

12.2 Flipflops

Bernd Becker – Technische Informatik II

RS-Flipflops

Analyse von Schaltplänen

$SP = (\vec{X}_n, G, \text{typ}, \text{in}, \text{out}, \vec{Y}_m)$ mit
 G *nicht notwendigerweise* azyklisch.

Bemerkung:

Flipflop wird im folgenden mit FF abgekürzt.

Interessant für uns sind:

Belegungen $a = (a_1, \dots, a_n) \in \mathbf{B}^n$ und Abbildungen $\Phi_a : S \rightarrow \{0,1\}$, die den Signalen *stabile* Belegungen zuordnen:

$$\Phi_a(s) = 0, \quad \text{falls } (0, s) \in E$$

$$\Phi_a(s) = 1, \quad \text{falls } (1, s) \in E$$

$$\Phi_a(s) = a_i, \quad \text{falls } (x_i, s) \in E$$

Für $m \in M$, $\text{in}(m) = s_1 \dots s_k$, $\text{out}(m) = t_1 \dots t_l$

$$(\Phi_a(t_1), \dots, \Phi_a(t_l)) = g_{\text{typ}(m)}(\Phi_a(s_1), \dots, \Phi_a(s_k))$$

BB TI II 12.2/3

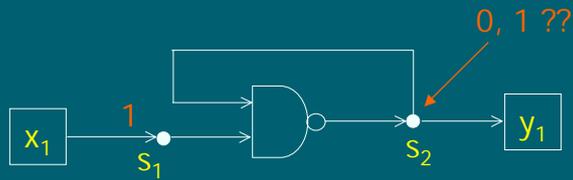
Interessant (ff)

Es ist möglich,
dass es zu einer Eingangsbelegung a

- *keine* stabile Signalbelegung Φ_a gibt
- *mehrere* stabile Signalbelegungen Φ_a gibt

BB TI II 12.2/4

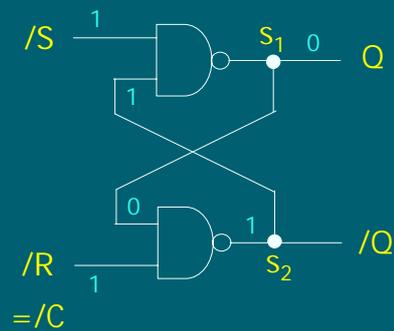
Beispiel 1



Für $a = 1$ existiert keine stabile Signalbelegung
(siehe s_2 !)

BB TI II 12.2/5

Beispiel 2



BB TI II 12.2/6

Beispiel 2 (ff)



Für Eingangsbelegung $/S = 1$, $/R = 1$ gibt es zwei stabile Belegungen $\Phi_{(1,1)}$ und $\Phi'_{(1,1)}$:

$$\Phi_{(1,1)}(s_1) = 0, \quad \Phi_{(1,1)}(s_2) = 1 \quad \text{und}$$

$$\Phi'_{(1,1)}(s_1) = 1, \quad \Phi'_{(1,1)}(s_2) = 0$$

Diese Schaltung nennt man **RS-Flipflop**,
bei Signalbelegung Φ spricht man von **Zustand $Q = 0$** ,
bei Φ' von **Zustand $Q = 1$**

BB TI II 12.2/7

Frage:



Bei Eingangsbelegung $/S = 1$, $/C = 1$ hat das RS-FF **2 stabile Zustände**.

Wie kann man von einem Zustand in einen anderen kommen?

BB TI II 12.2/8

Übergang

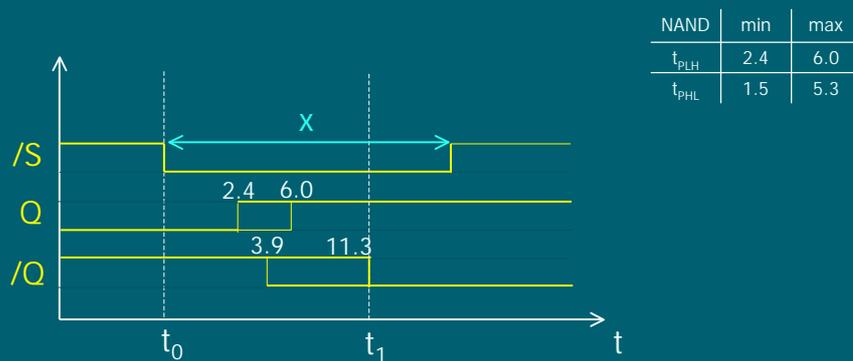


Zustand $Q = 0 \Rightarrow$ Zustand $Q = 1$:

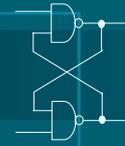
- Senke $/S$ zur Zeit t_0 ab und hebe zu $t_0 + x$ wieder an (einen solchen Signalverlauf nennt man *Puls*)
- Nach Zeit $t_{P/SQ}$ ist $Q = 1$
- Nach Zeit $t_{P/S/Q}$ ist $/Q = 0$
- Wähle x so, dass kein Spike entsteht!

BB TI II 12.2/9

Übergang - graphisch



Spikefreier Übergang



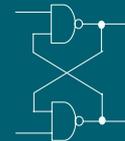
Nach den Regeln des spikefreien Umschaltens von Gattern entsteht kein Spike, falls

$$(t_0 + x) - (t_0 + 11.3) \geq 11.0 \Leftrightarrow x \geq 22.3 \text{ ns}$$

Wechsel von Zustand $Q = 1$ zu Zustand $Q = 0$
aus Symmetriegründen analog.

BB TI II 12.2/11

Symbole und Bezeichnungen



Symbol	Bezeichnung	min	max
x	Pulsweite	22.3	
$t_{P/S/Q}$	Verzögerungszeit von /S bis Q	2.4	6.0
$t_{P/S/\bar{Q}}$	Verzögerungszeit von /S bis /Q	3.9	11.3
$t_{P/R/Q}$	Verzögerungszeit von /R bis Q	3.9	11.3
$t_{P/R/\bar{Q}}$	Verzögerungszeit von /R bis /Q	2.4	6.0

Weitere Bezeichnungen



- Umschalten des FF in Zustand $Q = 1$ heißt Setzen (set).
- Umschalten des FF in Zustand $Q = 0$ heißt Zurücksetzen (reset).
- $/S$ heißt Set-Signal.
- $/R = /C$ heißt Reset- oder Clear-Signal.

BB TI II 12.2/13

Weitere Bezeichnungen (ff)



- Weil $/R$, $/S$ durch Absenken aktiviert werden, nennt man sie active low.
- Signalnamen von active-low-Signalen beginnen in der Regel mit $/$.

BB TI II 12.2/14

Flackern



Zu vermeiden ist:

- \overline{S} , \overline{R} beide aktiv, d.h. $\overline{S} = 0$, $\overline{R} = 0$

→ $Q = 1$, $\overline{Q} = 1$

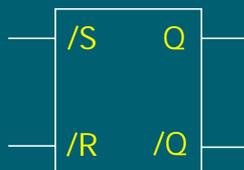
- Wenn dann

- \overline{S} , \overline{R} gleichzeitig inaktiv und
- Gatter gleich schnell schalten

→ Flackern = metastabiler Zustand

BB TI II 12.2/15

Schaltsymbol für RS-FF



Beispiel:

FAST-Baustein 74F74 enthält 2 FF,
die als RS-FF nutzbar sind

BB TI II 12.2/16

Nachteil von RS-FF



Beim Speichern eines Wertes 0 oder 1 muss man den Wert kennen:

0 → Aktiviere /R

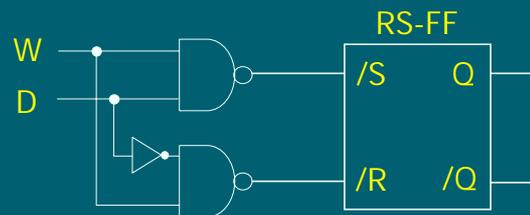
1 → Aktiviere /S

Ziel:

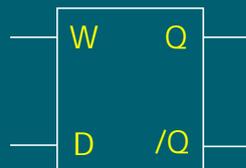
Speichern *unbekannter* Werte

BB TI II 12.2/17

D-Latch - graphisch

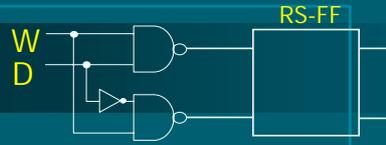


Symbol:



BB TI II 12.2/18

D-Latch

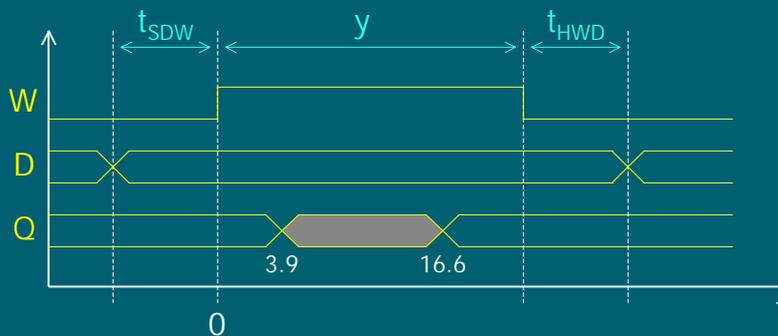
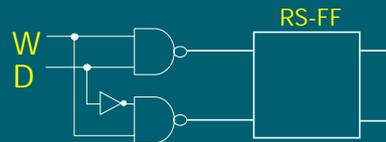


W ist active high.

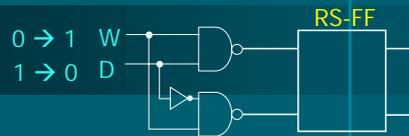
$W = 0 \Rightarrow \quad /S, /R$ inaktiv

$W = 1 \Rightarrow \quad \begin{cases} /S \text{ aktiv, falls } D = 1 \\ /R \text{ aktiv, falls } D = 0 \end{cases}$

Timing-Diagramm



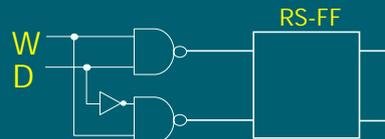
Timing-Bedingungen für das D-Latch



- W muss beim Schreiben **lange genug 1** sein, um **minimale Pulsweite x** des RS-FFs zu garantieren
- Vor W: $0 \rightarrow 1$ werden Daten für Zeit t_{SDW} stabil gehalten, um Spikes auf /S, /R zu vermeiden
- Nach W: $1 \rightarrow 0$ werden Daten für Zeit t_{HWD} stabil gehalten, um Spikes auf /S, /R zu vermeiden

BB TI II 12.2/21

Symbole und Bezeichnungen



Symbol	Bezeichnung	min	max
y	Pulsweite des Schreibpulses	25.2	
t_{SDW}	Setupzeit von D bis W	16.3	
t_{HWD}	Holdzeit von W nach D	11.0	
t_{PWQ}	Verzögerungszeit von W bis Q	3.9	16.6
(t_{PDQ})	Verzögerungszeit von D bis Q	3.9	22.6)

Lemma 12.1

Der Schreibvorgang beim D-Latch funktioniert mit den Parameterwerten aus der Tabelle.

Beweis: siehe Übung

BB TI II 12.2/23

Hinweise zum Beweis des Lemmas

Voraussetzung:

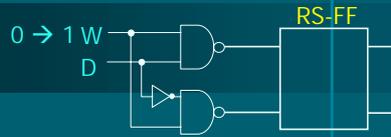
Pulsweite und Verzögerungszeiten für RS-FF wie in Vorlesung hergeleitet.

Inverter (74F04), NAND (74F00) mit folgenden Werten:

	NAND		NOT	
	min	max	min	max
t_{PLH}	2.4	6.0	2.4	6.0
t_{PHL}	1.5	5.3	1.5	5.3

BB TI II 12.2/24

Hinweise ff Setupzeit t_{SDW} mit Fallunterscheidung



D : 0 → 1 :

- Kein Spike an oberem NAND
- unteres NAND: \bar{D} : 1 → 0 nach (1.5, 5.3)
W : 0 → 1 mind. 11 ns danach
→ $t_{SDW} \geq 16.3$ ns

D : 1 → 0 :

- oberes NAND: W : 0 → 1 mind. 11 ns danach
→ $t_{SDW} \geq 11$ ns
- unteres NAND: kein Spike möglich

→ $t_{SDW} \geq 16.3$ ns

BB TI II 12.2/25

Weitere Eigenschaften eines D-Latches

- Das D-Latch heißt **transparent**, wenn das Schreibsignal aktiv ist.
- Hält man W lange aktiv und ändert D zur Zeit t, dann ändert sich Q zur Zeit $t + t_{PDQ}$.
- Das D-Latch ist **pulsgesteuert** (Schreibpuls W)

Beispiel:

FAST-Baustein 74F73 enthält 8 D-Latches.

BB TI II 12.2/26

D-Flipflop

Taktflankengesteuerte Flipflops wie das **D-Flipflop** übernehmen Daten zu einem bestimmten Zeitpunkt (kein transparenter Modus!), nämlich bei der steigenden Flanke des sog. **Clocksignals**

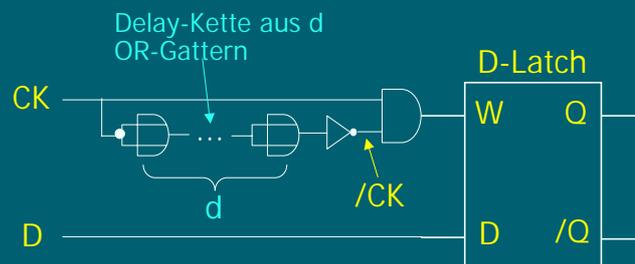
Vorteil:

Daten müssen lediglich bei der **steigenden Taktflanke** stabil sein (zzgl. Setup- und Holdzeit)

BB TI II 12.2/27

D-Flipflop aus D-Latch

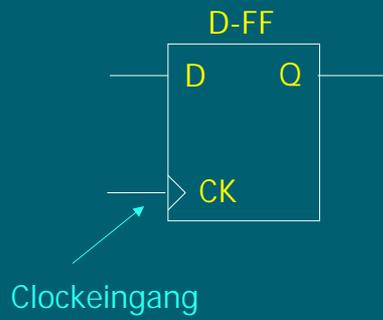
Prinzipielle Möglichkeit, ein D-FF aus einem D-Latch zu konstruieren:



Idee:

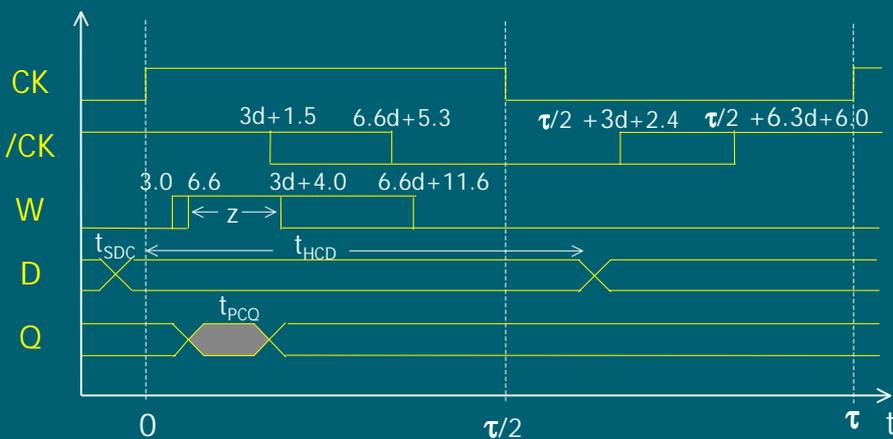
Erzeuge mit Delay-Kette aus Clocksignal einen Schreibpuls

D-Flipflop: Symbol

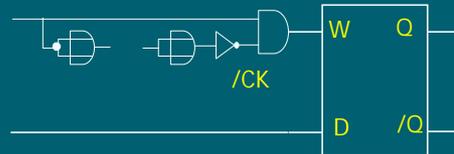


BB TI II 12.2/29

Timing-Diagramm



Timing: Berechnungen



Verzögerungszeiten der Gatter:

	AND		OR		NOT	
	min	max	min	max	min	max
t_{PLH}	3.0	6.6	3.0	6.6	2.4	6.0
t_{PHL}	2.5	6.3	3.0	6.3	1.5	5.3

BB TI II 12.2/31

Timing: Berechnungen (ff)

CK : 0 \rightarrow 1 zum Zeitpunkt $t = 0$

\rightarrow W : 0 \rightarrow 1 bei

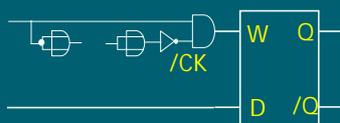
$t_1 = (3.0, 6.6)$, da noch $/CK = 1$

\rightarrow $/CK$: 1 \rightarrow 0 bei

$t_2 = d \cdot (3.0, 6.6) + (1.5, 5.3)$

\rightarrow W : 1 \rightarrow 0 bei

$t_3 = t_2 + (2.5, 6.3) = d \cdot (3.0, 6.6) + (4.0, 11.6)$



	AND		OR		NOT	
	min	max	min	max	min	max
t_{PLH}	3.0	6.6	3.0	6.6	2.4	6.0
t_{PHL}	2.5	6.3	3.0	6.3	1.5	5.3

Timing: Berechnungen (ff)

→ Breite des Schreibpulses

$$z = \min(t_3) - \max(t_1) = 3d + 4.0 - 6.6 = 3d - 2.6$$

Es muss gelten:

$$3d - 2.6 \geq 25.2 \quad (= \text{min. Schreibpulsweite D-Latch})$$

$$\rightarrow d \geq 10$$

BB TI II 12.2/33

Analyse mit folgenden Parametern:

- steigende Flanke von CK bei $t = 0$
- Daten stabil ab - t_{SDC}
- Daten stabil bis t_{HCD}
- Neue Daten am Ausgang zur Zeit t_{PCQ}

BB TI II 12.2/34

Symbole und Bezeichnungen

Symbol	Bezeichnung	min	max
t_{SDC}	Setupzeit von D bis CK	13.3	
t_{HCD}	Holdzeit von CK nach D	88.6	
t_{PCQ}	Verzögerungszeit von CK bis Q	6.9	23.2
ν	Clockfrequenz (MHz)		7.2

Berechnungen zum D-Flipflop

Für D-Latch:

$$t_{SDW} \geq 16.3, t_{HWD} \geq 11.0, t_{PWQ} = (3.9, 16.6)$$

$$\rightarrow t_{SDC} \geq 16.3 - \min(t_1) = 16.3 - 3.0 = 13.3$$

$$\rightarrow t_{HCD} \geq \max(t_3) + 11.0 = 6.6d + 11.6 + 11.0 = 88.6$$

bei $d = 10$

$$t_{PCQ} = t_1 + t_{PWQ} = (3.0, 6.6) + (3.9, 16.6) \\ = (6.9, 23.2)$$

Berechnungen zum D-Flipflop (ff)

Sei CK ein periodisches Signal mit Clockperiode τ ns.

Clockfrequenz von CK ist $\nu = 1/\tau$.

Voraussetzung:

CK ist symmetrisch, d.h. steigt und fällt alle $\tau/2$ ns.

BB TI II 12.2/37

Achtung!

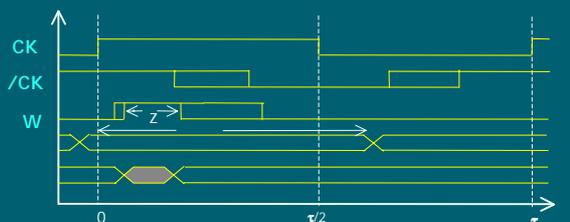
- Übergang CK : 1 \rightarrow 0 darf nicht zu früh kommen wegen Schreibpulswerte:

W sinkt wegen CK zur Zeit $t_4 = \frac{\tau}{2} + (2.5, 6.3)$

$\rightarrow \min(t_4) - \max(t_1) = \frac{\tau}{2} + 2.5 - 6.6 \geq 25.2$

$\rightarrow \frac{\tau}{2} \geq 29.3 \Rightarrow \tau \geq 58.6$

Mindeszeit
Schreibpuls D-Latch



BB TI II 12.2/38

Achtung! (2)

- Übergang CK : 0 → 1 nicht bevor /CK = 1 !

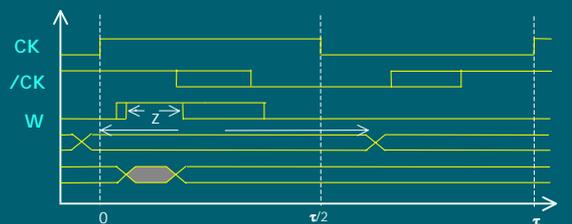
$$/CK = 1 \text{ nach } t_5 = \frac{\tau}{2} + d \cdot (3.0, 6.3) + (2.4, 6.0)$$

$$= \left(\frac{\tau}{2} + 3.0d + 2.4, \frac{\tau}{2} + 6.3d + 6.0 \right)$$

$$\Rightarrow \tau \geq \max(t_5) = \frac{\tau}{2} + 6.3d + 6.0$$

$$\Rightarrow \tau \geq 12.6d + 12.0 = 138.0$$

$d = 10$



BB TI II 12.2/39

Achtung! (3)

Wegen $t_5 - \frac{\tau}{2} \geq 3.0d + 2.4 \geq 11.3$

ist spikefreies Umschalten auf jeden Fall garantiert!

$$\Rightarrow \nu \leq \frac{1}{(138.0 \cdot 10^{-9} \text{s})}$$

$$\frac{1}{(138.0 \cdot 10^{-9} \text{s})} \geq 7.2 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 7.2 \text{ MHz}$$

BB TI II 12.2/40

Bemerkung

D-Flipflop in der hier vorgestellten Realisierung verdeutlicht (nur) das Prinzip !

Reale Flipflops haben $t_{\text{HCD}} < t_{\text{PCQ}}$

→ siehe Datenblätter

BB TI II 12.2/41

Einfache Bausteine mit Flipflops

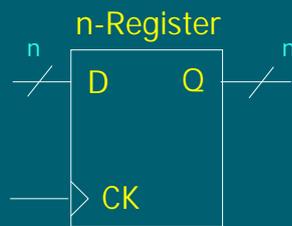
- Register
- Zähler

BB TI II 12.2/42

Register

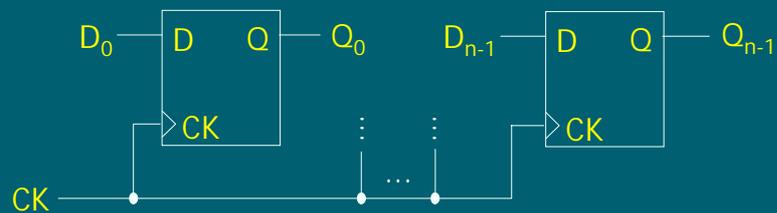
n – Bit Register

= n D-Flipflops mit gemeinsamem Clocksignal



BB TI II 12.2/43

Aufbau eines Registers



(Entsprechend: n - Bit Latch

= n D-Latches mit gemeinsamem Schreibsignal W)

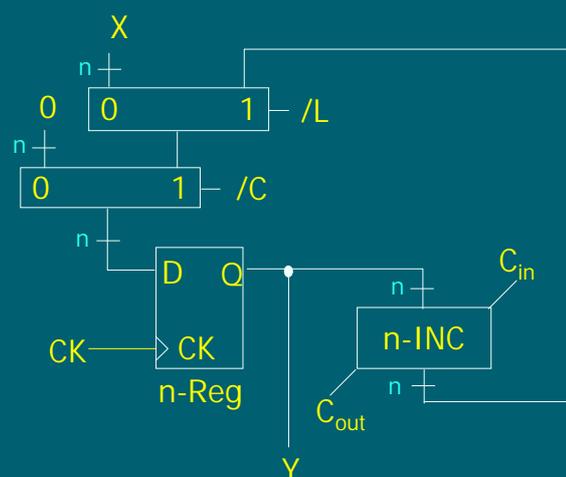
Zähler

Ein **n – Bit Zähler** ist eine Schaltung mit folgenden Ein- und Ausgängen:

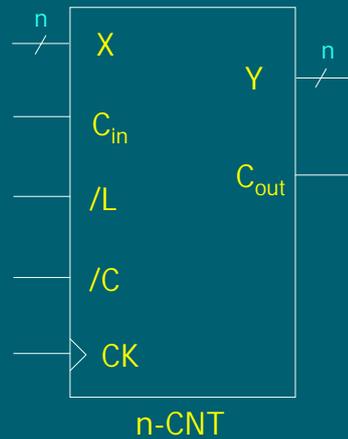
- Dateneingänge $X = (X_{n-1}, \dots, X_0)$
- Datenausgänge $Y = (Y_{n-1}, \dots, Y_0)$
- Dateneingang c_{in} für Eingangsübertrag
- Datenausgang c_{out} für Ausgangsübertrag
- Eingänge für Kontrollsignale:
/C (Clear) , /L (Load) , CK (Clock)

BB TI II 12.2/45

Aufbau eines Zählers



Symbol eines Zählers



BB TI II 12.2/47

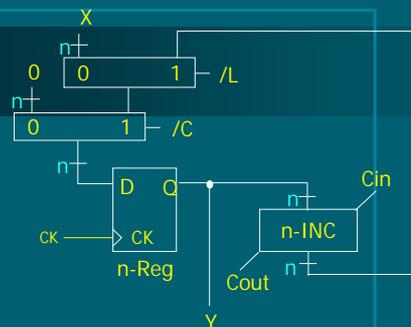
Funktionsweise eines Zählers

Ein Zähler speichert ein n-Bit-Wort, das an den Ausgängen Y erscheint.

(Zählerstand)

Bei jeder steigenden Flanke von CK wird ein neuer Zählerstand Y_{neu} gespeichert. Für Y_{neu} gilt:

$$Y_{\text{neu}} = \begin{cases} 0 \dots 0 & , \text{ falls } /C = 0 \\ X & , \text{ falls } /C = 1, /L = 0 \\ \text{bin}_n((\langle Y \rangle + C_{\text{in}}) \bmod 2^n) & , \text{ falls } /C = 1, /L = 1 \end{cases}$$



BB TI II 12.2/48

Funktionsweise eines Zählers (ff)

Ausgangsübertrag C_{out} ermöglicht es, den Zähler zu *kaskadieren*, z.B. aus s n -Bit-Zählern einen $s \cdot n$ -Bit-Zähler zu bauen.

Bsp.: Baustein 74F163 ist ein 4-Bit-Zähler.