

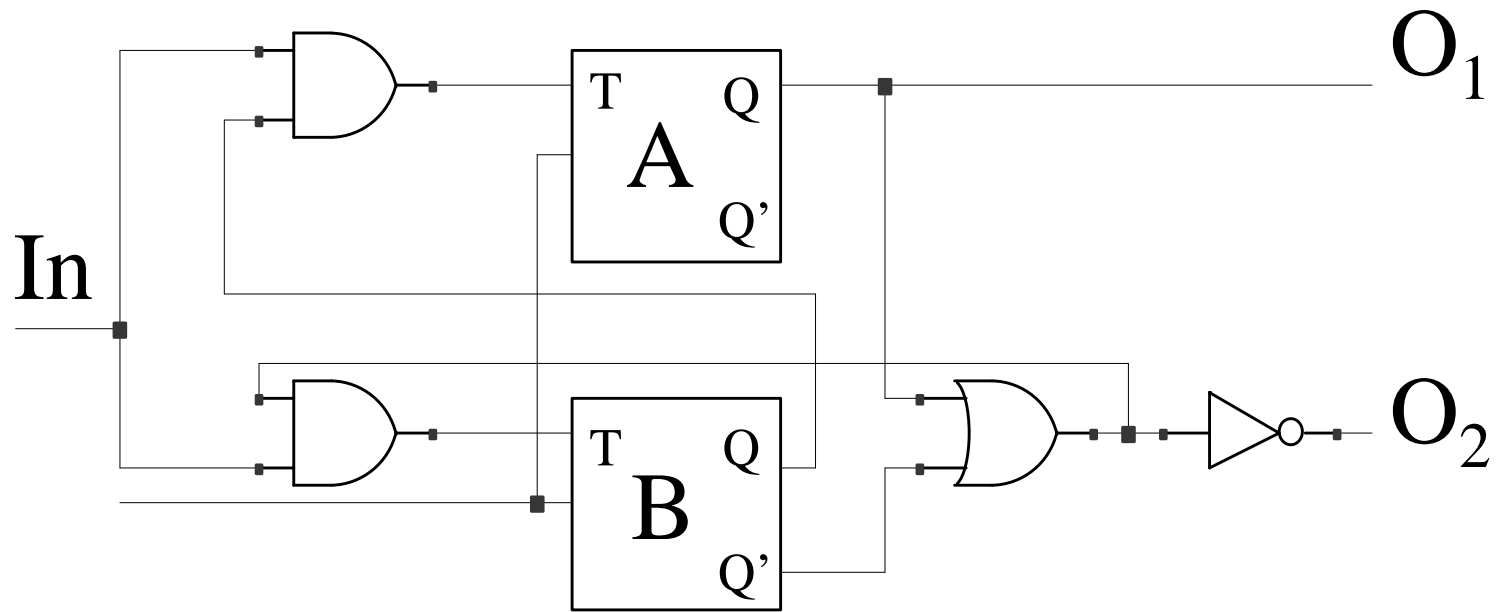
ניתוח מעגלים סדרתיים

- בהינתן מעגל המכיל כניסות, Flip-Flops, לוגיקה צירופית ויציאות, נרצה לנתח את פעולתו.
- הפלט ברגע $t+1$ תלוי בכניסות ובערכי ה-FFs ברגע t . לכן הפלט איננו פונקציה בוליאנית של הקלט, אלא משתנה בזמן כפונקציה של ה"מצב".
- נציג את פעולת המעגל ע"י אוטומט מצבים סופי (Finite State Machine/Automaton). לשם כך ניעזר בטבלת המצבים של המעגל.

טבלת המצבים

- m – דלגלים
- n – כניסות
- k – יציאות
- הטבלה מתארת לכל מצב של הזיכרון מה יהיה הפלט, ומה יהיה המצב הבא, כתלות בכניסות.
- מספר השורות בטבלה: 2^m
- מספר עמודות עבור המצב הבא: $m \times 2^n$
- מספר עמודות עבור היציאות: $k \times 2^n$

דוגמא I -



• שני דלגלים מסוג Trigger.

• כניסה אחת

• שתי יציאות

• ארבעה מצבים

טבלת המצבים - I

A_t	B_t	In = 0		In = 1		O_2^t	O_1^t
		A_{t+1}	B_{t+1}	A_{t+1}	B_{t+1}		
0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0

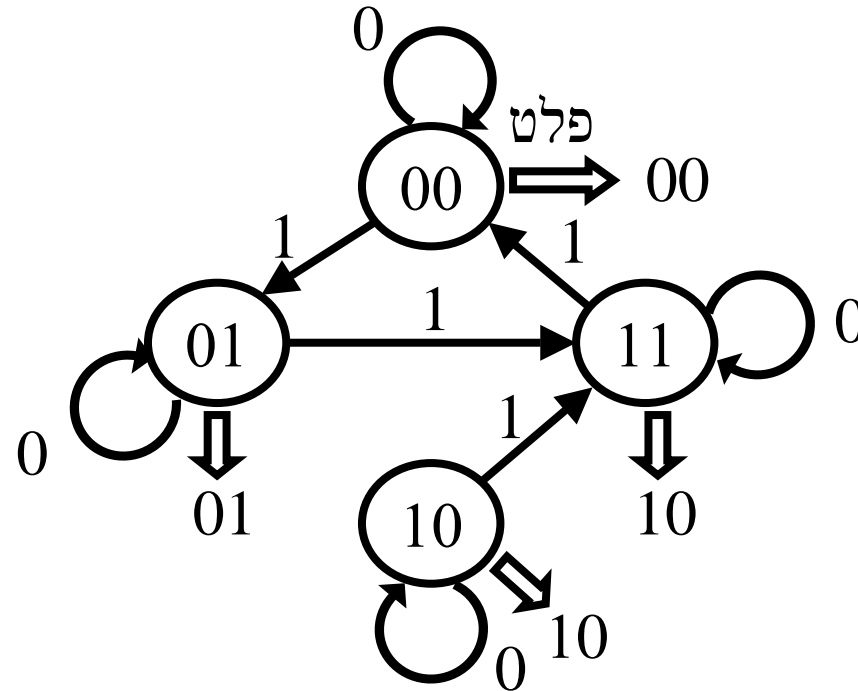
• O_1, O_2 אינם תלויים בדוגמא זו ב-In.

לכן מספר העמודות עבור הפלט הינו 2.

אוטומט מצבים סופי

- קלט בזמן t - וקטור ב- $\{0,1\}^n$.
 - מצב בזמן t - זה וקטור ב- $\{0,1\}^m$, המתאר את ערכי ה-
FFs. המצב בזמן 0 הוא וקטור ה- 0.
 - פונקציות מעברים - זו פונקציה
 $\delta: \{0,1\}^m \times \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^m$
הקובעת את המצב בזמן $t+1$ כתלות במצב ובקלט בזמן t .
 - פלט בזמן t - וקטור ב- $\{0,1\}^k$, שהוא פונקציה של הקלט
ושל המצב בזמן t .
- מהו האוטומט עבור דוגמא I?

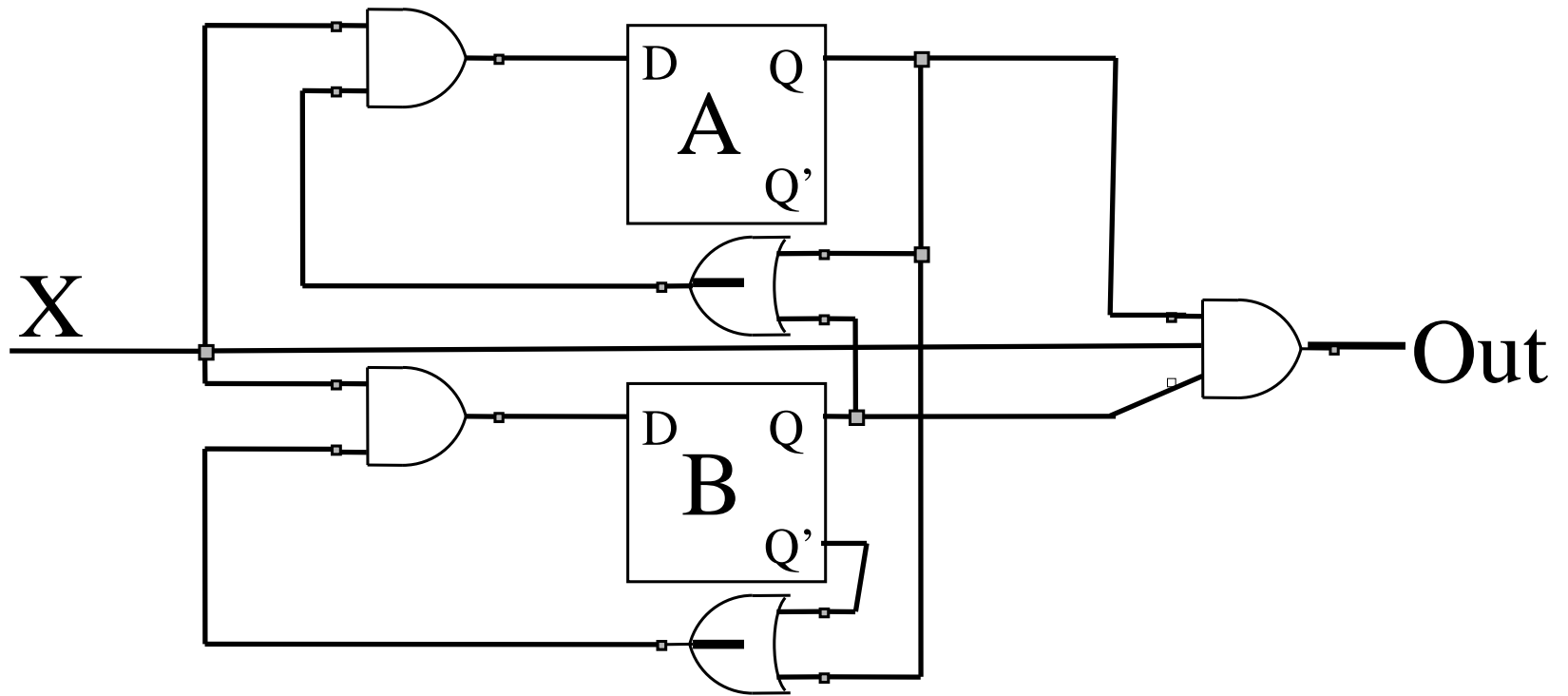
אוטומט עבור דוגמא I:



- אם האוטומט במצב $\{00\}$ או $\{01\}$ או $\{11\}$ לעולם לא יגיע ל- $\{10\}$.
- האוטומט סופר את מס' ה-1-ים בסדרת הקלט, מודולו 3.
- בדוגמה זו הפלט הנו פונקציה של המצב בלבד - הוא איננו תלוי בקלט.

אוטומט כזה נקרא אוטומט מסוג Moore.

דוגמא - II

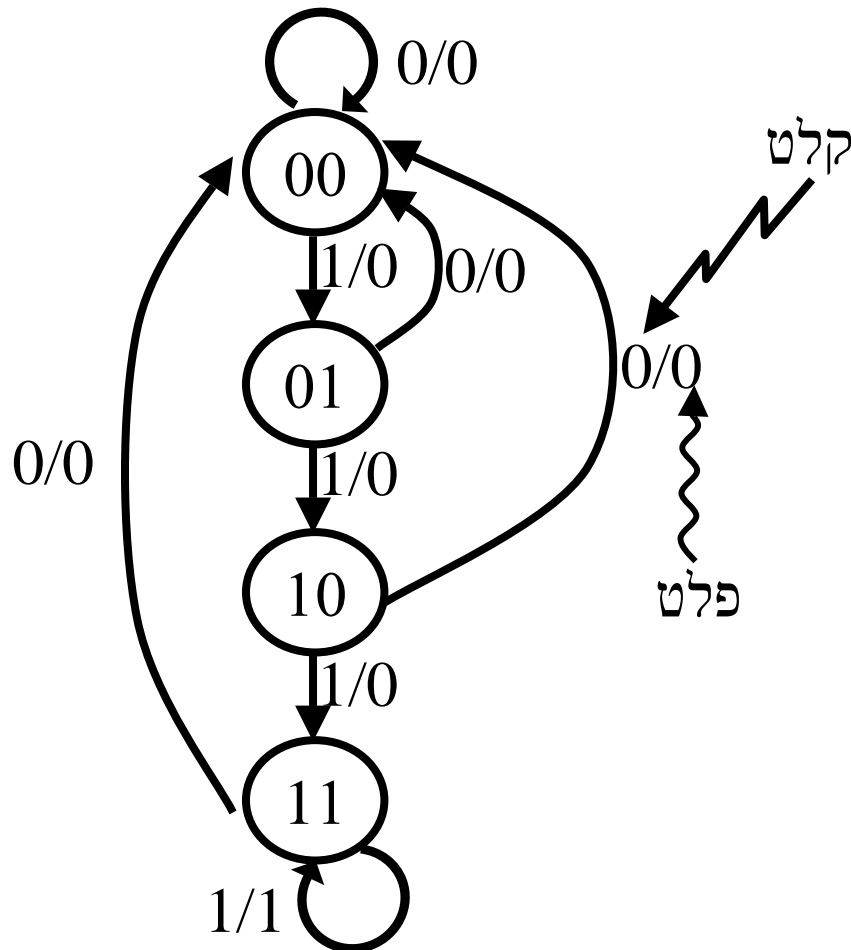


- כניסה אחת ויציאה אחת.
- היציאה תלויה ב- Q_A , Q_B ו- X .
- שני FF מסוג Data \Leftarrow 4 מצבים.

טבלת המצבים - II

A_t	B_t	$X=0$		$X=1$		$X=0$	$X=1$
		A_{t+1}	B_{t+1}	A_{t+1}	B_{t+1}	O_t	O_t
0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0	0
1	1	0	0	1	1	0	1

II – FSM



- האוטומט פולט 1 אחרי ש"ראה" לפחות 3 ימים מאז ה-0 האחרון.
- בדוגמה זו הפלט הוא פונקציה של המצב ושל הקלט. לכן הפלט מצוייר על הקשתות. זהו אוטומט מסוג **Mealy**.

Moore Vs. Mealy

הפלט:

Moore – פונקציה של המצב לבד

Mealy – פונקציה של המצב והקלט

דיאגרמת המצבים:

Moore – הפלט רשום על המצב

Mealy – הפלט רשום על הקשת

המשך - Moore Vs. Mealy

שיקולים:

Moore – לא תלוי ביציבות הקלט. אך אם דרושה תלות היציאה בקלט, נידרש להשתמש בדלגלים נוספים.

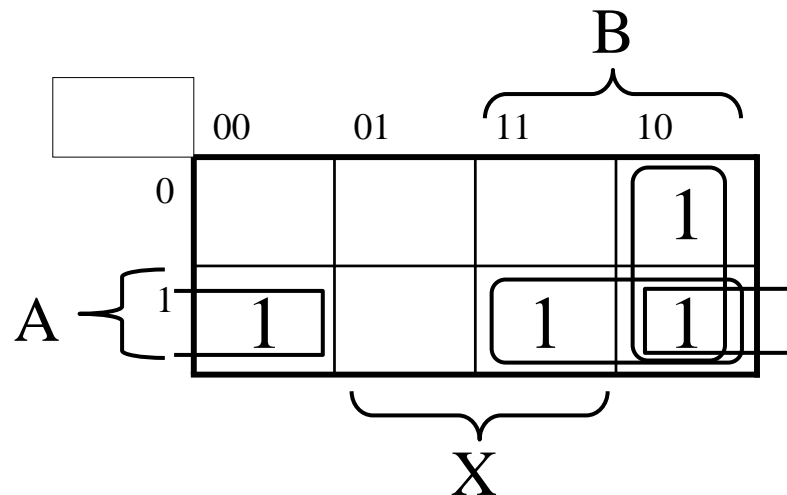
Mealy – פשוט למימוש כאשר יש תלות של היציאה בקלט. אך אם יש חוסר יציבות בקלט הוא מתבטא בחוסר יציבות בפלט.

אבחנה חשובה: Moore ו- Mealy שיקולים.

עיצוב מעגלים סדרתיים - משוואות מצב

- משוואות המתארות לכל דלגלג את מצבו בזמן $t+1$ כפונקציה של מצבו בזמן t , וכפונקציה של הקלט בזמן t .
- משוואת המצב היא פונקציה בוליאנית הכוללת זמן. ניתן ליישם אותה רק במעגלים סדרתיים מבוקרי שעון.

• דוגמה: $A(t+1) = X'(t)(A'(t)B(t) + A(t)B'(t)) + A(t)B(t) + X(t)A(t)B(t)$



- כרגיל, ניתן לחפש ביטוי פשוט יותר בעזרת מפת קרנו:

$$A(t+1) = BX' + AX' + AB$$

עיצוב מעגלים סדרתיים - טבלאות עירור

- טבלאות המצבים של הדלגלגים, שאותן ראינו עד כה, מתארות את המצב הבא כאשר המצב הנוכחי וכן הכניסות ידועים.
- כאשר מתכננים מעגלים סדרתיים נוהג להציג את אותה אינפורמציה בצורה של טבלאות עירור (excitation tables).
- טבלת העירור קובעת לכל מעבר אפשרי של הדלגלג ממצב (א) למצב (ב), מה צריכות להיות ערכי הכניסות של הדלגלג כדי שהמעבר יתרחש.

טבלאות עירור - המשך

טבלאות העירור של הדלגלים השונים:

JKFF

Q(t)	Q(t+1)	J	K
0	0	0	∅
0	1	1	∅
1	0	∅	1
1	1	∅	0

SRFF

Q(t)	Q(t+1)	S	R
0	0	0	∅
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	∅	0

DFF

Q(t)	Q(t+1)	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

TFF

Q(t)	Q(t+1)	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

נוהל העיצוב של מעגל סדרתי

- (1) מגדירים באופן מילולי תמציתי את פעולת המעגל.
- (2) קובעים משתנה (וקטור בוליאני) לכל מצב.
- (3) בונים את דיאגרמת המצבים (אוטומט), ומצמצמים אותה ככל שניתן.
- (4) מספר הדלגלים הוא \log של מספר המצבים. בוחרים בסוגי הדלגלים להשתמש בהם. מתאימים שם לכל דלגלג.
- (5) בונים את טבלת המצבים.

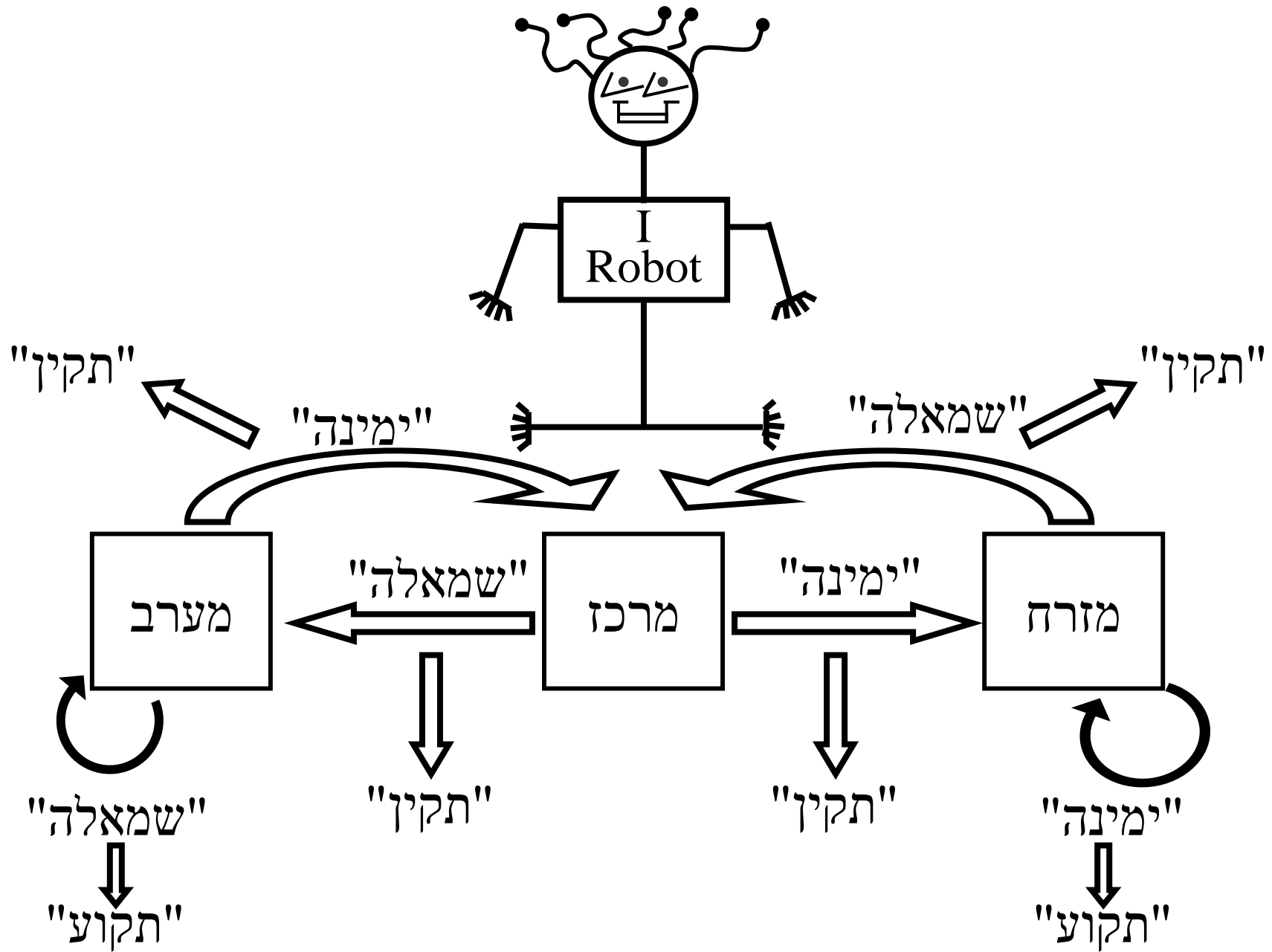
נוהל העיצוב של מעגל סדרתי - המשך

(6) מקבלים את פונקציות הכניסה של הדלגלים מטבלת המצבים, בעזרת טבלאות העירור המתאימות. מוסיפים לטבלת המצבים את העמודות המתארות את פונקציות הכניסה של הדלגלים.

(7) מפשטים את פונקציות היציאה של המעגל ואת פונקציות הכניסה של הדלגלים (בעזרת מפות קרנו או כל שיטה אחרת).

(8) מציירים את הדיאגרמה הלוגית.

דוגמת תכנון



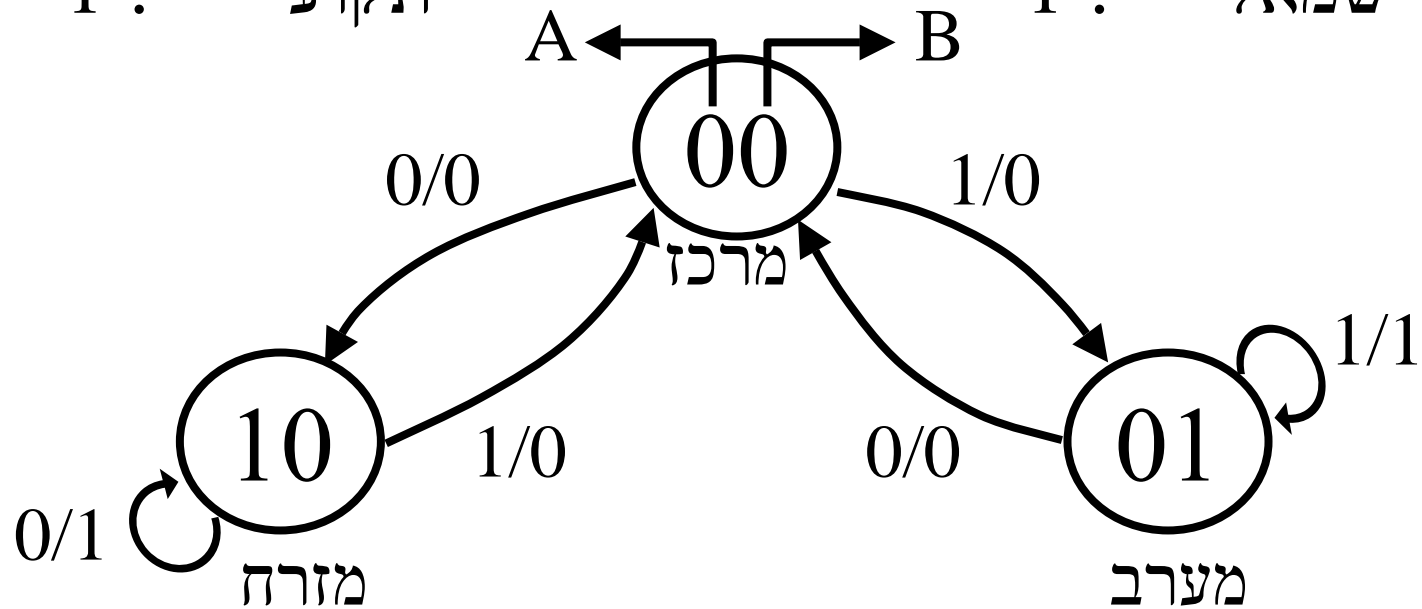
דיאגרמת המצבים

0 : תקין

1 : תקוע

0 : ימין

1 : שמאל



לאוטומט שלשה מצבים, לכן נזדקק לשני FF. שני FF יכולים לזכור 4 מצבים, לכן יש מצב שבו לא נשתמש (בדוגמה שלנו בחרנו לא להשתמש במצב 11).

טבלת המצבים (כולל העמודות המתאימות לכניסות של הדלגלים)

עבור שני דלגלים מסוג T:

המצב הנוכחי		קלט X	המצב הבא		פלט Y	$A(t) \oplus A(t+1)$ T_A	$B(t) \oplus B(t+1)$ T_B
A	B		A	B			
0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0	1
0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	1	0	1	1	0	0
1	0	0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	0	1	0

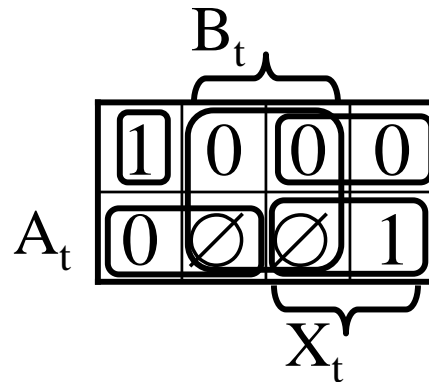
טבלת המצבים (כולל העמודות המתאימות לכניסות של הדלגלים)

עבור שני דלגלים מסוג JK:

המצב הנוכחי		קלט X	המצב הבא		פלט Y	J_A	K_A	J_B	K_B
A	B		A	B					
0	0	0	1	0	0	1	\emptyset	0	\emptyset
0	0	1	0	1	0	0	\emptyset	1	\emptyset
0	1	0	0	0	0	0	\emptyset	\emptyset	1
0	1	1	0	1	1	0	\emptyset	\emptyset	0
1	0	0	1	0	1	\emptyset	0	0	\emptyset
1	0	1	0	0	0	\emptyset	1	0	\emptyset

פונקציות הכניסה של הדלגלים (מימוש עבור שני TFF)

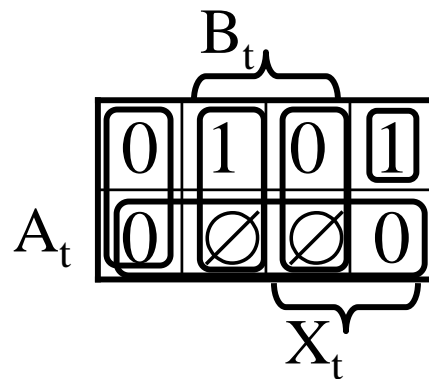
T_A



$$T_A = AX + A'B'X'$$

$$T_A = B'(A'+X)(A+X')$$

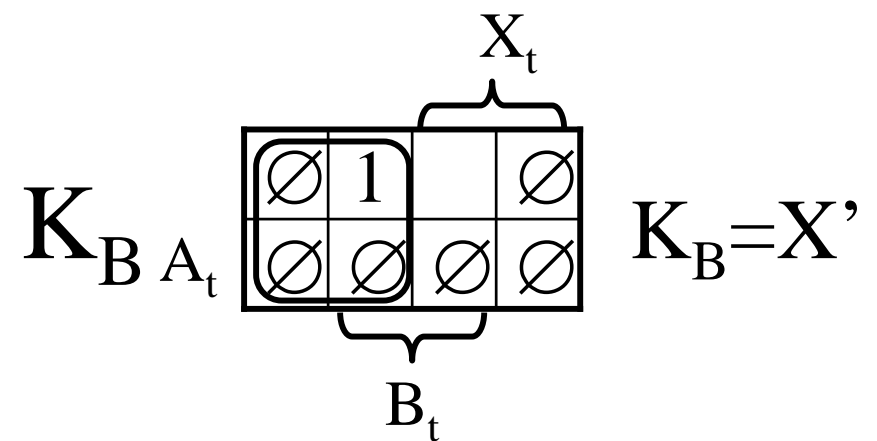
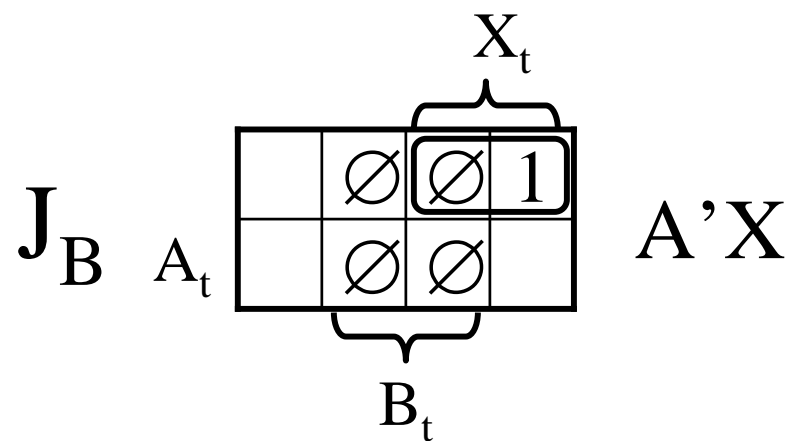
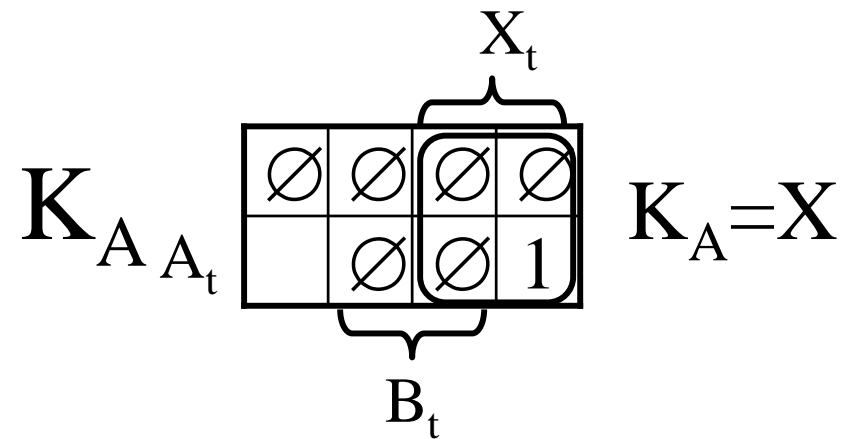
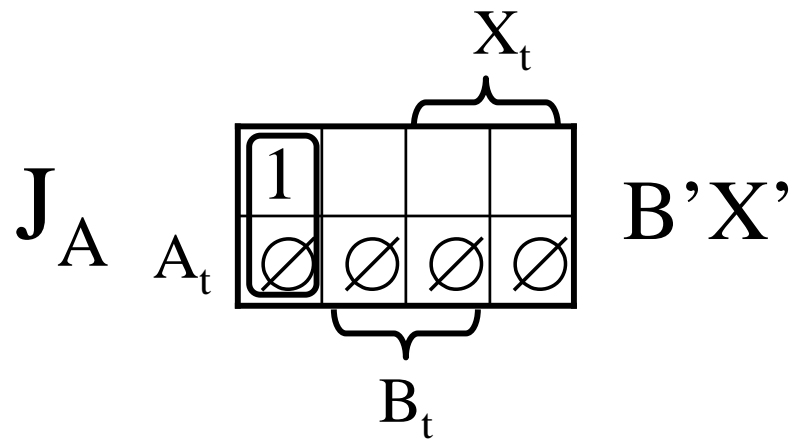
T_B



$$T_B = BX' + A'B'X$$

$$T_B = A'(B+X)(B'+X')$$

פונקציות הכניסה של הדלגלים (מימוש עבור שני JKFF)

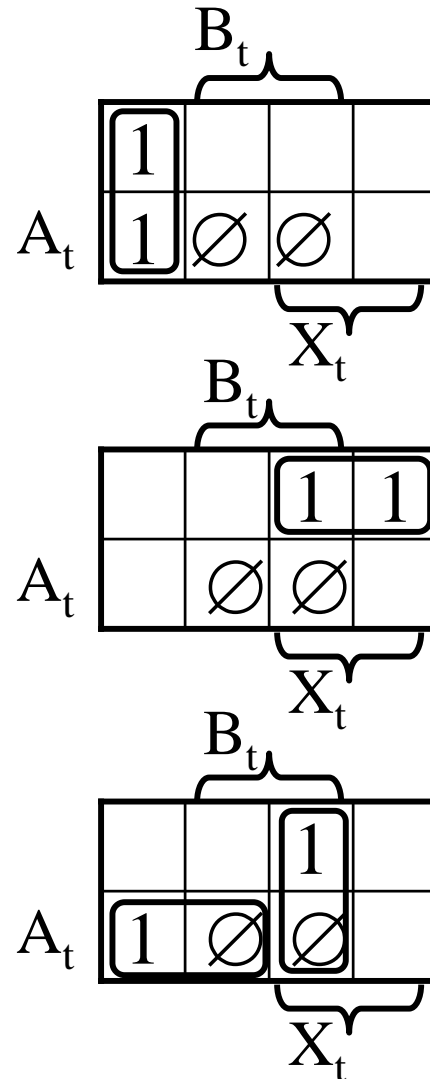


פונקצית היציאה של המעגל ופונקציות הכניסה של הדלגלים (מימוש עבור שני DFF)

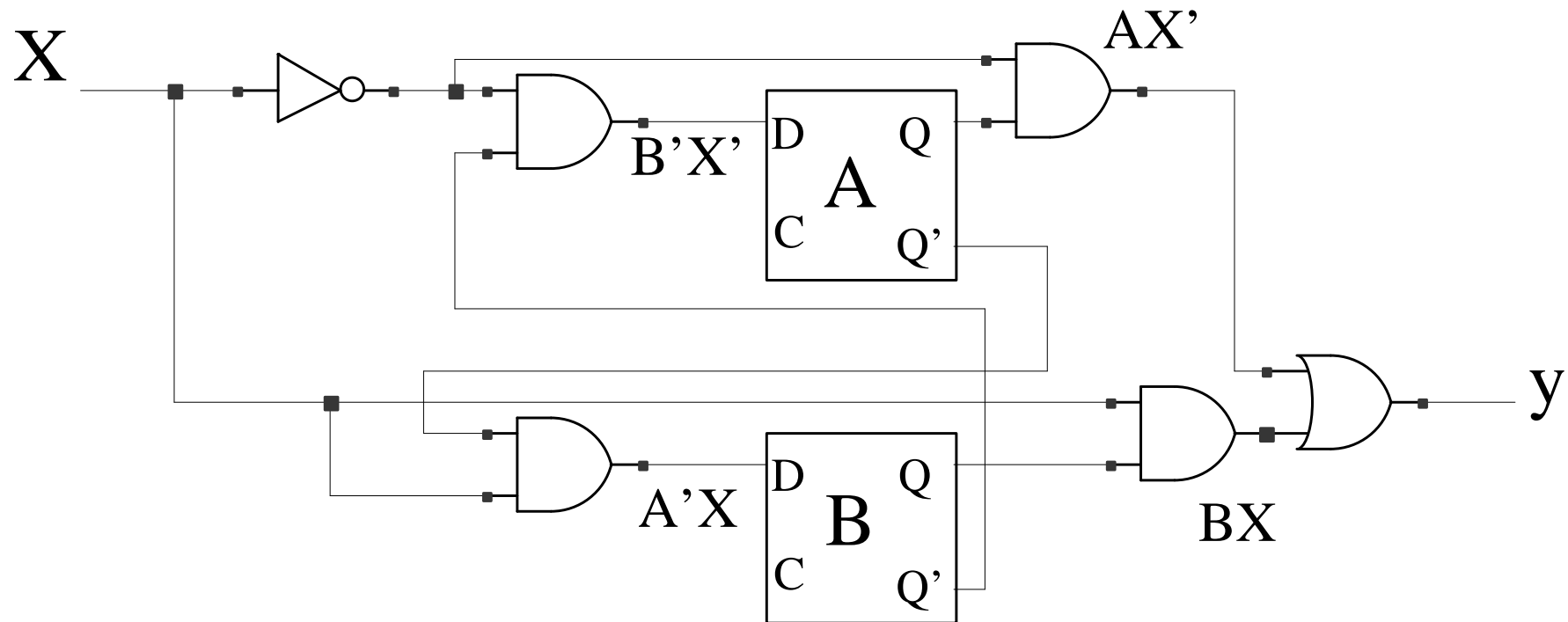
$$D_A = A(t+1) = B'X' = (B+X)'$$

$$D_B = B(t+1) = A'X$$

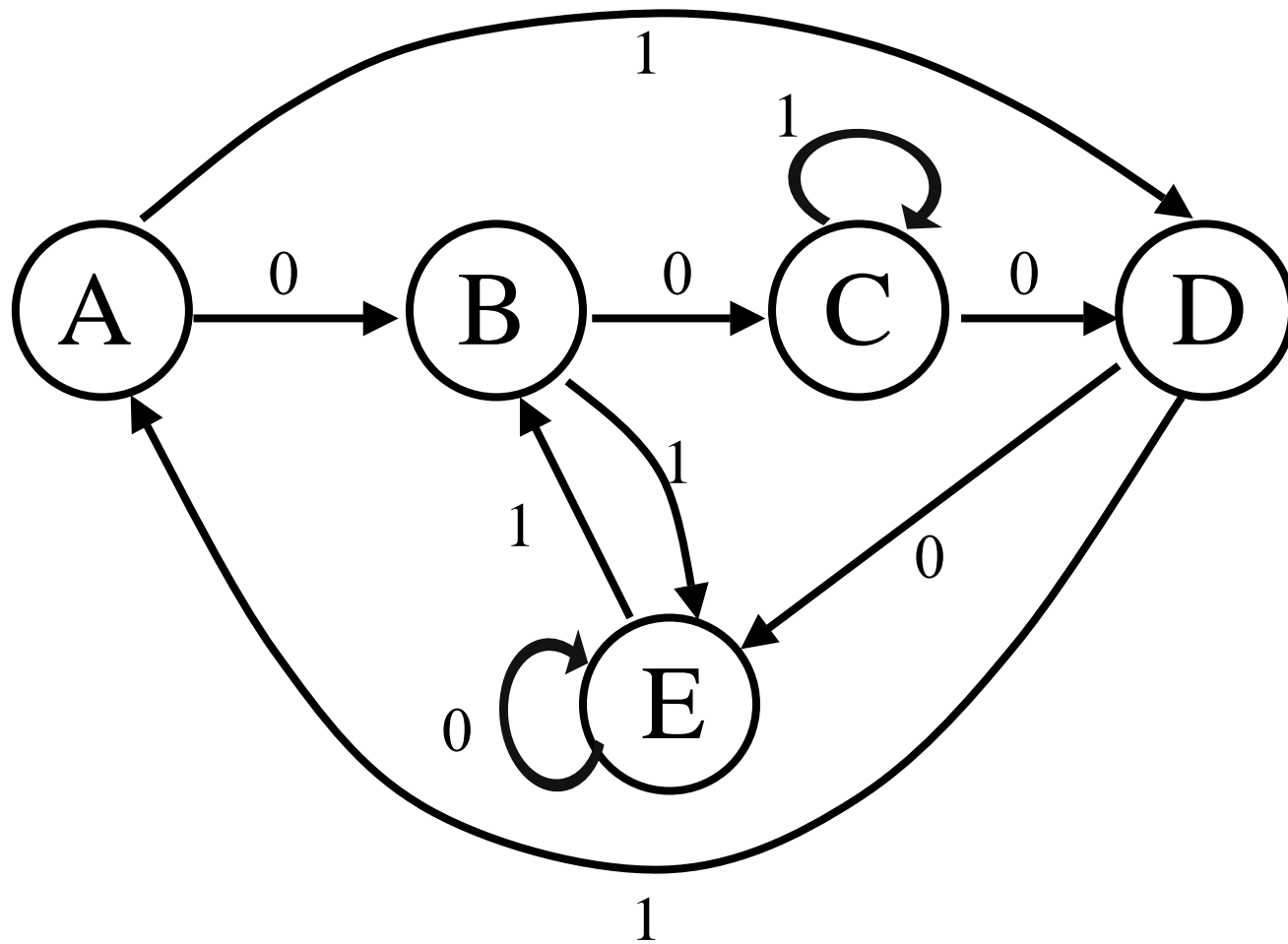
$$Y(t) = AX' + BX$$



הדיאגרמה הלוגית (מימוש עבור שני DFF)



עיצוב מעגל סדרתי - דוגמה נוספת



- בדוגמה זו הקלט הוא ביט יחיד: $I \in \{0,1\}$.
- יש 5 מצבים, לכן נזדקק ל-3 דלגלים: XYZ.
- בדוגמה זו לא מוגדר פלט. ברירת מחדל: נתייחס למצב כאל פלט.

הקצאת מצבים:

מצב	X	Y	Z
A	1	1	0
B	0	1	0
C	0	0	0
D	0	0	1
E	1	0	1

מצבים לא שמישים: 111, 011, 100

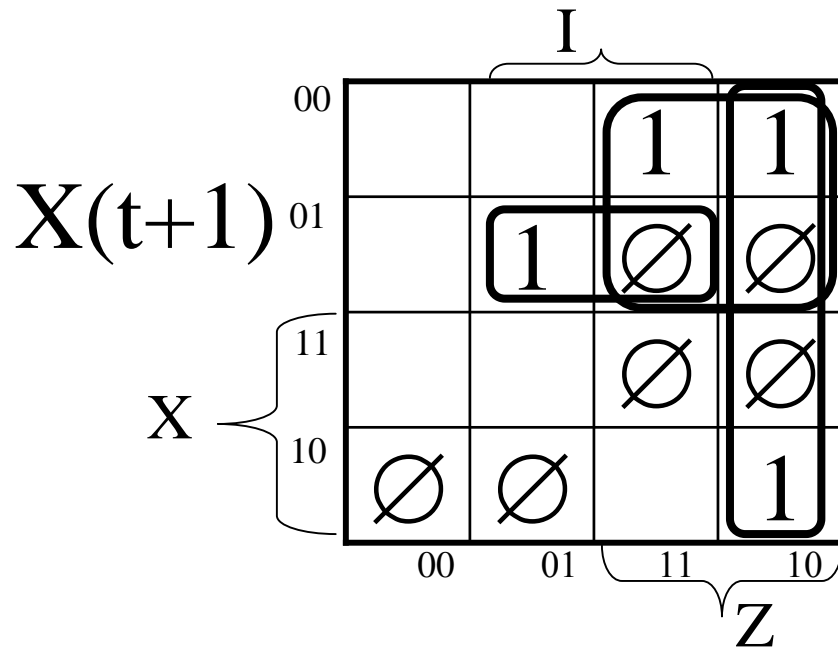
טבלת המצבים:

סמל נוכחי	X	Y	Z	I	סמל הבא	X	Y	Z
A	1	1	0	0	B	0	1	0
A	1	1	0	1	D	0	0	1
B	0	1	0	0	C	0	0	0
B	0	1	0	1	E	1	0	1
C	0	0	0	0	D	0	0	1
C	0	0	0	1	C	0	0	0
D	0	0	1	0	E	1	0	1
D	0	0	1	1	A	1	1	0
E	1	0	1	0	E	1	0	1
E	1	0	1	1	B	0	1	0

מצב נוכחי

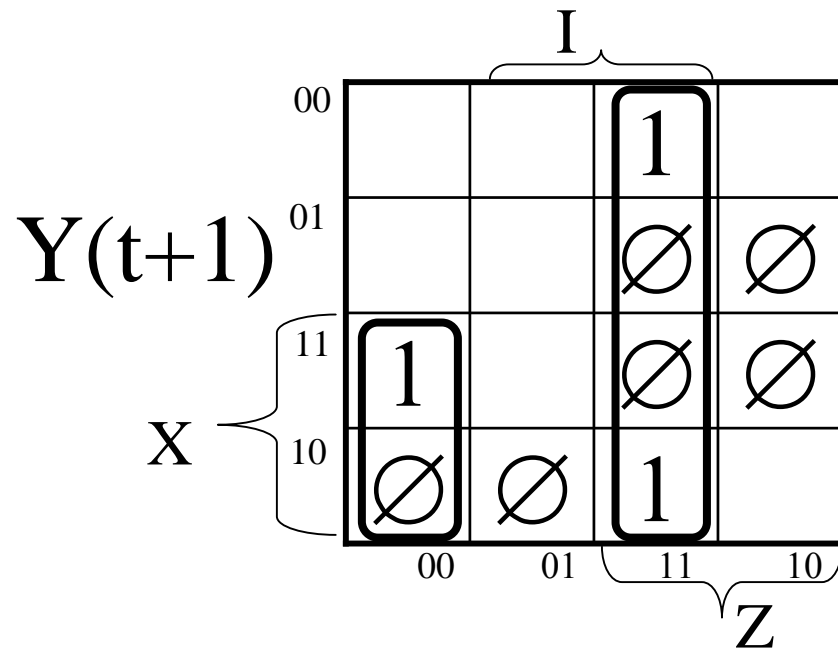
המצב הבא

משוואות המצב



Y

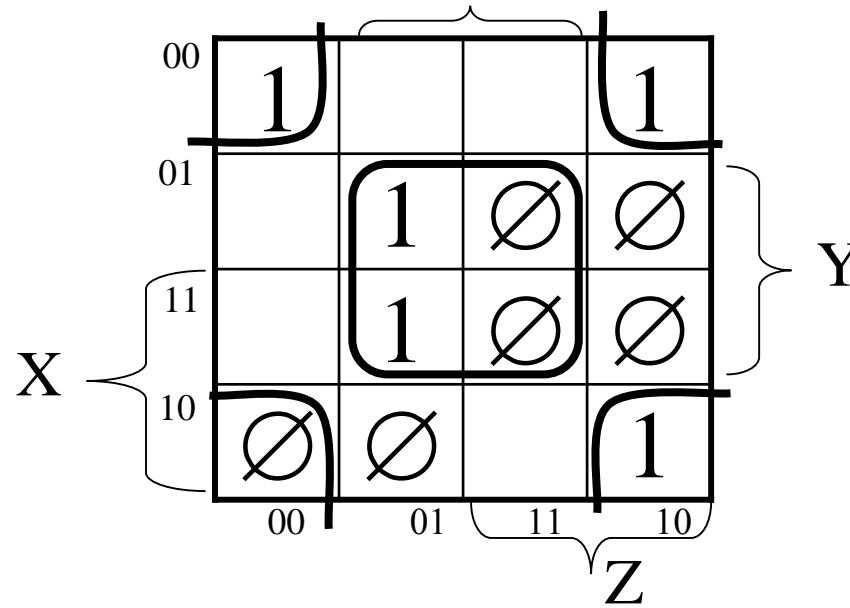
$$\begin{aligned}
 X(t+1) &= ZI' + ZX' + X'YI = \\
 &= Z(XI)' + X'YI
 \end{aligned}$$



Y

$$\begin{aligned}
 Y(t+1) &= ZI + Z'I'X \\
 &= ZI + (Z+I)'X
 \end{aligned}$$

$Z(t+1)$



$$\begin{aligned}
 Z(t+1) &= YI + (Y'I') = YI + (Y+I)' = \\
 &= (Y\oplus I)'
 \end{aligned}$$

הדיאגרמה הלוגית (מימוש עבור FFs מסוג D)

