



מערכות ספרתיות ומבנה המחשב (044252) סמסטר אביב תשע"ט

בוחר אמצע

פתרון

15 במאי 2019

טור 1

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

מספר סטודנט

משך המבחן: שעתיים (120 דקות). **תכנונו את זמנכם היטב.**

חומר עזר: אין להשתמש בכל חומר עזר בכתב, מודפס או אלקטרוני, פרט לדפי העזר שיחולקו במהלך הבחינה.

הנחיות והוראות:

- הבחינה כתובה על גבי 13 עמודים כולל עמוד זה (בדקו בתחילת הבחינה שלא חסרים לכם עמודים).
- בתחילת הבחינה תקבלו חוברת בחינה, מחברת טיוטה, דפי עזר וטופס תשובות ממוחשב. בסיום הבחינה, החזירו את טופס התשובות הממוחשב בלבד. לא לשכוח לסמן בטופס התשובות הממוחשב את מספר הטור שלכם (מופיע בראש עמוד זה!).
- אין לתלוש או להפריד דפים מחוברת הבחינה, ממחברות הטיוטה ומדפי העזר.
- רשמו את מספר הסטודנט שלכם על חוברת הבחינה (בראש עמוד זה), טופס התשובות הממוחשב, על דפי העזר, ועל כל מחברות הטיוטה.
- לא מורדות נקודות (אין "קנס") בגין תשובה שגויה. לכן, כדאי לסמן תשובה כלשהי לכל שאלה.
- אסור שימוש בכל חומר חיצוני. אסורה העברת חומר כלשהו בין הנבחנים, ואסורה כל תקשורת עם אנשים אחרים או כל מקור מידע. האיסור חל על כל צורות התקשורת – מילולית, חזותית, כתובה, אלקטרונית, אלחוטית, טלפתית, או אחרת. בפרט, אין להחזיק בטלפון סלולארי וגם לא במחשבון בזמן הבחינה.

בהצלחה!



שאלה 1 (8 נקודות)

נתון מעבד RISC-V. גדלי הרגיסטרים במעבד הם 32 סיביות. נתון כי ברגיסטר X1 קיימת מילה בינארית.

מה יהיה הערך של רגיסטר X2 בסיום קטע הקוד הבא:

```
ori X2, X0, 0xFFFF
slli X2, X2, 12
ori X2, X2, 0xFFFF
slli X2, X2, 8
ori X2, X2, 0xFF
xor X2, X2, X1
addi X2, X2, 1
and X2, X2, X1
```

בחרו את התשובה הנכונה, מה יכיל X2 לאחר הרצת הקוד?

- א- תמיד את המילה שכל הסיביות שלה הם 0
- ב- כל הסיביות הן 0 פרט לסיבית הנמוכה ביותר ב-X1 שהיא 1
- ג- את הערך של מינוס X1 בחזקת 2 בייצוג משלים ל-2
- ד- את הערך של מינוס X1 בייצוג משלים ל-2
- ה- ערך שתמיד יהיה קטן מהערך ב-X1 כמספרים unsigned

התשובה הנכונה היא ב'.

ניתן להבין את החוקיות כאן מלנסות כמה דוגמאות ל-X1 ולהריץ את הקוד.

ה-5 שורות קוד הראשונות הופכות את כל הסיביות של X2 ל-1.

השורת קוד השישית שמה את ההיפוך של X1 ב-X2.

השורת קוד השביעית עושה חיבור בין הערך ב-X2 עם 1. פעולה זאת תהפוך את כל

הסיביות הנמוכות של X2 עד (כולל) הסיבית הנמוכה ביותר שערכה לפני הפעולה הוא 0.

כלומר, כל הסיביות עד (כולל) הסיבית הנמוכה ביותר שהיא 1 ב-X1 הן זהות ב-X1 ו-X2.

לאחר השורת קוד השביעית, כל שאר הסיביות הגבוהות יותר הן הפוכות בין X2 ל-X1.

לכן, השורת קוד השמינית תגרום לכך שכל הסיביות עד (כולל) הסיבית הנמוכה ביותר שהיא

1 ב-X1 להשאר זהות בין X1 ו-X2, כל שאר הסיביות של X2 יהיו 0 (כי הן and בין שני

סיביות הפוכות). מכאן, שהסיביות 1 היחידה ב-X2 היא הסיבית הנמוכה ביותר ב-X1 שהיא

1.

אם $X1=0$ אז אין סיבית שהיא 1, ולכן לפי הכלל אין סיבית שהיא 1 גם ב-X2, ואכן זה

המצב.

הערה: נשים לב שלאחר השורה השביעית הערך ב-X2 הוא מינוס X1 בשיטת משלים ל-2.

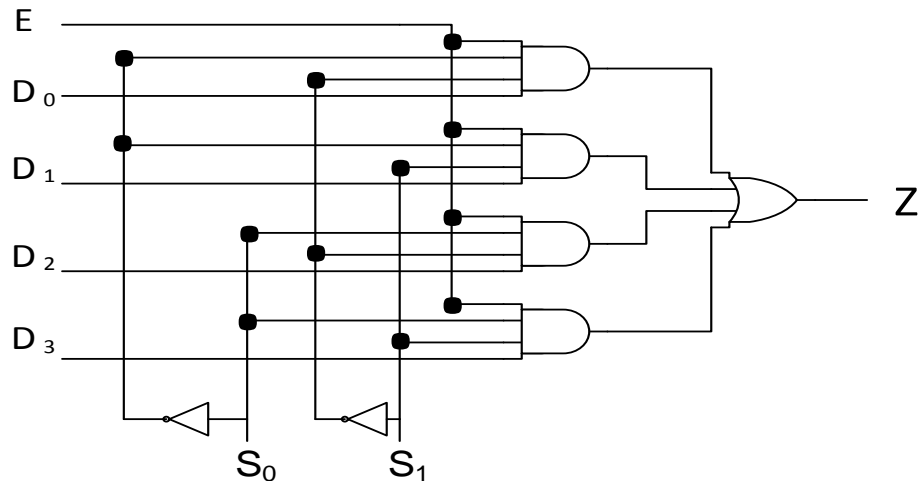
לכן, היה ניתן לכתוב את אותה התוכנית בשתי שורות קוד

```
sub X2, X0, X1
and X2, X2, X1
```



שאלה 2 (8 נקודות)

נתון בורר (Multiplexer) $1 \rightarrow 4$ באיור מטה.
נתון כי לכל שערי ה-AND זמני ההשהיה הם זהים ולכל שערי ה-NOT זמני ההשהיה הם זהים (לכל סוג שער יכול להיות זמן השהיה שונה).
נתון כי זמני ההשהיה של הקווים הם 0.



באילו מהמקרים הבאים יכול להתרחש הבהוב סטטי?

- א- שינוי אחת מכניסות הנתונים (D_0, D_1, D_2, D_3) והמוצא אמור להישאר על 0
- ב- שינוי אחת מכניסות הבקרה (S_0, S_1) והמוצא אמור להישאר על 0
- ג- שינוי אחת מכניסות הנתונים (D_0, D_1, D_2, D_3) והמוצא אמור להישאר על 1
- ד- שינוי אחת מכניסות הבקרה (S_0, S_1) והמוצא אמור להישאר על 1
- ה- יש יותר מתשובה אחת נכונה מבין התשובות א'-ד'

התשובה הנכונה היא ד'.

שינוי כניסת נתונים משפיע על המוצא רק כאשר כניסת הנתונים נבחרת (ע"י כניסות הבקרה) להיות מחוברת למוצא. במצב כזה, שינוי כניסת הנתונים בהכרח ישנה את היציאה של הבורר. לכן לא יכול להיות הבהוב סטטי מכניסת נתונים (מכיוון שהמוצא איננו סטטי). זה פוסל את תשובות א' ו-ג'.

פסילת תשובות א' וג' באופן אחר: מכל כניסת נתונים יש מסלול יחיד למוצא, לכן לא יכול להיות הבהוב סטטי מכניסת נתונים.

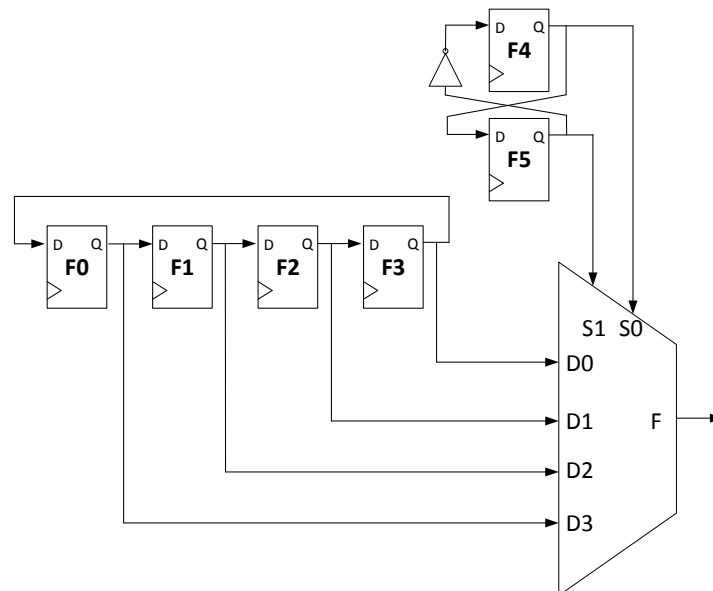
אם כניסת בקרה משתנה כאשר המוצא אמור להישאר על 0 אז 2 כניסות הנתונים שעוברים ביניהן הן 0. כלומר, שמוצאי שערי ה-AND שכניסות הנתונים הללו נכנסות אליהם הם גם 0 בלי תלות בכניסת הבקרה. במצב זה כניסת הבקרה לא משפיע על מוצא שערי ה-AND וכן לא על מוצא הבורר, לכן לא יכול להיות הבהוב סטטי. זה פוסל את סעיף ב' ואת סעיף ה'.
אם כניסת בקרה משתנה כאשר המוצא אמור להישאר על 1 אז 2 כניסות הנתונים שעוברים ביניהן הן 1. במקרה הזה מוצאי שערי ה-AND כן יהיו מושפעים מכניסת הבקרה. מכיוון שלשער אחד נכנסת כניסת הבקרה ישירות ולאחד היא עוברת דרך שער NOT נוסף, אז יהיה הבדל בזמני המסלולים ויכול להיווצר הבהוב סטטי. (ספיציפית, הבהוב סטטי יקרה רק כאשר כניסת הבקרה תעבור מ-1 ל-0). לכן סעיף ד' הוא נכון.



שאלה 3 (8 נקודות)

נתון המעגל הסינכרוני המתואר באיור מטה. המעגל מכיל 6 דלגלים מסוג DFF (F0 – F5) הנדגמים בעליית שעון, שער NOT ובורר 1 → 4 (הכניסה S_1 היא ה-MSB של כניסות הבקרה).

כל הדלגלים מחוברים לאותו שעון. המערכת מתחילה לפעול כשמוצא הדלגל F0 הוא 1 ומוצא כל שאר הדלגלים הוא 0.



מה מהבאים מתאר את היציאה של הבורר בצורה הטובה ביותר?
(התשובות מתייחסות לזמנים בהם המוצא של המערכת הוא יציב. כלומר, הבהובים אינם נלקחים בחשבון.)

- א- היציאה של הבורר היא 0 בכל מחזורי השעון.
- ב- היציאה של הבורר היא 0 ברוב מחזורי השעון, אך קיימים מחזורי שעון בהן היא 1.
- ג- היציאה של הבורר היא 0 בחצי ממחזורי השעון ו-1 בחצי ממחזורי השעון.
- ד- היציאה של הבורר היא 1 ברוב מחזורי השעון, אך קיימים מחזורי שעון בהן היא 0.
- ה- היציאה של הבורר היא 1 בכל מחזורי השעון.

התשובה הנכונה היא א'.

המהלך של כניסות הבקרה של הבורר הוא –

$$S1, S0 = 00 \Rightarrow 01 \Rightarrow 11 \Rightarrow 10 \Rightarrow 00$$

המהלך של כניסות הנתונים של הבורר הוא –

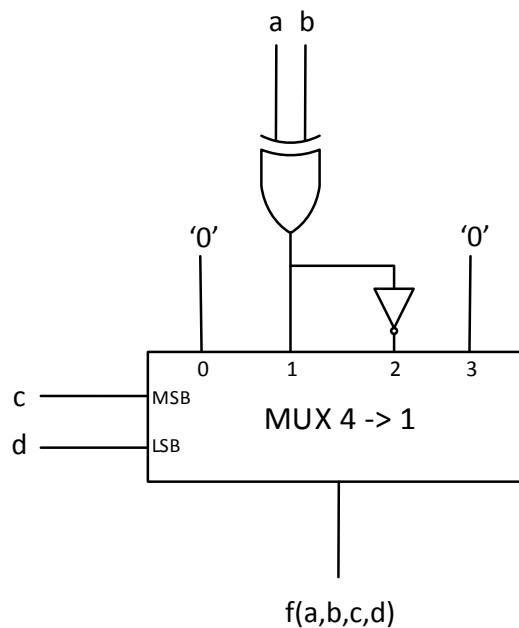
$$D3, D2, D1, D0 = 1000 \Rightarrow 0100 \Rightarrow 0010 \Rightarrow 0001 \Rightarrow 1000$$

ולכן המעגל עובד במחזורים של 4 מחזורי שעון, והמוצא של הבורר תמיד מחובר לכניסה שהיא 0.



שאלה 4 (8 נקודות)

הפונקציה $f(a, b, c, d)$ ממומשת ע"י בורר $1 \rightarrow 4$ כפי שמתואר בציור :



מהי הפונקציה $f(a, b, c, d)$?

א- $f(a, b, c, d) = \sum(1, 2, 5, 6)$

ב- $f(a, b, c, d) = \sum(0, 1, 2, 3)$

ג- $f(a, b, c, d) = \sum(2, 5, 9, 14)$

ד- $f(a, b, c, d) = \sum(5, 6, 8, 11)$

ה- $f(a, b, c, d) = \sum(5, 7, 8, 9)$

תשובה נכונה ג'

נמצא את הצירופים עבורם המוצא של הבורר שווה 1

כאשר $a = b$ ($ab = 00$ or $ab = 11$) ובכניסות הבקרה בוחרים את הכניסה 2 ($cd = 10$)

כאשר $a \neq b$ ($ab = 01$ or $ab = 10$) ובכניסות הבקרה בוחרים את הכניסה 1 ($cd = 01$)

כלומר, עבור הצירופים:

$abcd$

1001

0101

0010

1110

$$f(a, b, c, d) = \sum(2, 5, 9, 14)$$

שימו לב שסדר המשתנים חשוב, אם מסדרים את המשתנים בסדר לא נכון עלולים לקבל תשובה לא נכונה, למשל תשובה ד.



שאלה 5 (8 נקודות)

צופן בינארי מוגדר באופן הבא: 9 סיביות המידע D_{ij} מסודרות במטריצה 3×3 . כאשר לכל עמודה ולכל שורה מוסיפים סיבית זוגיות P_{ij} .
סיבית נוספת - P_{44} היא סיבית זוגיות על כל 9 סיביות המידע.

D_{11}	D_{12}	D_{13}	P_{14}
D_{21}	D_{22}	D_{23}	P_{24}
D_{31}	D_{32}	D_{33}	P_{34}
P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}

בהנחה שמשתמשים בכל הצירופים האפשריים בסיביות המידע D_{11} עד D_{33} .
מהו המרחק המינימלי של הצופן?

- א- 2
- ב- 3
- ג- 4
- ד- 5
- ה- 6

תשובה נכונה ג'
נפריד למקרים:

1- עבור מילים שהמרחק שלהן בקוד המקורי הוא 1:
נבחין כי כל שינוי בסיבית D_{ij} מכתוב 3 שינויים נוספים על מנת לשמור על הזוגיות, בהתאם להגדרות סיביות הזוגיות של קוד זה: P_{i4} , P_{4j} ו- P_{44} .

2- עבור מילים שהמרחק שלהן בקוד המקורי הוא 2:
אם הסיביות השונות נמצאות באותה עמודה, כלומר בשתי שורות שונות, סיביות הזוגיות של השורות אלה יהיו שונות (עבור שתי המילים בקוד החדש). המרחק המקורי היה 2, ולכן המרחק החדש יהיה 4.
כנ"ל לגבי מילים שהסיביות השונות נמצאות באותה שורה (ההבדל יהיה בחישוב סיביות הזוגיות של העמודות).

3- עבור מילים שהמרחק שלהן בקוד המקורי הוא 3:
ביט הזוגיות P_{44} בהכרח יהיה שונה ולכן המרחק ביניהן בקוד החדש יגדל לפחות באחד.

4- עבור מילים שהמרחק שלהן בקוד המקורי הוא 4:
הוספת ביטים לא יכולה להקטין את המרחק (במקרה הגרוע המרחק לא ישתנה) ולכן המרחק החדש יהיה לפחות 4.



שאלות 6 (8 נקודות)

נתונה הפונקציה הבאה

$$f(w, x, y, z) = \sum (1, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 15) + \sum_{\emptyset} (14)$$

כאשר \sum_{\emptyset} מסמן צירופי ברירה – don't care

מה ניתן לומר על כמות הגורמים הראשוניים (PI) וכמות הגורמים הראשוניים ההכרחיים (EPI) עבור הפונקציה f ?

- א- לפונקציה הנתונה יש ארבעה PI, מתוכם שלושה EPI
- ב- לפונקציה הנתונה יש ארבעה PI, מתוכם ארבעה EPI
- ג- לפונקציה הנתונה יש חמשה PI, מתוכם ארבעה EPI
- ד- לפונקציה הנתונה יש ששה PI, מתוכם שלושה EPI
- ה- לפונקציה הנתונה יש ששה PI, מתוכם ארבעה EPI

תשובה נכונה ד'

$\frac{wx}{yz}$	00	01	11	10
00		1		
01	1	1	1	1
11		1	1	1
10		1	0	1

הגורמים בצבע אדום הם EPI.



שאלה 7 (8 נקודות)

נתונה המשוואה הבאה, כאשר המשתנים x, y הינם שלמים, חיוביים ואינם ידועים:

$$(122)_5 = (x7)_y$$

כמה פתרונות אפשריים שונים יש למשוואה?

- א- 3
- ב- 4
- ג- 5
- ד- 7
- ה- 8

תשובה נכונה א'

$$2 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 5^2 = 37 = 7 + xy$$

$$30 = xy$$

ראשית נשים לב שהצד הימני של המשוואה, דורש ש- $y > 7$, משום שרק כך נוכל לייצג את המספר $(x7)_y$, בנוסף צריך להתקיים ש- $x < y$. מסיבה זו הפתרונות האפשריים שנשארו הינם:

$$(x, y) = 3, 10$$

$$(x, y) = 2, 15$$

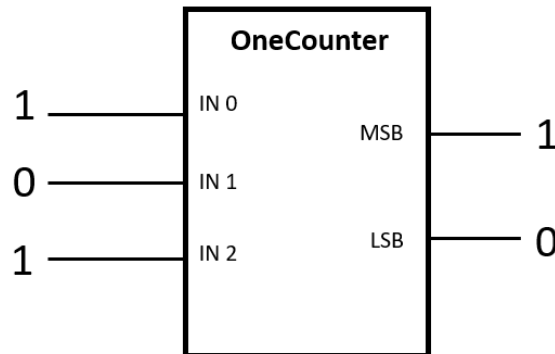
$$(x, y) = 1, 30$$



שאלה 8 (8 נקודות)

נתון הרכיב: *OneCounter*, בעל 3 כניסות ו-2 יציאות, שביכולתו לספור כמה '1' יש בכניסותיו.
לדוגמה:

$$OneCounter(1,0,1) = (1,0)$$



הרכיב מקבל בכניסותיו את המספר הבינארי 101. מספר זה מכיל שני '1', ולכן יוציא את המספר 2 (או-10 בבינארי) ביציאותיו.

האם רכיב זה יכול להוות מערכת פעולות שלמה?

- א- כן.
- ב- לא, אבל הרכיב בתוספת הקבוע '0' הינו מערכת פעולות שלמה, אך בתוספת הקבוע '1' איננו מערכת פעולות שלמה.
- ג- לא, אבל הרכיב בתוספת הקבוע '1' הינו מערכת פעולות שלמה, אך בתוספת הקבוע '0' איננו מערכת פעולות שלמה.
- ד- לא, אבל הרכיב בתוספת שני הקבועים '0' ו-'1' הינו מערכת פעולות שלמה (ואיננו מערכת פעולות שלמה עם אחד מהקבועים בלבד).
- ה- לא, הרכיב איננו מהווה מערכת פעולות שלמה גם בהוספת הקבועים '0' או '1'.

תשובה נכונה ד'

ראשית נבחן את התנהגות הרכיב כאשר מכניסים את אותו המשתנה בכל הכניסות:

$$OneCounter(a, a, a) = a, a$$

וזאת משום ש:

$$OneCounter(0,0,0) = 0,0$$

$$OneCounter(1,1) = 1,1$$

כלומר, לא נקבל מידע נוסף במוצא הרכיב ולא נוכל לייצר NOT של הכניסות גם ע"י הרכבה של שתי הפונקציות במוצא.

לפני שנמשיך נשים לב שאין זה משנה מה סדר הכניסות משום שהרכיב סוכם את מספר ה-'1' בקלטים שלו.

תוספת הקבוע '0':

נבדוק את כל האופציות של הוספת '0' למשתנה, ע"מ לקבל NOT של המשתנה.

$$OneCounter(a, a, 0) = a, 0$$

וזאת משום ש:

$$OneCounter(0,0,0) = 0,0$$

$$OneCounter(1,1,0) = 1,0$$



לא קיבלנו היפוך כניסות. באותו אופן, ננסה את:
 $OneCounter(a, 0, 0) = 0, a$

באופן דומה, ננסה להשתמש בקבוע '1':
 $OneCounter(a, a, 1) = a, 1$
 $OneCounter(a, 1, 1) = 1, a$

כעת, ננסה להשתמש בשני הקבועים '1' ו-'0':
 $OneCounter(0, 0, 1) = 0, 1$
 $OneCounter(1, 0, 1) = 1, 0$

ולכן:

$OneCounter(a, 0, 1) = a, \bar{a}$
כלומר, יציאת ה-LSB, מהווה היפוך של הכניסה, כפי שרצינו. נבדוק האם נוכל לייצר שער AND:

$$OneCounter(x, y, 0) = \begin{cases} 0, 0 & (x, y) = (0, 0) \\ 0, 1 & (x, y) = (0, 1) \\ 0, 1 & (x, y) = (1, 0) \\ 1, 0 & (x, y) = (1, 1) \end{cases}$$

וקיבלנו שיציאת ה-MSB מהווה שער AND. לכן, הרכיב בתוספת הקבועים '0' ו-'1' מהווה מערכת פעולות שלמה.

שימו לב שהרכיב הנתון מזכיר את הרכיב FA, וכבר ראינו בכיתה ש-FA אינו מפ"ש אבל בתוספת שני הקבועים הוא יהפוך למפ"ש.



שאלה 9 (8 נקודות)

בהמשך לשאלה הקודמת:

סטודנט להנדסת חשמל מעוניין לבנות את רכיב ה-HalfAdder שעליו למד בקורס. אך שם לב שבמקום שערים לוגיים, נותרו במעבדה רכיבים מסוג OneCounter בלבד (כפי שהם מופיעים בסעיף הקודם).

מה המספר המינימלי של רכיבי OneCounter הנדרשים על מנת לייצר את רכיב ה-HalfAdder?

הערה: בסעיף זה ניתן להשתמש בקבועים וחוסים, ללא תלות בתשובה לשאלה הקודמת.

א- 1

ב- 2

ג- 3

ד- 4

ה- לא ניתן לממש את רכיב ה-Half Adder בעזרת רכיבי OneCounter בלבד.

תזכורת: טבלת האמת של הרכיב Half Adder (כאשר a, b הינם הקלטות, ו-s, Cout הינם הפלטות של הרכיב):

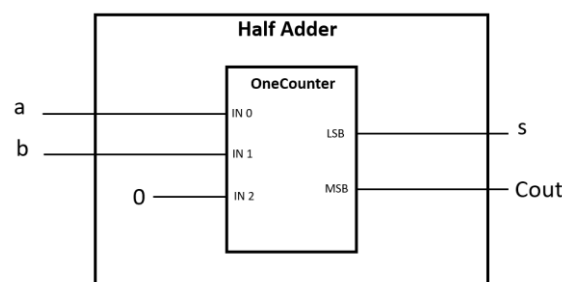
a	b	s	Cout
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

תשובה נכונה א'

כפי שראינו בפתרון של הסעיף הקודם:

$$OneCounter(x, y, 0) = \begin{cases} 0,0 & (x, y) = (0,0) \\ 0,1 & (x, y) = (0,1) \\ 0,1 & (x, y) = (1,0) \\ 1,0 & (x, y) = (1,1) \end{cases}$$

כלומר, נחבר את יציאת ה-MSB ל-Cout, ואת יציאת ה-LSB ל-S. באופן גרפי אפשר לראות זאת כך:



ולמעשה לא נזדקק ליותר מרכיב אחד על מנת לממש את רכיב ה-Half Adder.



שאלה 10 (8 נקודות)

נתון המערך הבא: $int\ arr[7] = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\}$
הכתובת של האיבר הראשון במערך ($arr[0]$) היא $0x0001000$ ושמורה ברגיסטר S0.
(ניתן להניח שכל int תופס 4 בתים בזיכרון, כלומר $arr[1]$ נמצא בכתובת $0x0001004$,
 $arr[2]$ נמצא בכתובת $0x0001008$ וכו')
נתון הקוד הבא:

```
add t0, x0, x0
loop: slti t1, t0, 6
      beq t1, x0, end
      slli t2, t0, 2
      add t3, s0, t2
      lw t4, 0(t3)
      lw t5, 4(t3)
      add t5, t4, t5
      sw t5, 0(t3)
      addi t0, t0, 1
      jal x0, loop
end:
      addi t6, x0, 0x1014
      lw t6, 0(t6)
```

מה שמור ברגיסטר t6 בתום ריצת הקוד?

- א- 14
- ב- 18
- ג- 22
- ד- 26
- ה- 28

תשובה נכונה ד'

בכתובת $0x0001014$ שמור $arr[5]$.

במהלך ריצת הקוד הנתון מתבצע:

```
add t0, x0, x0      # Sets register t0 to 0
loop: slti t1, t0, 6  # Sets t1 to 1 if t0 < 6, 0 otherwise
      beq t1, x0, end  # Branches to the end if t1 is 0 (t0 >= 6)
      slli t2, t0, 2    # Sets t2 to t0 * 4
      add t3, s0, t2    # Sets t3 to the address of arr[t0]
      lw t4, 0(t3)      # Loads arr[t0] into register t4
      lw t5, 4(t3)      # Loads arr[t0 + 1] into register t5
      add t5, t4, t5    # Sets t5 to t4 + t5
      sw t5, 0(t3)      # Stores this updated value at arr[t0]
      addi t0, t0, 1    # Increments t0 to move to the next element
      jal x0, loop      # Jumps back to the loop label
end:
```



כלומר בסוף ריצת הקוד, 6 האיברים הראשונים במערך יהיו:
 $arr[x] = arr[x] + arr[x + 1], x = \{0, \dots, 5\}$, והאיבר האחרון לא ישתנה.

`addi t6, x0, 0x1014` # Sets *t6* to the address of *arr*[5]
`lw t6, 0(t6)` # Loads *arr*[5] to *t6*

כלומר: $\langle t6 \rangle = arr[5] + arr[6] = 26$.

שימו לב שהכתובות של איברי המערך הן:

0x1018	<i>arr</i> [6]
0x1014	<i>arr</i>[5]
0x1010	<i>arr</i> [4]
0x100C	<i>arr</i> [3]
0x1008	<i>arr</i> [2]
0x1004	<i>arr</i> [1]
0x1000	<i>arr</i> [0]



שאלה 11 (8 נקודות)

נתונה הפונקציה הבאה:

$$f(w, x, y, z) = wx + xy + w'y' + x'y'$$

בנוסף, נתונים זמני ההשהיה ב-ns של השערים הבאים (שערי ה-OR וה-AND עם 2 כניסות בלבד):

	$t_{pd,LH}$	$t_{pd,HL}$
NOT	1	2
2input OR	4	2
2input AND	3	4

מממשים את הפונקציה הנתונה באמצעות מעגל המכיל מספר מינימלי של השערים הנתונים בלבד.

מהו ה- t_{pd} המינימלי של המעגל?

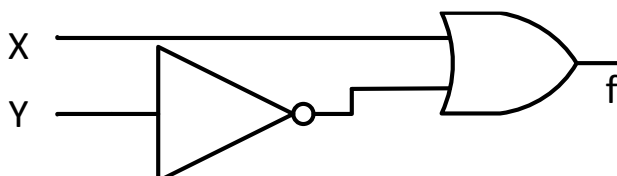
- א- 4ns
- ב- 5ns
- ג- 6ns
- ד- 12ns
- ה- 14ns

תשובה נכונה ב'

ממפת קרנו מקבלים שהביטוי המינימלי הוא $f(w, x, y, z) = y' + x$

$\frac{wx}{yz}$	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	1	1	1	1
11		1	1	
10		1	1	

ולכן המימוש (כסכום מכפלות או מכפלת סכומים):



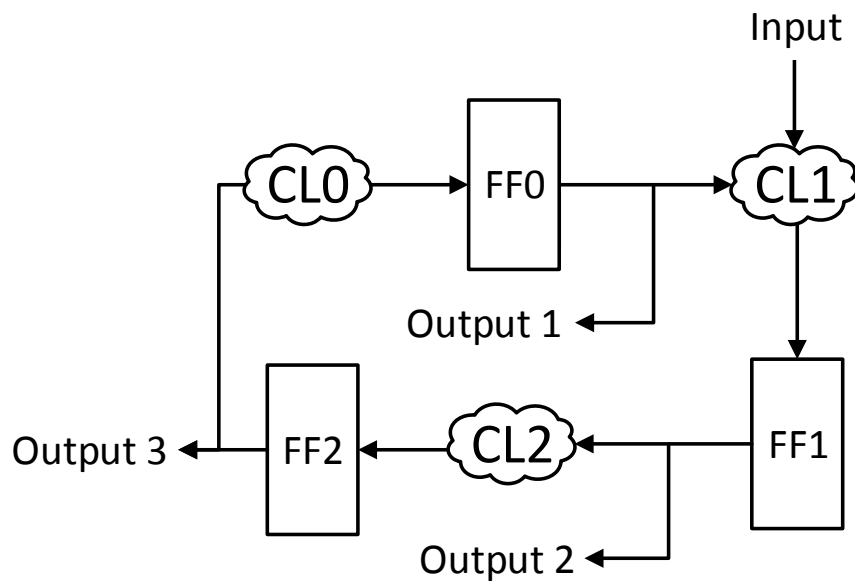


במעגל הזה אין הבהוב סטטי ולכן ה- t_{pd} הוא:

$$\begin{aligned} t_{pd} &= \max\{t_{pd,HL}, t_{pd,LH}\} \\ &= \max\{t_{pd,HL}(NOT) + t_{pd,HL}(OR), t_{pd,LH}(NOT) + t_{pd,LH}(OR)\} \\ &= \max\{4,5\} = 5ns \end{aligned}$$

שאלה 12 (8 נקודות)

נתונה המערכת הסינכרונית הבאה (הרכיבים CL0, CL1, CL2 הינם צירופיים):



נתון התזמונים הבאים ב- ns:

	t_{pd}/t_{pCQ}	t_{setup}
FF0	1	1
FF1	2	1
FF2	3	1
CL0/CL1/CL2	3	

בנוסף נתון שכל ה- FF עובדים עם אותו השעון.
בשאלה זו הנח שתנאי hold מתקיים, ושהכניסה input מקיימת את תנאי setup ו- hold.

מהו זמן המחזור המינימלי T_{min} בו ניתן להפעיל את המערכת בצורה תקינה?

- א- $4ns$
- ב- $5ns$
- ג- $6ns$
- ד- $7ns$
- ה- $8ns$

תשובה נכונה ד'



נחשב את תנאי setup עבור כל מסלול בין רגיסטר לרגיסטר. זמן המחזור הוא המקסימלי מבין כולם:

$$FF0 \rightarrow FF1: T_{min} \geq T_{pcQ}(FF0) + T_{pd}(CL1) + T_{setup}(FF1) = 1 + 3 + 1 = 5ns$$

$$FF1 \rightarrow FF2: T_{min} \geq T_{pcQ}(FF1) + T_{pd}(CL2) + T_{setup}(FF2) = 2 + 3 + 1 = 6ns$$

$$FF2 \rightarrow FF0: T_{min} \geq T_{pcQ}(FF2) + T_{pd}(CL0) + T_{setup}(FF0) = 3 + 3 + 1 = 7ns$$

לכן זמן המחזור המינימלי הוא $T_{min} = 7ns$.