

BAR-ILAN UNIVERSITY (RA)
School of Engineering
Ramat-Gan 52900, Israel



אוניברסיטת בר-אילן (ע"ר)
הפקולטה להנדסה
רמת-גן 52900

Tel: 03-5317722
engbi@mail.biu.ac.il

מעגלי ומערכות VLSI דיגיטליים

תשע"ה סמסטר א' מועד א'

83-612

מרצה: פרופ' שמואל וימר

מתרגל: מר בנימין פרנקל

- יש לקרוא היטב את ההוראות.
- חובה לענות על כל השאלות.
- יש לנמק את כל תשובותיכם.
- אין צורך לפתח מחדש תוצאות שהוכחו בכיתה, אלא אם כן נאמר מפורשות לעשות כן.
- יש לשרטט תרשימים באופן ברור!
- יש להקפיד על כתב יד קריא!
- **חומר עזר מותר:** כל חומר עזר מודפס מותר בשימוש.
- **משך הבחינה:** שלוש שעות

בהצלחה!

שאלה מספר 1 (60 נקודות):

נתון מוליך (Interconnect) באורך L המחבר בין Driver לבין Receiver.

מעוניינים להוסיף סיכוך (Shielding) ליד המוליך.

התנגדות המוליך ליחידת אורך נתונה ע"י: $r [\Omega/\mu m]$

התנגדות המוצא של ה-Driver נתונה ע"י R_d , וקיבול המוצא שלו נתון ע"י C_d .

קיבול הכניסה של ה-Receiver נתונה ע"י C_g (התנגדות הכניסה היא אינסופית).

הקיבול הכללי של המוליך ליחידת אורך מורכב משני מרכיבים:

- קיבול ליחידת אורך בין המוליך לבין שכבות אחרות:

$$C_0 = C_{top} + C_{bot} \left[f^F / \mu m \right]$$

- קיבול ליחידת אורך בין המוליך לבין הסיכוך (Shield): $C_{lsl} = \frac{C_{adj}}{S} \left[f^F / \mu m \right]$

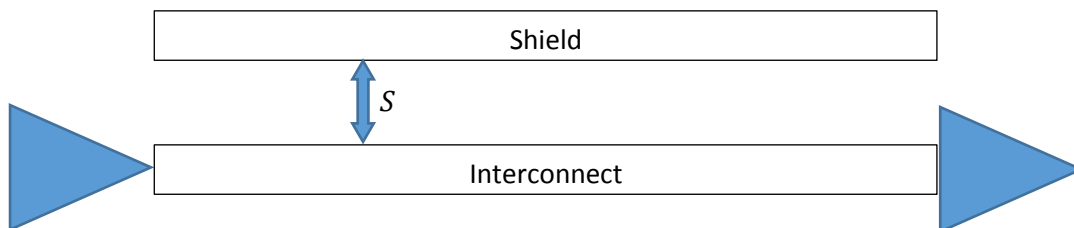
כאשר S זה המרווח בין המוליך לבין הסיכוך.

ולכן, סך הקיבול של המוליך ליחידת אורך נתון ע"י:

$$C_{Total} = C_0 + \frac{C_{adj}}{S} \left[f^F / \mu m \right]$$

המפעל (Fab) מעמיד לרשותנו רק 3 גדלים אפשריים של מרווח (S) בין הקווים השונים:

$$S_{min} = x, \quad S_{mid} = 2x, \quad S_{max} = 3x$$



- מהו המרווח שיש לבחור על-מנת לפגוע כמה שפחות בזמן מעבר הסיגנל דרך המוליך? נמק.
- מהו המרווח שיש לבחור על-מנת לחסוך כמה שיותר בהספק? נמק.
- מהו המרווח שיש לבחור על-מנת לחסוך כמה שיותר בשטח?

- בשאלה זו אנו נזניה את C_d .

- נמק מדוע מוצדק יהיה להזניה את C_d אך לא את C_g .

ה. מהו ההפרש בהשהיה של הסיגנל (Delay) בין המקרה עבור תשובתך בסעיף א' לבין

המקרה עבור תשובתך בסעיף ג'? הבע תשובתך במובן של $T_{pd,50\%}$ כפונקציה של:

$$C_0, C_{adj}, x, L, R_d, r$$

ו. בהינתן תדר עבודה f ומתח אספקה V_{dd} , מהו ההפרש בהספק בין שני המקרים?

- כעת, ישנו אילוף על ה-Delay:

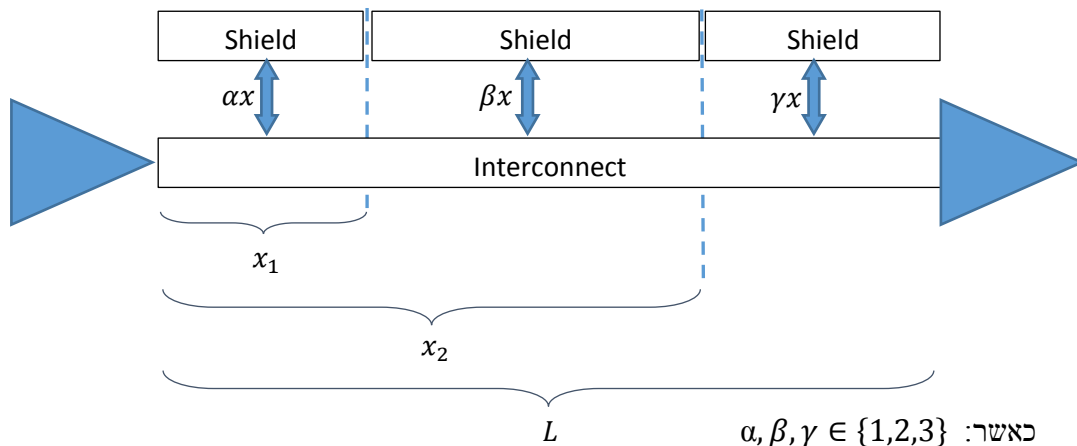
$T_{pd,50\%} = const$, כאשר $const$ הוא יותר גדול מהערך המתקבל עבור המקרה

בסעיף א', אך מאידך הוא יותר קטן מהערך המתקבל עבור המקרה בסעיף ג'.

אנו מעוניינים למזער את השטח, ע"י ניצול של האפשרויות אותן המפעל מעמיד לרשותנו.

התרשים הבא מתאר באופן איכותי את מימוש הסיכוך באופן שימזער את השטח,

ויעמוד באילוף על ה-Delay:



ז. קבע את ערכי α, β, γ אשר יביאו לחיסכון מרבי בשטח, תוך שמירה על אילוף הזמן. שרטט באופן איכותי ונמק בחירתך.

ח. רשום מפורשות את כל המשוואות הנדרשות ע"מ לפתור את בעיית המינימיזציה, והסבר כיצד נמצא את נקודות השבירה x_1, x_2 (אין צורך להגיע לביטוי הסופי).

- כעת, נתון Bus דו-כיווני, המכיל שני קווים רועשים, קו אחד לכל כיוון. המרחק בין

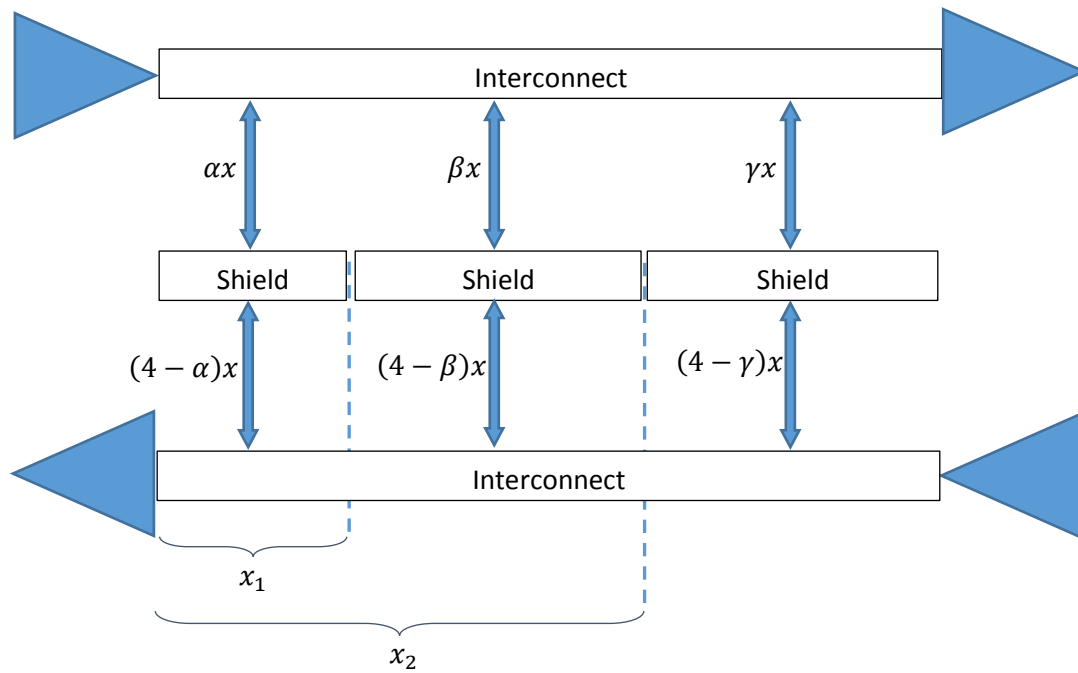
הקווים הוא $4x + w_{min}$, ורוצים לסכך בין שני הקווים באופן אופטימלי, כאשר

רוחב הקו המסכך הוא w_{min} .

בחלק זה של השאלה ניתן להתעלם מהקיבולים וההתנגדויות של ה- $Buffers$,

ולהתייחס רק למוליכים.

התרשים הבא מתאר באופן איכותי את מימוש הסיכוך בין שני הקווים הרועשים:



כאשר: $\alpha, \beta, \gamma \in \{1, 2, 3\}$

ט. קבע את ערכי α, β, γ אשר יביאו לסיכוך אופטימלי בין שני הקווים הרועשים מבחינת Delay ומבחינת הספק. שרטט באופן איכותי ונמק בחירתך.

י. רשום באופן מפורש את משוואות ה-Delay, והסבר כיצד נמצא את נקודות השבירה x_1, x_2 (אין צורך להגיע לביטוי הסופי).

יא. האם יש הבדל בין מקרה בו המסכך מחובר ל- V_{dd} לבין מקרה בו הוא מחובר ל- GND ? נמק!

יב. האם, לדעתך, ישנה דרך אפשרית להורדת ההספק המתבזבז על הקיבול הפרזיטי בין קו הסיגנל לבין קו הסיכוך?

שאלה מספר 2 (40 נקודות):

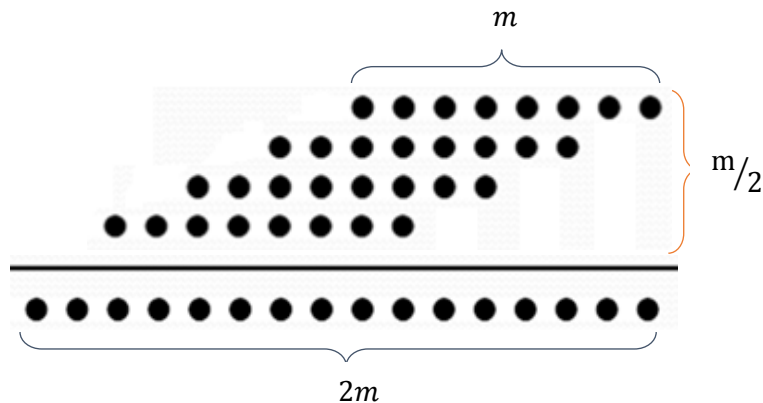
נתונות שתי מטריצות בגודל $n \times n$: $A_{n \times n}, B_{n \times n}$

כאשר כל אחד מאיברי המטריצות הוא מספר בינארי בן m סיביות: $a_{i,j}, b_{i,j} = m\text{-bit}$

רוצים לבצע כפל מטריצות: $C = A * B$

כאשר: $c_{i,j} = \sum_{k=1}^n a_{i,k} \cdot b_{k,j}$

לצורך חישוב של כל איבר במטריצה C אנו משתמשים בשיטת Wallace Tree, תוך שימוש בשיטת Radix-4:



א. לאיזה סוג מסוגי ה- Adders שלמדנו נידרש (לצורך חישוב הסכום הסופי) על-מנת שלא לקלקל את הסיבוכיות הכוללת של פעולת כפל בשלמותה (לצורך חישוב איבר אחד במטריצה C)?

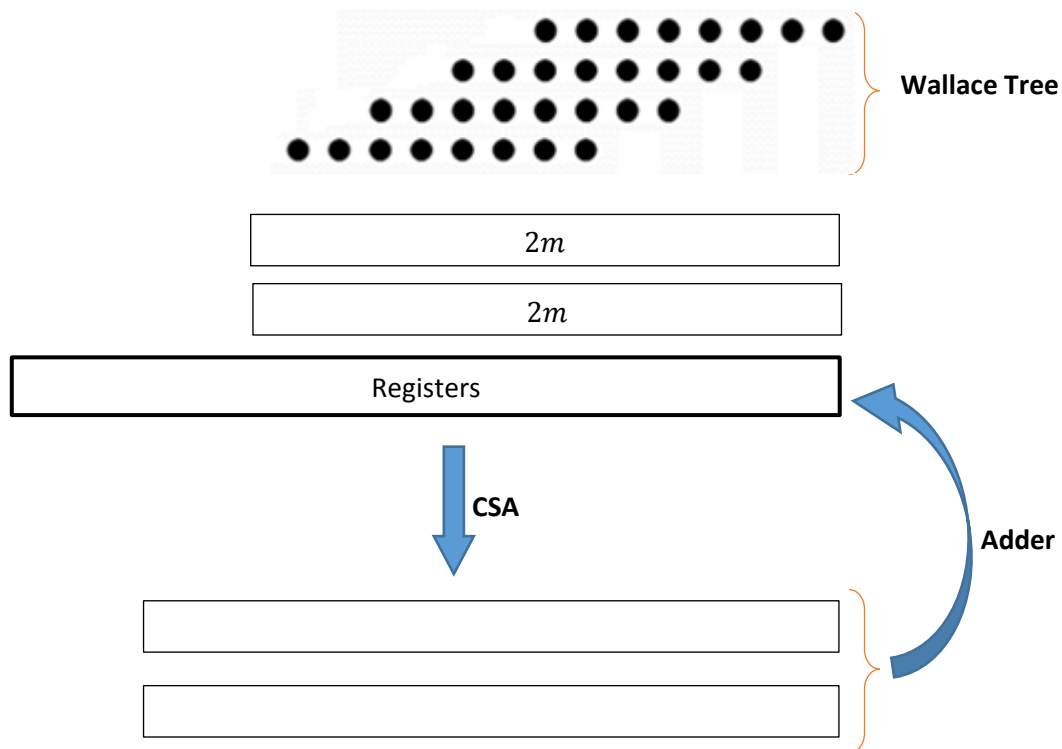
ב. מהי הסיבוכיות החישובית לחישוב איבר אחד של המטריצה C ?

ג. מהי הסיבוכיות החישובית עבור ביצוע כפל המטריצות: $A * B$?

• לצורך מימוש פעולת הכפל, נבצע את השלבים הבאים:

- בכל מחזור שעון, נשתמש ב- Wallace Tree לצורך חישוב של שתי מכפלות.
- שתי המכפלות החלקיות (Partial Products) מהשלב האחרון של ה- Wallace Tree יכנסו ביחד עם ערך השמור באוגר (Register) לתוך מדחס (compressor) CSA.
- האוגר שומר את תוצאות הסכימה החלקית בביטוי עבור $c_{i,j}$.
- התוצאה של מדחס ה- CSA תסתכם ע"י ה- Adder מסעיף א' ותמתין בכניסה לאוגר.
- עם עליית השעון, התוצאה של ה- Adder תידגם אל תוך האוגר ותהיה מוכנה לחישוב הבא.
- הערך ההתחלתי של האוגר מאותחל להיות אפס.

התהליך כולו מתואר בתרשים הבא:



ד. מה צריך להיות אורכו של האוגר (Register) על מנת שהמערכת הנ"ל תוכל לממש חישוב של איברים במטריצה C ?

- נתון כי השהייה פנימית של כל יחידה לוגית במערכת הינה $100[ps]$.
כמו-כן, נתון כי היחידה עובדת במעבד של 64 סיביות.
בנוסף, עבור שורת האוגרים (Registers) נתונים הערכים הבאים:

$$t_{su} = 280[ps], \quad t_{hold} = 140[ps], \quad t_{cq} = 140[ps]$$

ה. הנך נדרש לקבוע את תדר השעון המרבי בו תעבוד המערכת, בהנחה שלעולם מתקיים:

$$n < 2^m$$