

Dan NICULA

# ELECTRONICĂ DIGITALĂ

## Carte de învățatură 2.0



Editura Universității *TRANSILVANIA* din Brașov  
ISBN 978-606-19-0563-8

2015

---

## Lecția 15

# Analiza circuitelor logice secvențiale

---

### 15.1 Noțiuni teoretice

Analiza circuitelor logice secvențiale constă în *determinarea comportamentului automatului pe baza structurii acestuia* (porți și bistabile). Comportamentul circuitului logic secvențial poate fi descris sub formă de organigramă sau graf de tranziții.

Pentru analiza unui circuit secvențial, se recomandă parcurgerea următoarelor etape:

- Circuitul este un *automat* dacă în structura sa apar bistabile și bucle între ieșirile și intrările acestora.
- Se determină caracteristicile automatului:
  - *Numărul de intrări* se determină prin observarea intrărilor primare (din exteriorul circuitului).
  - *Numărul de ieșiri* se determină prin observarea ieșirilor. Ieșirile pot fi direct din registru (un bit de stare este transmis la ieșire) sau prin intermediul unui circuit combinațional (având intrările provenite de la ieșirile bistabilelor și opțional de la intrările primare).
  - Determinarea *tipului automatului* se face prin observarea modului în care se generează ieșirile. Dacă există o cale combinațională între o intrare și o ieșire, atunci automatul este de tip Mealy. Dacă toate ieșirile depind exclusiv de stare (ieșirile bistabilelor) atunci automatul este de tip Moore.
  - *Numărul de biți care codifică stările* este egal cu numărul de bistabile prezente în schemă.
  - *Numărul maxim de stări* este egal cu  $2^{\text{numărul de biți de cod}}$ .
- Cu informațiile deduse, se poate defini *schema bloc a automatului* ca fiind una similară cu structurile de automate prezentate în figurile 14.1 și 14.2.
- Se deduc din circuit *ecuațiile stării viitoare și ale ieșirilor* în funcție de starea prezentă și intrări.
- Se completează *tabelul de tranziții*, pe baza caracteristicilor acestuia (număr de intrări, număr de ieșiri, număr de biți pentru codificarea stării) și a ecuațiilor stării viitoare și ale ieșirilor în funcție de starea prezentă și intrări. În partea stângă se completează coloanele asociate intrărilor și stării prezente. În partea dreaptă se completează coloanele asociate stării viitoare și ieșirilor. Numărul de rânduri din tabel este egal cu  $2^{\text{numărul de biți de cod}} \times 2^{\text{numărul de intrări}}$ .

De exemplu, în cazul unui automat cu 4 stări (2 biți de cod) și 2 intrări tabelul va avea  $2^2 \times 2^2 = 16$  rânduri. Coloanele asociate stării prezente se completează cu codurile fiecărei stări posibile pe câte  $2^{\text{numărul de intrări}}$  rânduri (pe fiecare rând câte o combinație de intrare).

Coloanele asociate stării viitoare și cele asociate ieșirilor se completează pe baza ecuațiilor logice ale acestora. Pentru fiecare rând, se particularizează ecuațiile cu valorile curente ale intrărilor și stării prezente de pe acel rând.
- Liniile din tabel care au aceeași stare prezentă și aceeași stare viitoare pot fi contopite într-o singură linie. Condiția acestei linii va conține valoarea indiferentă pentru intrarea diferită pentru cele două linii originale.



- Cu datele centralizate în tabelul de tranziții se construiește *graful de tranziții* ce descrie comportamentul automatului. Nodurile grafului semnifică stările automatului. Lângă noduri se marchează numele și codul stărilor. La automatele Moore, în noduri apar și numele ieșirilor active în respectivele stări.

Fiecare rând din tabel descrie un arc. Arcul pleacă de pe nodul asociat stării prezente și ajunge pe nodul stării viitoare. Pe arc este înscrisă condiția de comutare (valorile intrărilor care determină tranziția). La automatele Mealy, pe arce apar și numele ieșirilor active (fiind determinate atât de starea prezentă cât și de condiția de comutare dintr-o stare în alta).

- *Organigrama automatului* se poate deduce fie din tabelul de tranziții, fie din graful de tranziții. Fiecare nod al grafului este asociat cu un simbol de stare din organigramă. Arcele multiple care pleacă de pe un nod generează un simbol de decizie în organigramă.

## 15.2 Pentru cei ce vor doar să promoveze examenul

1. Analizați circuitele logice secvențiale prezentate în figura 15.1.

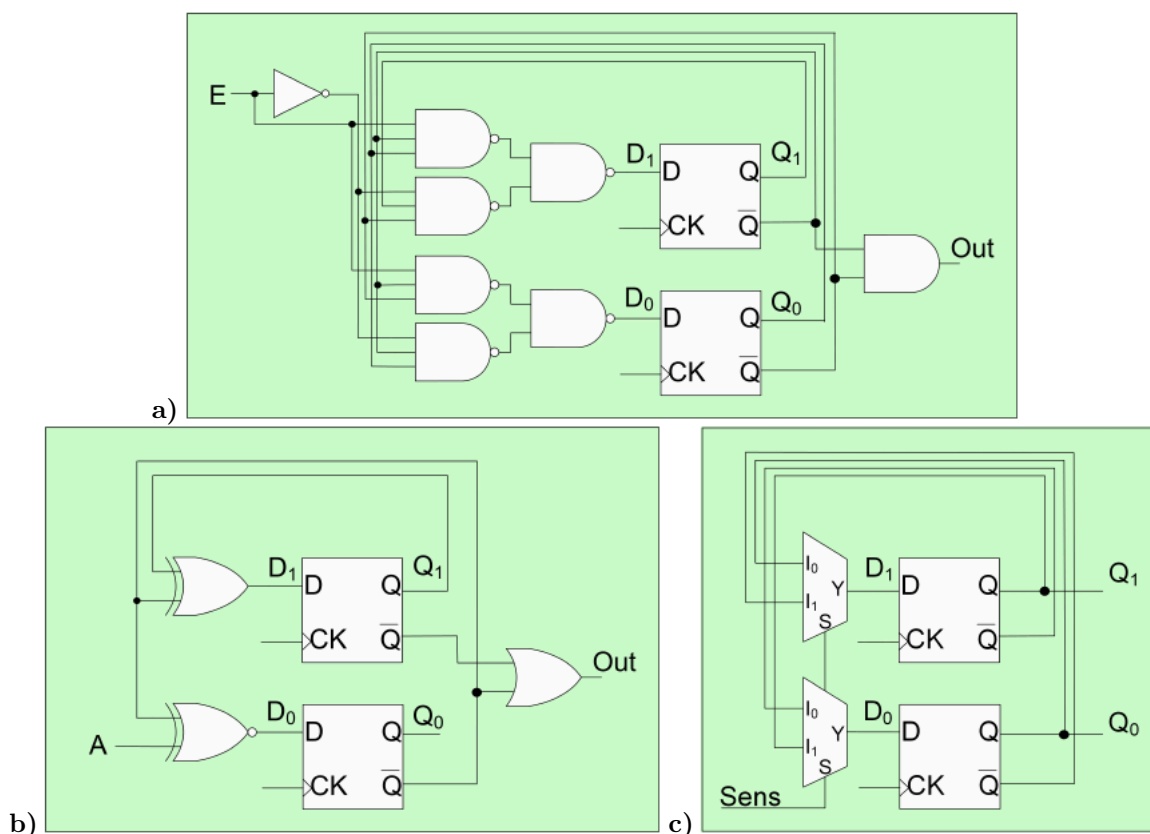


Figura 15.1 Automatele de analizat propuse la problema 1.

### Soluție

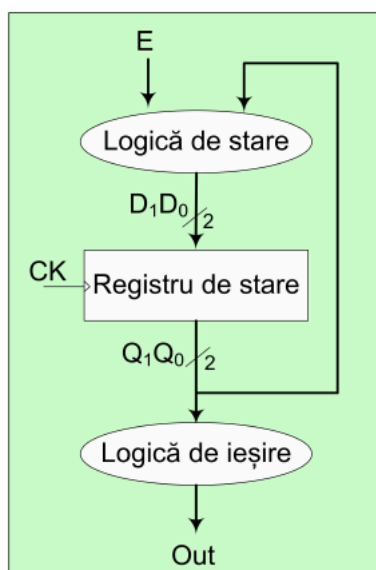
a) Circuitul conține două bistabile D și porți logice. Automatul are o intrare  $E$  și o ieșire  $Out$ . Ieșirea depinde exclusiv de stare. Semnalele ce codifică starea prezentă se obțin de la ieșirile bistabilelor. Deci, este un automat de tip Moore.

Deoarece există două bistabile în schemă, înseamnă că automatul are stările codificate cu 2 biți. Deci, automatul are maximum  $2^2 = 4$  stări. Starea prezentă este determinată de valorile logice ale ieșirilor bistabilelor. Biții de cod ai stării prezente sunt  $Q_1$  și  $Q_0$ . Intrările bistabilelor reprezintă biții stării viitoare ( $D_1$  și  $D_0$ ).

Schema bloc a automatului este prezentată în figura 15.2.

Ecuatiile stării viitoare se deduc din circuit, în funcție de starea prezentă și intrări:





**Figura 15.2** Schema bloc a automatului analizat la problema 1-a).

$$D_1(E, Q_1, Q_0) = E \cdot \overline{Q_1} \cdot Q_0 + \overline{E} \cdot Q_1 \cdot \overline{Q_0}$$

$$D_0(E, Q_1, Q_0) = E \cdot \overline{Q_1} \cdot \overline{Q_0} + \overline{E} \cdot \overline{Q_1} \cdot Q_0$$

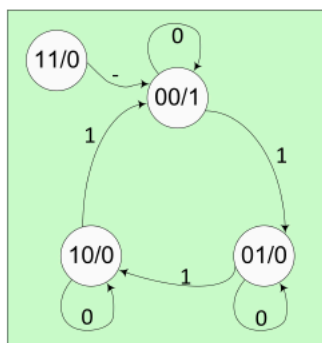
Ecuția ieșirii se deduce din circuit, în funcție de starea prezentă:

$$Out(Q_1, Q_0) = \overline{Q_1} \cdot \overline{Q_0}$$

Cu ajutorul ecuațiilor deduse, se completează tabelul de tranziții:

Intrare $E$	Stare prezentă $Q_1 \quad Q_0$		Stare viitoare $D_1 \quad D_0$		Ieșire $Out$
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1
0	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0
0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0
1	1	1	0	0	0

Cu datele centralizate în tabelul de tranziții se construiește graful de tranziții ce descrie comportamentul automatului. Graful de tranziții al automatului analizat este prezentat în figura 15.3.



**Figura 15.3** Graful de tranziții al automatului analizat la problema 1-a).

Studiind graful de tranziții se poate deduce rolul automatului. Automatul ciclează între 3 stări dacă  $E = 1$  ( $E =$  Engl. "Enable", validare). Dacă  $E = 0$  automatul își păstrează starea. Ieșirea semnalează apariția stării 00. În



cazul apariției stării absente din ciclu (11) automatul revine necondiționat, în următorul ciclu de ceas, în starea 00 și se reia ciclul de 3 stări.

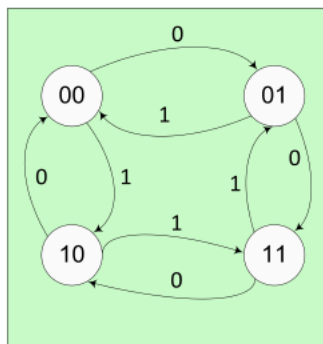
c) Multiplexorul este un circuit logic combinațional care selectează una din intrările de date ( $I_1$  sau  $I_0$ ) pe baza intrării de selecție  $S$ . Ecuația multiplexorului este  $Y = \bar{S} \cdot I_0 + S \cdot I_1$ .

Ca o consecință, ecuațiile stării viitoare sunt:

$$D_1 = \overline{Sens} \cdot Q_0 + Sens \cdot \overline{Q_0},$$

$$D_0 = \overline{Sens} \cdot \overline{Q_1} + Sens \cdot Q_1.$$

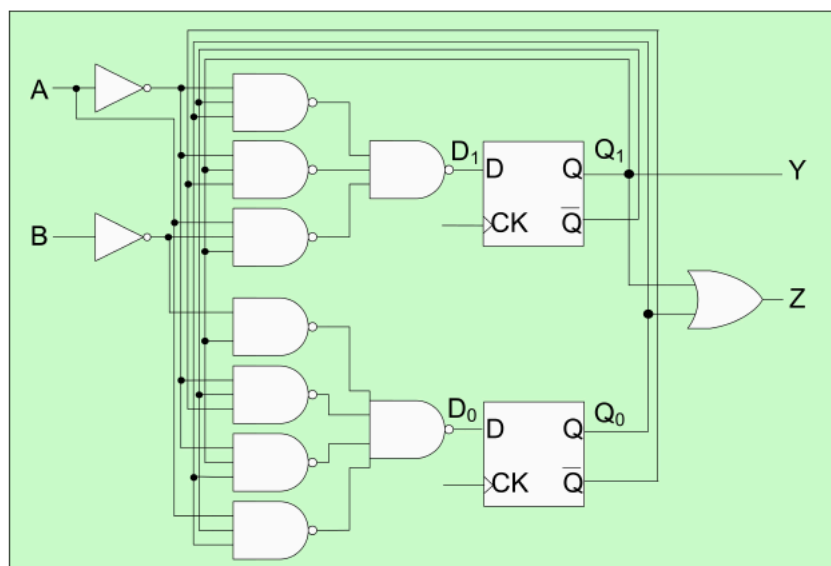
Automatul implementează un numărător în cod Gray reversibil (intrarea  $Sens$  determină direcția de numărare). Graful de tranziții este prezentat în figura 15.4.



**Figura 15.4** Graful de tranziții al automatului analizat la problema 1-c).

### 15.3 Pentru cei ce vor să învețe

1. Analizați circuitul logic secvențial prezentat în figura 15.5.



**Figura 15.5** Automatul de analizat propus la problema 1.

#### Soluție

Circuitul constă din două bistabile D și porți logice. Se observă că există căi combinaționale între ieșirile bistabilelor și intrările acestora. Deci, circuitul este un automat secvențial sincron (toate bistabilele comută pe același semnal de ceas, provenit de la o intrare primară).

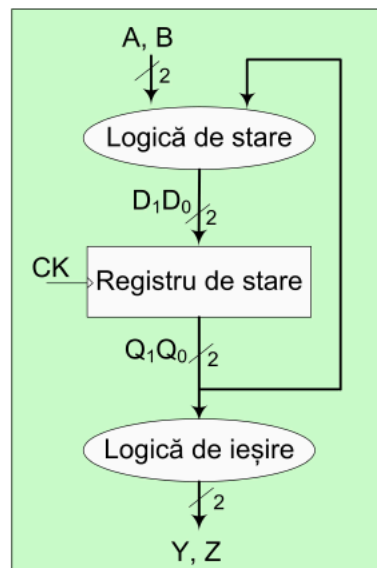


Automatul are două intrări ( $A$  și  $B$ ) și două ieșiri ( $Y$  și  $Z$ ). Ieșirile depind exclusiv de stare (ieșirile bistabilelor). Deci, este un automat de tip Moore.

Deoarece există două bistabile în schemă, înseamnă că automatul are stările codificate cu 2 biți. Deci, automatul are maximum  $2^2 = 4$  stări. Starea prezentă este determinată de valorile logice ale ieșirilor bistabilelor. Biți de cod ai stării prezente sunt  $Q_1$  și  $Q_0$ .

Intrările bistabilelor reprezintă biții stării viitoare ( $D_1$  și  $D_0$ ).

Schema bloc a automatului este prezentată în figura 15.6.



**Figura 15.6** Schema bloc a automatului analizat la problema 1.

Ecuatiile stării viitoare se deduc din circuit în funcție de starea prezentă și intrări:

$$D_1(A, B, Q_1, Q_0) = \overline{A} \cdot \overline{Q_1} \cdot Q_0 + \overline{A} \cdot Q_1 \cdot \overline{Q_0} + A \cdot \overline{B} \cdot Q_1 \text{ și}$$

$$D_0(A, B, Q_1, Q_0) = \overline{B} \cdot Q_1 + \overline{A} \cdot \overline{Q_1} \cdot \overline{Q_0} + \overline{A} \cdot Q_1 \cdot Q_0 + A \cdot \overline{Q_1} \cdot Q_0$$

Ecuatiile ieșirilor se deduc din circuit în funcție de starea prezentă:

$$Y(Q_1, Q_0) = Q_1 \text{ și}$$

$$Z(Q_1, Q_0) = Q_1 + Q_0$$

Se completează tabelul de tranziții în următoarea succesiune.

- Se realizează capul de tabel. De la stânga la dreapta apar intrările ( $A$  și  $B$ ), numele și codul stării prezente ( $Q_1$  și  $Q_0$ ), numele și codul stării viitoare ( $D_1$  și  $D_0$ ), numele ieșirilor ( $Y$  și  $Z$ ).
- Numărul de rânduri ale tabelului este egal cu  $2^{\text{numărul de intrări} + \text{numărul de biți de cod}}$ . În acest caz vor fi  $2^{2+2} = 2^4 = 16$  rânduri. Se completează cele 16 rânduri cu coloanele asociate intrărilor și stării prezente. Se recomandă următoarea ordine a codurilor: toate variantele de intrări (00, 01, 10, 11) asociate cu fiecare cod de stare (00, 01, 10, 11). Se asociază nume generice pentru cele 4 stări (de exemplu:  $S_0 = 00$ ,  $S_1 = 01$ ,  $S_2 = 10$ ,  $S_3 = 11$ ).
- Tabelul de tranziții completat parțial este prezentat în continuare. Se remarcă faptul că până aici tabelul depinde doar de caracteristicile acestuia (număr de intrări, număr de ieșiri, număr de bistabile) și este independent de porțile logice și conexiunile din circuitul analizat.



Intrări		Stare prezentă			Stare viitoare			Ieșiri	
A	B	nume	$Q_1$	$Q_0$	nume	$D_1$	$D_0$	Y	Z
0	0	$S_0$	0	0					
0	1		0	0					
1	0		0	0					
1	1		0	0					
0	0	$S_1$	0	1					
0	1		0	1					
1	0		0	1					
1	1		0	1					
0	0	$S_2$	1	0					
0	1		1	0					
1	0		1	0					
1	1		1	0					
0	0	$S_3$	1	1					
0	1		1	1					
1	0		1	1					
1	1		1	1					

- (d) Pe baza ecuațiilor stării viitoare  $D_1(A, B, Q_1, Q_0)$ ,  $D_0(A, B, Q_1, Q_0)$ , și ale ieșirilor  $Y(Q_1, Q_0)$ ,  $Z(Q_1, Q_0)$  se completează coloanele corespunzătoare acestora. Tabelul final este prezentat în continuare.

Linie	Intrări		Stare prezentă			Stare viitoare			Ieșiri	
	A	B	nume	$Q_1$	$Q_0$	nume	$D_1$	$D_0$	Y	Z
0	0	0	$S_0$	0	0	$S_1$	0	1	0	0
1	0	1		0	0	$S_1$	0	1	0	0
2	1	0		0	0	$S_0$	0	0	0	0
3	1	1		0	0	$S_0$	0	0	0	0
4	0	0	$S_1$	0	1	$S_2$	1	0	0	1
5	0	1		0	1	$S_2$	1	0	0	1
6	1	0		0	1	$S_1$	0	1	0	1
7	1	1		0	1	$S_1$	0	1	0	1
8	0	0	$S_2$	1	0	$S_3$	1	1	1	1
9	0	1		1	0	$S_2$	1	0	1	1
10	1	0		1	0	$S_3$	1	1	1	1
11	1	1		1	0	$S_0$	0	0	1	1
12	0	0	$S_3$	1	1	$S_1$	0	1	1	1
13	0	1		1	1	$S_1$	0	1	1	1
14	1	0		1	1	$S_3$	1	1	1	1
15	1	1		1	1	$S_0$	0	0	1	1

- (e) Cu datele centralizate în tabelul de tranziții se construiește graful de tranziții ce descrie comportamentul automatului. Nodurile grafului semnifică stările automatului. Deci vor exista 4 noduri, asociate celor 4 stări. În noduri se marchează numele (sau codul) stărilor. Fiind un automat Moore, în noduri apar și numele ieșirilor active în respectivele stări.

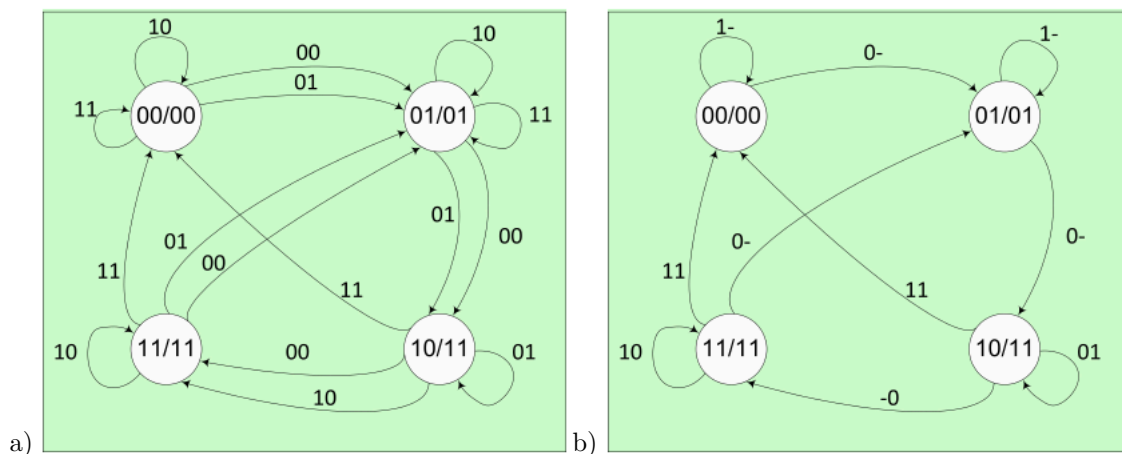
Fiecare rând din tabel descrie un arc. Arcul pleacă de pe nodul asociat stării prezente și ajunge pe nodul stării viitoare. Pe arc este înscrisă condiția de comutare (valorile intrărilor  $A$  și  $B$  care determină tranziția). Graful de tranziții al automatului analizat este prezentat în figura 15.7-a). În noduri apar, în ordine,  $Q_1 Q_0 / YZ$  iar pe arce apar  $AB$ .

- (f) Se remarcă faptul că pe graf apar arce echivalente (aceeași sursă și aceeași destinație). Acestea se pot contopi într-un singur arc, având o condiție de comutare determinată cu o funcție OR a condițiilor celor două arce inițiale.

Această observație se putea face și pe tabelul de tranziții (linii cu aceeași stare prezentă și aceeași stare viitoare, diferența fiind doar la condiții).

Tabelul de tranziții poate fi scris sub o formă condensată prin contopirea liniilor 0 și 1, 2 și 3, 4 și 5, 6 și 7, 8 și 9, 12 și 13. Cu – a fost marcată o valoare indiferentă a intrării.



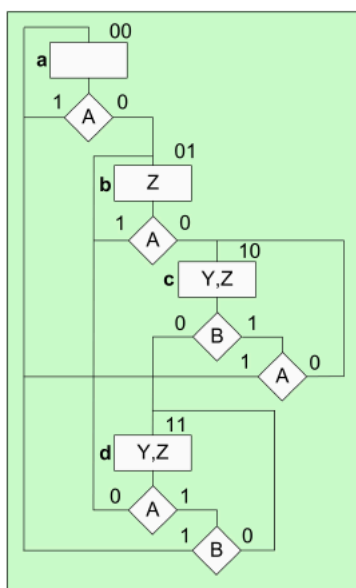


**Figura 15.7** Graful de tranziții al automatului analizat la problema 1 (a - integral, b - simplificat).

Intrări		Stare prezentă			Stare viitoare			Ieșiri	
A	B	nume	$Q_1$	$Q_0$	nume	$D_1$	$D_0$	Y	Z
0	-	$S_1$	0	0	$S_1$	0	1	0	0
1	-		0	0	$S_0$	0	0	0	0
0	-	$S_1$	0	1	$S_2$	1	0	0	1
1	-		0	1	$S_1$	0	1	0	1
-	0	$S_2$	1	0	$S_3$	1	1	1	1
0	1		1	0	$S_2$	1	0	1	1
1	1		1	0	$S_0$	0	0	1	1
0	-	$S_3$	1	1	$S_1$	0	1	1	1
1	0		1	1	$S_3$	1	1	1	1
1	1		1	1	$S_0$	0	0	1	1

Graful de tranziții simplificat (cu condiții pe bază de intrări indifferente) este prezentat în figura 15.7-b).

- (g) Organigrama automatului (prezentată în figura 15.8) se poate deduce fie din tabelul de tranziții, fie din graful de tranziții (figura 15.7-b). Fiecare nod al grafului este asociat cu un simbol de stare din organigramă. Arcele multiple care pleacă de pe un nod generează un simbol de decizie în organigramă.



**Figura 15.8** Organigrama automatului analizat la problema 1.

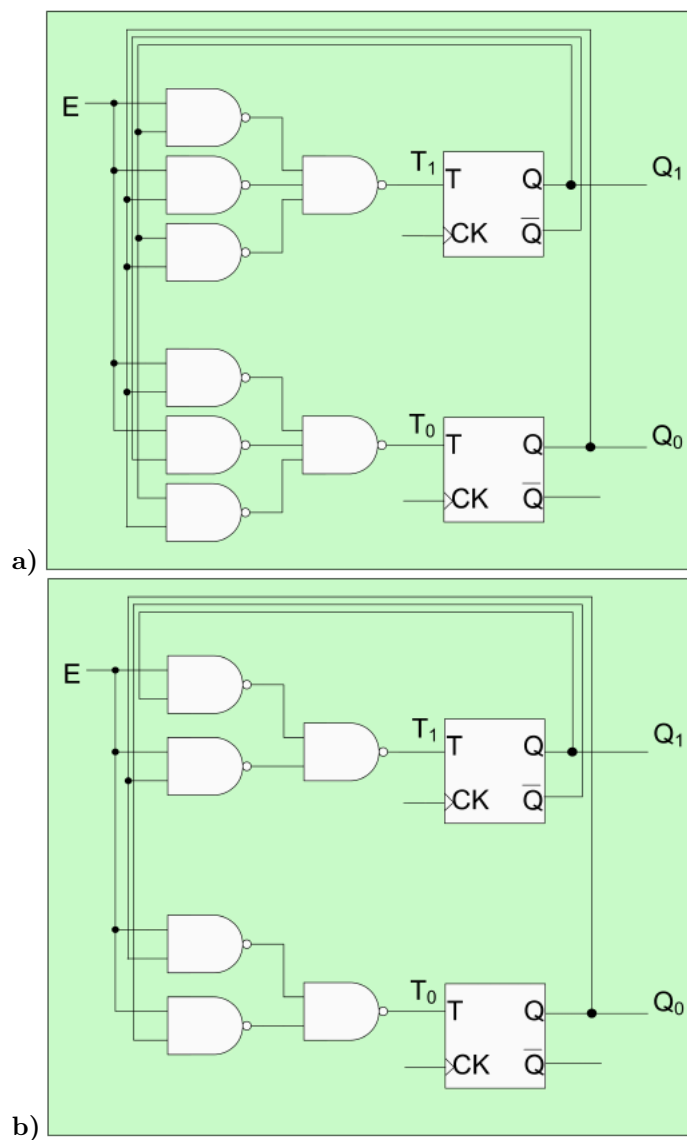
- (h) Starea inițială a automatului (determinată de resetarea asincronă) este marcată pe graful de tranziții și pe



organigramă cu o săgeată ce intră în nodul sau simbolul de stare asociate acesteia.

2. Analizați automatul prezentat în figura 15.9-a). Ce funcție îndeplinește?

Analizați automatul prezentat în figura 15.9-b) Care este diferența de comportament față de automatul din figura 15.9-a)?



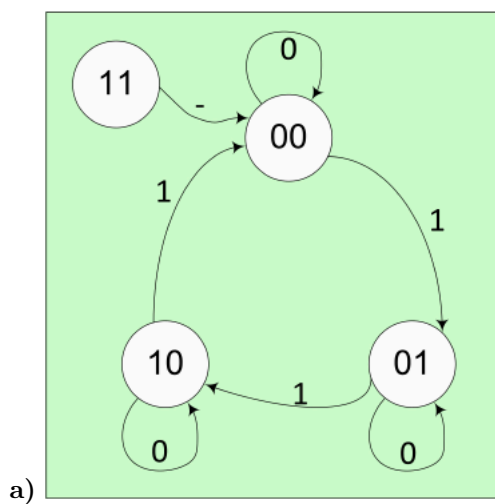
**Figura 15.9** Automatele propuse a fi analizate la problema 2.

*Soluție*

a) Automatul are în structură două bistabile T. Tabelul de tranziții este prezentat în continuare iar graficul de tranziții este prezentat în figura 15.10. Coloanele asociate intrărilor  $T_1$  și  $T_0$  se completează pe baza ecuațiilor deduse din circuit. Ecuațiile stării viitoare,  $Q_1^+$  și  $Q_0^+$  se completează ținând cont de funcționarea bistabilelor T în cazul când se află în starea  $Q$  și primesc stimulul  $T$ .



Intrare $E$	Stare prezentă $Q_1 \quad Q_0$		Stimuli $T$ $T_1 \quad T_0$		Stare viitoare $Q_1^+ \quad Q_0^+$	
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	0	0	1
1	0	1	1	1	1	0
0	1	0	0	0	1	0
1	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	0	0



**Figura 15.10** Graful de tranziții al automatului analizat la problema 2. Se observă tranziția necondiționată din starea 11 în starea 00 și ciclul de 3 stări 00, 01, 10, 00, ...

Graful de tranziții prezintă un numărator modulo 3 cu validare. Dacă  $E = 0$ , automatul își păstrează starea. Dacă  $E = 1$ , automatul ciclează cu o perioadă de 3 stări 00, 01, 10, 00, ...

**b)** Automatul de la punctul **a)** tranzitează necondiționat din starea 11 în starea 00 (aflată în ciclul de numărare).

Automatul de la punctul **b)** tranzitează din starea 11 în starea 00 cu condiția  $E = 1$ . Dacă  $E = 0$ , automatul își păstrează starea 11. Cu alte cuvinte, intrarea de validare  $E$  își face efectul și asupra stării de blocare 11.

- Analizați automatele prezentate în figurile 15.11. Prezențați tabelele de tranziții, grafurile de tranziții și organigramele. Prezențați succesiunea stărilor în cazul unor date constante aplicate pe intrări. Prezențați diagramele temporale ale stărilor și ale ieșirilor, în cazul unor scenarii ale intrărilor.
- Analizați circuitele secvențiale prezentate în figurile 15.12 și 15.13. Prezențați tabelele de tranziții și grafurile de tranziții. Prezențați succesiunea stărilor în cazul unor date constante aplicate pe intrări.

Pentru automatele din figurile 15.13-f,g,h să se determine succesiunea stărilor și a ieșirilor dacă pe intrarea  $A$  se primesc secvențial valorile 000111010101000110011001010.

*Soluție*

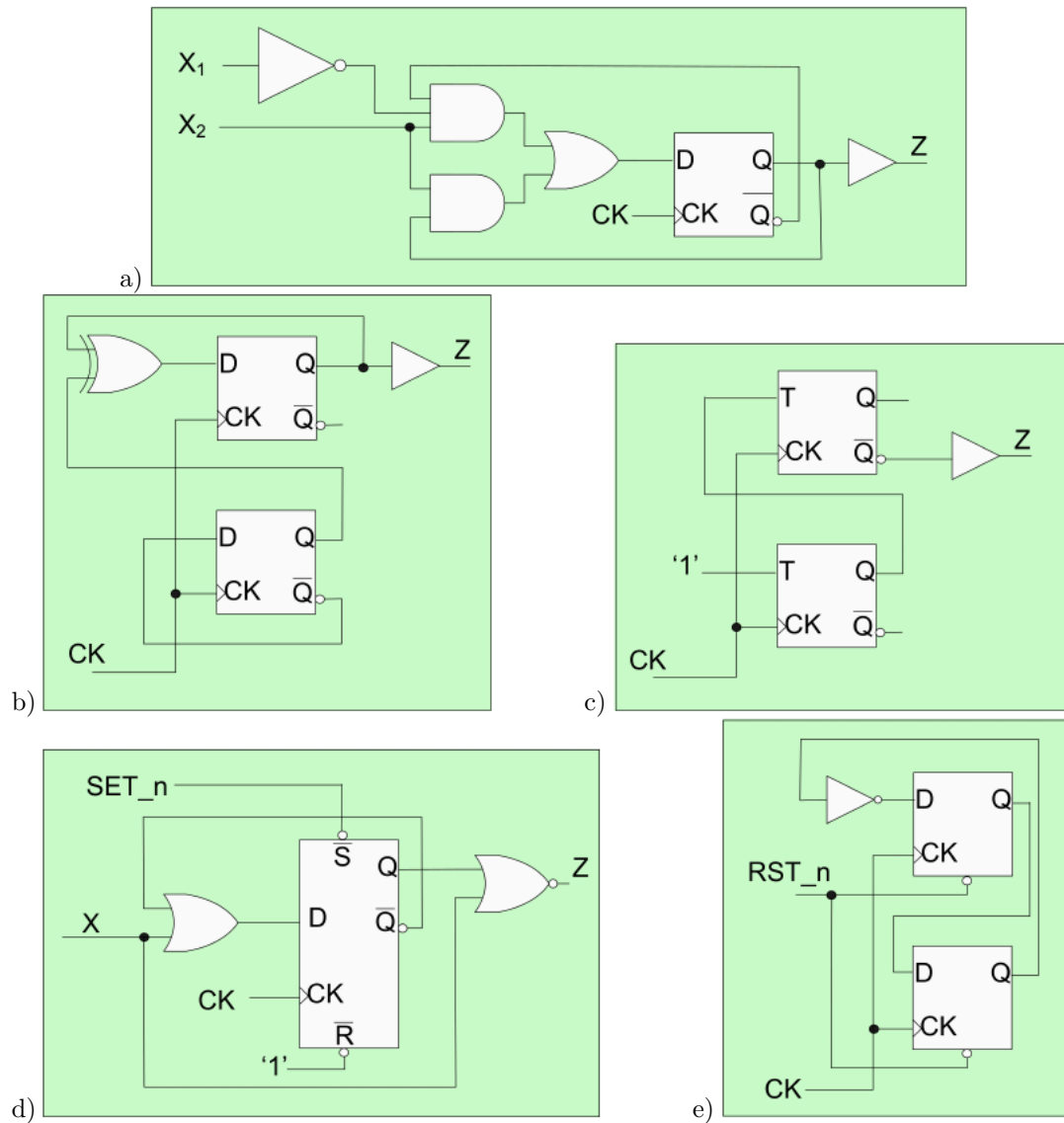
**a)** Automatul are două intrări  $X_1$  și  $X_2$  și o ieșire  $Z$  dependentă exclusiv de stare. Automatul Moore are un singur bit de stare (denumit  $Q$ ), deci poate avea maxim două stări. Ecuația intrării bistabilului  $D$  este:

$$D = \overline{X_1} \cdot X_2 \cdot \overline{Q} + X_2 \cdot Q$$

Tabelul de stare va conține două stări ( $Q = 0$  și  $Q = 1$ ) fiecare asociate cu 4 combinații ale intrărilor.







**Figura 15.12** Circuite secvențiale de analizat la problema 4.

$$T_3 = Q_2 \cdot Q_1 \cdot Q_0$$

iar în cazul numărării în sens descrescător ( $UP = 0$ ;  $DOWN = 1$ ):

$$T_0 = 1$$

$$T_1 = \bar{Q}_0$$

$$T_2 = \bar{Q}_1 \cdot \bar{Q}_0$$

$$T_3 = \bar{Q}_2 \cdot \bar{Q}_1 \cdot \bar{Q}_0$$

**b)** Dacă ambele intrări  $UP$  și  $DOWN$  sunt egale cu 0, expresiile intrărilor bistabilelor vor fi:

$$T_0 = 0$$

$$T_1 = 0$$

$$T_2 = 0$$

$$T_3 = 0$$

deci, numărătorul nu își schimbă starea (își păstrează starea curentă).

**c)** Dacă ambele intrări  $UP$  și  $DOWN$  sunt egale cu 1, expresiile intrărilor bistabilelor vor fi:

$$T_0 = 1$$

$$T_1 = Q_0$$

$$T_2 = Q_1 \cdot Q_0$$



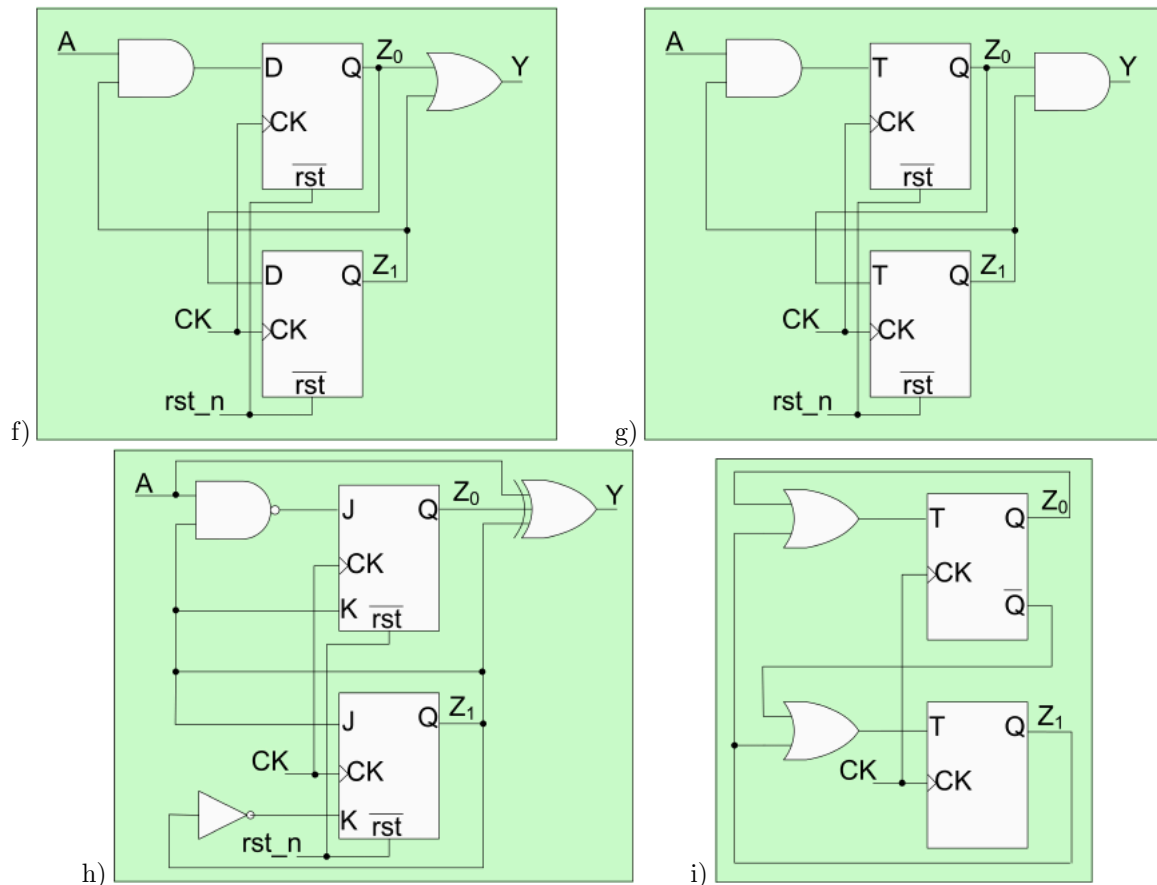


Figura 15.13 Circuite secvențiale de analizat la problema 4.

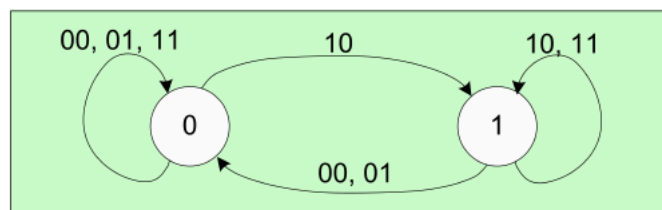


Figura 15.14 Graful de tranziții pentru automatul de la problema 4-a.

$$T_3 = Q_2 \cdot Q_1 \cdot Q_0$$

deci, numărătorul numără în sens crescător.

d) Acest circuit este considerat sincron deoarece toate elementele bistabilele care intră în componența acestuia comută la momentele de timp determinate de același semnal de ceas.

e) Întrucât numărătorul conține 4 bistabile, numărul de stări ale acestuia este  $2^4 = 16$  stări.

f) Pentru ca numărătorul să își păstreze starea curentă, în cazul în care ambele intrări sunt egale cu 1 ( $UP = DOWN = 1$ ) trebuie modificate expresiile intrărilor T astfel:

$$T_0 = UP \cdot \overline{DOWN} + \overline{UP} \cdot DOWN$$

$$T_1 = Q_0 \cdot UP \cdot \overline{DOWN} + \overline{Q_0} \cdot \overline{UP} \cdot DOWN$$

$$T_2 = Q_1 \cdot Q_0 \cdot UP \cdot \overline{DOWN} + \overline{Q_1} \cdot \overline{Q_0} \cdot \overline{UP} \cdot DOWN$$

$$T_3 = Q_2 \cdot Q_1 \cdot Q_0 \cdot UP \cdot \overline{DOWN} + \overline{Q_2} \cdot \overline{Q_1} \cdot \overline{Q_0} \cdot \overline{UP} \cdot DOWN$$

Circuitul original este prezentat în figură 15.16-a, iar cel modificat este prezentat în figură 15.16-b.

6. Circuitul prezentat în figura 15.17 a fost proiectat de către altcineva. Determinați graful de tranziții al auto-



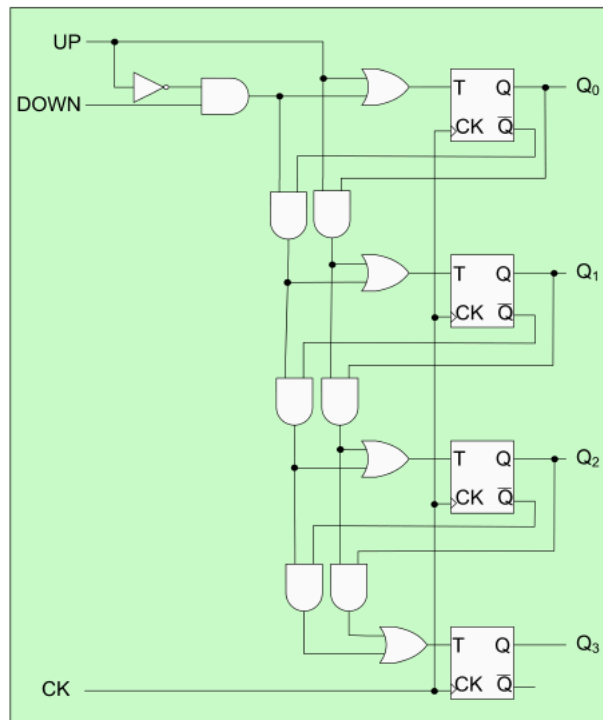


Figura 15.15 Circuitul de analizat la problema 5.

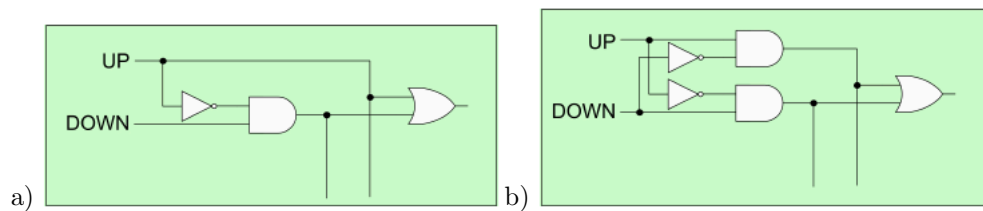


Figura 15.16 a) Circuitul original, b) Circuitul modificat (numărătorul își păstrează starea dacă ambele intrări sunt activate).

matului, cunoscând că stările 000, 110 și 111 nu sunt utilizate. Demonstrați că, în cazul apariției stării 110, circuitul se întoarce într-o stare utilizată după una sau două perioade de ceas.

#### Soluție

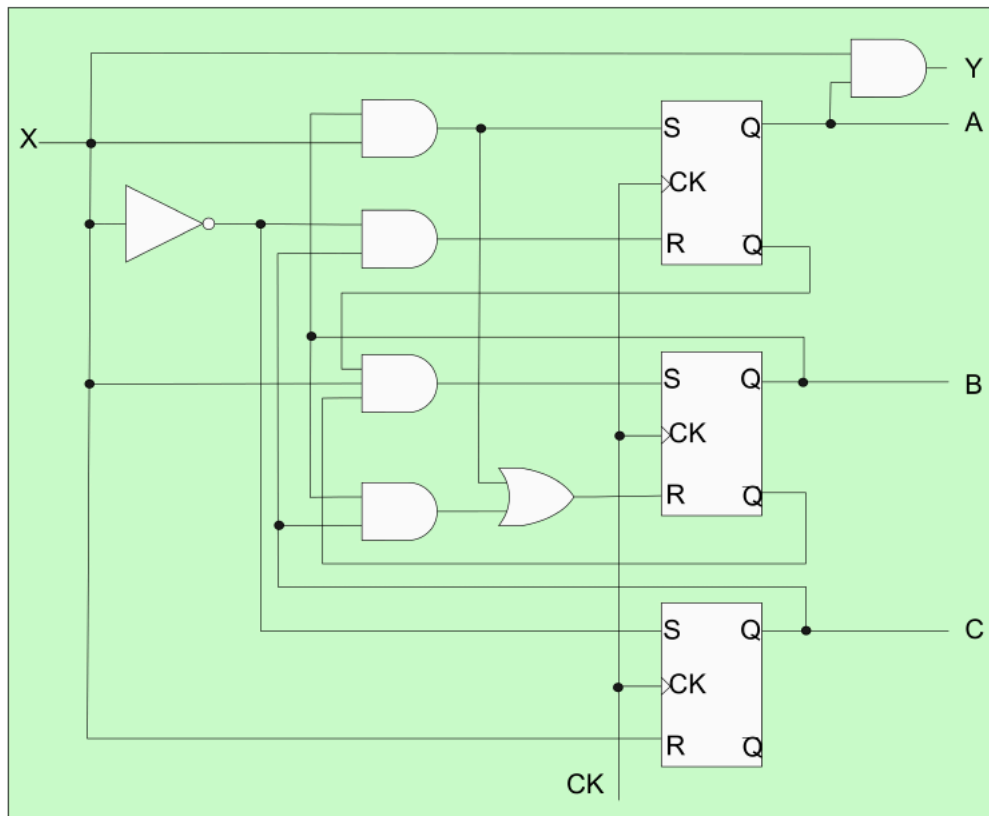
Circuitul are o intrare  $X$  și o ieșire  $Y$ . Automatul este de tip Mealy (ieșirea  $Y$  depinde atât de stare curentă a circuitului  $ABC$  cât și de intrarea  $X$ ). Automatul are maxim 8 stări deoarece are 3 bistabile de stare. Funcțiile logice ale intrărilor bistabilelor și funcția logică a ieșirii  $Y$  sunt:

$$\begin{aligned} S_A &= X \cdot B \\ R_A &= \overline{X} \cdot C \\ S_B &= X \cdot \overline{A} \cdot \overline{B} \\ R_B &= B \cdot C + X \cdot B \\ S_C &= \overline{X} \\ R_C &= X \\ Y &= X \cdot A \end{aligned}$$

Pe baza ecuațiilor logice ale intrărilor bistabilelor și a ieșirii, se determină tabelul de tranziții. Tabelul se completează în succesiunea:

- se completează coloana stării curente cu toate cele 8 stări posibile;
- se completează coloana intrării  $X$  cu ambele valori logice 0 și 1 pentru fiecare stare curentă. Rezultă un tabel cu  $2 \times 8 = 16$  rânduri;
- pe baza ecuațiilor, se completează coloanele intrărilor bistabilelor:  
 $S_A, S_B, S_C(A, B, C, X)$  și  $R_A, R_B, R_C(A, B, C, X)$ ;
- pe baza ecuației, se completează coloana ieșirii  $Y(A, B, C, X)$ ;





**Figura 15.17** Circuitul secvențial de analizat la problema 6.

- pentru fiecare rând din tabel, pe baza stării curente și a stimulilor de intrare ai bistabilelor, se determină starea viitoare [ $A^+$  depinde de  $(A, S_A, R_A)$ ,  $B^+$  depinde de  $(B, S_B, R_B)$ ,  $C^+$  depinde de  $(C, S_C, R_C)$ ].

$X$	$A$	$B$	$C$	$A^+$	$B^+$	$C^+$	$Y$	$S_A$	$R_A$	$S_B$	$R_B$	$S_C$	$R_C$
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1
0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1
0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1

Pe baza tabelului de tranziții se determină graful de tranziții prezentat în figura 15.18.

Din graful de tranziții se observă că în stările 000,110,111 se poate ajunge doar inițial. Odată părăsite, aceste stări nu mai sunt atinse.

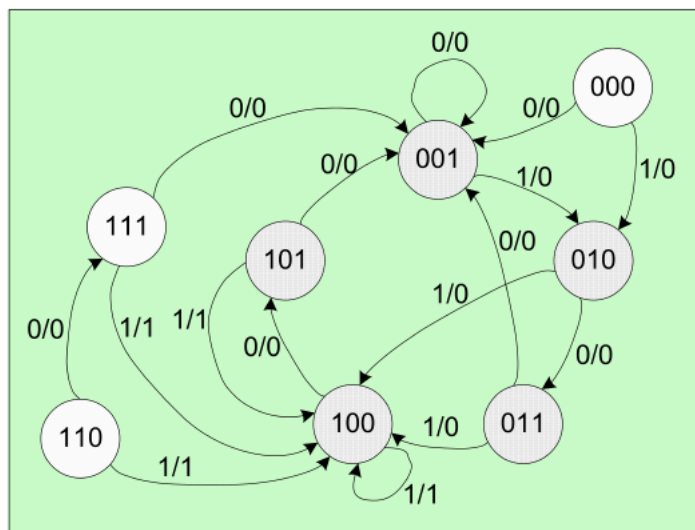
Din starea 000 se tranzitează la următorul tact în una din stările active: 001 dacă  $X = 0$  sau 010 dacă  $X = 1$ .

Din starea 011 se tranzitează la următorul tact în una din stările active: 001 dacă  $X = 0$  sau 100 dacă  $X = 1$ .

Din starea 110 se tranzitează la următorul tact în una din stările: 111 dacă  $X = 0$  sau 100 dacă  $X = 1$ .

Rezultă că, în cazul apariției stării 110, se ajunge într-un tact în starea 100 dacă  $X = 1$ . Dacă  $X = 0$  se

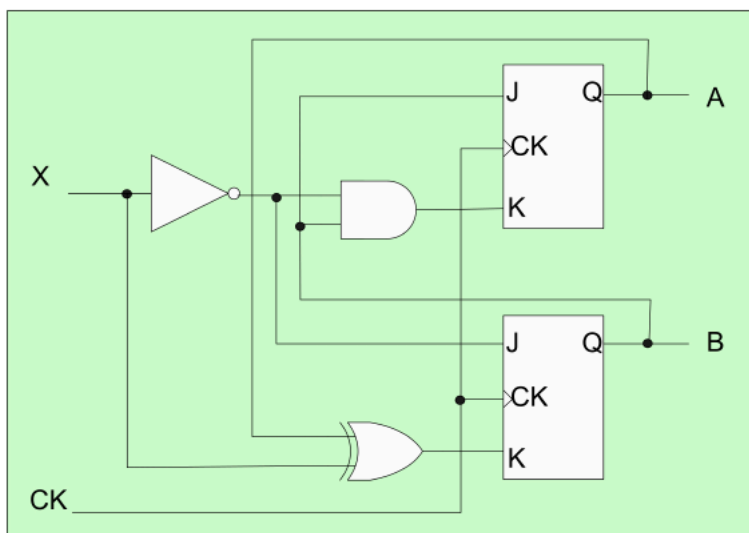




**Figura 15.18** Graful de tranziții al circuitului secvențial de la problema 6.

tranzitează starea 111 pentru a ajunge în 001 sau 100 în următorul tact. Deci, sunt necesare maximum două tacte pentru a reveni din starea 110 într-o stare din ciclu, indiferent de valorile intrării  $X$ .

7. Se consideră circuitul logic secvențial prezentat în figura 15.19. Determinați funcțiile logice ale bistabilelor JK. Construiți tabelul de tranziții al automatului. Construiți graful de tranziții al automatului.



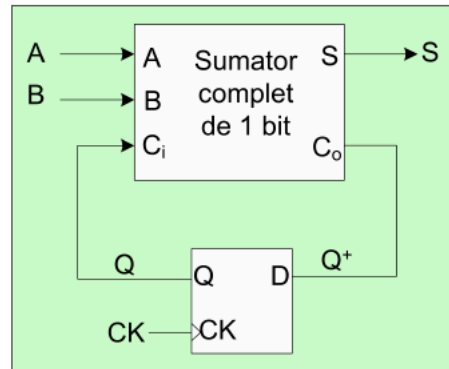
**Figura 15.19** Circuitul secvențial de analizat la problema 7.

## 15.4 Pentru cei ce vor să devină profesioniști

- Analizați circuitul secvențial prezentat în figura 15.20 care însumează două numere recepționate serial. Prezentați tabelul de stare, graful de tranziții și organigrama. Explicați modul de funcționare. Prezentați succesiunea de intrări și ieșiri în cazul efectuării adunării numerelor 13 și 25 (exprimate în binar). Modificați circuitul pentru a delimita în timp două numere binare succesive. Prezentați succesiunea de intrări și ieșiri în cazul efectuării adunării numerelor: 13 + 5 pe 5 biți, 13 + 8 pe 8 biți, 25 + 5 pe 6 biți.







**Figura 15.20** Circuitul secvențial pentru însumarea numerelor recepționate serial.

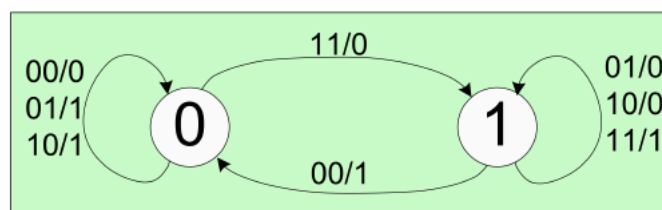
### Soluție

Circuitul prezintă un automat de tip Mealy (ieșirea  $S$  depinde atât de starea prezentă  $Q$  cât și de intrările  $A$  și  $B$ ). Circuitul combinațional care determină starea viitoare este implementat de un sumator complet de 1 bit ( $C_i = Q$ ,  $C_o = Q^+$ ). Bitul de stare viitoare este bitul de transport al sumatorului. Practic, dacă se adună două șiruri de biți, de la un bit la altul se propagă transportul. Circuitul însumează două numere binare recepționate serial (începând cu bitul cel mai puțin semnificativ).

Tabelul de stare al automatului este:

$A$	$B$	$C_i = Q$	$C_o = Q^+$	$S$
0	0	0	0	0
0	1	0	0	1
1	0	0	0	1
1	1	0	1	0
0	0	1	0	1
0	1	1	1	0
1	0	1	1	0
1	1	1	1	1

Graful de tranziții este prezentat în figură 15.21.



**Figura 15.21** Graful de tranziții al circuitului de la problema 1, sumator secvențial.

Funcționarea circuitului este următoarea:

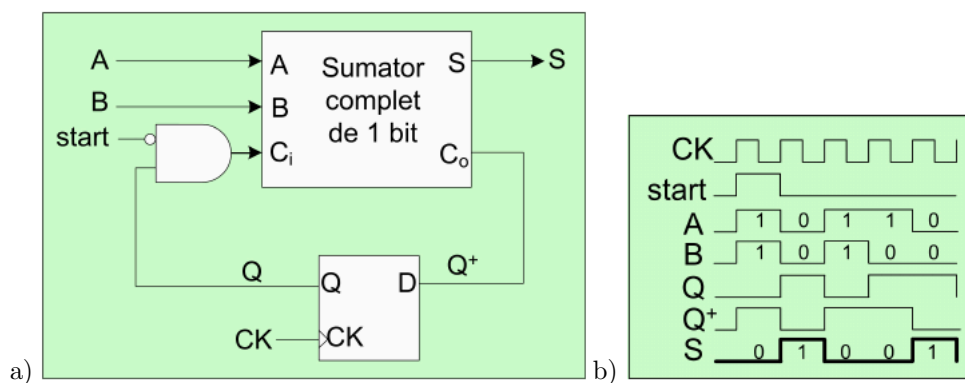
- pe intrările  $A$  și  $B$  sunt prezentați secvențial câte un bit aparținând operandilor adunării (cu cel mai puțin semnificativ bit primul);
- după însumarea a 2 biți, transportul rezultat se memorează și devine transport de intrare pentru adunarea biților mai semnificativi.

Pentru a delimita în timp două numere binare, trebuie adăugat un semnal suplimentar care să marcheze începutul secvenței unor noi operandi, pentru a nu propaga transportul de la operandii anteriori. Acest semnal (denumit "start") este egal cu 1 pe durata primului (cel mai puțin semnificativ) bit al operandilor. Circuitul este ilustrat în figură 15.22-a.

Dacă  $start = 1$ , înseamnă că se însumează bitul 0 al operandilor, deci transportul de intrare trebuie să fie 0.

Dacă  $start = 0$  transportul se propagă de la bitul anterior (mai puțin semnificativ). Este necesară o poartă





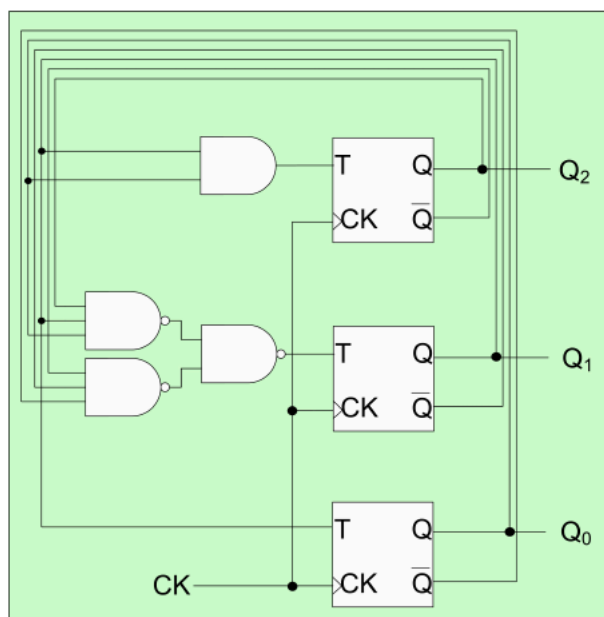
**Figura 15.22** a) Sumatorul secvențial cu delimitarea operatorilor, problema 1. b) Forme de undă la însumarea secvențială  $13 + 5 = 18$ .

suplimentară pe intrarea de transport a sumatorului complet:

$$C_i = \overline{\text{start}} \cdot Q$$

În cazul adunării numerelor  $13 + 5$  pe 5 biți, succesiunea de valori ale semnalelor este prezentată în figura 15.22-b. Se obține rezultatul 18 pe ieșirea  $S$ ,  $10010_2$ , rezultat cu cel mai puțin semnificativ bit primul.

- Să se studieze comportamentul automatului prezentat în figura 15.23 (graf de tranziții, tabel de tranziții). Să se facă un număr minim de modificări pentru ca automatul să se comporte ca un numărator cu o secvență de numărare de 5 stări și care să revină într-un singur tact în secvența de numărare în cazul inițializării acestuia în altă stare.



**Figura 15.23** Automat pentru analizat, problema 2.