Zählschaltungen mit beliebiger Zählfolge entwerfen

11. 1. 13

Beispiel:

Eine Zählschaltung, die gemäß der folgenden Tabelle zyklisch zählt (von Stellung 6 wieder nach Stellung 1). Beim Einschaltrücksetzen soll Stellung 1 eingestellt werden (hierzu werden Flipflops mit asynchronen Setz- oder Rücksetzeingängen verwendet).

Stellung	C	B	A
1	0	0	1
2	0	1	1
3	0	1	0
4	1	1	0
5	1	1	1
6	1	0	1

Prinzip: In jeder Stellung für jedes Flipflop festlegen, wie es mit dem jeweils nächsten Takt zu schalten hat. Die im jeweils nächsten Takt einzunehmende Belegung wird gemäß Zählrichtung aus der Zustandsfolgetabelle abgelesen (vorwärts = von oben nach unten, rückwärts = von unten anch oben). Die folgenden Beispiele betreffen das Vorwärtszählen.

1. D-Flipflops
Es ist die Belegung an den D-Eingang anzulegen, die mit dem jeweils nächsten Takt übernommen werden soll:

$$D(t) = Q(t+1)$$

Stellung	C	B	A	D_C	D_B	D_A
1	0	0	1	0	1	1
2	0	1	1	0	1	0
3	0	1	0	1	1	0
4	1	1	0	1	1	1
5	1	1	1	1	0	1
6	1	0	1	0	0	1

Erläuterung am Beispiel der Stelle A:

Stellung	**A**	**D_A**	
1	1	1	weil in Stellung 2 A = 1
2	1	0	weil in Stellung 3 A = 0
3	0	0	weil in Stellung 4 A = 0
4	0	1	weil in Stellung 5 A = 1
5	1	1	weil in Stellung 6 A = 1
6	1	1	weil in Stellung 1 A = 1

Die D-Belegung entspricht der zyklisch (modulo Zählweite) um eine Bitposition verschobenen Belegung der jeweiligen Zählstelle.

2. T-Flipflops

Es ist immer dann eine Eins an den T-Eingang anzulegen, wenn sich mit dem jeweils nächsten Takt die Belegung der Zählstelle ändern soll.

$$T(t) = Q(t) \oplus Q(t+1)$$

Stellung	**C**	**B**	**A**	**T_C**	**T_B**	**T_A**
1	0	0	1	0	1	0
2	0	1	1	0	0	1
3	0	1	0	1	0	0
4	1	1	0	0	0	1
5	1	1	1	0	1	0
6	1	0	1	1	0	0

Erläuterung am Beispiel der Stelle A:

Stellung	**A**	**T_A**	
1	1	0	weil in Stellung 2 keine Änderung gegenüber Stellung 1
2	1	1	weil in Stellung 3 Änderung von 1 auf 0
3	0	0	weil in Stellung 4 keine Änderung gegenüber Stellung 3
4	0	0	weil in Stellung 5 Änderung von 0 auf 1
5	1	1	weil in Stellung 6 keine Änderung gegenüber Stellung 5
6	1	0	weil in Stellung 1 keine Änderung gegenüber Stellung 6

3. RS-Flipflops

Das Flipflop ist zu setzen, wenn mit dem nächsten Takt die betreffende Zählstelle von Null auf Eins schaltet. Es ist zurückzusetzen, wenn mit dem nächsten Takt die betreffende Zählstelle von Eins auf Null schaltet. Wenn sich die Belegung nicht ändert, wird es weder gesetzt noch zurückgesetzt.

$$S(t) = \overline{Q(t)} \cdot Q(t+1)$$
$$R(t) = Q(t) \cdot \overline{Q(t+1)}$$

Stellung	**C**	**B**	**A**	$\mathbf{S_C}$	$\mathbf{R_C}$	$\mathbf{S_B}$	$\mathbf{R_B}$	$\mathbf{S_A}$	$\mathbf{R_A}$
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	0	1
3	0	1	0	1	0	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0	0	1	0
5	1	1	1	0	0	0	1	0	0
6	1	0	1	0	1	0	0	0	0

Erläuterung am Beispiel der Stelle A:

Stellung	**A**	$\mathbf{S_A}$	$\mathbf{R_A}$	
1	1	0	0	weil A in Stellung 2 auf Eins bleibt
2	1	0	1	Rücksetzen, weil A in Stellung 3 auf Null schaltet
3	0	0	0	weil A in Stellung 4 auf Null bleibt
4	0	1	0	weil A in Stellung 5 auf Eins schaltet
5	1	0	0	Setzen, weil A in Stellung 6 auf Eins bleibt
6	1	0	0	weil A in Stellung 1 auf Eins bleibt

Die Schaltgleichungen ergeben sich, indem man die jeweilige Zustandsfolgetabelle wie eine Wahrheitstabelle ausliest und so die Implikanden gewinnt. Die Optimierung ist dann Handwerk – oder sie kann dem Entwicklungssystem überlassen werden.

– Jetzt folgen die Booleschen Gleichungen für alle Flipfloptypen. –

D-Flipflops

Stellung	**C**	**B**	**A**	**D_C**	**D_B**	**D_A**
1	0	0	1	0	1	1
2	0	1	1	0	1	0
3	0	1	0	1	1	0
4	1	1	0	1	1	1
5	1	1	1	1	0	1
6	1	0	1	0	0	1

$$D_A = \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A \vee C \cdot B \cdot \overline{A} \vee C \cdot B \cdot A \vee C \cdot \overline{B} \cdot A$$

$$D_B = \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A \vee \overline{C} \cdot B \cdot A \vee \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A} \vee C \cdot B \cdot \overline{A}$$

$$D_C = \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A} \vee C \cdot B \cdot \overline{A} \vee C \cdot B \cdot A$$

T-Flipflops

Stellung	**C**	**B**	**A**	**T_C**	**T_B**	**T_A**
1	0	0	1	0	1	0
2	0	1	1	0	0	1
3	0	1	0	1	0	0
4	1	1	0	0	0	1
5	1	1	1	0	1	0
6	1	0	1	1	0	0

$$T_A = \overline{C} \cdot B \cdot A \vee C \cdot B \cdot \overline{A}$$

$$T_B = \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A \vee C \cdot B \cdot A$$

$$T_C = \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A} \vee C \cdot \overline{B} \cdot A$$

RS-Flipflops

Stellung	C	B	A	S_C	R_C	S_B	R_B	S_A	R_A
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	0	1
3	0	1	0	1	0	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0	0	1	0
5	1	1	1	0	0	0	1	0	0
6	1	0	1	0	1	0	0	0	0

$$S_A = C \cdot B \cdot \overline{A}; \quad R_A = \overline{C} \cdot B \cdot A$$

$$S_B = \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A; \quad R_B = C \cdot B \cdot A$$

$$S_C = \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A}; \quad R_C = C \cdot \overline{B} \cdot A$$

Weitere Einzelheiten

– Nur zur Ergänzung. Für die Klausur ohne Bedeutung (kommt nicht dran...). –

Nicht belegte Stellungen
Im Beispiel sind die Belegungen 000 und 100 nicht genutzt. Es gibt zwei Nutzungsmöglichkeiten:

1. Sie können den Schaltgleichungen als Don't-Care-Bedingungen hinzugefügt werden.

2. Es kann festgelegt werden, daß bei Auftreten dieser Bedingungen ein Übergang einen zulässigen Zustand erfolgt. Das ist entweder ein beliebiger Zählzustand (z. B. einer, der mit möglichst wenig Aufwand zu erreichen ist) oder der Anfangszustand (selbsttätiges Einschwingen als Alternative zum Anfangsrücksetzen). Hieraus ergeben sich weitere Schaltbedingungen.

Die folgenden Beispiele betreffen den Übergang in den Anfangszustand 001.

D-Flipflops

Stellung	C	B	A	D_C	D_B	D_A
1	0	0	1	0	1	1
2	0	1	1	0	1	0
3	0	1	0	1	1	0
4	1	1	0	1	1	1
5	1	1	1	1	0	1
6	1	0	1	0	0	1
	0	0	0	0	0	1
	1	0	0	0	0	1

$$D_A = \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A \vee C \cdot B \cdot \overline{A} \vee C \cdot B \cdot A \vee C \cdot \overline{B} \cdot A \vee \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot \overline{A} \vee C \cdot \overline{B} \cdot \overline{A}$$

$$D_B = \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A \vee \overline{C} \cdot B \cdot A \vee \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A} \vee C \cdot B \cdot \overline{A}$$

$$D_C = \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A} \vee C \cdot B \cdot \overline{A} \vee C \cdot B \cdot A$$

T-Flipflops

Stellung	C	B	A	T_C	T_B	T_A
1	0	0	1	0	1	0
2	0	1	1	0	0	1
3	0	1	0	1	0	0
4	1	1	0	0	0	0
5	1	1	1	0	1	1
6	1	0	1	1	0	0
	0	0	0	0	0	1
	1	0	0	1	0	1

$$T_A = \overline{C} \cdot B \cdot A \vee C \cdot B \cdot A \vee \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot \overline{A}$$

$$T_B = \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A \vee C \cdot B \cdot A$$

$$T_C = \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A} \vee C \cdot \overline{B} \cdot A \vee \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot \overline{A} \vee C \cdot \overline{B} \cdot \overline{A}$$

RS-Flipflops

Stellung	C	B	A	S_C	R_C	S_B	R_B	S_A	R_A
1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	0	1
3	0	1	0	1	0	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0	0	1	0
5	1	1	1	0	0	0	1	0	0
6	1	0	1	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	1	0	0	0	1	0	0	1	0

$$S_A = C \cdot B \cdot \overline{A} \vee \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot \overline{A} \vee C \cdot \overline{B} \cdot \overline{A}; \quad R_A = \overline{C} \cdot B \cdot A$$

$$S_B = \overline{C} \cdot \overline{B} \cdot A; \quad R_B = C \cdot B \cdot A$$

$$S_C = \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A}; \quad R_C = C \cdot \overline{B} \cdot A \vee C \cdot \overline{B} \cdot \overline{A}$$

Zusätzliche Don't Cares bei Nutzung von RS-Flipflops

Bleibt das Flipflop im nächsten Takt auf Eins, so schadet es nicht, es zu setzen. Sinngemäß kann man es auch dann zurücksetzen, wenn es auf Null steht und so bleibt. Die entsprechenden Bedingungen können den Gleichungen hinzugefügt werden.

$$S(t) = \overline{Q(t)} \cdot Q(t+1) \vee Q(t) \cdot Q(t+1) = Q(t+1)$$

$$R(t) = Q(t) \cdot \overline{Q(t+1)} \vee \overline{Q(t)} \cdot \overline{Q(t+1)} = \overline{Q(t+1)}$$

Die S-Ansteuerung entspricht so der D-Ansteuerung, die R-Ansteuerung der invertierten D-Ansteuerung (Wandlung RS-Flipflop <==> D-Flipflop).