t_1 + t_2 \quad (4.2.4.)$$

$$z_3 = z_2 \uparrow t_3 = z_1 \uparrow t_2 + t_3 = z_0 \uparrow t_1 + t_2 + t_3 \quad (4.2.5.)$$

$$z_4 = z_3 \uparrow t_4 = z_0 \uparrow t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (4.2.6.)$$

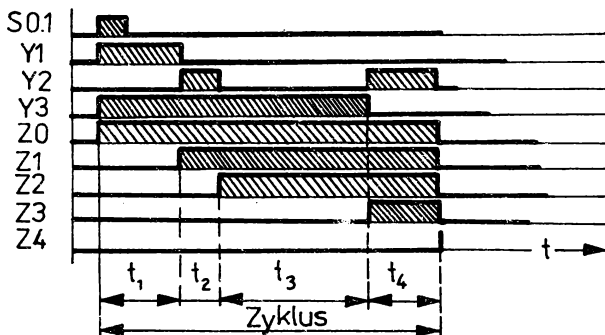


Bild 4.2.1: Wirkungsplan zu Beispiel 4.2.

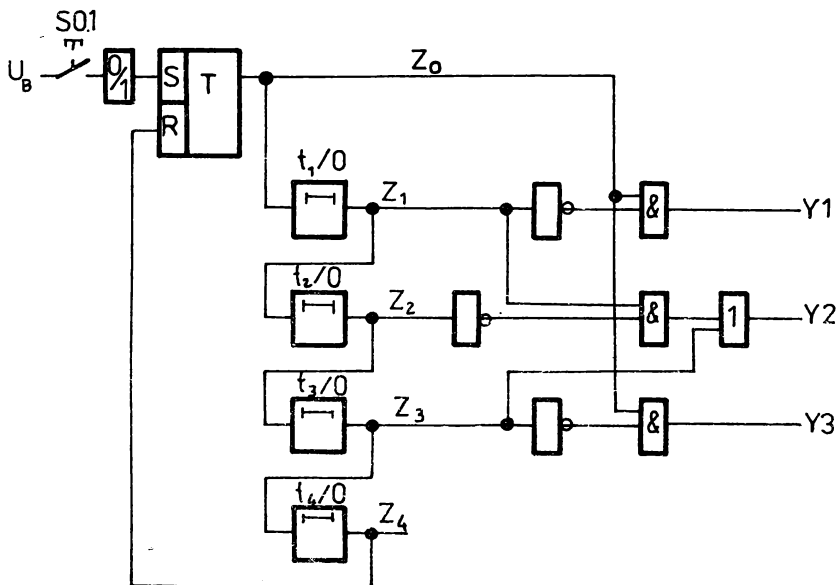


Bild 4.2.2: Zeiplansteuerung mit 0/1-Signalverzögerern zu Beispiel 4.2.

Stellsignale:

$$y_1 = z_0 \overline{z_1} \quad (4.2.7.)$$

$$y_2 = z_1 \overline{z_2} \vee z_3 \quad (4.2.8.)$$

$$y_3 = z_0 \overline{z_3} \quad (4.2.9.)$$

Der Signalflußplan ist in Bild 4.2.2 dargestellt.

A u f g a b e :

A 4.1. Entwerfen Sie zu dem in Bild 4.2.1 dargestellten Wirkungsplan eine Relaissteuerung mit anzugsverzögertem Zeitrelais!

4.2.2. Zeitstafelkette mit Monostabilen Multivibratoren

Die Zustandssignale werden im "1 aus n"-Code gebildet und jeweils dem Ausgang eines Monostabilen Multivibrators zugeordnet. Es ergibt sich für Beispiel 4.2. der in Bild 4.2.3 dargestellte Wirkungsplan, der dem Signalflußplan von Bild 4.2.4 entspricht.

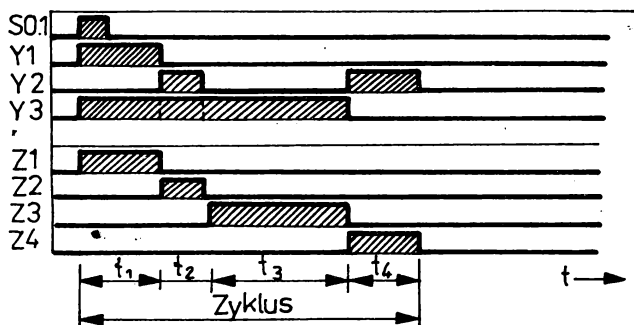


Bild 4.2.3: Wirkungsplan zu Beispiel 4.2.

Es ist zu beachten, daß sich die Zustandssignale in diesem Falle nicht überlappen und bei einer Bildung der Stellsignale nach dem 1. Verfahren (Abschnitt 3.2.1.1.) Laufzeitstörungen durch Lücken entstehen können. Dieser Fall kann auftreten, wenn das Stellsignal über die Dauer mehrerer Takte den Signalwert "1" führen soll (siehe y_3 in Bild 4.2.3).

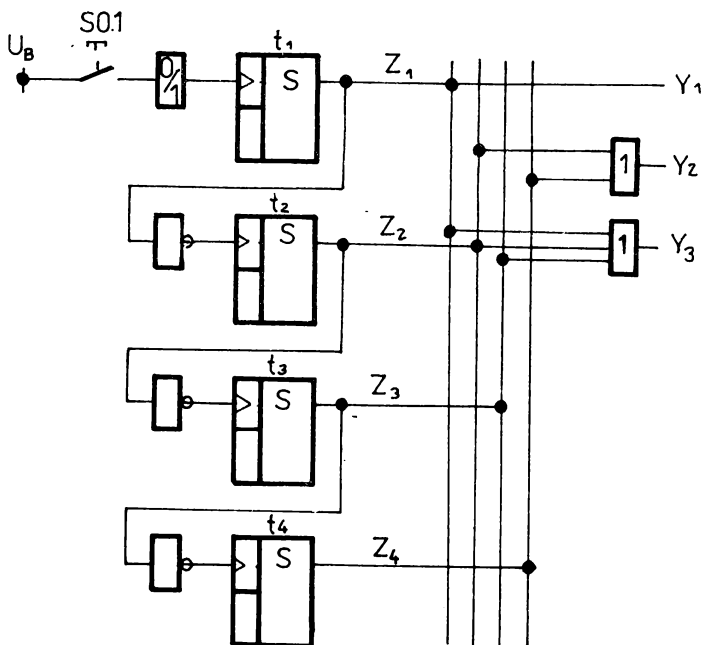


Bild 4.2.4.: Zeitplansteuerung zu Beispiel 4.3. mit Monostabilen Multivibratoren

Eine Bildung der Stellsignale mit Speichern (2. Verfahren) ist deshalb zu bevorzugen.

4.2.3. Taktkettensteuerung mit 0/1-Signalverzögerern

Zeitplansteuerungen können auch in Form von Programmablaufplänen beschrieben werden, wenn jedem Operationskästchen der Zeitablauf für einen Programmschritt zugeordnet wird (Bild 4.2.5). Damit kann die in Abschnitt 3.2. beschriebene Schaltungsstruktur auch zur Realisierung von Zeitplansteuerungen zugrundegelegt werden. Die Schaltbedingungen für den i -ten Zustandsspeicher lauten dann:

$$z_i : s = z_{i-1} \uparrow \begin{matrix} t \\ t_{i-1} \end{matrix}$$

$$r = z_{i+1}$$

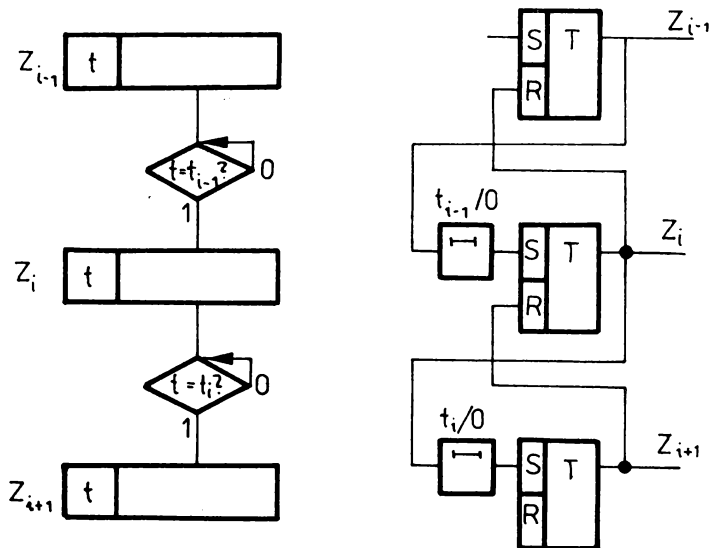


Bild 4.2.5: Programmbeschreibung von Zeittakten und Umsetzungsregeln

Besondere Vorteile dieses Schaltungsprinzips ergeben sich, wenn programmierbare Signalverzögerer zur Verfügung stehen. Es ist dann möglich, die gesamte Schaltung, wie in Bild 4.2.6. angedeutet, mit zwei Signalverzögerern aufzubauen, die im Wechsel aufgerufen werden und deren Verzögerungszeiten durch die Zustandssignale z_i programmiert sind.

Zusammenfassung

Aus den angebotenen Varianten für Programmsteuerungen ist erkennbar, daß eine zustandsorientierte Schaltungsentwicklung mit Taktkettenstruktur am universellsten anwendbar ist. Es werden damit die Voraussetzungen geschaffen, Schaltungen mit vorgefertigten Baugruppen aufzubauen und Programmänderungen in bestimmten Grenzen zuzulassen.

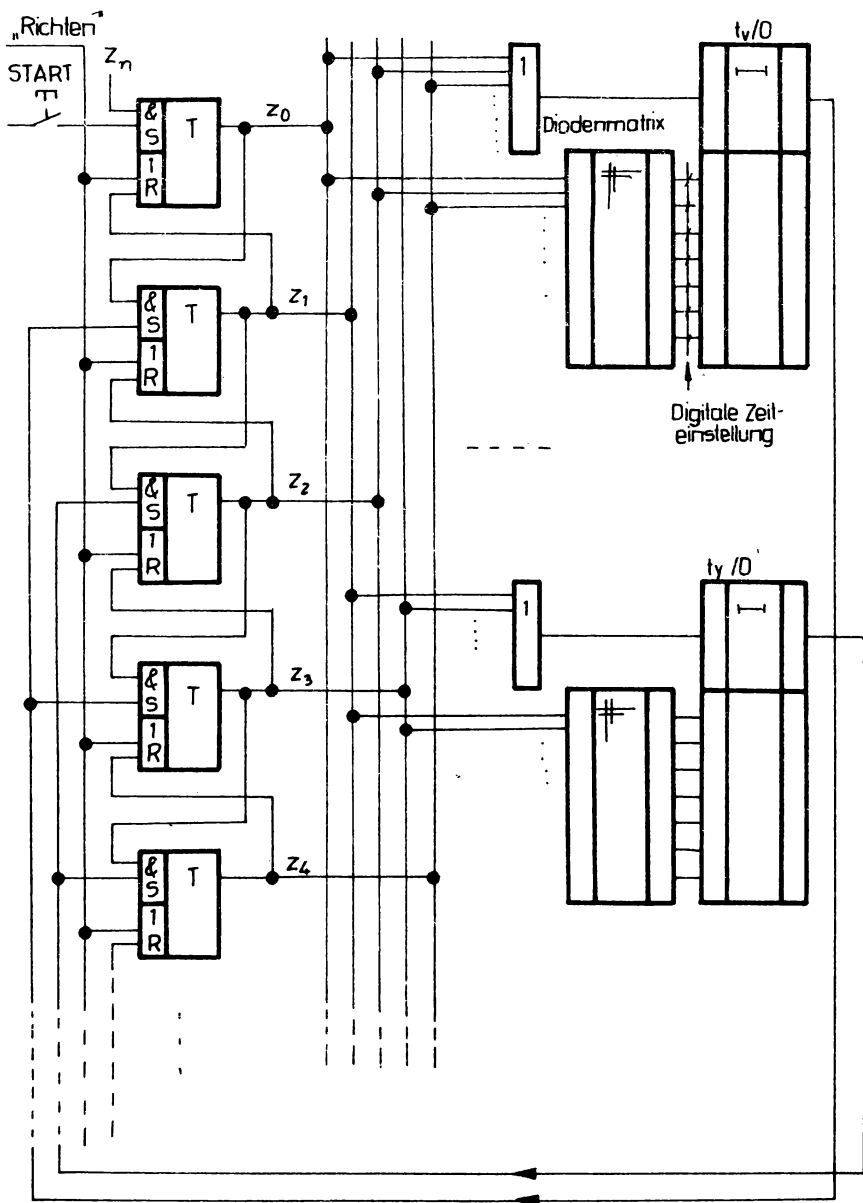


Bild 4.2.6: Zeitplansteuerung mit Taktkettenstruktur und digital programmierbaren Signalverzögerern

Der Entwurf speicherprogrammierter Steuerungen wird in der Zukunft nach ähnlichen Prinzipien erfolgen. Bestimmte Standardschaltungen werden dann nicht mehr als vorgefertigte Baugruppen sondern als Programmbausteine im Rahmen der software angeboten.

Für den prinzipiellen Schaltungsentwurf ergeben sich damit keine Veränderungen, lediglich die Form der Schaltungsbeschreibung wird sich verstärkt auf Programmablaufpläne und Schaltfunktionen orientieren.

Lösungen zu den Aufgaben

A 2.1. Der Wirkungsplan ist in Bild A 2.1. dargestellt, die mit x gekennzeichneten Programmschrittwechsel können sich auf Grund von Veränderungen der Stellzeit von Kolben 2, 3 und 4 gegeneinander verschieben.

Verriegelungsscheme

$y_{1.2}$	$\longleftrightarrow$	$y_{1.1}$
$y_{2.2}$	$\longleftrightarrow$	$y_{2.1}$
$y_{3.2}$	$\longleftrightarrow$	$y_{3.1}$
$y_{4.2}$	$\longleftrightarrow$	$y_{4.1}$

A 2.2. Für den in Bild 3.1 dargestellten Wirkungsplan ergeben sich die folgenden charakteristischen Zustände, die den einzelnen Takten entsprechen.

- | | |
|--|-------------------|
| 1. Takt : Kolben 1 bewegt sich nach rechts | ($y_{1.2} = 1$) |
| Kolben 2 linke Endlage | ($s_{1.2} = 1$) |
| Kolben 3 linke Endlage | ($s_{3.1} = 1$) |
| Kolben 4 linke Endlage | ($s_{4.1} = 1$) |
| 2. Takt : Kolben 1 rechte Endlage | ($s_{1.2} = 1$) |
| Kolben 2 bewegt sich nach rechts | ($y_{2.2} = 1$) |
| Kolben 3 linke Endlage | ($s_{3.1} = 1$) |
| Kolben 4 linke Endlage | ($s_{4.1} = 1$) |

usw.

Für einen Stellantrieb ergeben sich vier charakteristische Zustände.

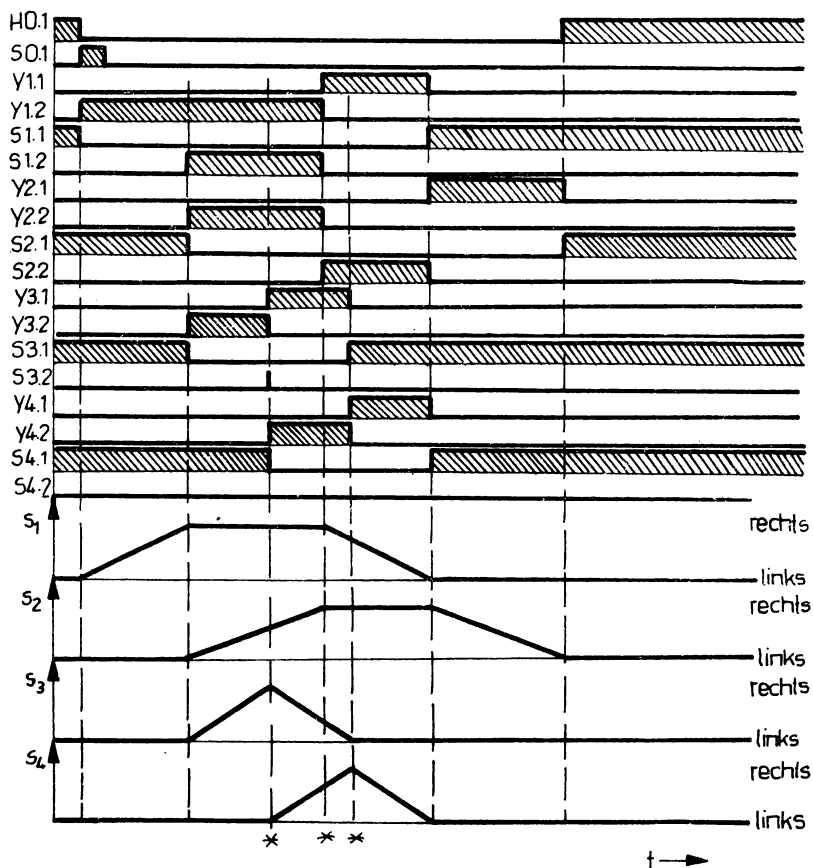


Bild A 2.1: Wirkungsplan zum Beispiel im Abschnitt 2.2.

Kolben i linke Endlage ($y_{i.2}=0$, $y_{i.1}=0$, $s_{i.1}=1$, $s_{i.2}=0$)

Kolben i bewegt sich nach rechts ($y_{i.2}=1$, $y_{i.1}=0$, $s_{i.1}=0$,
 $s_{i.2}=0$)

Kolben i rechte Endlage ($y_{i.2}=0$, $y_{i.1}=0$, $s_{i.1}=0$, $s_{i.2}=1$)

Kolben i bewegt sich nach links ($y_{i.2}=0$, $y_{i.1}=1$, $s_{i.1}=0$,
 $s_{i.2}=0$)

Die Anzahl der für vier Kolben möglichen Zustände ist
 $4^4 = 256$.

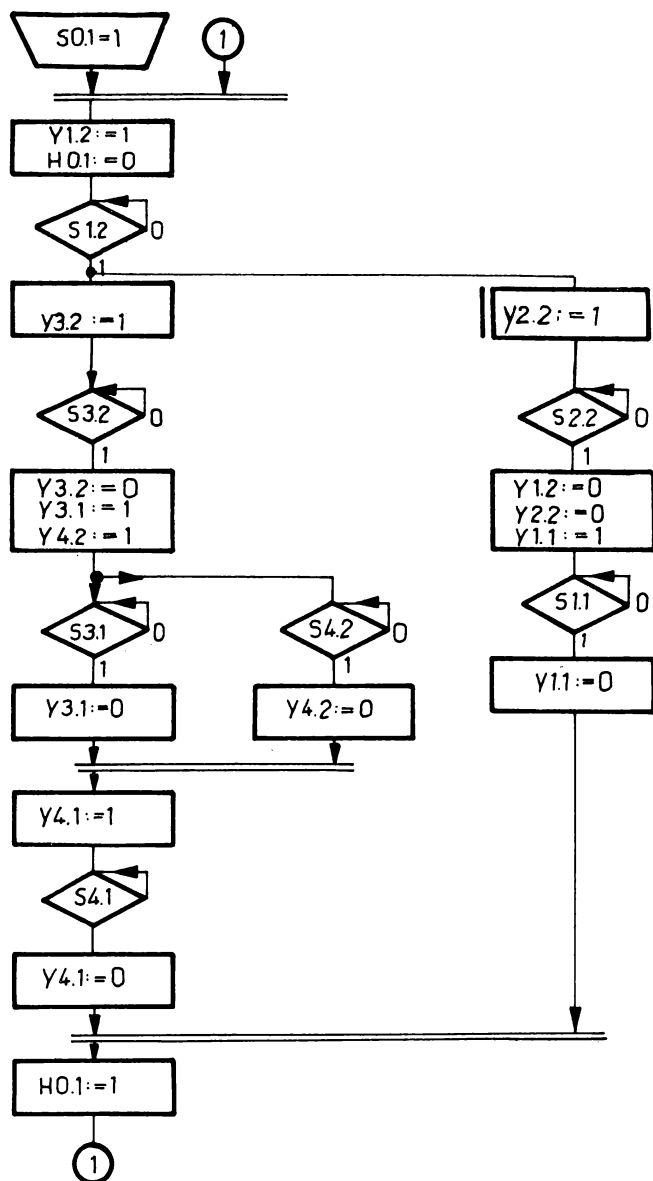


Bild A 2.3.1: Programmablaufplan zum Beispiel in Abschnitt 2.2.

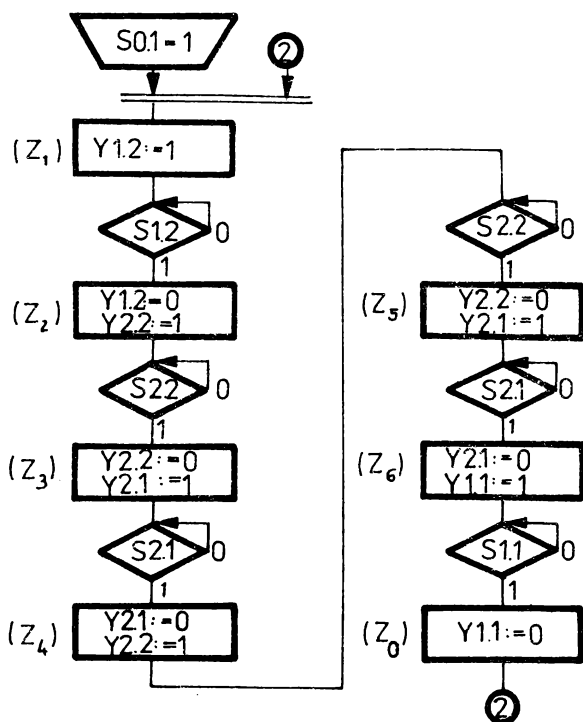


Bild 2.3.2: Programmablaufplan zum Beispiel in Abschnitt 2.3.

A 2.4.

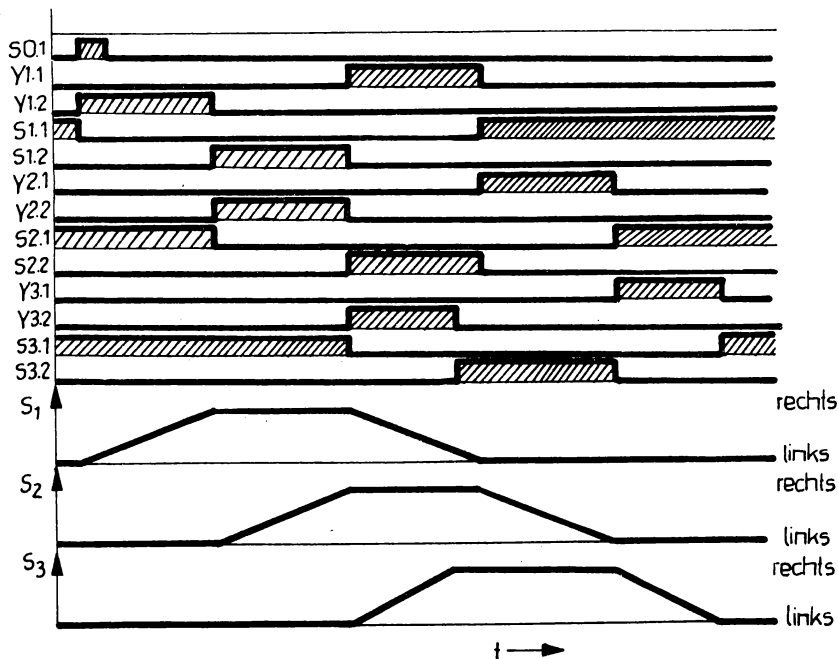


Bild A 2.4: Wirkungsplan für das Beispiel 2.4.

A 3.1. Schaltungsentwicklung zu Beispiel 3.1. in Kontaktschaltungstechnik:

Allgemeine Überföhrungsfunktion für Dominierend-Aus.

$$y := (s \vee y)$$

$$(y_{1.2}) : Q \ 1.2 := (S01. \ S1.1 \ S2.1 \vee Q1.2) \overline{S1.2} \vee Q1.1 \ \overline{Q2.1} \vee Q2.2$$

$$Q \ 1.2 := (S0.1 \ S1.1 \ S2.1 \vee Q1.2) \ \overline{S1.2} \ \overline{Q1.1} \ \overline{Q2.1} \ \overline{Q2.2}$$

$$(z_{1.1}) : K \ 1.1 := (S2.2 \vee K1.1) \ S1.2$$

$$(y_{1.1}) : Q \ 1.1 := (S2.1 \ K1.1 \vee Q1.1) \ \overline{S1.1} \ \overline{Q1.2} \ \overline{Q2.1} \ \overline{Q2.2}$$

$$(y_{2.2}) : Q \ 2.2 := (S1.2 \ \overline{K1.1} \vee Q2.2) \ \overline{S2.2} \ \overline{Q1.1} \ \overline{Q1.2} \ \overline{Q2.2}$$

$$(y_{2.1}) : Q \ 2.1 := (S2.2 \vee Q2.1) \ \overline{S2.1} \ \overline{Q1.1} \ \overline{Q1.2} \ \overline{Q2.1}$$

Steuerschaltung									
Kolben 1			Kolben 2			Leistungskreis			
Hilfsrelais			rechts		links	Kolben 1		Kolben 2	
rechts		links				links	rechts	links	rechts

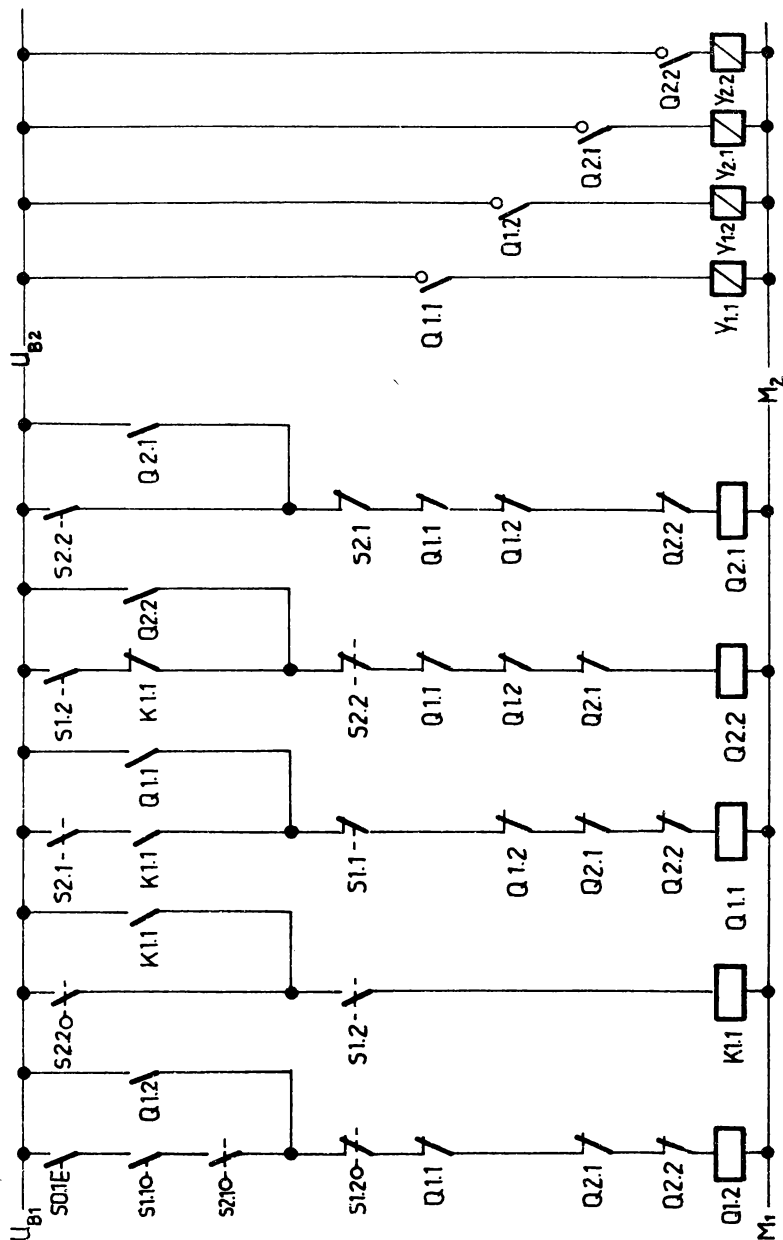


Bild A 3.1: Stromlaufplan zu Beispiel 3.1. (ohne Programmsteuerwerk)

A 3.2. Schaltungsentwicklung zu Beispiel 3.1. (Bild 3.2.2) in Kontaktschaltungstechnik.

$$(z_1) \quad K1 := (S0.1 \ K0 \vee K1) \overline{K2} \ \overline{R_i}$$

$$(z_2) \quad K2 := (S1.2 \ K1 \vee K2) \overline{K3} \ \overline{R_i}$$

$$(z_3) \quad K3 := (S2.2 \ K2 \vee K3) \overline{K4} \ \overline{R_i}$$

$$(z_4) \quad K4 := (S2.1 \ K3 \vee K4) \overline{K0} \ \overline{R_i}$$

$$(z_0) \quad K0 := (S1.1 \ K4 \vee R_i \vee K0) \overline{K1}$$

$$(y_{1.1}) \quad Q1.1 := (K4 \vee Q1.1) \overline{K0} \ \overline{Q1.2} \ \overline{Q2.1} \ \overline{Q2.2}$$

$$(y_{1.2}) \quad Q1.2 := (K1 \vee Q1.2) \overline{K2} \ \overline{Q1.1} \ \overline{Q2.1} \ \overline{Q2.2}$$

$$(y_{2.1}) \quad Q2.1 := (K3 \vee Q2.1) \overline{K4} \ \overline{Q1.1} \ \overline{Q1.2} \ \overline{Q2.2}$$

$$(y_{2.2}) \quad Q2.2 := (K2 \vee Q2.2) \overline{K3} \ \overline{Q1.1} \ \overline{Q1.2} \ \overline{Q2.1}$$

Steuerschaltung									
Taktstellenschaltung					Kolben 1				
Ruhetakt	1. Takt	2. Takt	3. Takt	4. Takt	links	rechts	links	rechts	

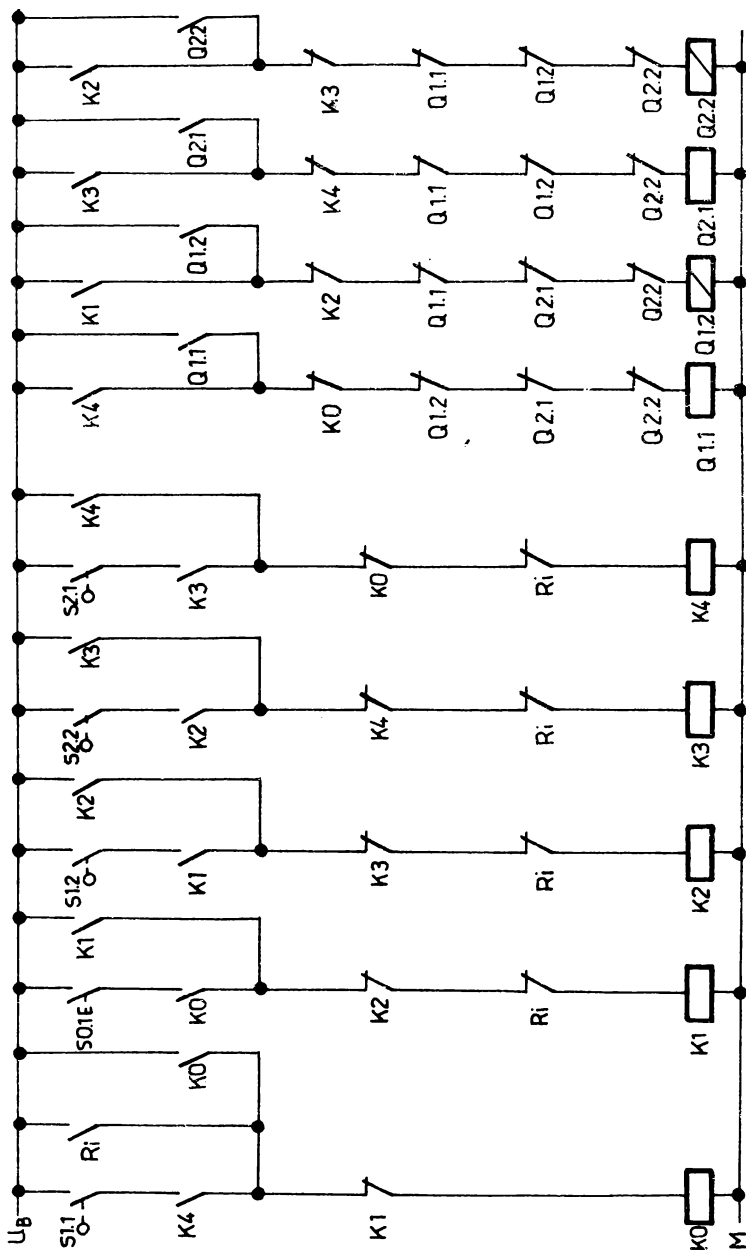


Bild A 3.2: Stromlaufplan zu Beispiel 3.1. (mit Programmsteuerwerk)

A 3. 3.

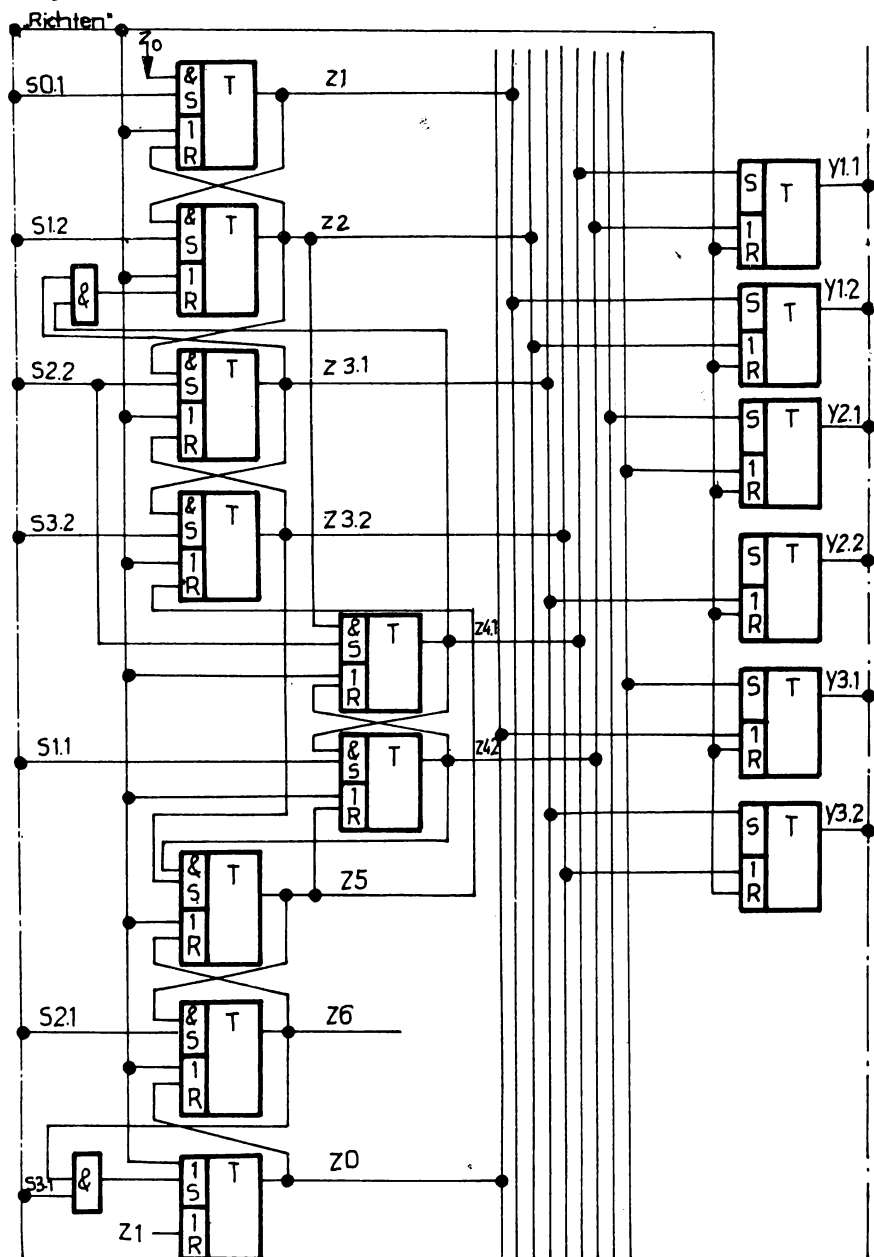


Bild A 3.3: Signalflußplan zu Beispiel 2.4.)

A 3.4.

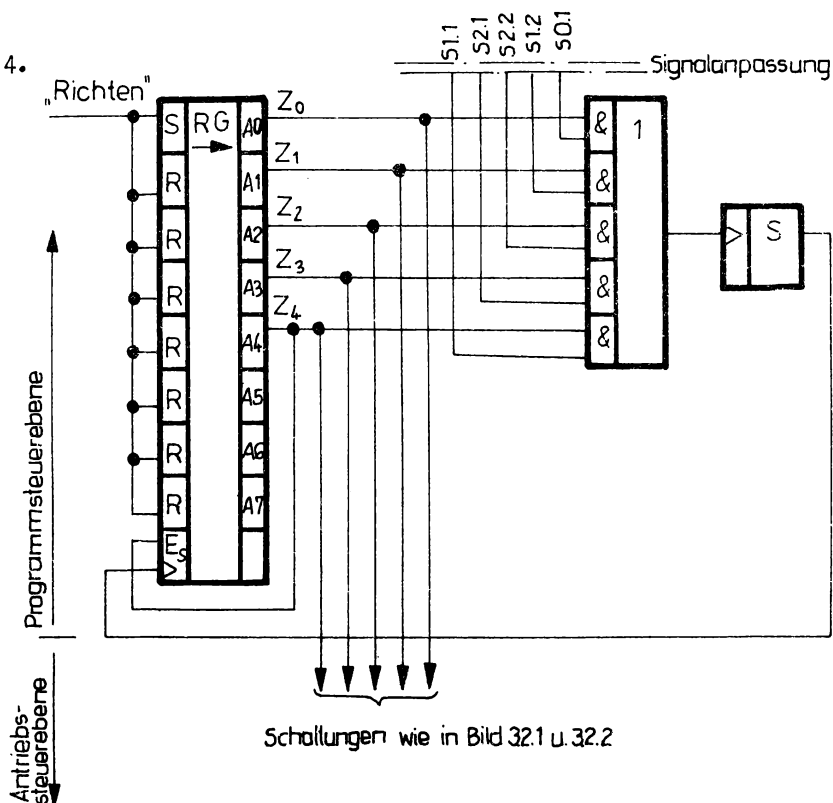


Bild A 3.4: Programmsteuerung mit Umlaufregister für Beispiel 3.1.

A 4.1.

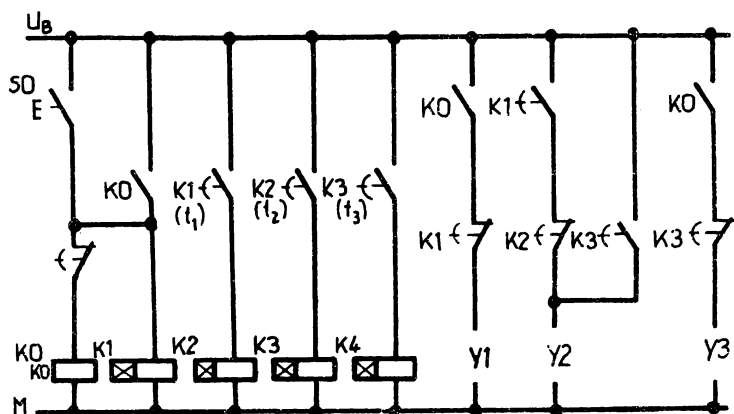


Bild A 4.1: Stromlaufplan zu Beispiel 4.2. (Bild 4.2.1.)

Literaturverzeichnis

- /1/ Schaltalgebra und Synthese von Kombinationsschaltungen / G. Fischer.- Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR 1979, Bestell-Nr. 03 1016 01 0
- /2/ Analyse und Synthese sequentieller Schaltungen / H.-J. Mewes.- Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR 1980, Bestell-Nr. 03 1016 02 0
- /3/ Binäre Antriebssteuerungen / H.-J. Mewes.- Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR 1980, Bestell-Nr. 03 1016 03 0
- /4/ Die Technik der elektrischen Antriebe - Grundlagen, VEM Handbuch / Autorenkollektiv
- /5/ Die Beschreibung der Funktion industrieller Steuerungssysteme mit vorwiegend fester logischer Struktur / K. Heß.- In: Der VEM-Elektro-Anlagenbau.- 10(1974)4.- S. 170 - 180
- /6/ Der Programmablaufplan - ein effektives Arbeitsmittel für die Planung, Projektierung, Beschreibung, Prüfung, Inbetriebnahme und Wartung industrieller Steuerungen / E. Habiger; K. Heß.- In: Der VEB-Elektro-Anlagenbau.- 12(1976)1.- S. 1 - 9
- /7/ Richtlinie zur Projektierung mit DRELOBA-Standardseinheiten / Autorenkollektiv.- Dresden: VEB Reglerwerke Dresden
- /8/ Einsatz des Baugruppensystems ursalog 4000 zur Realisierung der Funktionsverknüpfungsebene / K. Wiechert; A. Schulze.- In: Der VEM-Elektro-Anlagenbau.- 15(1979)1.- S. 16 - 21
- /9/ Automatisierte Elektroantriebe / R. Schönfeld; E. Habiger.- 1. Auflage.- Berlin: VEB Verlag Technik 1981
- /10/ Zur Situation auf dem Gebiet des Entwurfs von Binärsteuerungen / H.-J. Zander.- In: msr.- 27(1984)8.- S. 341 - 347

Ergänzungen zu ausgewählten Abschnitten

Einleitung

Seit der Manuskriptbearbeitung des vorliegenden Lehrbriefes sind ca. fünf Jahre vergangen, in denen sich die materielle Basis für die Realisierung industrieller Steuerungen stark verändert hat. Die Ursache dafür liegt in der Entwicklung der Mikroelektronik und der darauf aufbauenden Gerätetechniken wie Mikrorechner und Speicherprogrammierbare Steuerungen. Bei der Analyse der damit im Zusammenhang stehenden Entwurfsverfahren läßt sich feststellen, daß die in den vorliegenden Lehrbriefen dargelegten Prinzipien beibehalten und weiterentwickelt wurden. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Anpassung der Darstellungen an die Bildschirmtechnik, die weitere konsequente hierarchische Strukturierung der Automatisierungseinrichtung sowie die Standardisierung von Teilschaltungen, die zu komplexen spezifischen Problemlösungen zusammengesetzt werden können. Insgesamt hat die Automatisierung der Fertigungsprozesse als Einheit von Werkzeugmaschinen, Robotertechnik, Transport- und Lagereinrichtungen erheblich zugenommen. Damit im Zusammenhang steht die Forderung, solche automatisierten Fertigungseinrichtungen flexibel zu gestalten, damit eine schnelle Umrüstung auf andere Produkte erfolgen kann. Für den Steuerungstechniker bedeutet das, den Einsatz programmierbarer Steuerungen weiter zu forcieren und seine Schaltungsentwürfe so zu gestalten, daß sie "durchsichtig" und leicht änderbar sind.

In diesem Anhang soll dargelegt werden, welche Änderungen sich in der Methode und den Darstellungen ergeben haben, bzw. welche Ergänzungen notwendig geworden sind.

Ergänzung zu Abschnitt 2.4.

Aus dem bereits beschriebenen Programmablaufplan entstand der sogenannte Funktionsplan /9/. Diese Darstellungsart beinhaltet die systemneutrale Beschreibung des Verhaltens einer Steuerung.

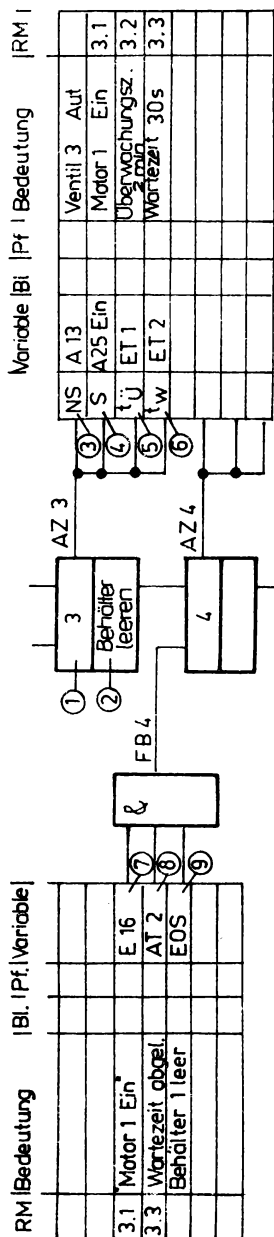
Für sequentielle und kombinatorische Schaltungen kommen die bereits bekannten Logiksymbole zur Anwendung, und für Programmsteuerungen wurden zusätzliche Symbole für den Schritt bzw. Takt und den Befehl eingeführt. Der Schritt entspricht in seiner inhaltlichen Bedeutung der Operation des Programmablaufplanes. Mit den Befehlen wird deutlich gemacht, welche Wirkungen im technologischen Prozeß durch die Antriebe realisiert werden, bzw. welche Reaktionen in anderen Struktureinheiten unserer Steuereinrichtung (Zeitwerke, Zählwerke u. ä.) erfolgen sollen. Die Kontrolle über die während des Schrittes zu erreichende Veränderung erfolgt durch die Zusammenfassung der Rückmeldungen als Fortschalt- bzw. Weiterschaltbedingung für den nächsten Schritt.

Eine besondere Stellung nimmt der Befehl "Überwachen" ein. Damit soll deutlich gemacht werden, daß bei störungsfreiem Betrieb die Zeitdauer eines Schrittes technologisch bestimmt ist. Ist die tatsächliche Schrittdauer größer, so führt das bei einer Schrittüberwachung zu einer Störungsmeldung, die entsprechend dem Störregime verschiedenartig ausgewertet werden kann.

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Befehle und Rückmeldungen erfolgt in Bild 1. Das Zusammenwirken zwischen den verschiedenen Funktionseinheiten soll Bild 2 deutlich machen.

Eine weitere Veränderung ergibt sich für die Festlegung der Setzbedingung des 1. Schrittes. Bisher war dafür das Startsignal und der Ruhezustand der Steuereinrichtung als ausreichende Bedingung angenommen worden. Diese Bedingung sollte jedoch generell um alle Signale erweitert werden, die den technologischen Ruhezustand der Anlage charakterisierten. Damit wird berücksichtigt, daß sich im Falle einer durchgeführten Hand- oder Vor-Ort-Steuerung die technologische Anlage nicht in einem für Automatikbetrieb startfähigen Zustand befinden kann. Ein START in den Automatikbetrieb ist dann ohne vorherige Korrektur des technologischen Zustandes nicht möglich. Die Setzbedingung für den 1. Schritt ergibt sich damit für den PAP im Bild 2.4.1 wie folgt:

$$S\ 0.1 \wedge S\ 1.1 \wedge S\ 2.1 \wedge S\ 3.1 \wedge S\ 4.1 \wedge Z0$$



① Nr. des technologischen Schrittes bzw. Taktes

② technologische Bedeutung des Taktes

③ Befehlsausgabe an eine nichtspeichernde Einzelantriebssteuerung

④ Befehlsausgabe an eine speichernde Einzelantriebssteuerung

⑤ Zeitüberwachung des Taktes; überschreitet die Taktdauer die vorgabeine Überwachungszeit, erfolgt eine Störungsmeldung mit Speicherung

⑥ Wartezeit zwischen 3. + 4. Takt
4. Takt kann erst 30s nach Beginn des 3. Taktes ausgeführt werden

⑦ Rückmeldung über Ausführung des Befehls 4. / Marke 3.1

⑧ Rückmeldung über Wartezeit abgelaufen / Marke 3.3

⑨ technologische Bedingung für die Ausführung des nächsten technologischen Taktes ist erfüllt

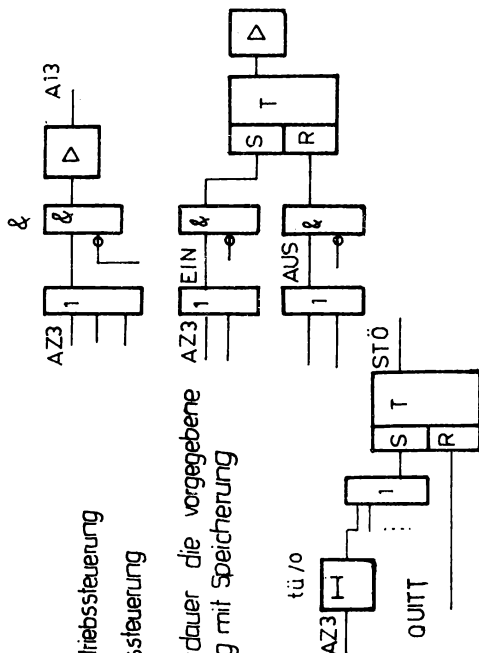


Bild 1: Befehle und Rückmeldungen im Funktionsplan

Ergänzung zu Abschnitt 3.2.1.

Ergänzend zu den bereits beschriebenen Schaltungen hat sich bei den Standardschaltungen für die Programmsteuerwerke eine besondere Variante für den Schritt "0" durchgesetzt. Der Schritt "0" charakterisiert den Ruhezustand des Programmsteuerwerks. Da in den gegenwärtigen steuerungstechnischen Einrichtungen nach Einschalten der Versorgungsspannung ein automatischer Richtimpuls gebildet wird, der alle Speicher zurücksetzt, ist keine Lösung mehr möglich, die dem Schritt "C" den gesetzten Zustand eines Speichers zuordnet. Als "Ersatzlösungen" sind zwei Schaltungsvarianten üblich. Die erste Variante definiert den Schritt "0" als den Schaltzustand, bei dem alle übrigen Schrittspeicher zurückgesetzt sind. Die Fortschaltbedingung für den Schritt "0" muß dann zur Rücksetzbedingung für den letzten Schritt oder für das gesamte Programmsteuerwerk werden. Bei der zweiten Variante wird dem Schritt "0" ein Speicher zugeordnet, der immer gesetzt ist, wenn der Schritt "0" nicht aktualisiert ist.

Dieser Speicher wird durch den ersten Schrittspeicher gesetzt und gleichzeitig mit dem letzten Schrittspeicher zurückgesetzt. In den weiteren Ausführungen wird der ersten Variante der Vorzug gegeben.

In den Bildern 3 bis 5 sind Problemlösungen für verschiedene Programmstrukturen, ausgehend von den Funktionsplänen, dargestellt. Die Bezeichnungen "Takt" bzw. "Schritt" sollen dabei als inhaltlich gleichwertig angenommen werden.

A u f g a b e

A 1. Vervollständigen Sie die in den Bildern A 1 und A 2 dargestellten Taktketten so, daß ihre Funktionen den dargestellten Funktionsplänen entsprechen!

Ergänzung zu Abschnitt 3.2.2.2.

Auch hier gilt die Festlegung, daß das Richten selbsttätig erfolgt und zu einem "0"-Signal für alle Ausgänge führt. Dementsprechend wird der Schritt "0" dieser Ausgangsbelegung zugeordnet.

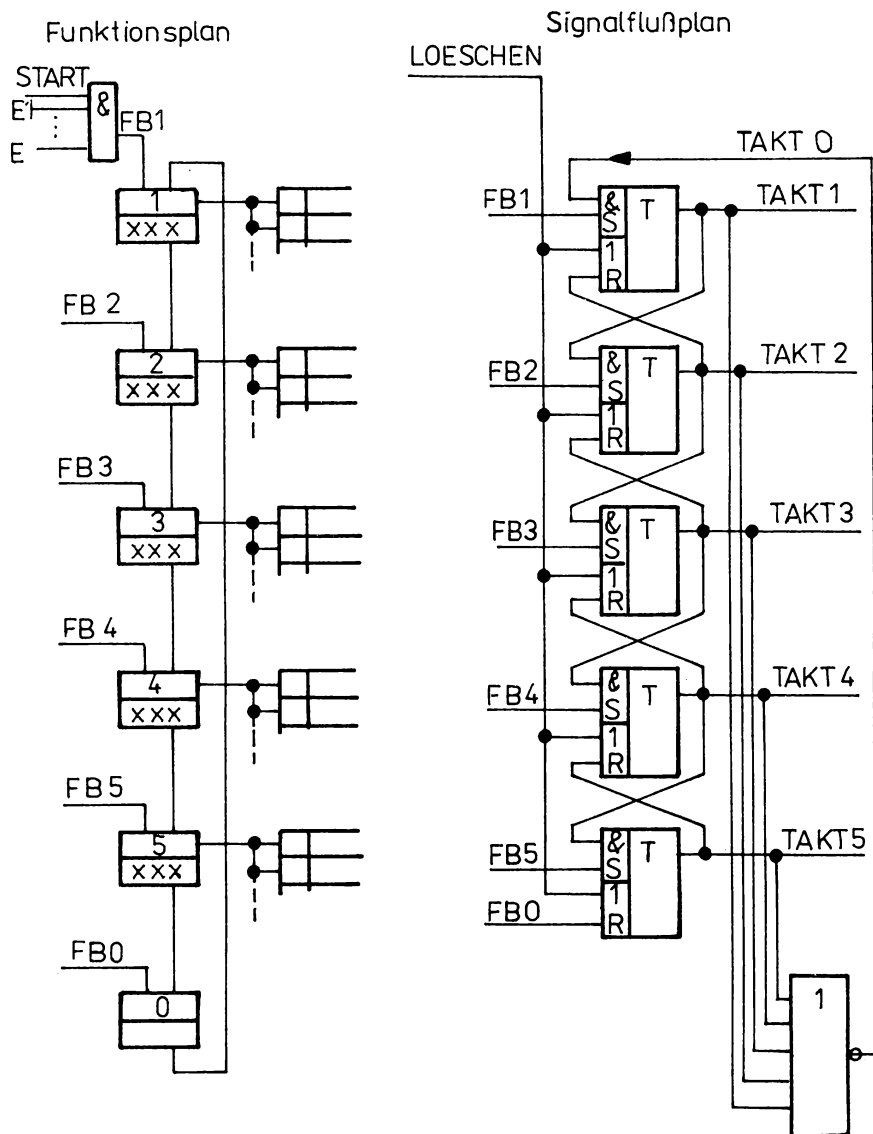


Bild 3: Lineares Programm



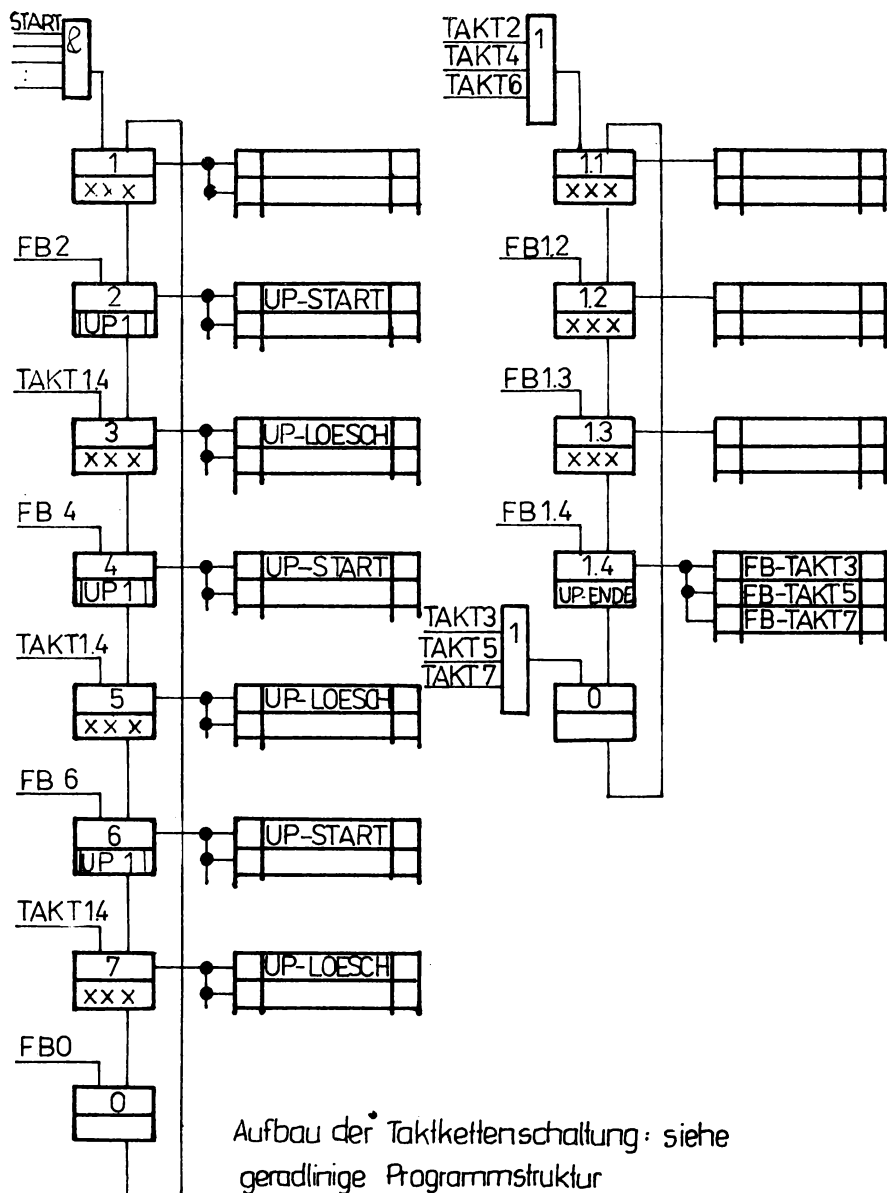


Bild 5: Lineares Programm mit Unterprogramm

Funktionsplan

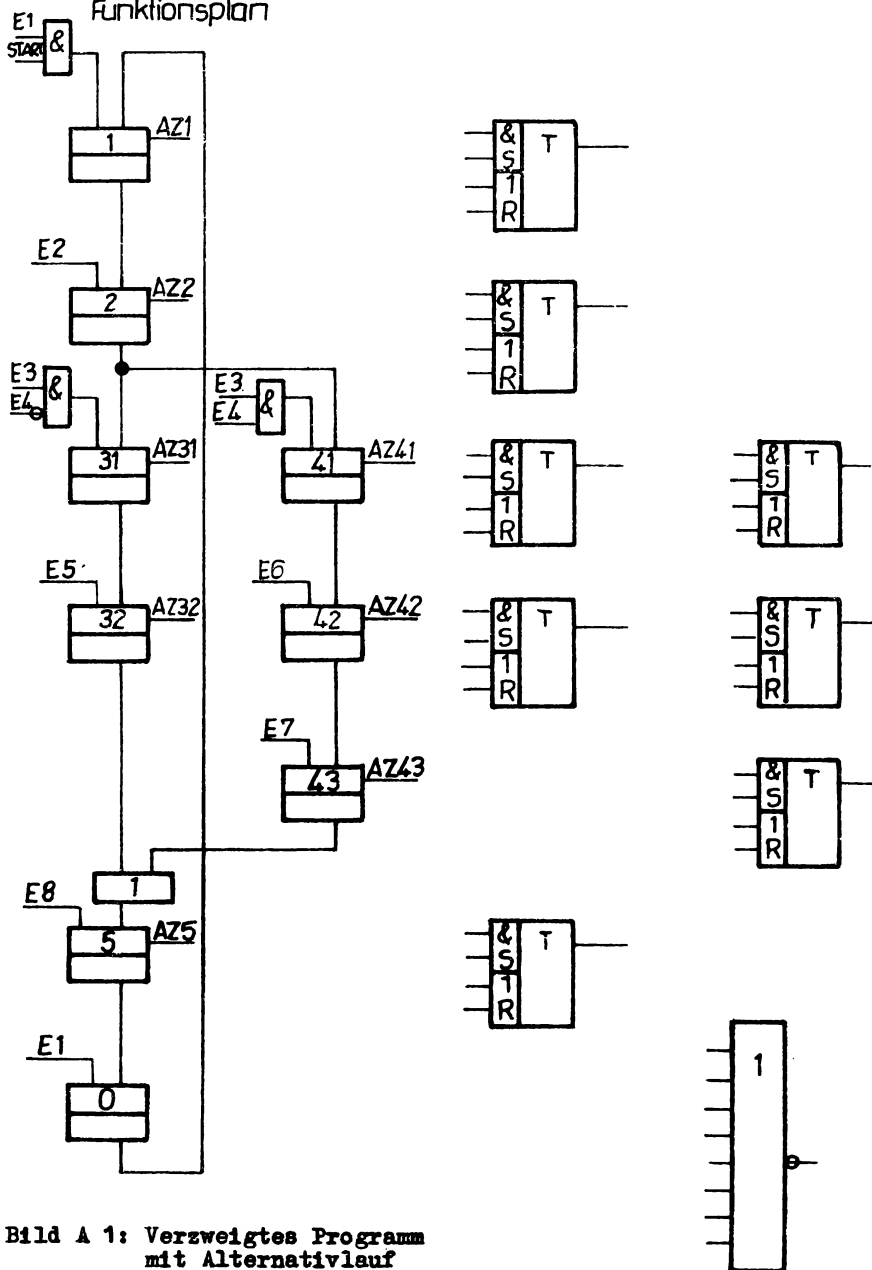


Bild A 1: Verzweigtes Programm mit Alternativlauf

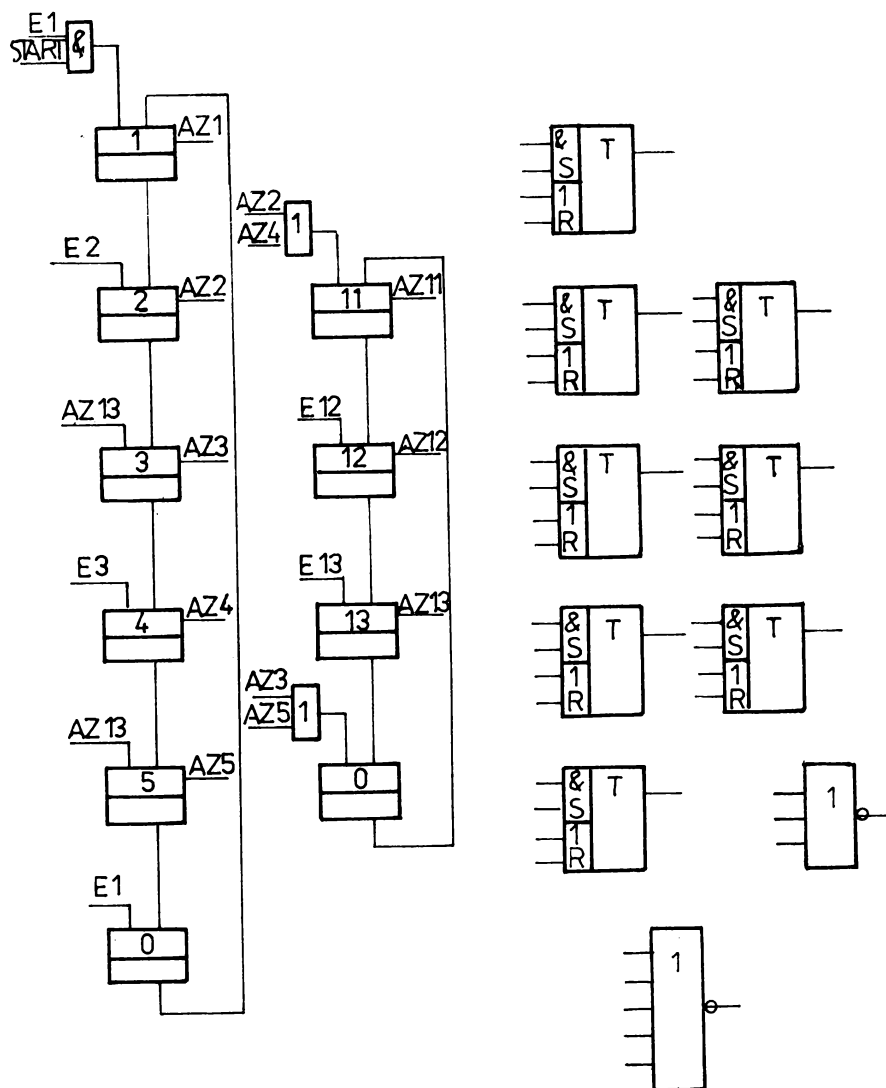


Bild A 2: Lineares Programm mit Unterprogramm

net und durch logische Verknüpfung aller Ausgangssignale des Registers gebildet, die für das Programmsteuerwerk genutzt werden.

Im Bild 6 ist ein Schaltungsbeispiel für ein Programmsteuerwerk mit zeit- und prozeßabhängigen Schritten dargestellt. Die Bildung der Ausgangssignale in der Antriebsstauerebene erfolgt in diesem Falle nichtspeichernd. Eine weitere Veränderung hat sich beim praktischen Betrieb dieser Standardschaltung als zweckmäßig erwiesen. Statt des angegebenen monostabilen Multivibrators sollte ein Zeitglied mit Ein- und Ausschaltverzögerung zur Anwendung kommen. Durch die Einschaltverzögerung werden alle dynamischen Störeinflüsse seitens der Eingangssignale ausgefiltert, und die Ausschaltverzögerung bestimmt die notwendige Mindestimpulsdauer des Taktsignals.

A u f g a b e

- A 2. Verändern Sie die im Bild 3.3.2. dargestellte Schaltung so, daß sie der Prinzipiösung von Bild 6 entspricht!