

# FACHSCHUL- FERNSTUDIUM

Bernert

## **Digitale Schaltungstechnik 4**

Herausgeber:

**Ingenieurschule für  
Maschinenbau und  
Elektrotechnik, Berlin**

03 1132 04 0

FACHSCHUL -  
FERNSTUDIUM

Bernert

DIGITALE  
SCHALTUNGSTECHNIK

4

Realisierung sequentieller  
Schaltungen mit Standard-Triggern

Herausgeber:  
Ingenieurschule für  
Maschinenbau und  
Elektrotechnik, Berlin

03 1132 04 0

Dieser Lehrbrief wurde

verfaßt von:

FSL Dipl.-Ing. Peter B e r n e r t  
Ingenieurschule für Maschinenbau und Elektrotechnik  
Berlin

lektoriert von:

FSD Dr. Herbert A l t e n k i r c h  
Ingenieurschule für Maschinenbau und Elektrotechnik  
Berlin

bearbeitet von:

Dr.-Ing. Heinz T i e f e n s e e  
Ingenieurschule für Maschinenbau und Elektrotechnik  
Berlin

Redaktionssechluß: 15.1.1981

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1.       Sequentielle Schaltungen mit konzentrierten Speicherelementen (Triggern)	5
1.1.     Klassifizierung und Wirkungsweise von Triggerschaltungen	5
1.1.1.   Speichertrigger	5
1.1.2.   Komplex-Trigger	7
1.1.2.1. Ansteuerlogik KS 1	8
1.1.2.2. Stabilität von Triggerschaltungen	11
1.1.2.3. Taktung von Triggern	12
1.1.2.4. Flankengesteuerte (dynamische) Trigger	14
1.1.2.5. Zwischenspeicher-Trigger (Master-Slave- Trigger)	18
1.1.2.6. Mehrtakt-Trigger (Schaltungen)	19
1.1.3.   Zusammenstellung der Schaltungen und Wirkungsweise synchroner dynamisch und master-slave gesteuerter Trigger	20
1.1.3.1. Klassifizierungstabelle	20
1.1.3.2. Überführungstabelle	21
1.1.3.3. Ausgeführte Trigger-Typen	23
Übungsaufgaben und Lösungen zum Abschnitt 1.1.	24
Lösungen zu den Übungsaufgaben	26
2.       Rechnerischer Entwurf sequentieller Bau- gruppen mit synchron getakteten Triggern	29
3.       Ausgewählte Beispiele sequentieller Schaltungen	33
3.1.     Schieberegister-Schaltungen	33
3.2.     Synchronzählschaltung mit fester innerer Zustandsfolge	36
3.3.     Synchronzählschaltung mit umschaltbarer innerer Zustandsfolge	38
Übungsaufgaben und Lösungen	41

## Verzeichnis der Kurzzeichen

a	Zahl der Ausgangsleitungen
c	Taktvariable
e	Zahl der Eingangsleitungen
DNF	Disjunktive Normalform einer Schaltfunktion
i	Zählindex, Zahl der Verbindungsleitungen
KNF	Konjunktive Normalform einer Schaltfunktion
KS	Kombinatorische Schaltung
T	Trigger
TT	
t	Zeitvariable
$\Delta t_k$	k-ter Zeitabschnitt
$X$	Eingangszustand
$X_i$	i-ter Eingangszustand
$X^k$	Eingangszustand im Zeitabschnitt $t_k$
x	Eingangsvariable
Y	Innerer Zustand
y	innere Zustandsvariable
Z	Ausgangszustand
z	Ausgangsvariable
$\sigma$	Überföhrungsfunktion
$\lambda$	Ausgangsfunktion
$\alpha$	} Kodierungssymbole für $Y^{k-1} \rightarrow Y^k$
$\beta$	
$\delta$	
$\gamma$	
l	Anzahl (der Ausgangsvariablen)
m	Anzahl (der inneren Variablen)
n	Anzahl (der Eingangsvariablen)
r	Signalvariable des Rücksetzeinganges, Zahl der Rückföhrungsleitungen
s	Signalvariable des Setzeinganges
SP	Speicherblock
SS	Sequentielle Schaltung

## 1. Sequentielle Schaltungen mit konzentrierten Speicherelementen (Triggern)

Kenntnisse über die Struktur sequentieller Schaltungen werden vorausgesetzt. In diesem Lehrbrief wird auf den praktischen Entwurf sowie auf seine Realisierung eingegangen.

In den von der Halbleiterindustrie angebotenen Schaltkreisfamilien werden sowohl in Bipolar- sowie Unipolartechnik sequentielle Schaltungen mit den Integrationsgraden SSI, MSI und LSI angeboten. Es wird vor allem auf die Verwendung von SSI- und in einigen Fällen MSI-Schaltkreisen eingegangen. Eine eingehendere Behandlung von MSI- und vor allem LSI-Schaltkreisen muß in einer weiteren Arbeitsunterlage vorenthalten bleiben.

### 1.1. Klassifizierung und Wirkungsweise von Triggerschaltungen

#### 1.1.1. Speichertrigger

Dieser Abschnitt erklärt das Verhalten zweier mitgekoppelter Schaltstufen, die man als RS-Trigger, häufig auch als Elementar-Trigger bezeichnet. Bild 1 zeigt die beiden als SSI-Schaltkreise häufig realisierten Varianten mit ihren verkürzten Überführungstabellen.

Zur Besonderheit der Elementar-Trigger gehört folgendes Verhalten:

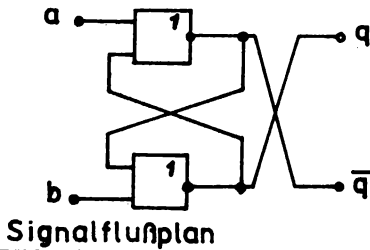
- Bei Anlegen der Eingangssignale erfolgt entsprechend der Überführungstabelle sofort<sup>1)</sup> eine Reaktion am Ausgang.
- Jeweils bei einer Eingangsbelegung wird der vorher bestehende Ausgangszustand gehalten ( $q^{k-1}$ , speichern).
- Eine von den vier möglichen Eingangsbelegungen wird nicht zugelassen, da beim Wechsel dieser Eingangsbelegung auf ihren komplementären Wert praktisch immer eine nicht vorher bestimmbare Eingangsbelegung durchlaufen wird und sich daraus folgend ein nicht vorher bestimmbarer Ausgangszustand einstellt.

---

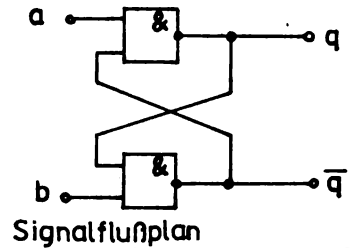
<sup>1)</sup> Hierbei wurde die Eigenlaufzeit der Gatter vernachlässigt.

# RS - Trigger (Elementar - Trigger)

## NOR - Realisierung



## NAND - Realisierung



	a	b	a	q
	0	0	0	$q^{k-1}$
	0	1	1	1
	1	0	0	0
	1	1	1	-

Symbol      Überföhrs. - Tab.

	a	b	a	q
	0	0	0	-
	0	1	0	0
	1	0	1	1
	1	1	1	$q^{k-1}$

Symbol      Überföhrs. - Tab.

Bild 1 RS-Elementar-Trigger

Da weiterhin bei dieser Belegung beide Ausgänge gleiches Signal föhren, wird die Negationsfunktion des 2. Ausganges aufgehoben.

Ein Kondensator z.B. zeigt bezöglich seiner Ladezustände ein ähnliches Verhalten wie ein Elementar-Trigger (Setzen, Speichern, Löschen)

Bild 2 stellt die grundsätzlichen Zusammenhänge dar.<sup>2)</sup>

	Eingang	$U_e$	Ausgang	$U_a$
	Einspeisung	$U(H)$	gesetzt (geladen)	$U(H)$
	Kurzschluß	$U(L)$	rückgesetzt (gelöscht)	$U(L)$
	offen	-	speichert	$U_a^{k-1}$
Schaltung      Überföhrungstabelle				

Bild 2 Kondensator als Speicherelement

<sup>2)</sup> Die Lade- bzw. Entladezeitkonstante werde vernachlässigt. Die Speicherzeitkonstante sei groß

Kondensator-Elementar-Speicher werden vor allem bei der Realisierung sequentieller Schaltungen in MOS-Technik verwendet. Man bezeichnet sie auch als sog. dynamische Speicher, da ihr Speicherinhalt entsprechend der Speicherzeitkonstante aufgefrischt werden muß. Die in der Überführungstabelle angegebenen drei Eingangszustände werden über wie Schaltkontakte wirkende MOS-Transistoren unter Verwendung von nur zwei Spannungspegeln  $U(H)$  (High-Pegel) und  $U(L)$  (Low-Pegel) sowie mehreren Taktspannungen realisiert. Näher wird hier auf den speziellen Schaltungsaufbau nicht eingegangen, da vor allem MOS-Speicher-Trigger in LSI-Schaltkreisen eingesetzt werden, und diese nicht Gegenstand dieses Lehrbriefes sind.

### 1.1.2. Komplex-Trigger

Zur Lösung der in der Technik existierenden Aufgabenstellungen müssen die Verhaltensweisen der Elementartrigger modifiziert werden. Solche modifizierten Trigger gehören heute zum Standardsortiment der gefertigten Schaltkreisfamilien. Es ist wichtig, daß der Anwender über die Funktion derartiger komplexer Trigger gut unterrichtet ist. Die Modifikation erfolgt grundsätzlich in folgenden Richtungen, die auch miteinander kombiniert werden.

- Zusätzliche logische Verknüpfung der TriggereingangsvARIABLEN durch eine sogen. Ansteuerlogik (KS 1 analog Bild 3)
- Veränderung der zeitlichen Wirkung (Ansteuerwirkung) der Eingangsvariablen (statische bzw. dynamische Wirkung)
- Nichtbenutzung oder Benutzung einer bzw. mehrerer Zeittaktvariablen, z.B. des Taktes C (asynchrone, synchrone Betriebsweise)

Im Bild 3 wird schematisch der Aufbau eines komplexen Triggers gezeigt, in dem die verschiedenen Variationsmöglichkeiten angedeutet sind.

Die eindeutige Triggerbezeichnung muß außer der Buchstabenbezeichnung der Eingänge eine Aussage über die zeitliche Steuerung sowie die synchrone bzw. asynchrone Betriebsweise enthalten.



Z.B.

Asynchroner	dynamischer	JK-Trigger
ohne Takt	dyn. gesteuert	zwei Steuereingänge mit JK-Vorsatzlogik

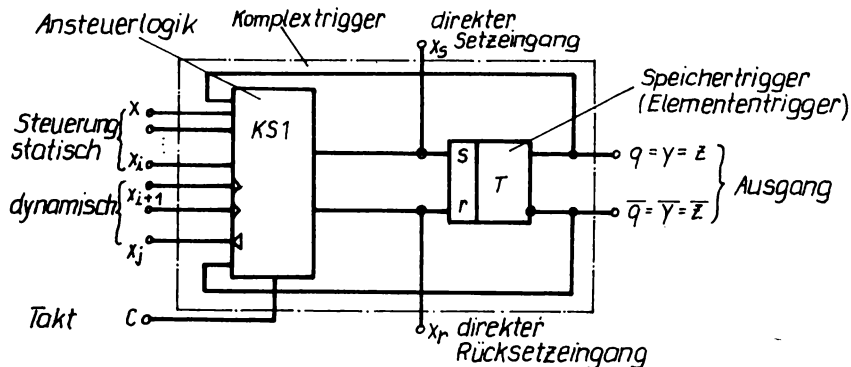


Bild 3 Prinzipieller Aufbau eines Komplex-Triggers

#### 1.1.2.1. Ansteuerlogik (KS 1)

Aus der Praxis haben sich die in Tabelle 1 angegebenen Forderungen für die Ansteuerlogik von Triggern ergeben. Die angeführ-

Trigger Steuerungs-Tabellen			
D	$x_1 = d^k$		$q^k$
	0		0
	1		1
T	$x_1 = t$		$q^k$
	0		$q^{k-1}$
	1		$\bar{q}^{k-1}$
JK	$x_1 = j^k$	$x_2 = k^k$	$q^k$
	0	0	$q^{k-1}$
	0	1	0
	1	0	1
	1	1	$\bar{q}^{k-1}$

ten Trigger besitzen einen bzw. zwei Steuereingänge. Zur Bezeichnung der Trigger werden die Buchstaben-Bezeichnungen der Eingänge verwendet. Diese leiten sich aus dem Anfangsbuchstaben des englischen Sprachgebrauchs ab und charakterisieren das Verhalten. So z.B.

R(eset) S(et)-Trigger (Rücksetz-Setz-Trigger)  
D(elay)-Trigger (Verzögerungstrigger)

	$x_1=s^k$	$x_2=l^k$	$q^k$
SL	0	0	$q^{k-1}$
	0	1	0
	1	0	1
	1	1	1
	$x_1=s^k$	$x_2=l^k$	$q^k$
EL	0	0	$q^{k-1}$
	0	1	0
	1	0	1
	1	1	0

Tabelle 1 Überführungstabelle der Komplextrigger

liegenden Zustand  $q^{k-1}$  abhängt. Man schreibt deshalb die in Tabelle 1 enthaltenen Schaltfolgetabellen nochmals unter Berücksichtigung des Zustands  $q^{k-1}$  als Eingangsvariable auf und ermittelt die Ansteuerfunktionen des Elementartriggers

$$s^k = f(x_2^k, x_1^k, q^{k-1})$$

$$r^k = f(x_2^k, x_1^k, q^{k-1}) .$$

In der erweiterten Überführungstabelle, z.B. Tabelle 2 und 3, sind dazu auch die notwendigen Belegungen der Eingänge des Elementar-Triggers  $r$  und  $s$  notiert. Der Inhalt der Spalten  $r$  und  $s$  ergibt sich aus der jeweiligen Überführungstabelle des Komplex-Triggers Tabelle 1 sowie aus der Funktionsweise des RS-Elementar-Triggers Bild 1.

Die technische Realisierung dieser logischen Ansteuerfunktionen durch ein logisches Netzwerk bildet die Ansteuerlogik. Zum besseren Verständnis der nachfolgend beschriebenen Steuervorgänge wird auch die Überföhrungsfunktion  $q^k = f(x_2, x_1, q^{k-1})$  ermittelt. Die Ergebnisse für D- und JK-Trigger sind den Bildern 4 und 5 sowie den Tabellen 2 und 3 zu entnehmen.

T(eiler)-Trigger usw.

SL- und EL-Trigger stellen sogen. Selbsthaltungen mit vorzugsweisem Speichern bzw. Löschen bei der Belegung

$x_1, x_2 = 1, 1$  dar.

Für den D- und JK-Trigger soll in Tabellen 2 und 3 sowie in den Bildern 4 und 5 gezeigt werden, wie die Ansteuerlogik bestimmt wird. Aus Tabelle 1 geht hervor, daß der Ausgangszustand  $q^k$  der Trigger zum Zeitpunkt  $k$  auch vom vorher

$q^{k-1}$	$d^k$	$q^k$	$s^k$	$r^k$
0	0	0	0	$\emptyset$
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	1	1	$\emptyset$	0

$q^{k-1}$	$d^k$
0	1
0	$\emptyset$
$s^k = d^k$	

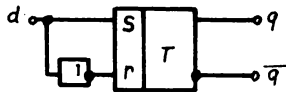
$q^{k-1}$	$d^k$
$\emptyset$	0
1	0
$r^k = \bar{d}^k$	

$q^{k-1}$	$d^k$
0	1
0	1
$q^k = d^k$	

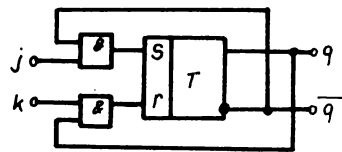
D-Trigger-Überführungstabelle

Tabelle 2

ausgelesene Funktionen



D-Trigger ungetaktet



JK-Trigger ungetaktet

Bild 4

Bild 5

$j^k$	$k^k$	$q^{k-1}$	$q^k$	$r^k$	$s^k$
0	0	0	0	$\emptyset$	0
0	0	1	1	0	$\emptyset$
0	1	0	0	$\emptyset$	0
0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1
1	0	1	1	0	$\emptyset$
1	1	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0

JK-Trigger-Überführungstabelle

$q^{k-1}$			
$\emptyset$	0	0	0
$k^k$	$\emptyset$	1	1
			$j^k$

$$r^k = k^k q^{k-1}$$

$q^{k-1}$			
0	$\emptyset$	$\emptyset$	1
$k^k$	0	0	0
			$j^k$

$$s^k = j^k \bar{q}^{k-1}$$

$q^{k-1}$			
0	1	1	1
$k^k$	0	0	0
			$j^k$

$$q^k = q^{k-1} k^k \vee \bar{q}^{k-1} j^k$$

ausgelesene Funktionen

Tabelle 3

### 1.1.2.2. Stabilität von Triggerschaltungen

Eine sinnvolle Wirkungsweise der Komplex-Trigger kann nicht immer allein durch ihre Ansteuerlogik erreicht werden, sondern sie fordert auch Maßnahmen bezüglich der zeitlichen Wirksamkeit der Steuersignale, was hier beispielgebend am D- und JK-Trigger dargestellt werden soll.

Bild 6 zeigt die Kontaktschaltung des D-Triggers, die sich sofort aus der Funktion  $q^k = d^k$  Tabelle 2 ergibt.

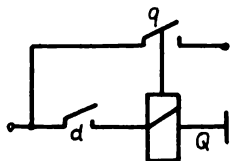


Bild 6 Ersatzschaltung des D-Triggers

Es ist zu erkennen, daß diese Funktion ihre sequentiellen Eigenschaften verloren hat. Es handelt sich lediglich um eine einfache Ein-Aus-Schaltung ohne Selbsthaltung (Tasterfunktion). Anwendung findet diese Schaltung zur Flankenversteilerung von Impulsen.

Die Kontaktschaltung des JK-Triggers ist entsprechend der in Tabelle 3 angegebenen Funktion für  $q^k$  in Bild 7 dargestellt

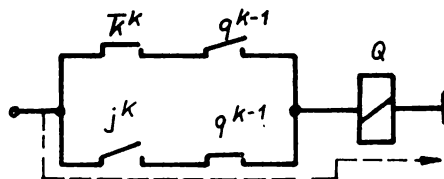


Bild 7 Ersatzschaltung des JK-Triggers

worden. Sie ist in Bezug auf ihre Wirkungsweise mit der in Bild 5 dargestellten Schaltung identisch. Beim Betrieb tritt ein für sogen. asynchrone Schaltungen typisches Stabilitätsproblem (Wettlaufproblem) auf. Bei der Eingangsbelegung

$/j, k/ = /1, 1/$  verhält

sich die Schaltung astabil, d.h. das Relais Q wird ständig zu- und abgeschaltet. Dies geschieht über den gestrichelt angedeuteten Weg. Da die angenommene Belegung entsprechend Tabelle 3 den Ausgangszustand  $q^{k-1}$  ergeben soll, ist die Schaltung in dieser Weise nicht einsetzbar.

Durch folgende steuerungstechnische Maßnahmen kann das astabile Verhalten beseitigt werden:

- kurzzeitiges ( $\Delta t_i$ ) impulsförmiges Wirken der Eingangsbelegung  $/j, k/ = /1, 1/\Delta t_i$
- Realisierung von Vor- bzw. Nachlaufzeiten der Kontakte  $q^{k-1}$  und  $\bar{q}^{k-1}$

Bild 8 zeigt das Impulsdiagramm der dynamisch gesteuerten Schaltung von Bild 7. Wie man sieht, wechselt nun das Relais bei

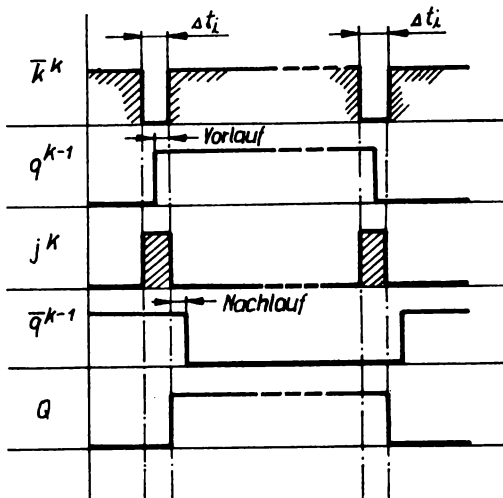


Bild 8 Impulsdiagramm eines dynamisch gesteuerten JK-Triggers

kurzzeitigem Anliegen von  $/j, k/ = /1, 1/\Delta t_i$  seinen vorhergehenden Zustand. Es wird sofort klar, daß für das richtige Arbeiten der Schaltung die Arbeitszeiten der Kontakte aufeinander abgestimmt sein müssen, sowie die Einwirkungszeit der Eingangsvariablen  $\Delta t_i$  ebenfalls nicht zu lang sein darf. In den folgenden Abschnitten soll gezeigt werden, wie die innerhalb von integrierten Schaltkreisen auftretenden Probleme der zeitlichen Steuerung elektronisch gelöst werden.

### 1.1.2.3. Taktung von Triggern

Am Beispiel des D-Triggers wird gezeigt, daß durch Einführung einer Taktvariablen bei der in 1.1.2.2. beschriebenen Schaltung der praktisch bedeutsame Auffangtrigger (synchroner D-Trigger) entsteht. Beim Auffangtrigger wird die Wirksamkeit der Eingangssignale der Speicher- oder Komplex-Trigger von der Taktvariablen C gesteuert.

Dies realisiert man durch Vorsetzen von UND-Gattern vor die Steuereingänge, die dann entsprechend der Belegung von C freigegeben oder gesperrt werden.

Beispiele für Auffangtrigger zeigen Bild 9 und Bild 10. Aus den zugehörigen Impulsdiagrammen ist ersichtlich, daß Auffangtrigger bei  $C = 1$  auf die Eingangsbelegung ansprechen und die so eingestellte Ausgangsbelegung während  $C = 0$  beibehalten. Das Haupteinsatzgebiet dieser Trigger liegt in der Rechentechnik. Dort können in verschiedenen, parallel angeordneten Gatterkaskaden beträchtliche Laufzeitunterschiede auftreten, die sich mit Hilfe von synchronisierenden Taktimpulssignalen in Verbindung mit einer Speicherung ausgleichen lassen.

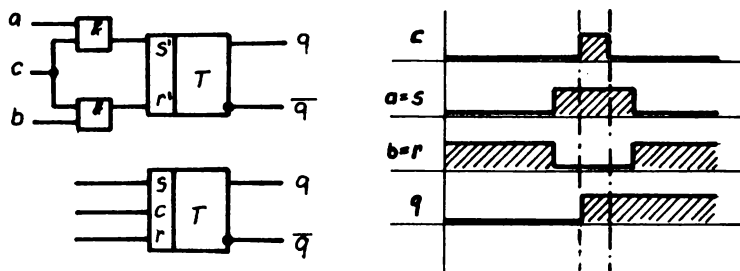


Bild 9 SR-Auffangtrigger (Aufbau, Symbol, Impulsdiagramm)

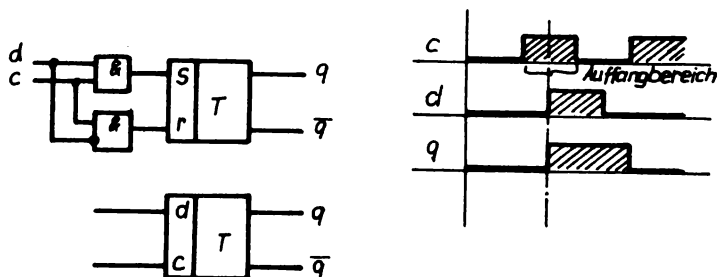


Bild 10 D-Auffangtrigger (Aufbau, Symbol, Impulsdiagramm)

Die Taktung (Verriegelung der Steuereingänge über UND-Gatter, die über C freigegeben werden können) wird für alle sogenannten synchronen Trigger angewendet. Der Takt erlaubt eine synchronisierte Arbeitsweise der Trigger, die Möglichkeiten bietet, Instabilitäten auszuschließen und die Einwirkungszeit von Störsignalen herabsetzt.

#### 1.1.2.4. Flankengesteuerte (dynamische) Trigger

Flankengesteuerte Trigger entstehen, indem man eine Differenzierschaltung vor einem oder mehreren Triggereingängen vorsieht. Damit wird das entsprechende Eingangssignal kurzzeitig während des Flanken-Anstiegs von 0 nach 1 oder -Abfalls von 1 nach 0 wirksam. Differenzier-Eigenschaft haben z.B. einfache RC-Schaltungen. Sie eignen sich wegen des hohen Platzbedarfs des notwendigen Kondensators wenig für integrierte Schaltkreise. Man verwendet häufiger das in Bild 11 skizzierte Ausblendprin-

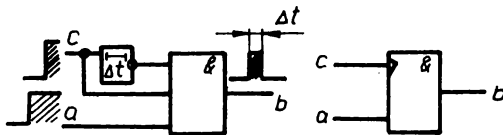


Bild 11 Ausblendschaltung  
(Flanken-Steuerschaltung  
u. Symbol)

zip. Im Folgenden soll der Aufbau von flankengesteuerten Triggern an zwei Beispielen erläutert werden. Die zeitlich begrenzte Wirkung der Eingangssignale dieser Schaltungen

wird über die kurzzeitige ( $\Delta t$ ) Öffnung von NAND-Gattern über Rückführungen erreicht. Die Zeitverzögerung  $\Delta t$  ergibt sich aus den Durchlaufzeiten eines oder mehrerer Gatter.

Die Taktflankensteuerung des Triggers in Bild 12 arbeitet wie folgt:

- Ausgangszustand: C/O (C führt 0-Signal) daraus folgt, Ausgang  $G_3$ ,  $G_4/1$  und Eingänge  $G_5$ ,  $G_6$  über Rückführungen freigegeben. Ausgang  $G_6/\bar{d}$  (invertiert Eingangssignal)
- Taktflanke:  $\underline{C} \uparrow$  (C wechselt von 0 auf 1)  $G_3$ ,  $G_4$ /freigegeben.

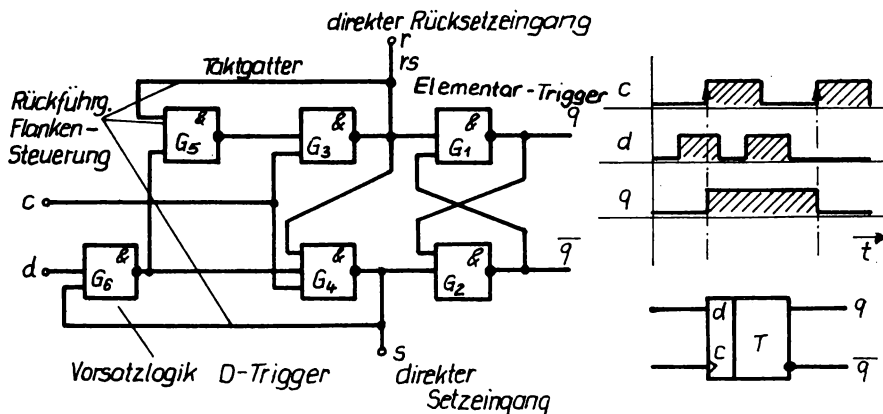


Bild 12 Taktflankengesteuerter D-Trigger mit Impulsdiagramm und Symbol

- zwei Möglichkeiten: - Ausgang  $G_6/0$ ; Ausg.  $G_5/1$  daraus folgt Ausg.  $G_3/0$ , d.h. Sperrung von  $G_5$  über Rückführung  $G_3$ ,  $G_5$  sowie Sperrung von  $G_4$   
Da Ausg.  $G_4/1$ , wird der Elementartrigger gesetzt.  
Die Signalzuleitungswege zu den Steuereingängen des Elementartriggers werden während des Taktsignals nur für die Signaldurchlaufzeit der Gatter  $G_5$ ,  $G_3$  offen gehalten.
- Ausgang  $G_6/1$ ; Ausg.  $G_5/0$  daraus folgt Ausg.  $G_3/1$ , Rücksetzen des Elementartriggers sowie Ausg.  $G_4/0$ , d.h. Sperrung von  $G_6$  über Rückführung  $G_4$ ,  $G_6$ .  
Das Eingangssignal kann nach Anliegen des Taktsignals nur während der Durchlaufzeit der Gatter  $G_5$ ,  $G_3$ ,  $G_4$  wirksam bleiben.



Für diese Schaltung wirkt das Eingangssignal nur maximal 3 Gatterdurchlaufzeiten nach Eintreffen der Taktvorderflanke. Zu den anderen Zeiten bleibt es wirkungslos.

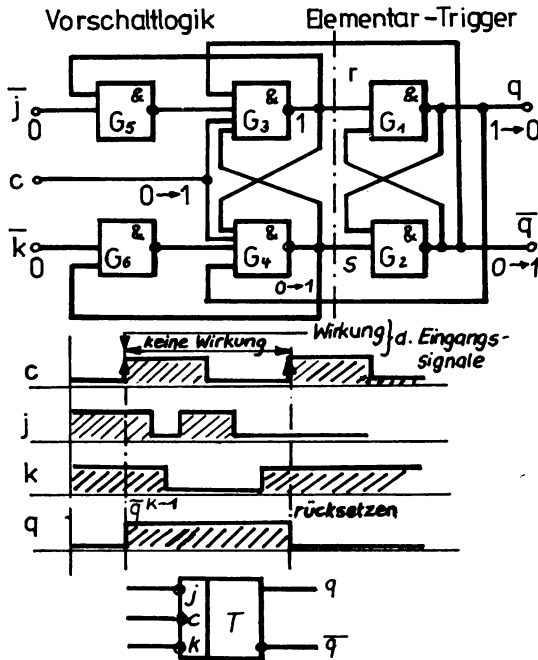


Bild 13 Taktflankengesteuerter JK-Trigger mit Impulsdiagramm und Symbol

Bild 13 zeigt den Aufbau und die Wirkungsweise eines taktflankengesteuerten JK-Triggers.  $G_1, G_2$  bilden den Elementartrigger.  $G_3, G_4$  beinhalten die Vorschaltlogik, werden aber in Verbindung mit  $G_5, G_6$ , den Rückführungen zwischen  $G_3, G_4$  sowie  $G_3, G_5$  und  $G_4, G_6$  zur Realisierung des Flankensteuerungsprinzips ausgenutzt. Als Besonderheit ist zu erwähnen, daß  $G_3, G_4$  ebenfalls zu einem Elementartrigger entsprechend Bild 1 zusammengeschaltet sind. Dieser Trigger wird für C/O in dem

im Abschnitt 1.1.1. beschriebenen nicht zugelassenen Zustand betrieben. In diesem Zustand liegt die Ausgangsbelegung  $G_3, G_4/1$  vor. Da hier nie gleichzeitig alle Eingänge der Gatter  $G_3$  und  $G_4$  mit 1 belegt sein können (das verhindert die Rückführung von  $q$  und  $\bar{q}$ ), tritt beim Wechsel der Eingangsbelegung kein unbestimmter Ausgangszustand auf. Zur Demonstration der Funktionsweise wird nur der logische Signalpegel für die Eingangsbelegung  $/j, E/ = /1, \bar{1}/ = /0, 0/$  und Flankenanstieg  $\underline{c}/\bar{1}$  untersucht. Man erkennt, daß für diesen Fall die Forderung der

Tabelle 1 erfüllt wird, die besagt, daß der vorhergehende Zustand gewechselt werden muß. Daß die Wirkung der Eingangssignale auf einen engen Zeitbereich um die Taktflanke begrenzt bleibt erkennt man daran, daß nach der Taktflanke  $G_6$  über Rückführung  $G_4$ ,  $G_6$  sowie  $G_3$  über Rückführung  $G_4$ ,  $G_3$  gesperrt wird und damit die Signaleinwirkung auf den Elementartrigger unterbunden wird.

Taktflankengesteuerte Trigger gestatten somit den Eingangssignalen nur während eines sehr engen Zeitbereiches (3 - 4-Gatterdurchlaufzeiten) zu wirken.

Fast während der gesamten Taktperiode bleiben die Eingangssignale unwirksam. Diese Zeit steht zur Neueinstellung der Steuerungssignale zur Verfügung. Bezüglich der Mindestanstiegsgeschwindigkeit der auslösenden Flanke müssen Forderungen erfüllt werden, da es sonst zu Fehlschaltungen kommen kann. Taktflankengesteuerte Trigger sind Grundbausteine für Zähler, Frequenzteiler, Schieberegister usw. Bild 14 zeigt, wie taktflankengesteuerte D- und JK-Trigger sofort als 2:1-Teiler der Taktfrequenz  $f_C$  verwendet werden können. Jeweils an der Taktvorderflanke wechselt der Ausgang  $q$  sein Signal.

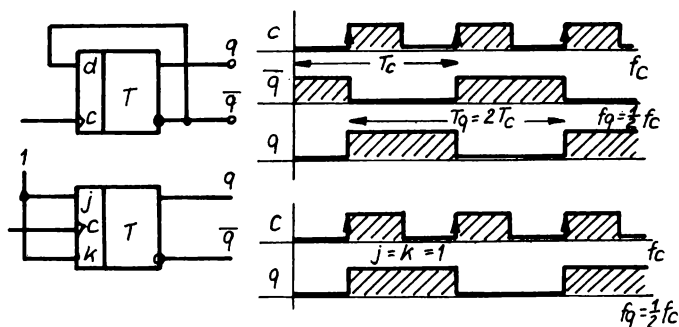


Bild 14 Flankengesteuerte D- und JK-Trigger als Frequenzteiler (Schaltung, Impulsdiagramm)

### 1.1.2.5. Zwischenspeicher-Trigger (Master-Slave-Trigger)

Zwischenspeichertrigger sind zur Lösung der gleichen Aufgaben<sup>1)</sup> wie flankengesteuerte Trigger vorgesehen. Es wird allerdings ein anderes Steuerungsprinzip, das sogenannte Master-Slave-Prinzip, zur Realisierung der Funktionsweise angewendet. Grundsätzlich können Trigger mit unterschiedlicher Ansteuerlogik mit einem zusätzlichen Speicher (Slave) ausgerüstet werden. Dieser speichert den vorhergehenden Zustand des Zwischenspeichertriggers solange, bis die neuen Eingangsbelegungen eingestellt sind und der Trigger umgeschaltet hat. An zwei demonstrativen Beispielen soll Aufbau und Wirkungsweise erläutert werden.

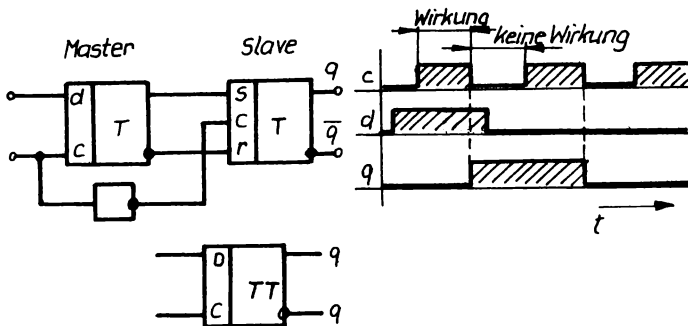


Bild 15 Zwischenspeicher-D-Trigger mit Symbol und Impulsdiagramm

Der in Bild 15 gezeigte Zwischenspeicher-D-Trigger ist aus einem Auffang-D- sowie Auffang-RS-Trigger aufgebaut. Der RS-Trigger (Slave) übernimmt seine Eingangsbelegung vom Ausgang des D-Triggers (Master). Beide Trigger können nur zu unterschiedlichen Zeiten Eingangssignale übernehmen. Die Zeiten werden durch das unnegierte sowie negierte Taktsignal vorgegeben. Für den Zeitabschnitt, in dem C-Master/1; C-Slave/0 gilt, übernimmt der Master die neue Information, der Slave speichert noch die alte. Bei inverser Belegung C-Master/0; C-Slave/1, sperrt der Master, wobei der Slave die Information vom Master über-

<sup>1)</sup> Diese Aufgaben erfordern meist eine nochmalige Rückführung der Triggerausgangssignale auf ihre Eingänge, wobei sie mindestens bis zur Umschaltung des Triggers erhalten bleiben müssen.

nimmt und die neue Ausgangsbelegung einstellt.

Ganz analog arbeitet die Schaltung in Bild 16, nur liegt hier ein Master mit JK-Ansteuerlogik vor.

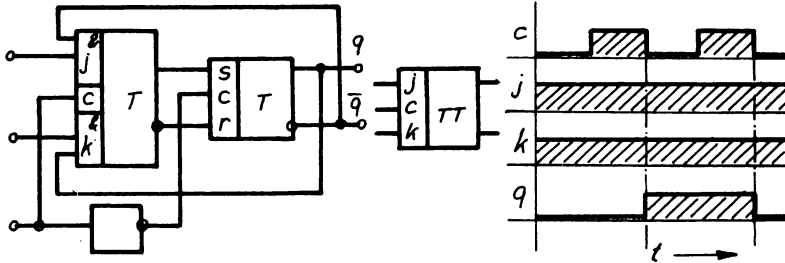


Bild 16 Zwischenspeicher-J-K-Trigger  
mit Symbol und Impulsdiagramm

Bei Betrachtung der Impulsdiagramme in Bild 15 und 16 könnte man zum Schluß gelangen, daß Zweispeichertrigger an der Rückflanke des Taktes schalten. Zweispeichertrigger werden aber nicht taktflanken- sondern zustandsgesteuert. Eine genaue Betrachtung und Gegenüberstellung der Wirkungszeiten der Eingangssignale in den Impulsdiagrammen der Bilder 12, 13, 15 und 16 verdeutlicht diesen Tatbestand nochmals. Ersetzt man die Trigger in Bild 14 durch entsprechende Zweispeichertrigger, so erhält man prinzipiell die gleiche Wirkungsweise, allerdings erfolgt nun der Wechsel der Ausgangsbelegung nicht an der Vorder- sondern Rückflanke der Taktimpulse.

#### 1.1.2.6. Mehrtakt-Trigger (Schaltungen)

Mehrtakttrigger werden in SSI-Schaltkreisen kaum realisiert. Sie findet man in MSI- und LSI-Schaltkreisen vorwiegend in Form von MIS-Schaltkomplexen wieder. Die Realisierung erfolgt häufig auf der Grundlage dynamischer Speicher-Trigger. Das Mehrtakt-Prinzip leitet sich aus dem Master-Slave-Prinzip ab. Ein Zweispeichertrigger wird zum Mehrtakt-(Zweitakt)-Trigger, wenn Master und Slave von zwei separaten Taktgeneratoren gespeist werden, wobei die beiden Taktpulse in ihrer

Phasenlage um hundertachtzig Grad phasenversetzt laufen. Durch Negation eines Taktpulses entsteht ein um  $180^\circ$  phasenverschobener Puls gleicher Frequenz. Dieses Prinzip läßt sich mit einer Vielzahl von Möglichkeiten variieren. Auf diese soll nicht näher eingegangen werden, da für MSI- und LSI-Schaltkreise bezüglich des praktischen Einsatzes das Klemmenverhalten wichtiger als der innere Aufbau ist. Mit diesem Abschnitt sollte gezeigt werden, daß z.B. auch mit Auffang-Triggern, unter Verwendung mehrerer Takte, Zwischenspeicher-Schaltungen realisiert werden können und ein Hinweis auf MOS-LSI-Schaltkreise gegeben werden.

### 1.1.3. Zusammenstellung der Schaltungen und Wirkungsweise synchroner dynamisch und master-slave gesteuerter Trigger

In den Abschnitten 1.1.1. und 1.1.2. wurden an ausgewählten Trigger-Beispielen die Probleme erläutert sowie Möglichkeiten der Lösungen aufgezeigt. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse in Form von Arbeitstabellen zusammengefaßt.

#### 1.1.3.1. Klassifizierungstabelle

In Tabelle 4 sind in Anlehnung an die TGL 16 056/01 die in der Praxis vorkommenden Triggerformen zusammengefaßt.

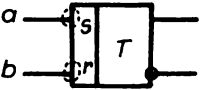
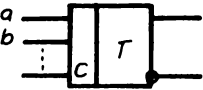
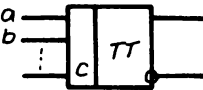
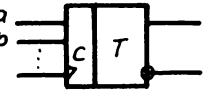
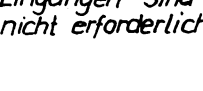
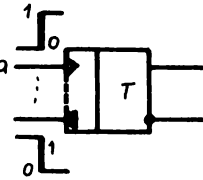
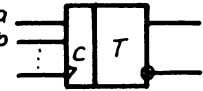
	Asynchrone Trigger	Synchrone Trigger (c)	
Zustandssteuerung (statische Steuerung)	Speicher-Trigger RS-Trigger (NOR, NAND) 	Trigger ohne Zwischenspeicher (T) 	Trigger mit Zwischenspeicher (TT) 
		Auffang-Trigger RS-, D-, DV-Trigger 	Master-Slave-Trigger (Zähltrigger) RS-, D-, JK-, T-Trigger 
Flankensteuerung (dynam. Steuerung)		Mehrtakttrigger	
	Zähltrigger RS-, JK-, T-Trigger 	Zähl-Trigger RS-, D-, JK-, DV-Trigger 	Zwischenspeicher- Trigger m. dynam. Eingängen sind nicht erforderlich

Tabelle 4 Klassifizierung von Triggerschaltungen

#### 1.1.3.2. Überführungstabellen

Für den Entwurf sequentieller Schaltungen unter Verwendung von Triggern ist es wichtig zu wissen, bei welchen Triggereingangsbedingungen (Eingangsbelegungen) das alte Ausgangssignal  $q^{k-1}$  in das gewünschte neue  $q^k$  überführt wird. Dies wird prinzipiell in Tabelle 1 beschrieben. Im Folgenden soll diese Frage nochmals in einer etwas anderen Form interpretiert werden. Zunächst sei jeder möglichen Überführungsvariante  $q^{k-1}$  in  $q^k$ , wie Tabelle 5 zeigt, ein Kennzeichen zugeordnet. Soll z.B. die alte Belegung  $q^{k-1} = 0$  in die neue Belegung  $q^k = 0$  überführt werden, d.h. der alte Zustand erhalten bleiben, so wird das symbolisch mit dem Buchstaben  $\alpha$  gekennzeichnet usw.

$q^{k-1}$	$q$	Kennzeichen
0	0	$\alpha$
0	1	$\beta$
1	0	$\gamma$
1	1	$\delta$

Tabelle 5 Kennzeichentabelle

Tabelle 6 zeigt die Kombination der Überführungs- und Kennzeichentabellen für die wichtigsten Trigger, wobei entweder eine dynamische oder Master-Slave-Steuerung vorausgesetzt wird.

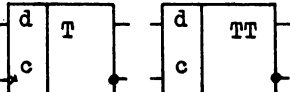
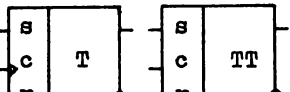
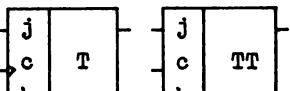
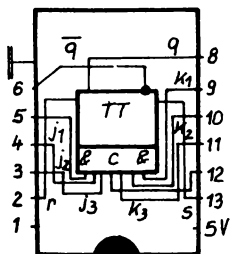
Überführungstabellen			Symbol des Triggers	Überführungs-kennzeichentabelle			
	$d^k$	$q^k$	Schaltung erfolgt an der		$q^{k-1}$	$q^k$	$d^k$
	0	0	Vorder- Rückflanke	$\alpha$	0	0	0
	1	1		$\beta$	0	1	1
			D-Trigger	$\gamma$	1	0	0
				$\delta$	1	1	1
$s^k$	$r^k$	$q^k$	Vorder- Rückflanke		$q^{k-1}$	$q^k$	$s^k$ $r^k$
0	0	$q^{k-1}$		$\alpha$	0	0	0 $\emptyset$
0	1	0	RS-Trigger	$\beta$	0	1	1 0
1	0	1		$\gamma$	1	0	0 1
1	1	-		$\delta$	1	1	$\emptyset$ 0
$j^k$	$k^k$	$q^k$	Vorder- Rückflanke		$q^{k-1}$	$q^k$	$j^k$ $k^k$
0	0	$q^{k-1}$		$\alpha$	0	0	0 $\emptyset$
0	1	0	JK-Trigger	$\beta$	0	1	1 $\emptyset$
1	0	1		$\gamma$	1	0	$\emptyset$ 1
1	1	$\bar{q}^{k-1}$		$\delta$	1	1	$\emptyset$ 0

Tabelle 6 Überführungs-Kennzeichentabelle

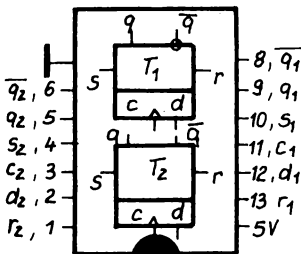
Die Überföhrungskennzeichentabellen erhält man aus der Überföhrungstabelle Tabelle 1. Die Überföhrungskennzeichentabelle für den JK-Trigger z.B. entsteht wie folgt: Für den Übergang  $\alpha$  darf an  $j^k$  nicht gesetzt werden, Rücksetzen an  $k^k$  kann erfolgen oder nicht ( $\emptyset$ ). Für den Übergang  $\beta$  muß an  $j^k$  unbedingt gesetzt werden,  $k^k$  kann dabei das log. Signal 0 oder 1 ( $\emptyset$ ) annehmen, denn wie aus der zugehörigen  berf hrungstabelle entnehmbar ist, führt die Eingangsbelegung  $j^k = 1; k^k = 0$  oder  $j^k = 1; k^k = 1$  in diesem Fall zur Ausgangsbelegung  $q^k = 1$  usw.

### 1.1.3.3. Ausgeführte Trigger-Typen

Für eine erste Übersicht des Anwenders sind in Bild 17 und 18 die Anschlu sschemata der wichtigsten Trigger in Bipolar- und Unipolar-Technik gezeigt. An dieser Stelle sei auf ein Studium des Prospektmaterials der Schaltkreise herstellenden Betriebe verwiesen.



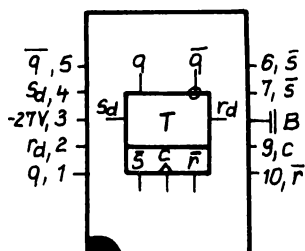
D 172, Master-Slave JK-Trigger



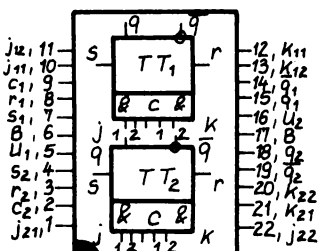
D 174c, D 274c zwei takt-flankengesteuerte D-Trigger

Bild 17 Trigger in Bipolar-(TTL)-Technik





U 103 D, taktflanken-  
gesteuerter RS-Trigger



U 108 D, Zwei Master-Slave  
JK-Trigger

Bild 18 Trigger in Unipolar-(MOS, p-Kanal-Anreicherungstyp)-Technik

## Übungsaufgaben und Lösungen zum Abschnitt 1.1.

### Aufgabe 1

Es ist die Ansteuerlogik für T-, SL-, EL-Trigger entsprechend den Forderungen der Tabelle 1 zu berechnen. Zeichnen Sie die zugehörigen Kontaktschaltpläne. Untersuchen Sie die Triggerfunktion bezüglich ihrer Steuerung.

### Aufgabe 2

- Geben Sie den Signalflußplan eines taktflankengesteuerten synchronen RS-Triggers an und erläutern Sie dessen Funktionsweise. (Hinweis: Man erhält diesen Signalflußplan durch Abrüstung des Signalflußplanes des JK-Triggers Bild 13)
- Geben Sie den Signalflußplan eines RS-Master-Slave-Triggers an und erläutern Sie seine Wirkungsweise.

### Aufgabe 3

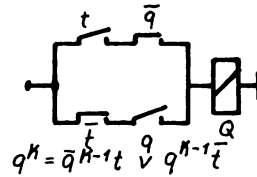
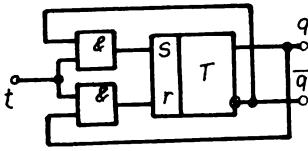
- Zeichnen Sie die Graphen für D-, RS-, JK-Master-Slave-Trigger.
- Geben Sie die zu den Graphen gehörenden Automatentabellen an.
- Kann die Art der Steuerung aus dem Graphen erkannt werden?

#### Aufgabe 4

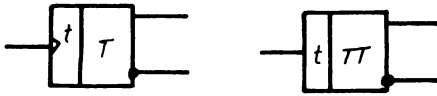
Geben Sie innerhalb zweier Taktperioden die Zeithereiche  $t_E$  an, in denen die Eingangssignale von a) Auffangtriggern, b) flankengesteuerten Triggern sowie c) Zwischenspeicher-Triggern wirksam bleiben. Tragen Sie ebenfalls die Zeithereiche  $t_A$  ein, in denen das Ausgangssignal erhalten bleibt.

# Lösungen für Übungsaufgaben

## Aufg. 1 T-Trigger

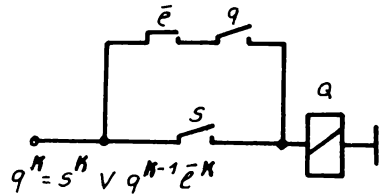
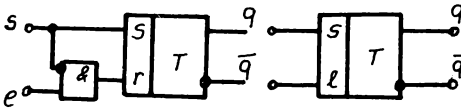


- Spezielle Zeitsteuerung ist wegen Wettlauferscheinung erforderlich, z.B. dynamischer t-Eingang bzw. Master-Slave-Aufbau



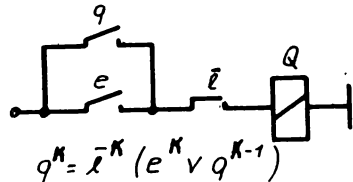
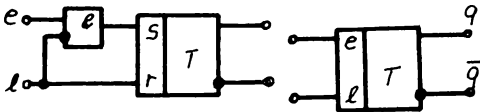
Kann aus synchr. JK- und RS-Triggern oder zwei synchronen RS-Triggern aufgebaut werden.

## SL-Trigger



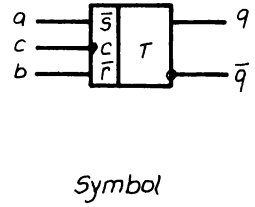
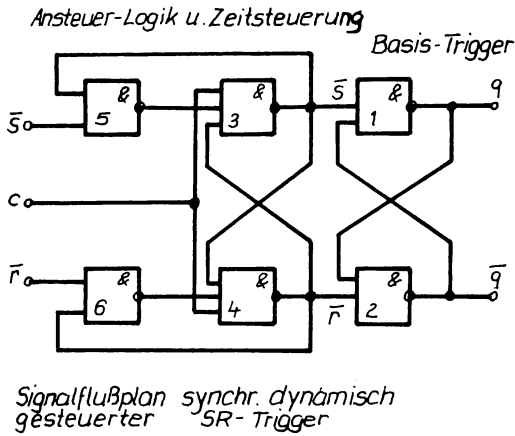
- Spezielle Zeitsteuerung nicht erforderlich, Selbsthaltung dominierend Speichern.

## EL-Trigger

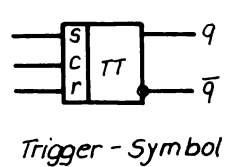
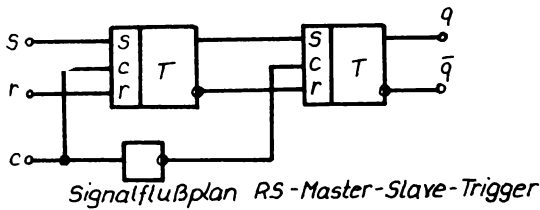


- Spezielle Zeitsteuerung nicht erforderlich, Selbsthaltung dominierend Löschen

## Aufg. 2 Taktflankengesteuerter RS-Trigger



## RS-Master-Slave-Trigger



### Aufg. 3

#### D-Trigger

(b)

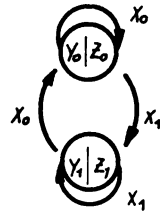
	$x_0 = d$	$y_0 = z_0 = q$
$x_0$	0	0
$x_1$	1	1

Kodierung

$t^n$	$x_0$	$x_1$
$t^{n-1}$	$y_0$	$y_1$
$t^n$	$y_0   z_0$	$y_1   z_1$
$t^{n+1}$	$y_0   z_0$	$y_1   z_1$

Automatentabelle

(a)

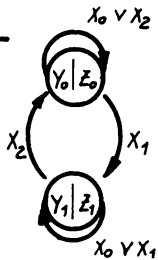


#### RS-Trigger

	$x_1 = r$	$x_0 = s$	$y_0 = z_0 = q$
$x_0$	0	0	$q^{n-1}$
$x_1$	0	1	1
$x_2$	1	0	0
$x_3$	1	1	-

$t^n$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$t^{n-1}$	$y_0$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$t^n$	$y_0   z_0$	$y_1   z_1$	$y_2   z_2$	$y_3   z_3$
$t^{n+1}$	$y_0   z_0$	$y_1   z_1$	$y_2   z_2$	$y_3   z_3$

Automatentabelle

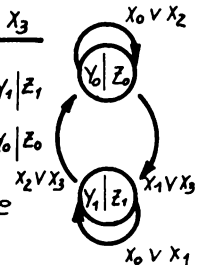


#### JK-Trigger

	$x_1 = k$	$x_0 = j$	$y_0 = z_0 = q$
$x_0$	0	0	$q^{n-1}$
$x_1$	0	1	1
$x_2$	1	0	0
$x_3$	1	1	$q^{n-1}$

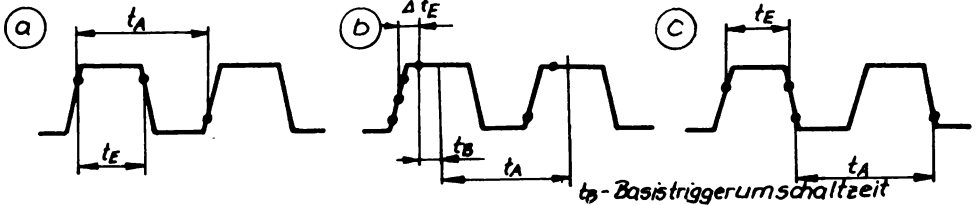
$t^n$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$t^{n-1}$	$y_0$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$t^n$	$y_0   z_0$	$y_1   z_1$	$y_2   z_2$	$y_3   z_3$
$t^{n+1}$	$y_0   z_0$	$y_1   z_1$	$y_2   z_2$	$y_3   z_3$

Automatentabelle



(c) Steuerungsart ist aus dem Graph. nicht erkennbar

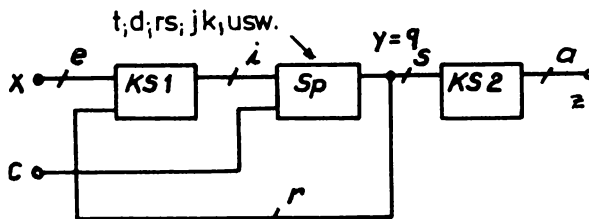
### Aufg. 4



## 2. Rechnerischer Entwurf sequentieller Baugruppen mit synchronen getakteten Triggern

Die Praxis stellt Aufgaben, die mit einer einzigen Komplex-Triggerschaltung, wie sie z.B. in Tabelle 4 enthalten sind, nicht gelöst werden können. Man geht dann von mehreren Komplex-Triggern aus, so daß die geforderte Anzahl innerer Zustände  $Y$  (Menge der inneren Zustände) erreicht wird und entwirft eine kombinatorische Schaltung (KS 1), die in Abhängigkeit des vorhergehenden inneren Zustandes  $Y_n^{k-1}$  sowie der Steuersignale ( $X_n^k$  Steuersignalbelegung) den vorgeschriebenen inneren Folgezustand  $Y_n^k$  einstellt. Soll der innere Zustand  $Y_n^k$  nach außen in kodierter Form wirksam werden, so ist noch eine zweite kombinatorische Schaltung (KS 2) zu entwerfen.

Grundlage des Entwurfs sequentieller Schaltungen ist die im Bild 19 gezeigte Struktur. Mit ihr lassen sich die meisten aus der Praxis kommenden sehr unterschiedlichen Forderungen realisieren. Im einzelnen ergeben sich für die unterschiedlichen Aufgabenstellungen bestimmte Abrüstungsvarianten gegenüber dieser Grundstruktur. Die Signalleitungen sind zu Bündeln zusammenge-



faßt. Damit hat die allgemeine Struktur  $e$   $x$ -Eingänge (Eingangsvariable)  $i$  Speichersteuereingänge (Speichersteuervariable),  $r$  Rückführleitungen (innere Zustandsvariable),  $s$  Eingänge des Blockes KS 2 (Ein-

Bild 19 Grundstruktur einer sequentiellen Schaltung

gangsvariable) sowie  $a$  Ausgangsleitungen (Ausgangsvariable). Hierbei werden Leitungen für gleiche negierte und nichtnegierte Signale nur einmal gezählt.

Die Aufgabenstellung zum Entwurf einer sequentiellen Schaltung kann in folgenden unterschiedlichen Formen gegeben sein.

- Verbale Aufgabenstellung
- Graph
- Impulsdiagramm
- Schaltfolgetabelle

Kombinationen dieser Varianten sind möglich. Es wird sich zeigen, daß die Schaltfolgetabelle die geeignetste Form für die Berechnung der Schaltung darstellt. Alle anderen Formen werden zweckmäßig in eine Schaltfolgetabelle überführt. Geht man von einer verbalen Aufgabenstellung aus, so lassen sich folgende Schritte bei der Lösung unterscheiden:

1. - Ermittlung der Zahl der inneren Zustände  $v$  und daraus die Zahl der für die Schaltung benötigten Trigger. Es gilt  $v = 2^r$ <sup>1)</sup>, wobei  $r$  die Zahl der benötigten Triggerausgänge und damit Trigger angibt.
  - Festlegung der Folge der inneren Zustände (Kodierung der Zustände)
2. - Ermittlung der Zahl der Eingangsbelegungen  $\mu$  sowie der Zahl der  $x$ -Eingänge  $e$ . Es gilt  $\mu = 2^e$ .
  - Zuordnung der Steuerbefehle zu den Eingangsbelegungen (Kodierung der Eingangssignale)
3. Ermittlung des Signalflußplanes von KS 1
- 3.1. Aufstellung einer Schaltfolgetabelle mit drei Hauptspalten I, II, III sowie eventuellen Nebenspalten zur Nummerierung.

---

<sup>1)</sup> wird auf die nächst höhere ganze Zahl aufgerundet.

Spalte I						Spalte II			Spalte III		
Alle möglichen Zustände $Y^{k-1}$ in Kombination mit den möglichen Belegungen $X^k$						Alle auftretenden inneren Folgezustände $Y^k$			Kennzeichen für die Übergänge $Y^{k-1} \rightarrow Y^k$		
$x_{e-1}$	...	$x_0$	$y_{r-1}$	...	$y_0$	$y_{r-1}$	...	$y_0$	$y_{r-1}$	...	$y_0$
z.B. 1	...	0	0	...	1	1	...	1	$\beta$	...	$\delta$
(v Zahl der inneren Zustände $Y^{k-1}$ ) (μ Zahl der Eingangsbelegungen $X^k$ ) Zeilenzahl = $\mu \cdot v$						Entsprechend der Aufgabenstellung muß nicht jeder innere Zustand Y einen Folgezustand besitzen (Redundanz)			Folgt aus Unterspaltenvergleich der $y_n$ der Hauptspalten I u. II unter Anwendung von <u>Tabelle 5</u>		

Tabelle 7 Allgemeiner Aufbau einer Schaltfolgetabelle

Im allgemeinen treten die inneren Zustände  $Y^{k-1}$  in Verbindung mit den Eingangsbelegungen  $X^k$  auf und bilden den neuen inneren Zustand  $Y^k = \delta(X^k, Y^{k-1})$ . Damit ergibt sich die Zeilenzahl der Schaltfolgetabelle aus dem Produkt der Anzahl der inneren Zustände  $v = 2^r$  mit der Anzahl der Eingangsbelegungen  $\mu = 2^e$ .

$$\text{Zeilenzahl} = 2^r \cdot 2^e = 2^{r+e} = v \cdot \mu$$

### 3.2. Auswahl der Triggertypen entsprechend der Aufgabenstellung aus Tabelle 6.

Für die nachfolgend angegebenen Schaltungen können sowohl Master-Slave- als auch dynamisch gesteuerte Trigger Verwendung finden. Die Umschaltung erfolgt dann entsprechend an der Vorder- bzw. Rückflanke.



3.3. Aufstellung der  $i$  Steuerfunktionen für den Speicherblock. Die Überführungskennzeichen in den Unterspalten von Hauptspalte III, Tabelle 7, werden in Abhängigkeit der Variablen  $y$  und  $x$  der Spalte I in Karnaugh-Plänen notiert (Kennzeichen-K-Pläne)<sup>1)</sup>. Dieser Schritt bedeutet nur eine Umschreibung der Schaltfolgetabelle in die K-Planform. Für kombinatorische Schaltungen ist analog bekannt, daß eine Schaltbelegungstabelle ebenfalls in Form eines K-Planes geschrieben werden kann.

Mit Hilfe Tabelle 6 lassen sich für die gewählten Trigger die Steuereingangsbelegungen in Karnaugh-Plänen notieren, die aus den Kennzeichen-K-Plänen hervorgehen, d.h. von den gleichen Variablen abhängen. Aus den so ermittelten Steuerfunktions-K-Plänen werden die Normalformen der  $i$  Steuerfunktionen ausgelesen. Damit liegt der Signalfluß für KS 1 fest.

#### 4. Ermittlung des Signalflußplanes von KS 2

Als Eingangsvariable wirken die  $s$  Triggerausgänge  $y = q$  des Speicherblocks. Entsprechend der Aufgabenstellung werden über eine Schaltbelegungstabelle bzw. K-Plan die erforderlichen  $a$  Ausgangsfunktionen  $Z = f(y)$  ermittelt.

---

<sup>1)</sup> Die Einführung von Kennzeichen für die Übergänge  $y^{k-1} \rightarrow y^k$  formalisiert die Berechnung von sequentiellen Schaltungen. Sie eignet sich vor allem für Aufgabenstellungen mit hohen Variablenzahlen. Bei geringen Variablenzahlen lassen sich die K-Pläne für die Triggersteuerfunktionen sofort aus dem Vergleich von Spalte I u. II, Tab. 7, unter Beachtung von Tab. 6 angeben.

### 3. Ausgewählte Beispiele sequentieller Schaltungen

In diesem Abschnitt soll der in Abschnitt 2. vorgeschlagene Algorithmus für typische Aufgabenstellungen Anwendung finden.

#### 3.1. Schieberegister-Schaltungen

Aufgabenstellung: Es ist eine Schaltung aus zwei beliebigen Zwischenspeichertriggern mit folgenden Eigenschaften zu entwerfen:

- Der erste Trigger soll in jeder Taktperiode das an einem Eingang  $x_0$  angebotene Signal übernehmen.
- Der zweite Trigger soll in dieser Zeit das vom ersten Trigger gespeicherte Signal übernehmen.
- Das vom zweiten Trigger gespeicherte Signal wird als Ausgangssignal weiter verarbeitet.

Lösung nach Algorithmus Abschnitt 2.:

1. Zahl der Trigger  $r = 2$  . Zahl der inneren Zustände  
 $\nu = 2^2 = 4$ ; Bezeichnung der inneren Zustände  $Y = [y_1, y_0]$
  2. Zahl der Eingänge  $e = 1$ ; Zahl der Eingangsbelegungen  
 $\mu = 2^1 = 2$ ; Bezeichnung der Eingangsbelegungen  $X = [x_0]$
  3. Aufstellung der Schaltfolgetabelle
- 3.1. Zeilenzahl =  $\nu \cdot \mu = 8$

Dezim. Äquival.	I. $y^{k-1}$			II. $y^k$		III. $y^{k-1} \rightarrow y^k$	
	$x_0$	$y_1$	$y_0$	$y_1$	$y_0$	$y_1$	$y_0$
0	0	0	0	0	0	$\alpha$	$\alpha$
1	0	0	1	0	0	$\alpha$	$\gamma$
2	0	1	0	0	1	$\gamma$	$\beta$
3	0	1	1	0	1	$\gamma$	$\delta$
4	1	0	0	1	0	$\beta$	$\alpha$
5	1	0	1	1	0	$\beta$	$\gamma$
6	1	1	0	1	1	$\delta$	$\beta$
7	1	1	1	1	1	$\delta$	$\delta$

Tabelle 8 Schaltfolgetabelle für Schieberegister

3.2. Die Schaltung soll wahlweise mit unterschiedlichen Triggern realisiert werden (D-, RS-, JK-Trigger)

3.3.

Kennzeichen,  $k'$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 \alpha & \alpha & \beta & \beta \\
 \hline
 \gamma & \gamma & \delta & \delta \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 \alpha & \gamma & \gamma & \alpha \\
 \hline
 \beta & \delta & \delta & \beta \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k
 \end{array}$$

k-Pläne

$k := f(x_0, y_1, y_0)$

D-Trigger

$d := f(x_0, y_1, y_0)$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 0 & 0 & 1 & 1 \\
 \hline
 0 & 0 & 1 & 1 \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 1 & 1 & 1 & 1 \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k
 \end{array}$$

$d_1 := x_0$

$d_0 := y_1$

RS-Trigger

$r := f(x_0, y_1, y_0)$

$s := f(x_0, y_1, y_0)$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 1 & 1 & 0 & 0 \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k \\
 r_1 := \bar{x}_0
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 0 & 0 & 1 & 1 \\
 \hline
 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k \\
 s_1 := x_0
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 0 & 1 & 1 & 0 \\
 \hline
 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k \\
 r_0 := \bar{y}_1
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 1 & 0 & 0 & 1 \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k \\
 s_0 := y_1
 \end{array}$$

JK-Trigger

$j := f(x_0, y_1, y_0)$

$k := f(x_0, y_1, y_0)$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 0 & 0 & 1 & 1 \\
 \hline
 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k \\
 j_1 := x_0
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 1 & 1 & 0 & 0 \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k \\
 k_1 := \bar{x}_0
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 1 & 0 & 0 & 1 \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k \\
 j_0 := y_1
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 y_0^{k-1} \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|}
 \hline
 0 & 1 & 1 & 0 \\
 \hline
 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \hline
 \end{array} \\
 y_1^{k-1} \quad x_0^k \\
 k_0 := \bar{y}_1
 \end{array}$$

Tabelle 9 K-Pläne für Kennzeichen- u. Trigger-Steuernfunktionen



### 3.2. Synchronzählschaltung mit fester innerer Zustandsfolge

Aufgabenstellung: Es ist eine synchrone Zählschaltung zu entwickeln, die bei Anlegen von Taktimpulsen periodisch fünf verschiedene innere Zustände durchläuft.

Die inneren Zustände sollen, wie in Tabelle 4 angegeben, kodiert sein und binär angezeigt werden.

Zur Realisierung verwende man D-Trigger.

Y	Y <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>0</sub>
Y <sub>0</sub>	0	0	0
Y <sub>6</sub>	1	1	0
Y <sub>3</sub>	0	1	1
Y <sub>7</sub>	1	1	1
Y <sub>4</sub>	1	0	0

Tabelle 9

#### Lösung entsprechend Algorithmus Abschnitt 2.:

1. - Zahl der Trigger 3; Zahl der genutzten inneren Zustände  $v = 5$ , von  $v_r = 2^3 = 8$  möglichen  
Kodierung der inneren Zustände ist durch Tabelle 9 gegeben.
2. - Laut Aufgabenstellung wird eine einzige Eingangsbelegung benötigt ( $\mu = 1$ ). Daraus folgt eine Eingangsleitungszahl  $e = 0$  ( $1 = 2^0$ ), die Schaltung benötigt keine Eingangsleitung.  
Das Erreichen des inneren Folgezustandes wird nur in Abhängigkeit vom Zustandswechsel des Taktes (Taktflanke) möglich. Die Schaltung arbeitet periodisch innere Zustandsabläufe ab.
3. Bezeichnung der inneren Zustände  $Y = [y_2, y_1, y_0]$ .  
Von den 8 möglichen inneren Zuständen werden nur 5 benötigt.  
3 Zustände sind redundant.

3.1.

	I $y^{k-1}$			II $y^k$		
	$y_2$	$y_1$	$y_0$	$y_2$	$y_1$	$y_0$
$y_0$	0	0	0	1	1	0
	0	0	1	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
	0	1	0	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
	0	1	1	1	1	1
$y_3$	1	0	0	0	0	0
$y_4$	1	0	1	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$y_6$	1	1	0	0	1	1
$y_7$	1	1	1	1	0	0

Tabelle 10 Schaltfolgetabelle

3.2. Für D-Trigger lassen sich die K-Pläne direkt, ohne über die Kennzeichen zu gehen, sofort auslesen.

3.3.

		$y_0^{k-1}$			
		1	$\emptyset$	$\emptyset$	0
$y_1^{k-1}$	$\emptyset$	1	1	0	
		$y_2^{k-1}$			

$$d_2 = \bar{y}_2 \vee y_0$$

		$y_0^{k-1}$			
		1	$\emptyset$	$\emptyset$	0
$y_1^{k-1}$	$\emptyset$	1	0	1	
		$y_2^{k-1}$			

$$d_1 = \bar{y}_2 \vee y_1 \bar{y}_0$$

		$y_0^{k-1}$			
		0	$\emptyset$	$\emptyset$	0
$y_1^{k-1}$	$\emptyset$	1	0	1	
		$y_2^{k-1}$			

$$d_0 = \bar{y}_2 y_0 \vee y_1 \bar{y}_0$$

Tabelle 11 Steuerfunktionen der D-Trigger

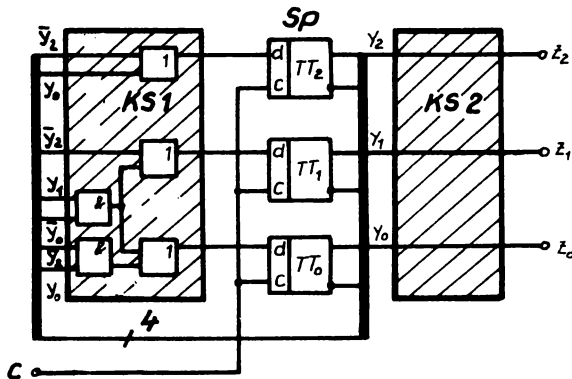


Bild 21 Signalfluß des Zählers

4. Alle 3 Triggerausgänge werden für die Anzeige benötigt. Da diese binär direkt erfolgen soll, wird keine zusätzliche Koderschaltung für KS 2 erforderlich. KS 2 besteht deshalb nur aus leitenden Verbindungen ( $y = q = z$ )

#### Zusatzaufgaben zum Abschnitt 3.2.

- 3.2./1 Berechnen Sie die KS 1 für die Zählerschaltung, wenn RS- und JK-Trigger Verwendung finden.  
Vergleichen Sie den Aufwand für die KS 1 bei Verwendung unterschiedlicher Trigger
- 3.2./2 Zeichnen Sie den Graphen der Schaltung

#### 3.3. Synchronzählschaltung mit umschaltbarer innerer Zustandsfolge

Aufgabenstellung: Es ist eine Synchronzählerschaltung mit folgenden Eigenschaften zu entwerfen:

- Vorwärtszählen in der Folge von 0 bis 5
- Rückwärtszählen in der Folge von 5 bis 0
- Anzeige des Zählerstandes auf einer Siebensegmentanzeige
- Stehenbleiben des Zählers und Angabe einer log. 1 bei Erreichen der Endzustände 0 bzw. 5, wenn in gleicher Zählrichtung eine Weiterzählung erfolgt.

- Realisierung soll mit JK-Triggern erfolgen.

Lösung nach Algorithmus Abschnitt 2.:

1. Zahl der inneren Zustände  $v = 6$ ; Zahl der benötigten Trigger  $n = 3$  ergibt sich als Lösung

der Ungleichung  $2^{n-1} < v \leq 2^n$ ;

Kodierung ist durch fortlaufende Zählfolge

$Y_0 = [y_2 = 0, y_1 = 0, y_0 = 0] \dots$

$Y_5 = [y_2 = 1, y_1 = 0, y_0 = 1]$  gegeben.

2. Durch die Forderung der Vorwärts-Rückwärtszählung werden  $\mu = 2$  Eingangsbelegungen (Vorwärts-, Rückwärts-Belegung)

erforderlich. Eingangsleitungszahl  $e = 1$  ( $\mu = 2^e = 2$ )

Kodierung der Eingangsbelegung  $X_0 = [x = 0]$  Vorwärtszählen  
 $X_1 = [x = 1]$  Rückwärtszählen

3.1.

	I. $y^{k-1}$				II. $y^k$			III. $y^{k-1} \rightarrow y^k$		
	$x_0$	$y_2$	$y_1$	$y_0$	$y_2$	$y_1$	$y_0$	$y_2$	$y_1$	$y_0$
vorwärts- zählen	0	0	0	0	0	0	1	$\alpha$	$\alpha$	$\beta$
	0	0	0	1	0	1	0	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
	0	0	1	0	0	1	1	$\alpha$	$\delta$	$\beta$
	0	0	1	1	1	0	0	$\beta$	$\gamma$	$\gamma$
	0	1	0	0	1	0	1	$\delta$	$\alpha$	$\beta$
	0	1	0	1	1	0	1	$\delta$	$\alpha$	$\delta$
	0	1	1	0	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$x$	$x$	$x$
	0	1	1	1	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$x$	$x$	$x$
rückwärts- zählen	1	0	0	0	0	0	0	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
	1	0	0	1	0	0	0	$\alpha$	$\alpha$	$\gamma$
	1	0	1	0	0	0	1	$\alpha$	$\gamma$	$\beta$
	1	0	1	1	0	1	0	$\alpha$	$\delta$	$\gamma$
	1	1	0	0	0	1	1	$\gamma$	$\beta$	$\beta$
	1	1	0	1	1	0	0	$\delta$	$\alpha$	$\gamma$
	1	1	1	0	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$x$	$x$	$x$
	1	1	1	1	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$x$	$x$	$x$

Tabelle 12 Schaltfolgetabelle



3.2. JK-Trigger sind durch die Aufgabenstellung festgelegt.

3.3. Nach Aufstellung der Kennzeichen-K-Pläne aus der Schaltfolgetabelle und der daraus abgeleiteten K-Pläne zur Berechnung der Steuerfunktionen der JK-Trigger, liest man folgende Steuerfunktionen aus:

$$\begin{aligned}j_0 &= \bar{x} \vee y_1 \vee y_2 & k_0 &= \bar{y}_2 \vee x \\j_1 &= \bar{x} y_2 y_0 \vee x y_2 \bar{y}_0 & k_1 &= \bar{x} y_0 \vee x \bar{y}_0 \\j_2 &= \bar{x} y_1 y_0 & k_2 &= x \bar{y}_0\end{aligned}$$

Diese Funktionen müssen durch die KS 1 realisiert werden.

4. Als Eingangsvariablen der KS 2 wirken alle 3 Triggerausgänge  $y$  sowie der Steuereingang  $x$ , da ja in Abhängigkeit von der Zählrichtung bei Erreichen der Zustände  $Y_0, Y_5$  ein Signal gegeben werden soll (Überlaufanzeige).

Die Zahl der Ausgangsleitungen setzt sich aus den 7 Leitungen  $z_0$  bis  $z_6$  für die 7-Segmentanzeige sowie der Überlaufleitung  $z_7$  zusammen.

Der Signalflußplan der KS 2 besteht somit aus einem 7-Segmentdekoder und der Überlauflogik, deren Schaltfunktion sofort aus den beiden bekannten Ansprechbedingungen entwickelt werden kann.

$z_7 = \bar{x} y_2 \bar{y}_1 y_0 \vee x \bar{y}_2 \bar{y}_1 \bar{y}_0$  wobei, wenn man den Karnaughplan zur Aufstellung benutzt, im 2. Term eine Vereinfachung treffen kann. Man erhält

$$z_7 = \bar{x} y_2 y_1 y_0 \vee x \bar{y}_2 \bar{y}_0$$

#### Zusatzaufgaben zum Abschnitt 3.3.:

3.3./1. Zeichnen Sie den vollständigen Signalflußplan der berechneten Synchronzähler-Schaltung.

3.3./2. Geben Sie den Graphen sowie die Automatentabelle der Schaltung an.

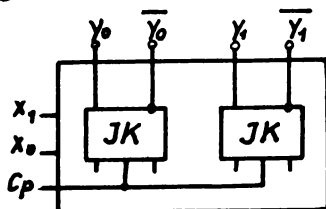
## Übungsaufgaben

Aufg. 1 Es ist ein synchroner Zähler für die Zählfolge  
 $0 - 1 - 3 - 7 - 6 - 4 - 0 = 1$  zu entwickeln.

- Geben Sie den Graphen an.
- Realisieren Sie den Zähler mit RS-Trigger.
- Prüfen Sie, ob sich der Zähler unter Verwendung eines 3-stufigen Schieberegisters realisieren lässt.

Aufg. 2 Entwerfen Sie einen 6:1-Frequenzteiler mit dem Tastverhältnis  $V = T/t_i = 2$ , wenn  $t_i$  die Impulsbreite und  $T$  die Pulsperiode sind. Verwenden Sie zum Aufbau D-Trigger.

Aufg. 3 Es ist ein Schaltnetzwerk zu entwickeln, das die angegebene Blockstruktur besitzt und die folgenden Forderungen erfüllt.



Blockschaltbild

### Forderungen:

- wenn  $x_0 = 0$ ,  $x_1 = 0$   
dann Vorwärtszähler,  
Zyklus 4

	$y_1$	$y_0$
0'	0	0
1'	0	1
2'	1	0
3'	1	1
- wenn  $x_0 = 1$ ,  $x_1 = 0$   
dann Rückwärtszähler,  
Zyklus 4

	$y_1$	$y_0$
0''	1	1
1''	1	0
2''	0	1
3''	0	0

3. wenn  $x_0 = 0$ ,  $x_1 = 1$

dann Zähler,

Zyklus 3

	$y_1$	$y_0$
0'''	0	0
1'''	0	1
2'''	1	0

bei zufälligem  $x_0 = x_1 = 1$  soll Zähler stehenbleiben

4. wenn  $x_0 = 1$ ,  $x_1 = 1$

dann 4.1. wenn  $y_1 = 0$ , dann kippt Trigger  $T_0$  ständig;

Trigger  $T_1$  bleibt bei  $y_1 = 0$

4.2. wenn  $y_1 = 1$ , dann kippt  $T_1$  in Stellung

$y_1 = 0$

Trigger  $T_0$  kippt nach bzw. bleibt bei  $y_0 = 1$

Aufg. 4 Ein Automat habe eine Steuerleitung  $x_0$ . Befindet er sich im Ausgangszustand  $Y_0$ , dann erreicht er mit 5 Takten und der Eingangsbelegung  $X_1 = [1]$  einen Zustand  $Y_5$ , von dem der Automat mit  $X_0 = [0]$  als Modulo-10-Zähler arbeitet. Liegt jedoch im Zustand  $Y_5$   $X_1 = [1]$  an, geht der Automat in seinen Ausgangszustand über. Hat der Automat den Zustand  $Y_5$  mit  $X_0 = [0]$  verlassen, ist der weitere Zählablauf unabhängig von  $X$ . Wenn der Automat, ausgehend von  $Y_0$ , den Zustand  $Y_5$  noch nicht erreicht hat, verharrt er bei  $X_0 = [0]$  im jeweiligen Zustand.

Geben Sie a) den Graphen an

b) die Überführungstabelle an, wenn die inneren Zustände in der natürlichen Zählfolge kodiert werden.

Aufg. 5 Es ist ein Ringzähler zu entwerfen, der in einem 1 aus 3 Kode arbeitet und in Abhängigkeit von einem Taktsignal eine log. 1 vorwärts ( $X_0 = [x_0 = 0]$ ) bzw. rückwärts ( $X_1 = [x_0 = 1]$ ) einlaufen lässt.

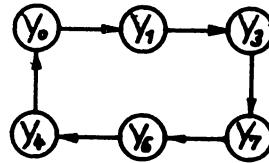
Zur Realisierung stehen D-Trigger zur Verfügung.  
Der Signalflußplan sowie der Graph sind anzugeben.

### Lösungen zu Übungsaufgaben

#### Aufg. 1 a)

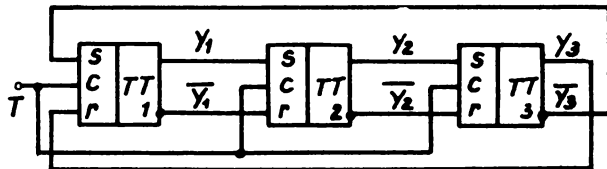
	$y_3$	$y_2$	$y_1$
$Y_0$	0	0	0
$Y_1$	0	0	1
$Y_3$	0	1	1
$Y_7$	1	1	1
$Y_6$	1	1	0
$Y_4$	1	0	0

Kodierung



Graph

#### b)



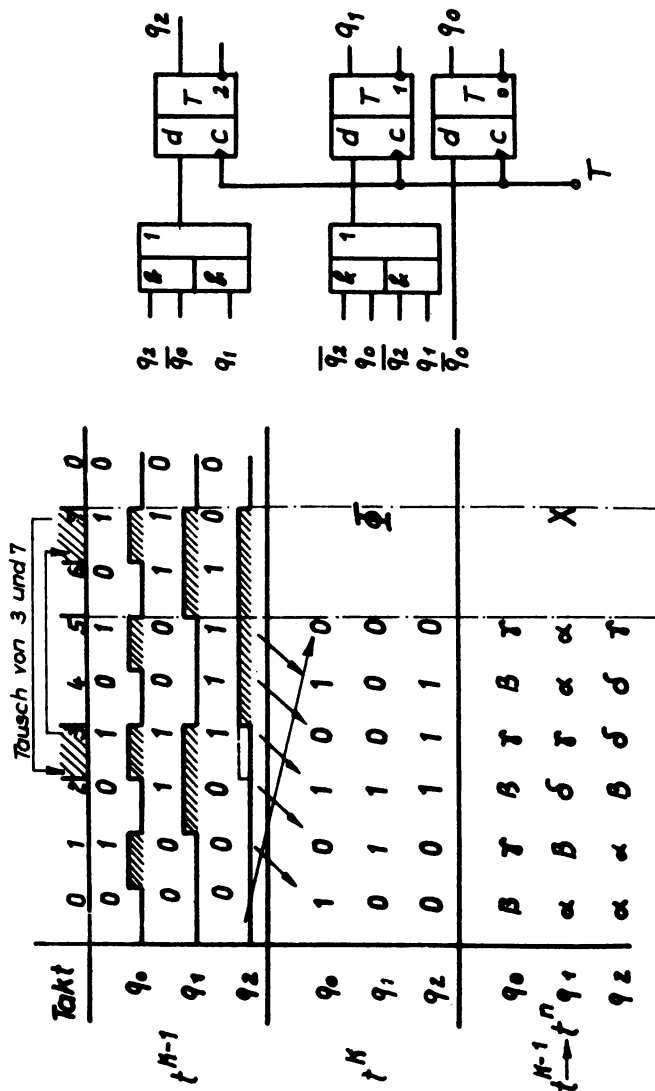
Signalflußplan der Zählschaltung

- c) Die verlangte Zählfolge kann als Umlauf im Graphen eines 3-stufigen Schieberegisters realisiert werden (vergleiche mit Zusatzaufgabe 3.1.2.). Verwendet man eine dreistufige JK-Kette, so können die Steuerfunktionen für den ersten JK-Trigger aus der zur Lösung von b) erforderlichen Überführungstabelle zu  $j_1 = y_3$ ,  $k_1 = y_3$  ermittelt werden.

#### Aufg. 2

- Sechs Taktperioden sollen zu einer Periode zusammengefaßt werden, d.h. es müssen 6 innere Zustände durchlaufen werden. Dazu sind 3 Trigger nötig ( $(6)_{10} = (110)_2$ ) die Stellenzahl der dualen 6 beträgt 3, dies ist ebenfalls die Zahl der benötigten Trigger).
- Die Forderung  $v = 2$  muß über eine spezielle Kodierung der inneren Zustände realisiert werden. Dies

läßt sich durch Tausch der 3. und 7. Kombination der natürlichen Zählfolge realisieren. Aus der angegebenen Tabelle, die eine Kombination von Schaltfolge-tabelle und Impulsdiagramm darstellt, ist der Zusammenhang sofort erkennbar.



Signalflußplan  
Frequenzteiler 6:1

Überführungstabelle mit Impulsdiagramm

Aufg. 3 Aus der angegebenen Überführungstabelle läßt sich nach der im Abschnitt 2. angegebenen Berechnungsmethode das dargestellte synchrone Schaltnetzwerk berechnen, für das hier nur die Steuerfunktionen der beiden JK-Trigger angegeben sind.

Dezim- Äquv.	Zähl- folg.	$t^{k-1}$				$t^k$	
		$x_1$	$x_0$	$y_1$	$y_0$	$y_1$	$y_0$
0	0'	0	0	0	0	0	1
1	1'	0	0	0	1	1	0
2	2'	0	0	1	0	1	1
3	3'	0	0	1	1	0	0
4	3''	0	1	0	0	1	1
5	2''	0	1	0	1	0	0
6	1''	0	1	1	0	0	1
7	0''	0	1	1	1	1	0
8	0'''	1	0	0	0	0	1
9	1'''	1	0	0	1	1	0
10	2'''	1	0	1	0	0	0
11		1	0	1	1	0	0
12		1	1	0	0	0	1
13		1	1	0	1	0	0
14		1	1	1	0	0	1
15		1	1	1	1	0	1

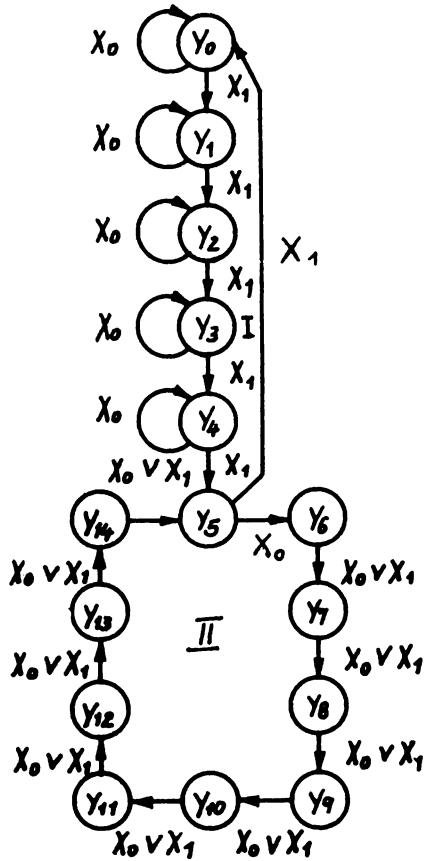
$$J_0 = \bar{y}_1 \vee x_0 \vee \bar{x}_1$$

$$K_0 = \bar{y}_1 \vee \bar{x}_1$$

$$J_1 = y_0 \bar{x}_0 \vee \bar{y}_0 x_0 \bar{x}_1$$

$$K_1 = \bar{y}_0 x_0 \vee \bar{y}_0 x_1 \vee x_0 x_1 \vee y_0 \bar{x}_0 \bar{x}_1$$

Aufg. 4 a)



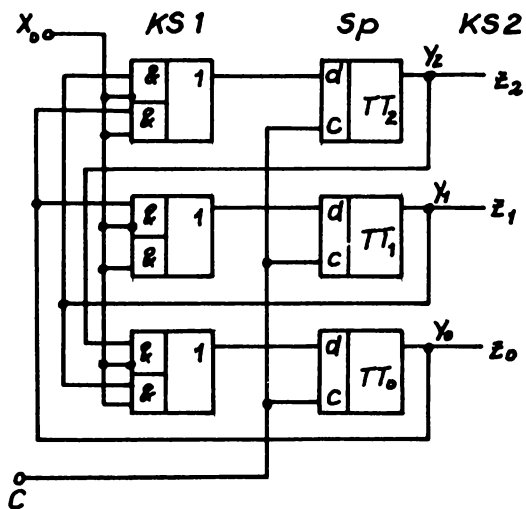
15 innere Zustände erfordern 4 Trigger  
Graph

b)	I	II	III					IV			
			$x_0$	$y_3$	$y_2$	$y_1$	$y_0$	$y_3$	$y_2$	$y_1$	$y_0$
0		stehen- bleiben	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1			0	0	0	0	1	0	0	0	1
2			0	0	0	1	0	0	0	1	0
3			0	0	0	1	1	0	0	1	1
4			0	0	1	0	0	0	1	0	0
5		zählen Schleife II	0	0	1	0	1	0	1	1	0
6			0	0	1	1	0	0	1	1	1
7			0	0	1	1	1	1	0	0	0
8			0	1	0	0	0	1	0	0	1
9			0	1	0	0	1	1	0	1	0
10			0	1	0	1	0	1	0	1	1
11			0	1	0	1	1	1	1	0	0
12			0	1	1	0	0	1	1	0	1
13			0	1	1	0	1	1	1	1	0
14			0	1	1	1	0	0	1	0	1
15			0	1	1	1	1	0	0	0	0
16		zählen Schleife I	1	0	0	0	0	0	0	0	1
17			1	0	0	0	1	0	0	1	0
18			1	0	0	1	0	0	0	1	1
19			1	0	0	1	1	0	1	0	0
20			1	0	1	0	0	0	1	0	1
21			1	0	1	0	1	0	0	0	0
22		zählen Schleife II	1	0	1	1	0	0	1	1	1
23			1	0	1	1	1	1	0	0	0
24			1	1	0	0	0	1	0	0	1
25			1	1	0	0	1	1	0	1	0
26			1	1	0	1	0	1	0	1	1
27			1	1	0	1	1	1	1	0	0
28			1	1	1	0	0	1	1	0	1
29			1	1	1	0	1	1	1	1	0
30			1	1	1	1	0	0	1	0	1
31			1	1	1	1	1	0	0	0	0

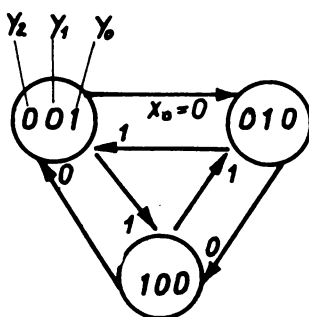
Überführungstabelle



# Aufg. 5



Signalflußplan des Ringzählers

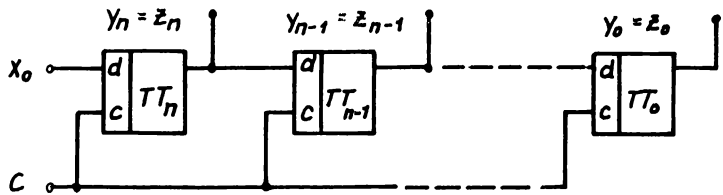


Graph des Ringzählers

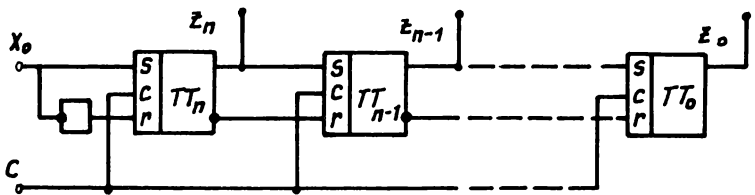
# Lösungen zu Abschnitt 3.1.

3.1./1.

a)

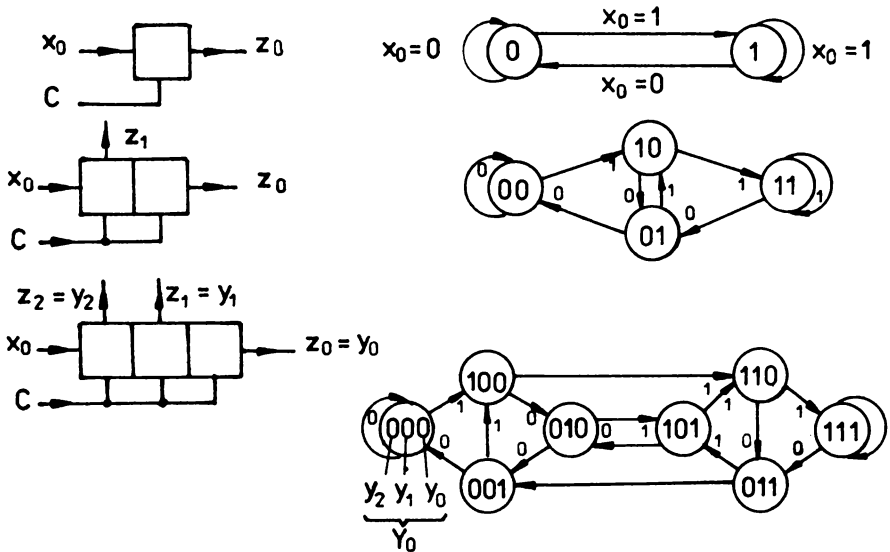


b)



c) Signalfluß wie b); nur RS- durch JK-Trigger ersetzen, wobei sich die Eingänge wie folgt entsprechen  $s \leftrightarrow j$ ;  $r \leftrightarrow k$ .

3.1./2.

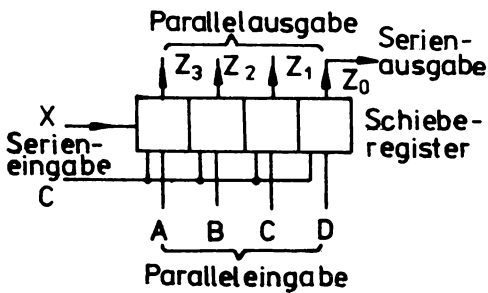


Blockschaltbilder

Graphen

3.1./3.

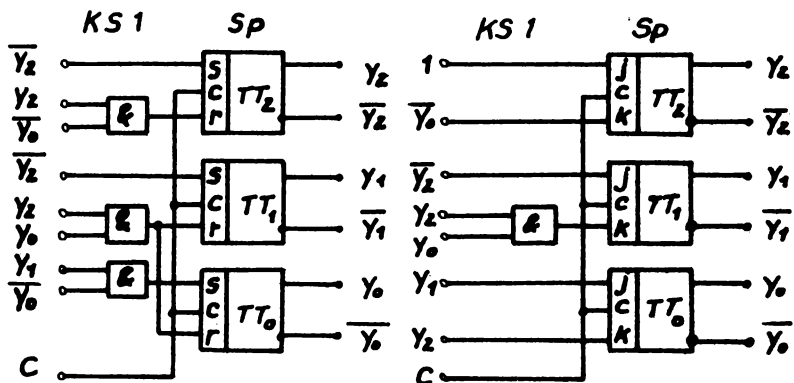
Parallel-Serien-, Serien-Parallel-, Serien-Serien-, Parallel-Parallelbetrieb ist z.B. mit dem Baustein D 195 c möglich.



Blockschaltbild des D 195 c

## Lösungen zu Abschnitt 3.2.

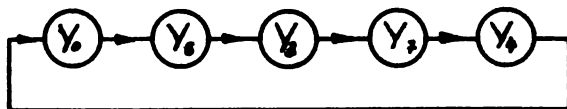
3.2./1.



Signalflußpläne eines Zählers realisiert mit  
RS- und JK-Triggern

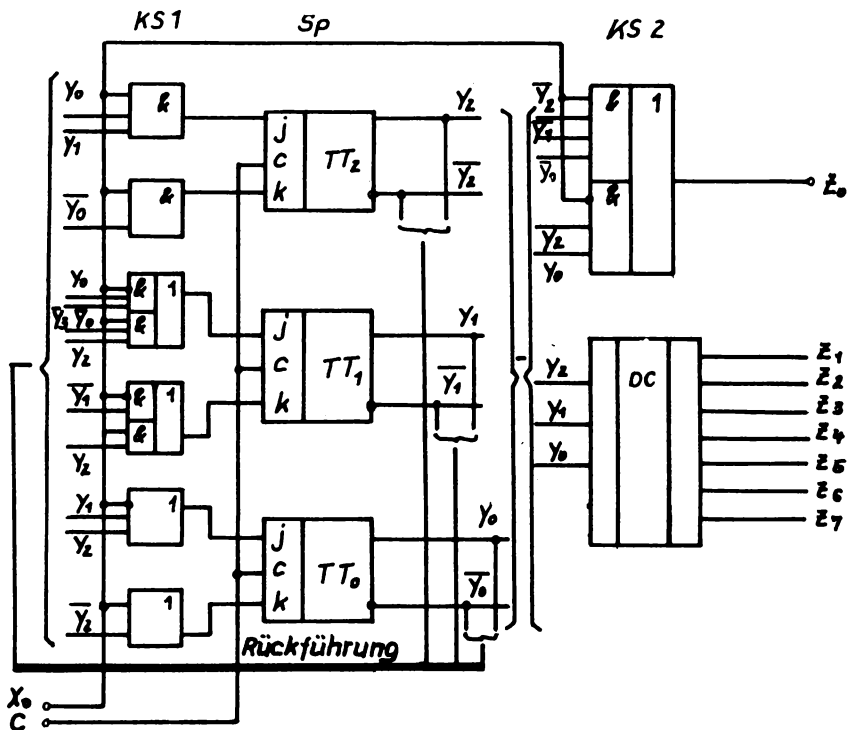
- Die Verwendung von JK-Triggern benötigt den geringsten Aufwand zur Realisierung der KS 1

3.2./2.

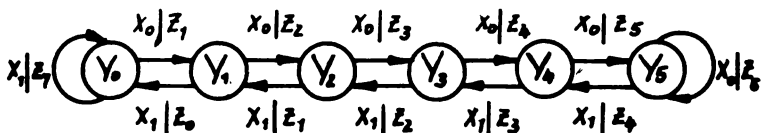


# Lösungen zu Abschnitt 3.3.

3.3./1.



3.3./2.



Graph der Schaltung

Hier bedeutet z.B. die Kennzeichnung der Kante ( $X_1/Z_0$ ) von  $Y_1 \rightarrow Y_0$ , daß ausgehend vom inneren Zustand  $Y_1$  mit der Belegung  $X_1$  der Zustand  $Y_0$  erreicht wird und sich dabei der Ausgangszustand  $Z_0$  ergibt.  $Z_0$  z.B. ist gekennzeichnet durch  $Z_0 = [z_0 = 0, z_1 \text{ bis } z_7 \text{ so belegt, daß sich eine 0 in der Anzeige ergibt}]$ .

$Y_0$  kann ebenfalls mit dem Ausgangszustand  $Z_7$  gekoppelt sein ( $X_1/Z_1$  für  $Y_0 \rightarrow Y_0$ ). Die Zuordnung zweier Ausgangszustände zu einem inneren Zustand kennzeichnet einen Automaten vom Typ Mealy.

$t^{k-1} \backslash t^k$	$X_0$	$X_1$
$Y_0$	$Y_1$	$Y_0$
$Y_1$	$Y_2$	$Y_0$
$Y_2$	$Y_3$	$Y_1$
$Y_3$	$Y_4$	$Y_2$
$Y_4$	$Y_5$	$Y_3$
$Y_5$	$Y_5$	$Y_4$

Überföhrungsfunktion

$$Y = \mathcal{O}(X^k, Y^{k-1})$$

$t^{k-1} \backslash t^k$	$X_0$	$X_1$
$Y_0$	$Z_1$	$Z_7$
$Y_1$	$Z_2$	$Z_0$
$Y_2$	$Z_3$	$Z_1$
$Y_3$	$Z_4$	$Z_2$
$Y_4$	$Z_5$	$Z_3$
$Y_5$	$Z_6$	$Z_4$

Ausgangsfunktion

$$Z^k = \lambda(X^k, Y^{k-1})$$

Die Automatentabelle kann sofort aus dem Graphen entwickelt werden und umgekehrt.

## Literaturverzeichnis

- /1/ Stärz, H.; Cimander, W.: Logischer Entwurf digitaler Schaltungen. Berlin: Verlag Technik 1976.
- /2/ Kühn, Schmied: Integrierte Schaltkreise. Berlin: Verlag Technik 1979, 2. Aufl.
- /3/ TGL 16 056/01 und 02 Logische binäre Elemente. Ausg. Dezember 1974
- /4/ Aktive Elektronische Bauelemente 79/80 VEB Kombinat Mikroelektronik
- /5/ Digitaltechnik mit integrierten Schaltungen Firmenschrift, VALVO GmbH, 2 Hamburg 1
- /6/ Ulrich, L.: Sequentielle Schaltungen Lehrbr. Teil 3, IRO, 1974

Als Manuskript gedruckt • Alle Rechte vorbehalten

Veröffentlicht:

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

Druck:

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

Ag 613 · 4024 · 81 · 1000

1. Ausgabe 1. Auflage

Katalog-Nr.: 03 1132 04 0

Vorzugschutzgebühr: 2,00 M