

תוכן העניינים:

פרק 8	2
מעגלים סדרתיים סינכרוניים	2
ניתוח (אנליזה) של מכונת מצבים סינכרונית:	2
סיכום כללי:	2
שאלות:	5
תשובות סופיות:	7
צמצום מצבים:	8
סיכום כללי:	8
שאלות:	9
תשובות סופיות:	10
תכנון (סינתזה) של מכונת מצבים סינכרונית:	11
סיכום כללי:	11
שאלות:	11
תשובות סופיות:	15

פרק 8

מעגלים סדרתיים סינכרוניים

ניתוח (אנליזה) של מכונת מצבים סינכרונית:

סיכום כללי:

בשאלות ניתוח נקבל תיאור כלשהו של מערכת קיימת (ע"י מימוש לוגי, דיאגרמה מתאימה, טבלה מתאימה וכו') ונישאל על פעולת המערכת / משוואותיה / מצביה הפנימיים וכו'.

ניתן להגדיר מעגל סדרתי סינכרוני באופנים הבאים:

- מימוש לוגי.
- משוואות עירור ומוצא.
- טבלת מצבים.
- דיאגרמת מצבים.
- דיאגרמת זמנים מלאה (עבור כל משתני הכניסה, המצב הנוכחי והמוצא).
- כל אחת מהצורות הנ"ל מתארת באופן **מלא** את המערכת הלוגית הסדרתית. ניתן לעבור מכל צורה לצורות האחרות לפי הצורך.

הגדרות של משתנים:

במערכת סדרתית סוגי המשתנים הם:

- משתני כניסה - משתני הכניסה למעגל כולו.
- משתני מוצא - משתני המוצא מהמעגל כולו.
- משתני עירור לדלגלגים - משתני הכניסה לרכיבי הזיכרון.
- משתני המצב הנוכחי (P.S.) - משתני המוצא מרכיבי הזיכרון בזמן הנוכחי.
- משתני המצב הבא (N.S.) - משתני המוצא מרכיבי הזיכרון במחזור השעון הבא.

משוואות העירור (לדלגלגים):

נקראות גם Excitation Equations. משוואות המתארות את הקשר שבין משתני הכניסה ומשתני המוצב הנוכחי לבין משתני הכניסה לכל אחד מהדלגלגים.

משוואות המצב (משוואות המעבר):

נקראות גם State Equations / Transition Equations. אלו מתארות את הקשר שבין המוצב הבא של כל דלגלג לבין משתני הכניסה ומשתני המוצב הנוכחי.

משוואות מוצא (פלט):

נקראות גם Output Equations. מתארות את הקשר שבין משתני המוצא לבין משתני הכניסה ומשתני המוצב הנוכחי.

טבלת מצבים/מעברים (State/Transition Table):

טבלה המורכבת מעמודות הנתונים (משתני ה-P.S. ומשתני הכניסה) ועמודות החישוב (משתני המוצב הבא N.S. ומשתני המוצא). מספר השורות בטבלת מצבים בעלת n משתני כניסה ו- m מצבים פנימיים: 2^{m+n} . דוגמא לטבלת מצבים (מתוך סרטוני התיאוריה):

<u>P.S.</u>	<u>Input</u>	<u>N.S.</u>	<u>Output</u>
$y_1 y_2$	x	$Y_1 Y_2$	z
00	0	01	0
00	1	00	0
01	0	00	0
01	1	10	0
10	0	00	0
10	1	11	0
11	0	00	1
11	1	00	0

השמת תוויות (State Assignment):

במעגלים בהם אין משמעות לערך הבינארי של המצבים הפנימיים, מקובל לתת להם תוויות (Labeling). ראה דוגמא מפורטת בסרטון התיאוריה.

טבלת עירור:

טבלה המתארת את ערכי הכניסות לדלגלים. נצרף את עמודות העירור לטבלת המצבים ובכך נוכל למצוא את הערכים עבור כל צירוף של משתני כניסה ומצב נוכחי לקבלת המצב הבא.

דיאגרמת מצבים:

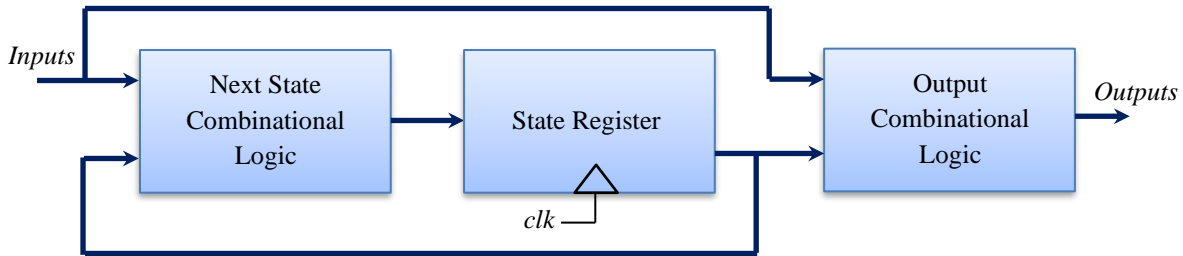
דיאגרמה המתארת באופן ציורי את המעברים מכל מצב נוכחי למצב הבא כתלות במשתני הכניסה. ראה דוגמא שבסרטוני התיאוריה להמחשה אופן ציור וקריאה של דיאגרמה בצורה נכונה.

מודל מילי (Mealy) ומודל מור (Moore):

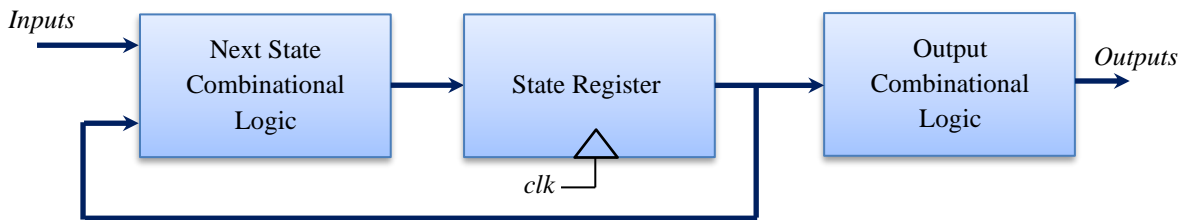
מכונת מצבים סופית - (Finite State Machine - FSM).

- במודל מילי מוצא המערכת תלוי במשתני המצב הנוכחי ומשתני הכניסה.
- במודל מור מוצא המערכת תלוי אך ורק במשתני המצב הנוכחי.

מכונת Mealy:

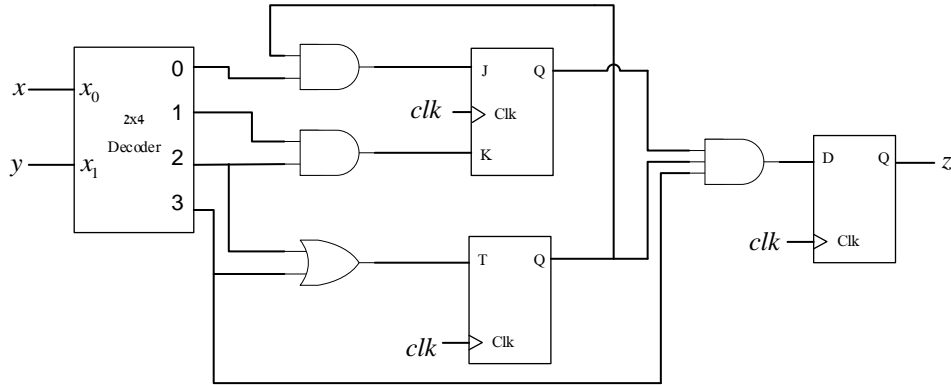


מכונת Moore:



שאלות:

1) לפניך התרשים הלוגי הבא:

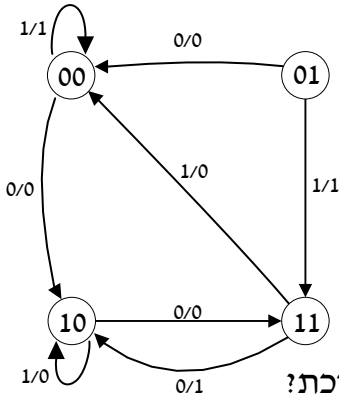


- א. כתוב את משוואות הכניסה לדלגלגים.
- ב. כתוב את משוואות המצב ומשוואות הפלט.
- ג. כתוב טבלת מצבים וטבלת עירור.
- ד. צייר דיאגרמת מצבים מתאימה.

2) לפניך טבלת מצבים של מערכת סינכרונית כלשהי. המעגל שמממש את המערכת מורכב מ-2 T-FF והמוצאים מחוברים ל-2 D-FF.

P.S. (Labeled)	input x_1x_0	N.S. (Labeled)	outputs		עירורי כניסה	
			z_1	z_0	$T_1 T_0$	$D_1 D_0$
0	00	0	0	0		
0	01	1	0	0		
0	10	2	0	0		
0	11	3	0	0		
1	00	1	0	0		
1	01	2	0	0		
1	10	3	0	0		
1	11	0	0	1		
2	00	2	0	0		
2	01	3	0	0		
2	10	0	1	1		
2	11	1	1	1		
3	00	3	0	0		
3	01	0	0	1		
3	10	1	1	1		
3	11	2	1	1		

- א. מהם תפקידי המוצאים?
- ב. השלם את עירורי הכניסות של הדלגלגים.
- ג. מצא את משוואות הכניסה ומשוואות הפלט של המעגל.
- ד. ממש את המעגל.



3) לפניך דיאגרמת המצבים הבאה :

א. ענה על השאלות הבאות :

- i. כמה מצבים פנימיים יש למערכת?
 - ii. מאיזה סוג הדיאגרמה? (מילי / מור)
 - iii. כמה דלגלים צריך בכדי לממש את המערכת? האם ניתן לקבוע מהדיאגרמה באלו דלגלים יש להשתמש?
 - iv. כמה משתני כניסה וכמה משתני מוצא יש למערכת?
- ב. כתוב טבלת מצבים מתאימה וטבלת עירור מתאימה.
הנח כי כל המצבים הפנימיים ממומשים באמצעות JK-FF וכי המוצא מחובר ל-D-FF.
ג. ממש את המעגל הלוגי המתאים לדיאגרמה.

4) נתונה מערכת סינכרונית בעלת כניסה בינארית אחת x ויציאה בינארית אחת z

המשתמשת עבור Y_0 ב-JK-FF ועבור Y_1 ב-T-FF.

נתונות משוואות הכניסה ומשוואת הפלט הבאות :

$$J = \bar{x}y_0 + \bar{y}_1 ; K = x + y_1 ; T = \bar{x} + \bar{y}_0 ; z = y_0y_1$$

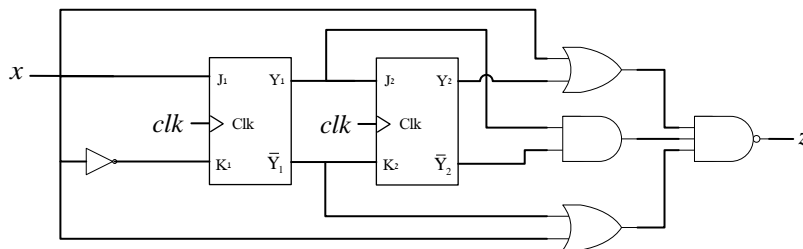
ה-Reset הוא במצב 00.

א. האם המערכת מתאימה למודל מילי או מור? נמק.

ב. תן טבלת מעברים (מצבים) מתאימה וטבלת תפוקות (עירור) מתאימה.

ג. צייר דיאגרמת מצבים מתאימה.

5) נתון המעגל הבא :



א. יש לרשום את פונקציות העירור ופונקצית הפלט.

ב. יש לבנות טבלת מצבים וטבלת עירור.

ג. יש לצייר את דיאגרמת המצבים ולתאר את פעולת המערכת.

הנח מצב התחלתי $y_1y_2 = 01$.

תשובות סופיות:

- (1) א. $J = \bar{x}\bar{y}Q_B$, $K = x \oplus y$, $T = y$, $D = xyQ_AQ_B$.
 ב. $Q_A(t+1) = \overline{x \oplus y}Q_A$, $Q_B(t+1) = y \oplus Q_B$, $z = xyQ_AQ_B$.
 ג. ראה טבלה מתאימה בסרטון הוידאו.
 ד. ראה דיאגרמה מתאימה בסרטון הוידאו.
- (2) א. המוצא z_0 מחזיר את ה-carry של הסכום $x_1x_0 + y_1y_0$ והמוצא z_1 מחזיר 1 כאשר המכפלה $(x_1x_0) \cdot (y_1y_0)$ מחזירה מספר הגדול מ-2 ביטים.
 ב. ראה את ערכי העירורים בטבלה שבסרטון הוידאו.
 ג. $T_0 = x_0$, $T_1 = x_1\bar{x}_0 + x_1\bar{y}_0 + \bar{x}_1y_1y_0$, $z_1 = x_1y_1$, $z_0 = x_1y_1 + x_1x_0y_0 + x_0y_1y_0$.
 ד. ראה מימוש בסרטון הוידאו.
- (3) א. i. 4 מצבים. ii. mealy. iii. 2 דלגלים. לא נין לקבוע מהדיאגרמה.
 iv. משתנה כניסה אחד ומשתנה מוצא אחד.
 ב. ראה טבלת מצבים מלאה בסרטון הוידאו.
 ג. ראה מימוש בסרטון הוידאו.
- (4) א. מודל Moore. ב. ראה טבלה מלאה בסרטון הוידאו.
 ג. ראה דיאגרמת מצבים בסרטון הוידאו.
- (5) א. $J_1 = x$, $K_1 = \bar{x}$, $J_2 = y_1$, $K_2 = \bar{y}_1$, $z = y_2 + \bar{x} + \bar{y}_1$.
 ב. ראה טבלת מלאה בסרטון הוידאו.
 ג. ראה דיאגרמת מצבים בסרטון הוידאו.

צמצום מצבים:

סיכום כללי:

הגדרה:

מצב a הוא מיותר אם ורק אם קיים מצב אחר b שאינו בר-הבחנה ממנו, כלומר זהה לו. (נקראים: Indistinguishable States).

הגדרה:

שני מצבים a ו- b נקראים שקולים (Equivalent) אם ורק אם עבור כל סדרת כניסה אפשרית ל- a ול- b מתקבלות אותן סדרות מוצא (עבור כל סדרת כניסה). במקרה זה נסמן: $a = b$.

הגדרה (הכללה):

המצבים s_1, s_2, \dots, s_r שקולים זה לזה אם ורק אם לכל סדרת כניסה אפשרית עבור כל אחד מהמצבים תתקבל סדרת מוצא זהה בכולם כאשר כל אחד מהם הוא המצב ההתחלתי של המערכת.

שקילות בין מצבים משמעה:

1. רפלקסיביות (Reflexivity): $a = a$.
2. סימטריות (Symmetry): אם $a = b$ אז $b = a$.
3. כלל המעבר (Transitivity): אם $a = b$ וגם $b = c$ אז $a = c$.

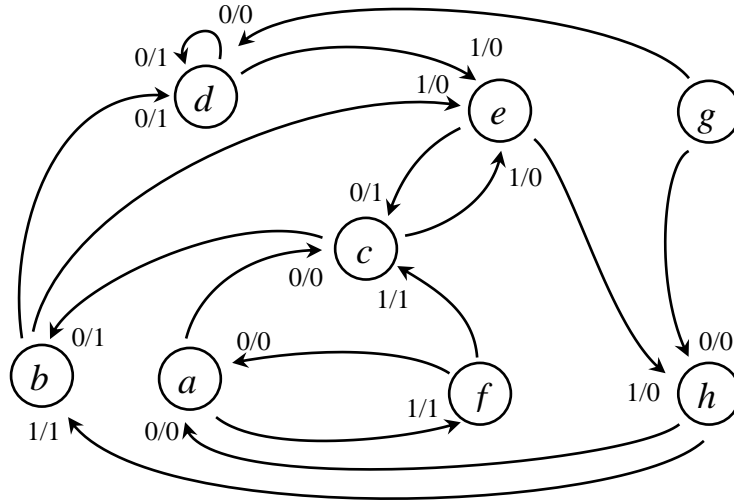
משפט:

שני מצבים a ו- b של טבלת מצבים המוגדרת לחלוטין נקראים שקולים אם עבור כל צירוף כניסה:

1. המוצאים שלהם זהים.
2. המצבים הבאים (Next States) אליהם הם עוברים גם שקולים.

שאלות:

1 נתונה דיאגרמת המצבים הבאה:



- א. כתוב טבלת מצבים מתאימה.
- ב. צמצם את הטבלה.
- ג. הגדר מצבים חדשים לפי הצמצום שקיבלת.
- ד. סרטט דיאגרמת מצבים מצומצמת.

2 צמצם את טבלת המצבים הבאה:

P.S.	N.S. / Output (z)	
	x = 0	x = 1
a	c/0	i/0
b	j/1	c/0
c	c/0	e/0
d	j/1	f/0
e	c/0	f/1
f	a/0	i/0
g	d/1	b/1
h	c/0	i/0
i	a/0	f/1
j	a/0	j/0

תשובות סופיות:

1) א. להלן טבלת מצבים:

P.S.	N.S. / Output (z)	
	$x = 0$	$x = 1$
a	$c / 0$	$f / 1$
b	$d / 1$	$e / 0$
c	$b / 1$	$e / 0$
d	$d / 1$	$e / 0$
e	$c / 1$	$h / 0$
f	$a / 0$	$c / 1$
g	$d / 0$	$h / 0$
h	$a / 0$	$b / 1$

ב. טבלה מצומצמת (עם הקצאת משתנים):

P.S.	N.S. / Output (z)	
	$x = 0$	$x = 1$
A	$B / 0$	$E / 1$
B	$B / 1$	$C / 0$
C	$B / 1$	$E / 0$
D	$B / 1$	$E / 0$
E	$A / 0$	$B / 1$

ג. עיין בסרטון הוידאו להקצאת המשתנים A, B, C, D, E .

ד. עיין בסרטון הוידאו.

2) להלן טבלת מצומצמת:

P.S.	N.S. / Output (z)	
	$x = 0$	$x = 1$
A	$A / 0$	$C / 0$
B	$E / 1$	$A / 0$
C	$A / 0$	$A / 1$
D	$B / 1$	$B / 1$
E	$A / 0$	$E / 0$

תכנון (סינתזה) של מכונת מצבים סינכרונית:

סיכום כללי:

שלבים בתכנון מערכת סינכרונית סדרתית:

1. סרטוט דיאגרמת מצבים (State Diagram).
2. צמצם מצבים (במידה ואפשר) (State Reduction).
3. הקצאת משתנים (State Assignment).
4. כתיבת טבלת מצבים (State/Transition Table).
5. כתיבת משוואות עירור ומשוואות פלט (Excitation and Output Equations).
6. מימוש לוגי של המעגל (Implementation).

שאלות:

- 1) יש לסרטט דיאגרמות מצבים מצומצמות עבור התיאורים הבאים:
- א. מכונה בעלת כניסה אחת x ויציאה אחת z המוציאה $z=1$ אם ורק אם שלושת סיביות הקלט האחרונות היו 101. (למשל עבור 10101010 יתקבל במוצא 00101010).
 - ב. מכונה בעלת כניסה אחת x ויציאה אחת z המוציאה $z=1$ אם ורק אם שלושת סיביות הקלט האחרונות היו 101 אך ללא חפיפות בין הסדרות. (למשל עבור 10101010 יתקבל במוצא 00100010).
 - ג. מכונה בעלת כניסה אחת x ויציאה אחת z המוציאה $z=1$ אם ורק אם שלושת סיביות הקלט האחרונות היו 101 והן התחילו במקום שהוא כפולה של 3. לשם הדוגמא, נספור את סיבית הכניסה הראשונה בתור 1. (למשל עבור 101010101010 יתקבל במוצא 000010000010).
- 2) יש לצייר דיאגרמת מצבים עבור המערכת הבאה:
- א. מערכת המקבלת רצף של ביטים בכניסה x ומוציאה $z=1$ למשך מחזור שעון אחד בלבד רק אם התקבלו שלושה ערכים של 1 (לאו דווקא ברצף) עד למחזור השעון הנ"ל.
לאחר מכן המוצא חוזר ל- $z=0$ והספירה מתחילה מחדש.
 - ב. איזה שינוי יש לבצע כדי ש:
 - i. במקום ספירה של שלושה ערכי 1 המערכת תספור ארבעה ערכי 1?
 - ii. במקום ספירה של שלושה ערכי 1 המערכת תספור שלושה ערכי 0?

(3) סרטט דיאגרמת מצבים של מכונה בעלת כניסה אחת x ומוצא אחד z המבצעת: אם התקבל הרצף 011 המוצא יוציא 111 (במשך שלושה מחזורי השעון הבאים). בכל מצב אחר המוצא יהיה 0. לשם הפשטות הנח כי במשך מחזורי השעון בהם המוצא $z=1$, כניסות המערכת לא נספרות עבור מאורע חדש, אלא רק לאחר ש- z חוזר ל-0.

(4) יש לתכנן מערכת סינכרונית בעלת כניסה אחת x ויציאה אחת z . המערכת מוציאה $z=1$ למשך מחזור שעון אחד אם מתקבלת סדרה שבה 3 הסיביות האחרונות בכניסה הן 111 או 101 (כולל חפיפות). בתחילה מוצא המערכת הוא 0.

א. רשום דיאגרמת מצבים לפי מודל Mealy וקבע את כמות הדלגלים הנדרשת.
ב. רשום דיאגרמת מצבים לפי Moore והסבר את השינויים שיש לבצע במכונת המצבים.

(5) אנרגיה של אות מוגדרת בתור ריבוע מערכו המוחלט (העשרוני). כך למשל אות המיוצג כמספר בינארי 101, שערכו העשרוני הוא 5, הוא בעל אנרגיה 25.

א. סרטט דיאגרמת מצבים עבור מערכת שמקבלת אות המיוצג ע"י מספר בינארי בין 2 ביטים בכניסה ומוציאה את הערך (הבינארי) של האנרגיה שלו. הגדר כניסות ויציאות בהתאם.
ב. צמצם את הדיאגרמה שקיבלת והקצה משתנים בהתאם.
ג. כתוב טבלת מצבים ומשוואות מתאימות עבור מימוש באמצעות T-FF.

(6) בשאלה זו נתכנן מכונה המקבלת מחרוזת ביטים כאות כניסה x (Bit Stream) ומוציאה מחרוזת ביטים דרך מוצא יחיד z . החוקיות של המכונה היא הבאה: בכל פעם שמתגלה רצף של שני ערכים לוגים זהים (כלומר: 00 או 11) המוצא יוציא 1, אחרת $z=0$. אין חפיפות בין הערכים, כלומר עבור רצף כניסה 0000 המוצא יהיה 0101 ולא 0111.

א. סרטט דיאגרמת מצבים ממודל Mealy.
ב. כתוב טבלת מעברים מתאימה.
ג. הוסף לטבלת המעברים טבלת עירור עבור מימוש באמצעות שני T-FF.
ד. כתוב את משוואות העירור ומשוואת הפלט (היעזר בצירופים אדישים על מנת לפשט את הביטויים).
ה. ממש את המעגל.
ו. נתח את המעגל שמימשת (טבלת מצבים ודיאגרמת מצבים) וקבע:
i. האם המימוש מתאים לדרישה.
ii. האם ישנו שימוש לא תקין במצבים הבלתי מיושמים (Unused states)? אם כן – הצע דרך לתיקון. אם לא נמק מדוע המימוש הינו תקין.
iii. האם המערכת (במימוש שעשית) היא self-starting?

7) יש לתכנן מערכת סדרתית בעלת כניסה אחת x ויציאה אחת z . המוצא z יהיה שווה ל-1 אם שלושת הערכים האחרונים שהתקבלו בכניסה הם 1, אחרת $z=0$. למשל:

$x: 0101101111001$

$z: 0000000011000$

הנח כי כאשר מדליקים את המעגל $z=0$.

א. צייר דיאגרמת מצבים.

ב. כתוב טבלת מצבים מתאימה.

ג. ממש את המעגל באמצעות דלגלים מסוג T-FF.

ד. האם המערכת שמימשת היא self-starting?

אם כן – נמק. אם לא הצע תיקון מתאים.

8) בשאלה זו נתכנן מסנן אשר מקבל רצף של ערכים לוגים דרך אות כניסה x באורך לא ידוע ומוציא רצף ביטים z . כאשר מפעילים את המערכת המוצא מקבל את ערך הביט הראשון שבכניסה. המוצא ישנה את ערכו אם בכניסה מתגלים שלושה ערכים זהים ברצף שהם בעלי ערך הפוך לערך הנוכחי שבמוצא. כלומר:

$x: 01011011100001110$

$z: 00000000111000011$

א. צייר דיאגרמת מצבים מתאימה ממודל Mealy.

ב. צמצם מצבים במידת האפשר וכתוב טבלת מעברים מצומצמת.

ג. כתוב משוואות מצב ומשוואת פלט מתאימות.

ד. כתוב משוואות עירור עבור מימוש באמצעות D-FF.

ה. ממש את המעגל.

ו. האם המעגל הוא self-starting? אם כן נמק, אם לא הצע פתרון לתקן את הבעיה.

9) תכנן מעגל סדרתי בעל שתי כניסות x_0 ו- x_1 ויציאה אחת z . זוג אותות הכניסה מייצג את 4 האותיות היווניות הראשונות: $\alpha = 00, \beta = 01, \gamma = 10, \delta = 11$. המוצא z שווה ל-1 רק כאשר מופיעות אותיות סמוכות לפי סדר הא"ב היווני - שהוא: $\alpha, \beta, \gamma, \delta$. כלומר בכניסות $\alpha\beta, \beta\gamma, \gamma\delta$ המוצא יהיה 1, אך בכניסות כגון $\alpha\gamma$ או $\delta\alpha$ המוצא הוא 0. יש לממש את המעגל באמצעות JK-FF בלבד.

- 10** מערכת סדרתית כוללת 4 דלגלים. בטרם הפעלת המערכת רושמים מספר בינארי A בתחום $0 \leq A \leq 10$ (כלומר: $00000 \leq (A)_2 \leq 1010$).
לאחר כל מחזור שעון נרשם במערכת מספר $A-5$ (מספר הקטן ב-5 מהמספר הקודם), כלומר המערכת מבצעת חיסור של 5 מהמספר הנבחר.
כאשר תוצאת החיסור שלילית כל הדלגלים מתאפסים וביציאת המערכת מקבלים 1.
א. סרטט דיאגרמת מצבים מתאימה.
ב. היעזר בדיאגרמה שעשית וכתוב טבלת מצבים ומשוואות עירור ופלט מתאימות.
ג. ממש את המערכת באמצעות JK-FF.

- 11** תכנן וממש מעגל בעל שתי כניסות x_1, x_0 ויציאה יחידה z לפי הדרישה הבאה:
על היציאה להיות '1' אם ורק אם המספר הכולל של ה-'1'ים שהופיע עד כה בכניסות אינו כפולה של 4. את המימוש עליך לבצע באמצעות T-FF.

- 12** בשאלה זו נתכנן מעגל מסנן מסוג Moving Average (MA) אשר לוקח מספר ערכים סמוכים ומחזיר את ערכם הממוצע. אולם כאן נשנה מעט את מהות המסנן ונסתפק בהחזרת הערך הבינארי של רצף הביטים הסמוכים.

תכנן מעגל סדרתי עם כניסה אחת x ושתי יציאות z_1 ו- z_0
כך שצירוף הסיביות $z_1 z_0$ צריך לייצג בבסיס 2 את מספר הפעמים מבין 3 הכניסות האחרונות שבהן הייתה הכניסה 1.
הנח כי ברגע הפעלת המעגל המוצא הוא $z_1 z_0 = 00$.
יש לצייר דיאגרמת מצבים מתאימה וטבלת מצבים מתאימה עבור מימוש באמצעות רכיבי זיכרון מסוג SR-FF בלבד. כתוב את משוואות העירור ומשוואות הפלט של המעגל (אין צורך במימוש).

תשובות סופיות:

- (1) א. ראה דיאגרמת מצבים מלאה בסרטון הוידאו.
ב. ראה דיאגרמת מצבים מלאה בסרטון הוידאו.
ג. ראה דיאגרמת מצבים מלאה בסרטון הוידאו.
- (2) א. ראה דיאגרמת מצבים בסרטון הוידאו.
ב. i. יש להוסיף עוד מצב.
ii. נחליף כניסות מ-1 ל-0.
- (3) ראה סרטוט דיאגרמה מלאה בסרטון הוידאו.
- (4) א. 2 רכיבי זכרון - ראה דיאגרמת מצבים מתאימה בסרטון הוידאו.
ב. יש צורך ב-4 מצבים אך עדיין 2 רכיבי זכרון. המוצא: $z = y_1 y_0$.
- (5) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.
- (6) א. ראה דיאגרמה בסרטון הוידאו.
ב. ראה טבלת מעברים מתאימה בסרטון הוידאו.
ג. ראה תוספת עירור בסרטון הוידאו.
ד. $T_0 = y_0 + \bar{x} \bar{y}_1$; $T_1 = x + y_1$; $z = xy_1 + \bar{x} y_0$.
- ה. ראה מימוש בסרטון הוידאו.
- ו. i. המימוש מתאים לדרישה אך יש מצב לא תקין.
ii. קיים מצב לא תקין עם מוצא לא תקין.
iii. המערכת היא self starting.
- (7) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.
- (8) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.
- (9) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.
- (10) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.
- (11) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.
- (12) ראה פתרון מלא בסרטון הוידאו.