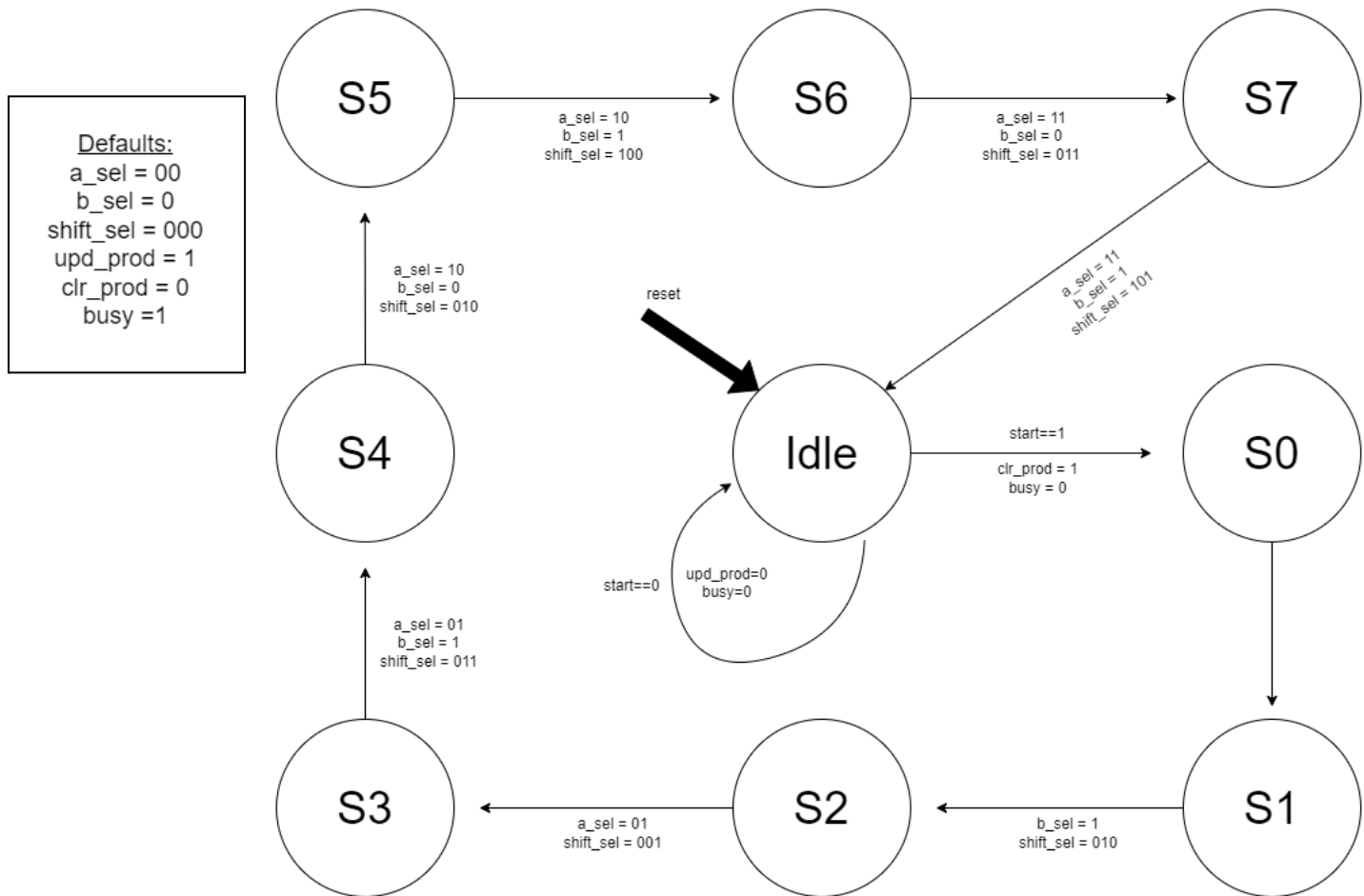


## מערכות ספרתיות - סימולציה 2

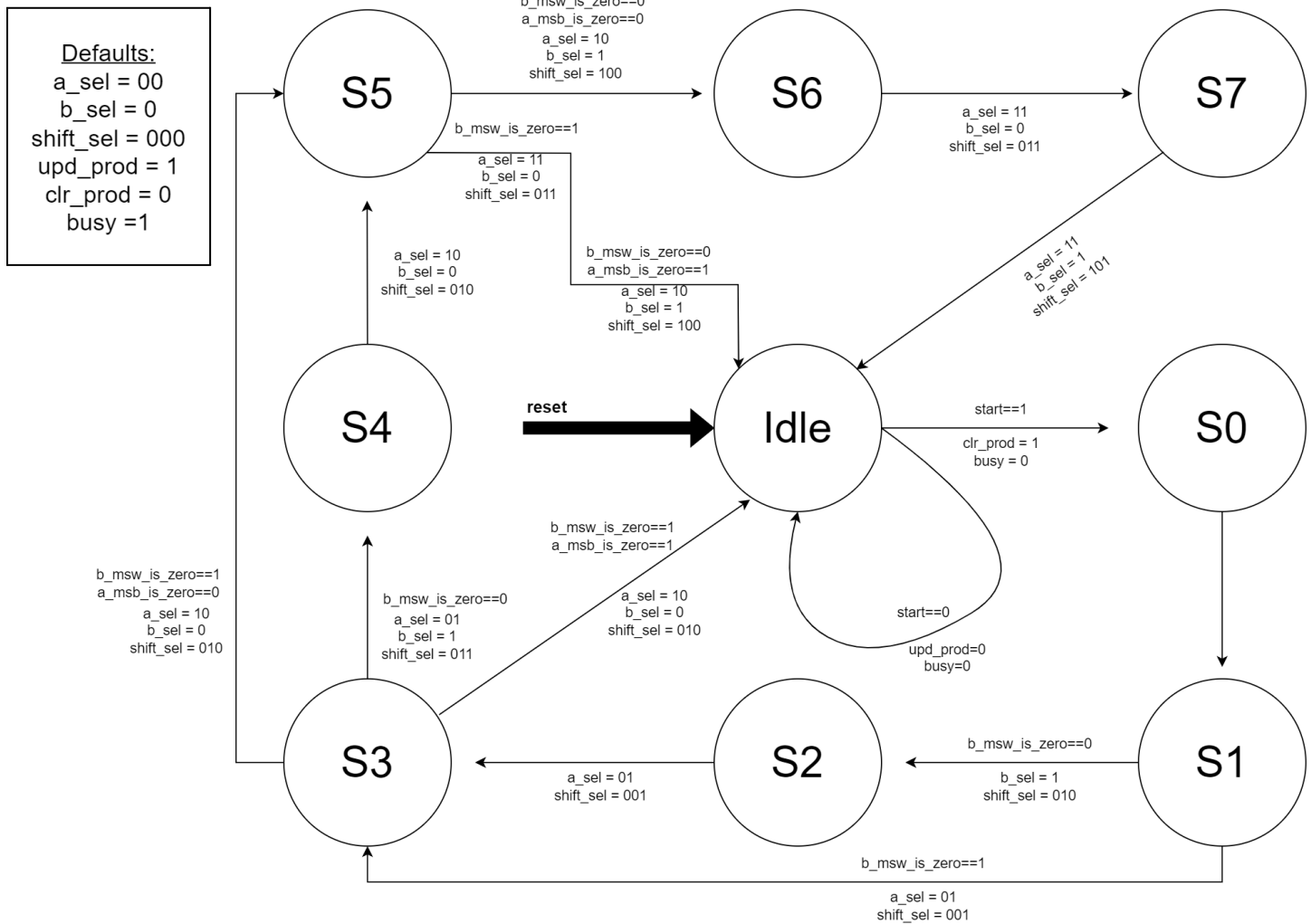
322270968	בועז מונטיליה
212363295	ענת משיח

### 2.1 - מכפלה רגילה



פעולת הכפל תקח 9 מחזורי שעון מרגע הרמת דגל start, עד שנוכל לדגום את ערך התוצאה.

## מכפלה מהירה



נסמן:

$zero\_vec[1:0] = \{a\_msb\_is\_0, b\_msw\_is\_0\}$

נחלק לארבעת המקרים:

$zero\_vec = 00$ :

מתבצעת פעולת כפל מלאה, ועל כן יידרשו 9 מחזורי שעות.

$zero\_vec = 01$ :

במקרה זה נוכל לדלג על 4 חישובים - ארבעת ההכפלות של המילה העליונה של  $b$  עם ארבעת הבתים השונים של  $a$  - ועל כן יידרשו 5 מחזורי שעות בלבד.

zero\_vec=10:

במקרה זה נדלג על 2 חישובים - מכפלת הבית העליון של  $a$  עם שתי המילים של  $b$ . סך הכל יידרשו 7 מחזורי שעון.

zero\_vec=11:

במקרה זה נדלג על 5 חישובים - מכפלת המילה העליונה של  $b$  עם ארבעת הבתים של  $a$  ומכפלת הבית העליון של  $a$  עם המילה התחתונה של  $b$ . ועל כן יידרשו 4 מחזורי שעון.

המקרה המהיר ביותר יהיה כאשר המילה העליונה של  $b$  והבית העליון של  $a$  שווים ל0.

### אלגוריתם להכפלת שני מספרים בגודל $8N$

בדומה אלגוריתם למכפלת שני מספרים בגודל 32, נחלק מספר אחד למילים ואת השני לבתים, כל פעם נכפיל ונזיח שמאלה בכמות הבתים הרלוונטית. פסודו קוד:

```
//assuming binary representation
```

```
sum = 0
```

```
byteCount = 0
```

```
for (byte in a): //moving from lower to upper bytes
```

```
    wordCount = 0
```

```
    byteCount +=1
```

```
    for (word in b): //moving from lower to upper words
```

```
        wordCount +=1
```

```
        sum += [16_8Mul(word,byte)]<<(8*(wordCount*2 + byteCount))
```

האלגוריתם כולל 2 לולאות מקוננות- הראשונה רצה  $N$  פעמים (מכיוון של  $N$  בתים),

והשנייה רצה  $0.5N$  פעמים (מכיוון של  $0.5N$  מילים, כאשר  $N$  טבעי זוגי). סך הכל

$0.5N^2$  איטרציות, ויעילות  $O(N^2)$ .

פעולת הכפל לוקחת 9 מחזורי שעון, שכן יש 9 פקודות.

## שינוי האלגוריתם:

השינויים שעלינו להוסיף לקוד הם בדיקת הבתים העליונים של  $a, b$  וקפיצה למקטעי קוד מותאמים כך שזמן הריצה ירד. (ההנחה שלנו היא שיש משמעות לסדר הזנת  $a, b$  לכופל - כלומר סדר הרגיסטרים תואם לגודל המשתנים המוכפלים - לכן ישנם branch נפרדים עבור בית עליון מאופס של כל משתנה).

עבור מכפלה רגילה - התווספו 4 מחזורי שעון (סה"כ 13).

עבור בית עליון של  $b$  מאופס- ירדו 4 מחזורי שעון (סה"כ 5).

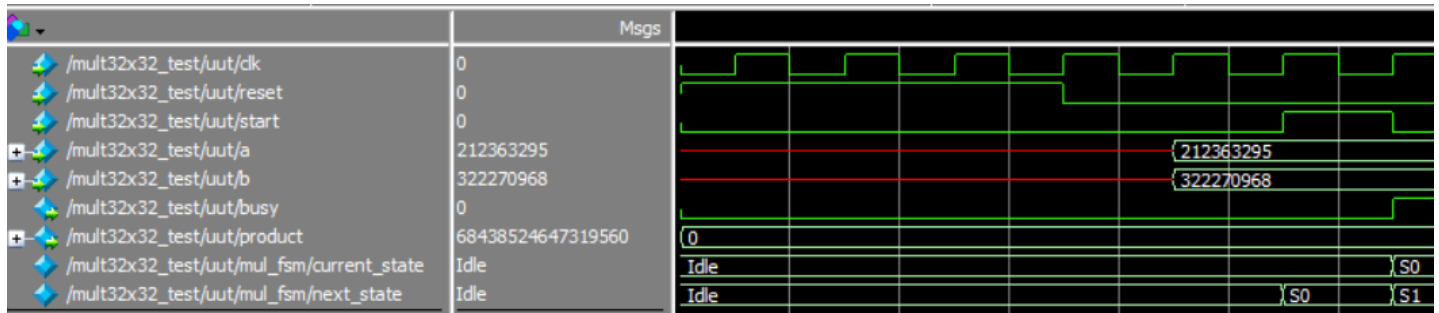
עבור בית עליון של  $a$  מאופס- ירד מחזור שעון יחיד (סה"כ 8).

בהנחה וברוב המקרים יוזנו מספרים שאינם 0 בבתים העליונים, השינוי אינו משתלם, שכן זמן הריצה מתארך משמעותית. לעומת זאת, אם ידוע כי סביר כי הבית העליון של  $b$  יהיה 0, השינוי משתלם, שכן יהיה שיפור משמעותי בזמן הריצה. ישנו שיפור מועט עבור הבית העליון של  $a$  ועל כן להתחשב בו פחות כדאי.

```
# Start of your code
#mask for 8 lower bits of a
srli t1, t4, 8
beq B_ZERO x0, t1
    srli t1, t3, 8
    beq A_ZERO x0, t1
    #multiply second byte
    mul t2, t1, t4
    and t2, t2, t0
    #shift left
    slli t2, t2, 8
    add t6, t6, t2
    andi t1, t3, 0xff
    mul t2, t1, t4
    and t2, t2, t0
    add t6, t6, t2
    j END
    #multiply first part
A_ZERO:
    mul t2, t3, t4
    and t2, t2, t0
    add t6, t6, t2
    j END
B_ZERO:
    mul t2, t4, t3
    and t2, t2, t0
    add t6, t6, t2
```

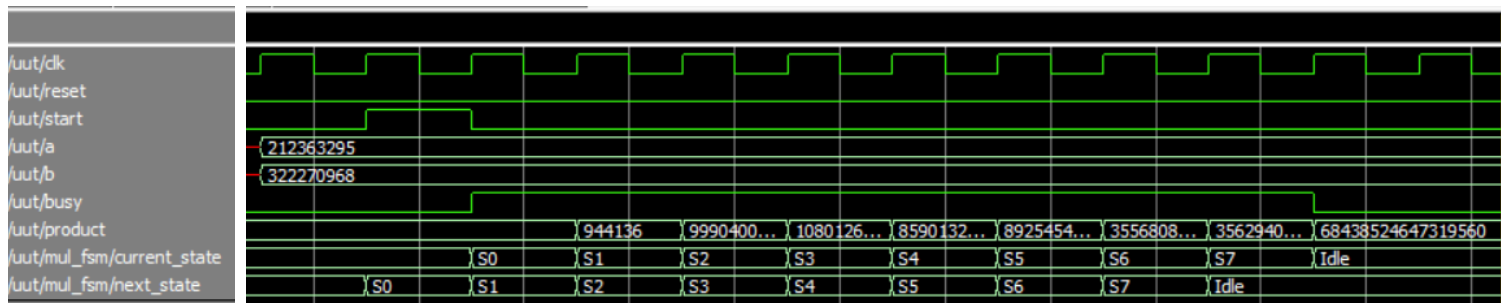
### 3.1

הסיגנלים וערכיהם בסוף הריצה. בנוסף, ניתן לראות את דיאגרמת הגלים של תחילת הריצה:



תוצאת הכפל היא כפי שציפינו. זמן מחזור השעון הוא 10ps. בעליית השעון הרביעית את reset משתנה מ1 ל0. בעליית השעון אחריו, נכנסים הקלטים של תעודות הזרות. בעליית השעון הבאה את busy עולה מ0 ל1, ומחושב המצב הבא-S0.

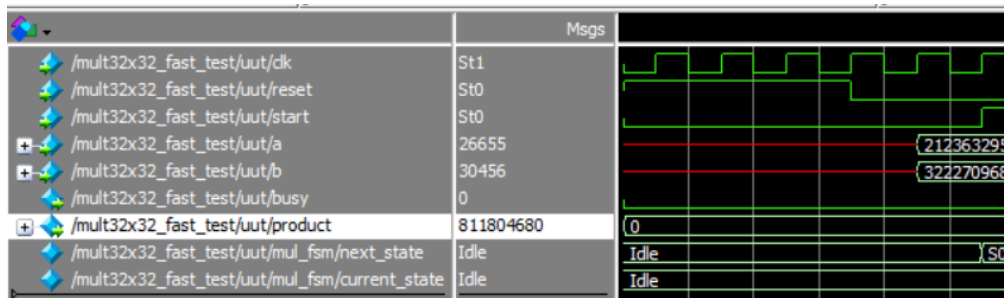
דיאגרמת הגלים ללא הסיגנלים, מרגע שינוי הקלט:



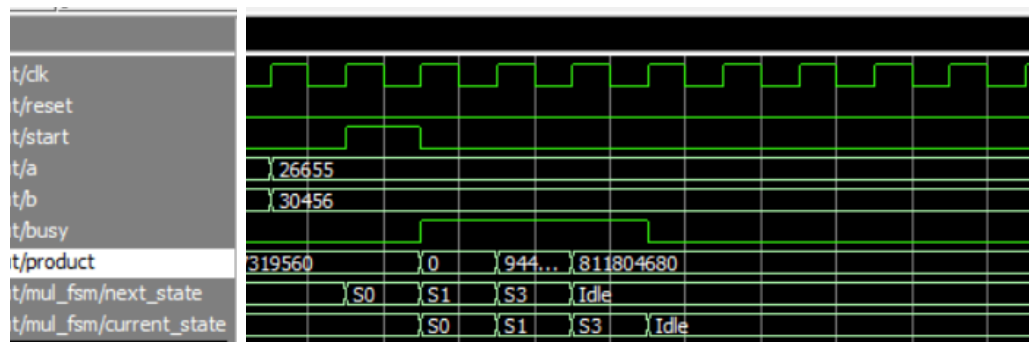
ניתן לראות שהמצב הבא מחושב לפי התכנון המוצג בדיאגרמה, וכן שהמצב הנוכחי אכן עובר למצב הבא בכל עליית שעון. לאחר שינוי כניסות a, b, בכל עליית שעון מתעדכן המצב הנוכחי בהתאם למצב שחושב קודם לכן. במצב S7 מחושבת מכפלת הבית והמילה האחרונות, ובעליית השעון הבאה מתייצבת יציאת product. מצב fsm נשאר יציב על Idle, וbusy חוזר ל0.

### 3.3

תחילת הסימולציה זהה  
למכפלה הרגילה - אתחול  
והצבת משתנים ראשוניים.



בתמונה הראשונה ניתן לראות את המכפלה מהסימולציה הקודמת. ניתן לראות כי ההתנהגות זהה להתנהגות מהסימולציה הקודמת - כצפוי היות והבתיים העליונים של המספרים אינם אפסים.



בתמונה השנייה ישנה מכפלה של תעודות הזהות ללא הבתיים העליונים- ניתן לראות כאן כי האלגוריתם חתך את כמות השלבים - בוצעו רק ארבעה חישובים, כצפוי מדיאגרמת המצבים.  
בנוסף ניתן לראות כי מחזור שעון אחד לאחר עליית start ערכו של product מתאפס- כצפוי בהתאם לדרישות התרגיל ומכונת המצבים.

