

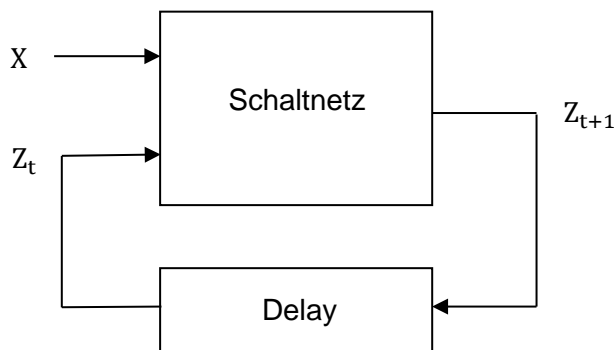
Entwicklung eines RS-Flipflops

Inhalt

1. Asynchrone Schaltwerke	2
2. Entwicklung eines RS-Flipflops (NOR-FF)	3

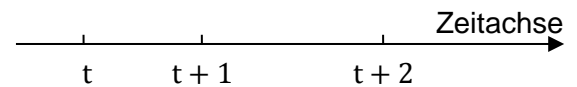
1. Asynchrone Schaltwerke

Situation:



X eine bis mehrere Eingangsvariablen
 Z_t ins Schaltnetz zurückgeführte Variable/n
 Z_{t+1} Ausgangsvariable/n, zum Zeitpunkt $t+1$ neue Eingangsvariable/n

Delay: Verzögerung in der Rückkopplung, Entkoppelung



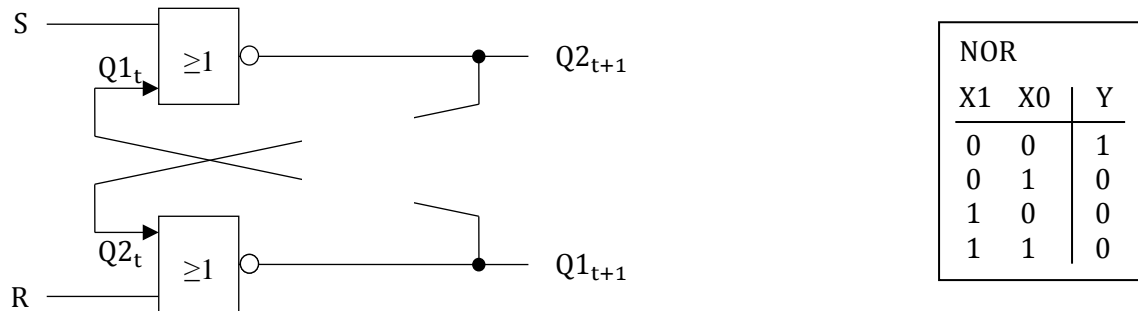
Ein *Schaltwerk* ist eine digitale Schaltung, welche Zustandscharakter aufweist. Der Zustand zum Zeitpunkt $t + i$ ist abhängig vom Vorzustand (von den rückgekoppelten Werten und den angelegten Werten der Eingangsvariablen), etc.

Asynchron heisst, dass kein äusseres Synchronisier-Signal die Schaltung beeinflusst. Bei einer Änderung von Eingangsvariablen zur Zeit t ist genügend lange zu warten, bis ein neuer Zustand zur Zeit $t + i$ eingenommen wird. Es wird vorausgesetzt, dass die Schaltung sich in kurzer Zeit stabilisiert.

Zustandsmaschinen (wie z.B. obige Konstellation) spielen eine wichtige Rolle - auch in der Informatik. Mehr darüber kann z.B. unter den Begriffen *Finite State Machines* (FSM) und *Endliche Automaten* gefunden werden.

2. Entwicklung eines RS-Flipflops (NOR-FF)

Zur Entwicklung eines RS-NOR-FF wird von untenstehender Schaltung ausgegangen, bei der die zurückgeführten Leitungen unterbrochen sind:



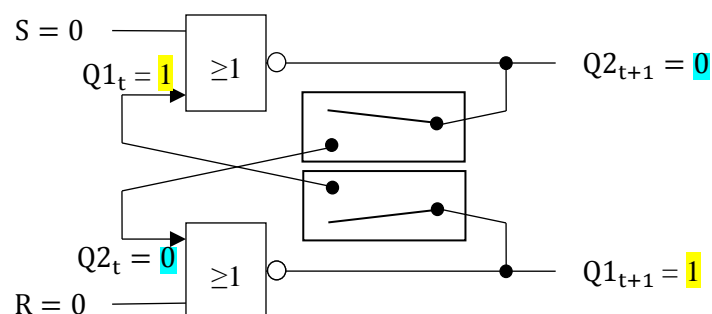
Für die obige (kombinatorische) Schaltung wird die Wahrheitstabelle unten links aufgestellt. S, R, $Q1_t$ und $Q2_t$ sind Eingänge, $Q1_{t+1}$ und $Q2_{t+1}$ sind Ausgänge.

Im Folgenden wird untersucht, ob die Schaltung mit Rückkopplung stabil ist (also nicht schwingt). Dazu müssen alle Zeilen der Tabelle separat überprüft werden. Vorerst konzentrieren wir uns auf die Fälle, die in der unten stehenden Tabelle rechts eingerahmt sind. An ihnen wird gezeigt, was *stabiler Zustand* heisst.

S	R	$Q2_t$	$Q1_t$	$Q2_{t+1}$	$Q1_{t+1}$	
0	0	0	0	1	1	
0	0	0	1	0	1	
0	0	1	0	1	0	
0	0	1	1	0	0	
0	1	0	0	1	0	
0	1	0	1	0	0	
0	1	1	0	1	0	
0	1	1	1	0	0	
1	0	0	0	0	1	
1	0	0	1	0	1	
1	0	1	0	0	0	
1	0	1	1	0	0	
1	1	0	0	0	0	
1	1	0	1	0	0	
1	1	1	0	0	0	
1	1	1	1	0	0	

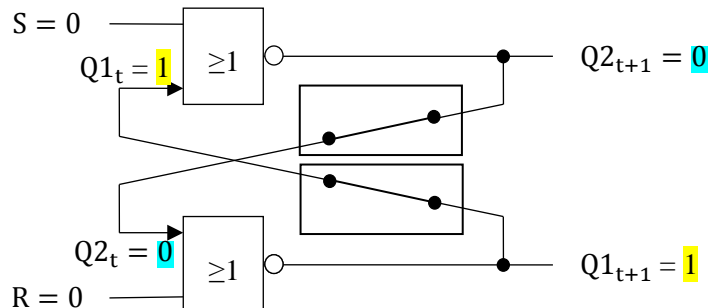
S	R	$Q2_t$	$Q1_t$	$Q2_{t+1}$	$Q1_{t+1}$	Bemerkungen
0	0	0	0	1	1	
0	0	0	1	0	1	Zeile 1
0	0	1	0	1	0	Zeile 2
0	0	1	1	0	0	
0	1	0	0	1	0	
0	1	0	1	0	0	
0	1	1	0	1	0	Zeile 6
0	1	1	1	0	0	
1	0	0	0	0	1	
1	0	0	1	0	1	Zeile 9
1	0	1	0	0	0	
1	0	1	1	0	0	
1	1	0	0	0	0	Zeile 12
1	1	0	1	0	0	
1	1	1	0	0	0	
1	1	1	1	0	0	

Wir beschränken uns zunächst auf Zeile 1. Bei noch offenen Rückführungen werden die konkreten Werte in der Schaltung eingetragen:



Vor dem Schliessen der beiden Schalter ersieht man bereits, dass $Q1_t = Q1_{t+1} = 1$ und $Q2_t = Q2_{t+1} = 0$ gilt.

Die bei offener Rückführung willkürlich gewählten Werte $Q1_t$ und $Q2_t$ stimmen je mit den Ausgangswerten $Q1_{t+1}$ und $Q2_{t+1}$ überein. Mit Schliessen der Schalter ändern die Werte an den Eingängen der NOR-Gatter nicht.

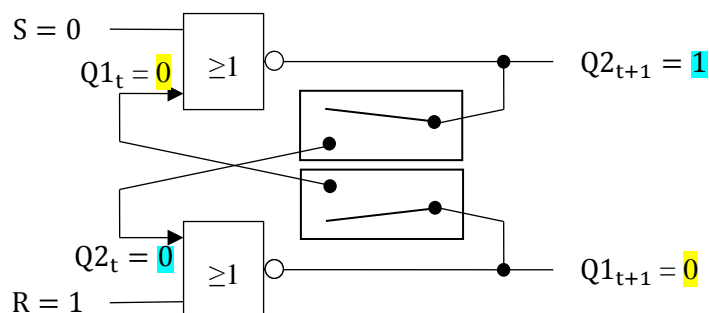


Die Zeile 1 stellt offenbar einen stabilen Zustand dar. Der stabile Zustand drückt sich dadurch aus, dass die Bit-Muster der beiden eingerahmten Werte in Zeile 1 dieselben sind.

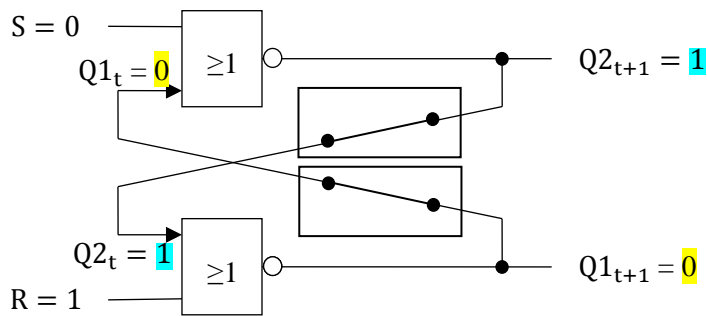
Weitere übereinstimmende Muster lassen sich auch in den Zeilen 2, 6, 9 und 12 finden. Alle diese Zeilen stellen - bei unterschiedlichen S und R - stabile Zustände dar.

Auch für die restlichen Zeilen ist zu zeigen, dass - wenngleich nicht sofort - schliesslich stabile Zustände eingenommen werden. Wir gehen wiederum von geöffneten Schaltern aus und untersuchen Zeile 4.

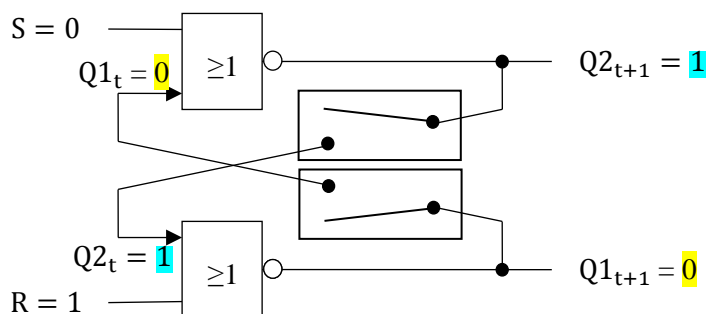
S	R	$Q2_t$	$Q1_t$	$Q2_{t+1}$	$Q1_{t+1}$	Bemerkungen
0	0	0	0	1	1	
0	0	0	1	0	1	stabil
0	0	1	0	1	0	stabil
0	0	1	1	0	0	
0	1	0	0	1	0	Zeile 4
0	1	0	1	0	0	
0	1	1	0	1	0	stabil
0	1	1	1	0	0	
1	0	0	0	0	1	
1	0	0	1	0	1	stabil
1	0	1	0	0	0	
1	0	1	1	0	0	
1	1	0	0	0	0	stabil
1	1	0	1	0	0	
1	1	1	0	0	0	
1	1	1	1	0	0	



Werden jetzt die beiden Schalter geschlossen, ändert der Eingangswert $Q2_t$ von 0 zu 1, da der Ausgangswert $Q2_{t+1}$ übernommen wird. Für $Q1_t$ ändert sich nichts. Die neue Situation ersehen Sie unten.



Mit einem neuen Eingangswert am NOR-Gatter muss der Ausgang $Q1_{t+1}$ überprüft werden, er könnte ändern. Zuvor werden aber die beiden Schalter wieder geöffnet. Es ergibt sich folgendes Bild:



Am Ausgang $Q1_{t+1}$ ändert sich nichts.

Wenn die Schalter neuerlich geschlossen werden, kommt keine weitere Änderung zu Stande: wir befinden uns im stabilen Zustand von Zeile 6.

Das Einnehmen eines stabilen Zustandes ausgehend von Zeile 4 tragen wir in der Wahrheitstabelle mit einem Pfeil ein.

S	R	$Q2_t$	$Q1_t$	$Q2_{t+1}$	$Q1_{t+1}$	Bemerkungen
0	0	0	0	1	1	
0	0	0	1	0	1	stabil
0	0	1	0	1	0	stabil
0	0	1	1	0	0	
0	1	0	0	1	0	instabil (4)
0	1	0	1	0	0	
0	1	1	0	1	0	stabil (6)
0	1	1	1	0	0	
1	0	0	0	0	1	
1	0	0	1	0	1	stabil
1	0	1	0	0	0	
1	0	1	1	0	0	
1	1	0	0	0	0	stabil
1	1	0	1	0	0	
1	1	1	0	0	0	
1	1	1	1	0	0	

In ähnlicher Weise wird mit Zeile 5 vorgegangen. Es zeigt sich, dass der stabile Zustand von Zeile 6 nicht in einem Schritt eingenommen wird, sondern dass zuerst in die Zeile 4 und von dort weiter nach Zeile 6 gegangen wird.

Zeile 7 etc. werden alle nach den Überlegungen gemäss 4. behandelt. Sind alle Zeilen (ausser 0 und 3) bearbeitet, sieht die Wahrheitstabelle mit ergänzten Pfeilen zur Kennzeichnung eingenommener (Zwischen-) Zustände wie unten aus. Jeder dieser Fälle endet in einem stabilen Zustand.

S	R	Q2 _t	Q1 _t	Q2 _{t+1}	Q1 _{t+1}	Bemerkungen
0	0	0	0	1	1	
0	0	0	1	0	1	stabil
0	0	1	0	1	0	stabil
0	0	1	1	0	0	
0	1	0	0	1	0	
0	1	0	1	0	0	
0	1	1	0	1	0	stabil
0	1	1	1	0	0	
1	0	0	0	0	1	
1	0	0	1	0	1	stabil
1	0	1	0	0	0	
1	0	1	1	0	0	
1	1	0	0	0	0	stabil
1	1	0	1	0	0	
1	1	1	0	0	0	
1	1	1	1	0	0	

Es verbleiben die Zeilen 0 und 3. Gemäss früherer Argumentation bzw. nach Eintragen der Pfeile in der Tabelle in gewohnter Weise, erkennt man, dass abwechselungsweise von Zeile 0 auf Zeile 3 auf Zeile 0 auf Zeile 3 etc. gesprungen wird. Die Schaltung schwingt. Das Schwingen kommt zu Stande, weil für beide Schalter ein absolut gleichzeitiges Schliessen (und Öffnen) unterstellt wird. In Realität werden die beiden Schalter (welche Verzögerungen in den Schaltungen und Leitungen modellieren) zeitliche Differenzen aufweisen. Damit kommen die beiden 0 oder 1 der Ausgänge nicht mehr gleichzeitig an die Eingänge zu liegen, womit sich Fälle nach Zeile 1 oder 2 ergeben. Welcher Fall dies konkret ist, lässt sich i.A. nicht voraussagen.

Mit dieser Erkenntnis lassen sich nun auch die Pfeile für die Zeilen 0 und 3 eintragen.

S	R	Q2 _t	Q1 _t	Q2 _{t+1}	Q1 _{t+1}	Bemerkungen
0	0	0	0	1	1	
0	0	0	1	0	1	stabil
0	0	1	0	1	0	stabil
0	0	1	1	0	0	
0	1	0	0	1	0	
0	1	0	1	0	0	
0	1	1	0	1	0	stabil
0	1	1	1	0	0	
1	0	0	0	0	1	
1	0	0	1	0	1	stabil
1	0	1	0	0	0	
1	0	1	1	0	0	
1	1	0	0	0	0	stabil
1	1	0	1	0	0	
1	1	1	0	0	0	
1	1	1	1	0	0	

Das RS-FF wird also mit jeder beliebigen Anfangsbedingung (beim Einschalten der Spannung) einen stabilen Zustand einnehmen - welchen genau, ist unbekannt.

In der Praxis interessieren die instabilen Zustände häufig nicht. Aus diesem Grund werden nur noch die stabilen Zustandszeilen notiert:

S	R	Q _{2t}	Q _{1t}	Q _{2t+1}	Q _{1t+1}	Bemerkungen
0	0	0	1	0	1	stabil
0	0	1	0	1	0	stabil
0	1	1	0	1	0	stabil
1	0	0	1	0	1	stabil
1	1	0	0	0	0	stabil

Zusätzliche inverse Ausgänge sind für viele Anwendungen vorteilhaft. Inverse Ausgänge erhält man, indem $Q_{1t} = \overline{Q_{2t}}$ gesetzt wird. Allerdings steht dies im Widerspruch zur letzten Zeile der obigen Tabelle, wo es dann $Q_{2t} = \overline{Q_{2t}}$ hiesse. Dem Dilemma wird begegnet, indem diese Zeile verboten wird, d.h. nicht zugelassen wird, dass $S = R = 1$ ist. Tritt in einer Schaltung $S = R = 1$ trotzdem ein, kann keine Aussage über das korrekte Verhalten der Schaltung gemacht werden.

Neu sieht die Tabelle nun wie folgt aus:

S	R	Q _{2t}	$\overline{Q_{2t}}$	Q _{2t+1}	$\overline{Q_{2t+1}}$	Bemerkungen
0	0	0	1	0	1	} Q _{2t} $\overline{Q_{2t}}$
0	0	1	0	1	0	
0	1	1	0	1	0	
1	0	0	1	0	1	verboten
1	1	*	*	*	*	

Schliesslich kann eine sog. Zustandsfolgetabelle für das RS-NOR-FF formuliert werden. In dieser wird auch der inverse Ausgang gerne weggelassen. Es wurden eingesetzt: $\overline{Q_{2t+1}} = Q_{t+1}$ und $\overline{Q_{2t}} = Q_t$. Zudem wurden die ersten beiden Zeilen der obigen Tabelle neu in eine Zeile zusammengefasst.

S	R	Q _{t+1}
0	0	Q _t
0	1	0
1	0	1
1	1	verboten

Mit S als Set-Eingang und R als Reset-Eingang wird den Eingängen Bedeutung gegeben. Die Tabelle des RS-NOR-FF wird so besonders einfach.

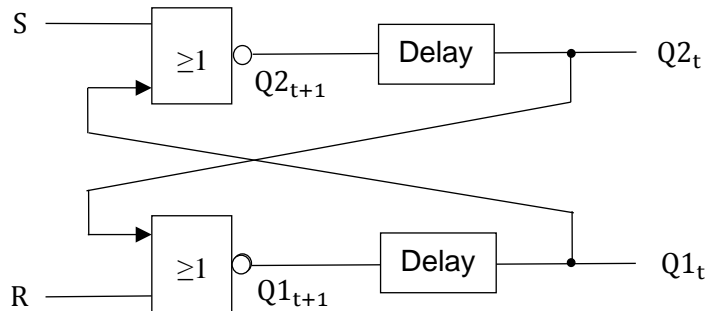
Die Zeilen obiger Tabelle von unten nach oben erklärt:

- Es ist verboten, dass das RS-NOR-FF gleichzeitig gesetzt ($S = 1$) und zurückgesetzt ($R = 1$) wird. Das gleichzeitige Zurücksetzen ergäbe auch sprachlich-logisch keinen Sinn.
- Das Setzen des FF mit $S = 1$ hat zur Folge, dass der Ausgang $Q = 1$ ist.
- Das Rücksetzen des FF mit $R = 1$ hat zur Folge, dass der Ausgang $Q = 0$ ist.
- Wird weder gesetzt ($S = 0$) noch zurückgesetzt ($R = 0$), so behält das FF seinen alten Zustand bei (bzw. der neue Zustand entspricht dem alten, d.h. $Q_{t+1} = Q_t$).

Mit der Einführung der Delay-Glieder (früher als Schalter dargestellt) kann systematisch analysiert werden:

- Zeitliches Auftrennen der Rückkopplungsleitung mit Delays.
- Gleichungen aufstellen, als ob es sich um ein Schaltnetz handeln würde.
- Am Schluss Delays aufheben: Gleichungen gleichsetzen und Zustandsfolgefunktionen finden.

Die Schaltung etwas umgezeichnet:



$$Q1_{t+1} = \overline{R + Q2_t}$$

$$Q2_{t+1} = \overline{S + Q1_t}$$

Delay aufheben:

$Q1_t := Q1_{t+1}$ und $Q2_t := Q2_{t+1}$, was zu folgenden Zustandsfolgefunktionen führt:

$$Q1_{t+1} = \overline{R + S + Q1_t}$$

$$Q2_{t+1} = \overline{S + R + Q2_t}$$

Frage:

Wie ist das $\bar{R} \bar{S}$ -NAND-FF zu analysieren? Wie lauten Zustandsfolgetabelle und Zustandsfolgefunktionen?

Hinweis: \bar{R} und \bar{S} sind aktiv tief zu wählen: Reset, falls Eingang tief; Set falls Eingang tief.