

Digitaltechnik & Rechnersysteme

Flipflops, Automatenentwurf

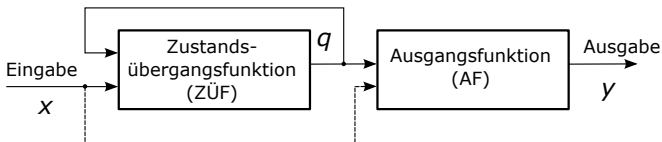
Martin Kumm



WiSe 2025/2026

Was bisher geschah...

- 1 Schaltwerksanalyse
- 2 Zustandsübergangs- u. Ausgangsfunktion
- 3 Zustands(übergangs-)graph
- 4 RS-Latch



Wiederholung: RS-Latch



Übergangstabelle (verkürzt):

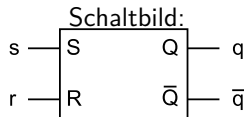
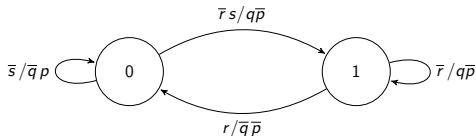
r	s	$q^{t+\tau}$	
0	0	q^t	speichern
0	1	1	setzen
1	0	0	rücksetzen
1	1	–	nicht zulässig

Wegen möglicher Instabilität
ist $r = s = 1$ meist verboten!

r = reset, s = set

Da $p = \bar{q}$ für stabile Zustände gilt, wird der 2. Ausgang als \bar{q} bezeichnet

Das RS-Latch ist ein Element mit **zwei stabilen** Zuständen, auch **bistabiler** Speicher genannt.



Synchrones Schaltverhalten



Bisher hatten wir vorausgesetzt, dass Zustandsänderungen spontan mit der Änderung der Eingangsvariablen erfolgen.

Wir bezeichnen ein solches Schaltverhalten als **asynchron**.

D. h., beliebige Änderungen auf den Eingangsleitungen, z.B. durch Laufzeitunterschiede können sich in Form von Zustandsänderungen auswirken.

Um solche Effekte zu verhindern, wird ein **Takt**signal eingeführt, das durch regelmäßige (periodische) Wechsel zwischen 0 und 1 Zeitpunkte festlegt, zu denen Zustandswechsel erfolgen können.

Man spricht dann von **synchronem** Schaltverhalten.

D-Latch mit Taktpegelsteuerung

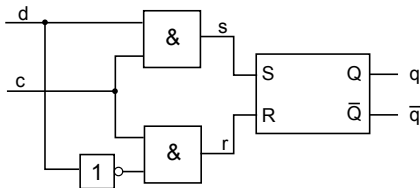


Die zeitliche Übernahme wird durch einen Takt (*clock*, *c*) gesteuert

Set und reset werden aus einem Datensignal *d* und dem Takt *c* abgeleitet:

$$s = dc$$

$$r = \bar{d}c$$



Somit wird bei $d = 1$ das Latch mit jedem Taktpuls gesetzt, für $d = 0$ mit jedem Taktpuls zurückgesetzt.

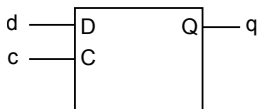
Übergangstabelle D-Latch



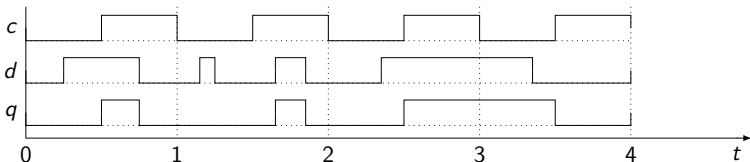
Übergangstabelle:

c	d	$q^{t+\tau}$	
0	0	q^t	speichern
0	1	q^t	speichern
1	0	0	rücksetzen
1	1	1	setzen

Schaltbild:



Verhalten des D-Latches



Die Hälfte der Periode ($c = 1$) ist Latch *transparent*
(Ausgang=Eingang) die andere Hälfte ($c = 0$) wird gespeichert.

Problem:

Speicherung nur die halbe Periode, sollte möglichst lange speichern

➡ Lösung: Flankensteuerung

Taktpegel- und Taktflankensteuerung



Taktpegelsteuerung (Taktzustandssteuerung): Eingangsvariablen und Takt werden konjunktiv verknüpft

⇒ Eingänge wirken nur, während Takt 1 ist (relativ lange).

⇒ Speicherelemente werden als **Latch** bezeichnet

Taktflankensteuerung: Zustandsänderungen (Auswertung) nur bei den Flanken (0→1 Wechsel oder 1→0 Wechsel) möglich.

⇒ Speicherelemente werden als **Flipflop** bezeichnet

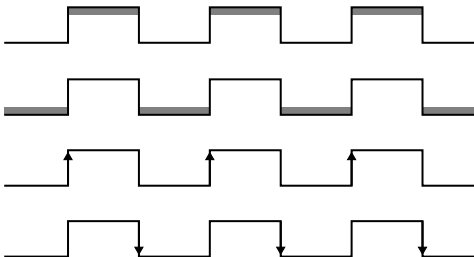
Pegel- und Flankensteuerung



Durch Invertieren des Taktsignals kann auch eine Reaktion auf den Low-Pegel des Taktes bzw. $1 \rightarrow 0$ Taktflanke erreicht werden.

$0 \rightarrow 1$ Übergänge des Takts werden als **Vorderflanke**, **steigende Flanke** oder **positive Taktflanke** bezeichnet.

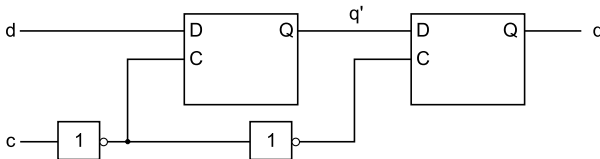
$1 \rightarrow 0$ Übergänge des Takts werden als **Rückflanke**, **fallende Flanke** oder **negative Taktflanke** bezeichnet.



Taktflankengesteuertes D-Flipflop



Durch Hintereinanderschalten zweier taktpegelgesteuerter D-Latches erhält man ein flankengesteuertes D-Flipflop:



Takt= 0:

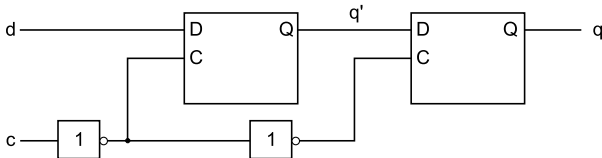
Das **erste Latch** ist **transparent**, das **zweite Latch** **speichert**.

Takt= 1:

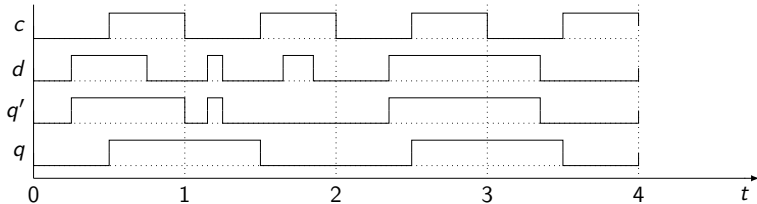
Das **erste Latch** **speichert**, das **zweite Latch** ist **transparent**.

➡ Ausgang für eine ganze Taktperiode stabil!

Taktflankengesteuertes D-Flipflop



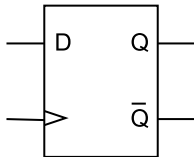
Beispiel-Timing:



Flankengesteuertes D-Flipflop



Schaltsymbol eines D-Flipflops:



Dabei zeigt das **unausgefüllte Dreieck** an, dass es sich um ein **positiv** flankengesteuertes Flipflop handelt. Eine Invertierung des Eingangs bzw. alternativ ein **ausgefülltes Dreieck** bezeichnen eine Steuerung mit der **negativen** Flanke.

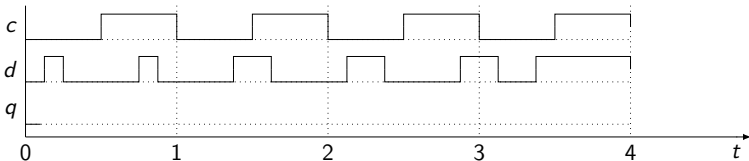
Funktion des D-Flipflops

Übergangsfunktion: $q^{t+1} = d$ für $c = 0 \rightarrow 1$

Übergangstabelle:

d	q^{t+1}
0	0
1	1

Vorlesungsaufgabe: Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf von Ausgang q !



JK-Flipflop



Beim RS-Flipflop ist Eingangskombination $r = s = 1$ nicht erlaubt

Durch Festlegung eines definierte Verhaltens für $r = s = 1$, nämlich der Wechsel des Zustands, erhält man aus dem RS-Flipflop ein **JK-Flipflop**.

Ein Gerücht besagt, das JK-Flipflop wurde möglicherweise nach **Jack Kilby** benannt (Physik-Nobelpreis 2000 für „*Beitrag zur Entwicklung des Integrierten Schaltkreises (IC)*“).

In Wirklichkeit beruht der Name auf einer willkürlichen „Durchnummerierung“ der Eingänge verschiedener Flipflops mit Buchstaben durch Dr. Eldred Nelson (Hughes Aircraft) um 1968.

Heute wird j als **Jump** und k als **Kill** bezeichnet.

Funktion des JK-Flipflops



Übergangstabelle:

j	k	q^{t+1}	
0	0	q^t	speichern
1	0	1	setzen (Jump)
0	1	0	rücksetzen (Kill)
1	1	\bar{q}^t	wechseln / toggeln

$$q^{t+1} = j\bar{q}^t + \bar{k}q^t \text{ für } c = 0 \rightarrow 1$$

Toggle-Flipflop



Ein JK-Flip-Flop mit $j = k = t$ führt zum **Toggle-Flipflop**: Für $t = 1$ ändert sich der Zustand (toggle), für $t = 0$ wird gespeichert.

Übergangstabelle:

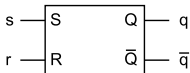
t	q^{t+1}	
0	q^t	speichern
1	$\overline{q^t}$	togglen

$$q^{t+1} = t\overline{q^t} + \overline{t}q^t \text{ für } c = 0 \rightarrow 1$$

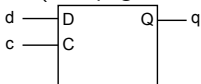
Übersicht Flipflops



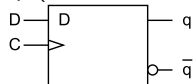
RS-Latch



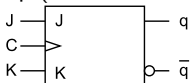
D-Latch (Taktpegelsteuerung)



D-Flipflop (Taktflankensteuerung)



JK-Flipflop (Taktflankensteuerung)



T-Flipflop (Taktflankensteuerung)

