

אוטומציה תעשייתית

חוברת תרגילי בית

אוגוסט 2005

רשימת נושאי התרגילים

גליון	נושא	(סימון בגירסות קודמות)
1	מבוא לאלגברה בוליאנית, צמצום באמצעות מפת קרנו	גליון 1, גליון 3
2	תכנון בשיטת קסקדה למימסרים	גליון 5
3	בקר מתוכנת - PLC	גליון 10
4	טכנולוגיות והשפעתן על מימוש מערכות	גליון 4
5	תכנון בשיטת הופמן "משופרת", אותות אקראיים, מימוש PLC	גליון 5, גליון 6
6	תכנון בשיטת קסקדה פניאומטית, פונקציות, עצירות חרום	גליון 7
7	תכנון בשיטת תוף, מונה 1/n, מונה 2/n	גליון 9
8	רכיבים ומערכות שונות	גליון 8
9	תכנון מערכות איטרטיביות	גליון 8
10	שימוש במפת קרנו מרובות משתנים (ומסוג Pseudo Map)	גליון 5
11	תכנון בשיטת טבלת זרימה פניאומטית	גליון 7
12	אין	
13	אין	
14	תכנון בשיטת Gafcet	גליון 5
15	ידע כללי	גליון 11

גליון תרגילים 1 – מבוא לאלגברה הבוליאנית

הנחיות לתרגילים 1-1 עד 1-5

- א. במדה ונדרש, פתח את הסוגרים והבא את הביטוי לפורמט סכום מכפלות.
- ב. פשט את הביטוי ע"י שימוש באלגברה הבוליאנית (דרך מתימטית).
- ג. רשום את טבלת האמת (טבלת קלט/פלט)
- ד. רשום את הפונקציה במפת קרנו מתאימה (מפת ה"1")
- ה. סמן במפה את התאים (המכסימליים) שבחרת עבור הפונקציה המינימלית, ורשום ליד כל אחד מספר סידורי (לזיהוי).
- ו. לגבי כל תא עיקרי (אם קיימים כאלה), סמן * במשבצות הייחודיות שלו.
- ז. רשום את הפונקציה המינימלית, כאשר ליד כל ביטוי מכפלה רשום את מספר התא אותו הוא מייצג.
- ח. במדה וקיימים מספר פתרונות מינימליים – רשום את כולם.
- ט. חזור על הסעיפים ד' עד ז', בשיטת מפת ה"אפסים".
- ט. בדוק אם הפתרון שרשמת בסעיף ב' זהה לאחד הפתרונות שקבלת בסעיפים ז' ו/או ח'.

1-1 $T = X + XYZ$

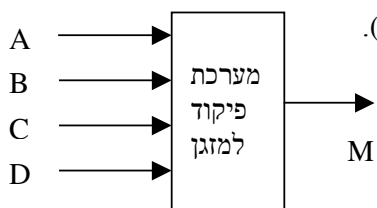
1-2 $T = AB + (B' + C')' + A'C$

1-3 $T = W + W'XYZ + W'XY'Z + W'XYZ' + W'XY'Z'$

1-4 $T = (A+B+C)(A+B+C')$

1-5 $T = (X+Y)(X+YZ) + X'Y' + X'Z'$

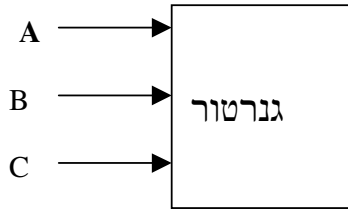
1-6 תרגיל



במשרד נמצא מזגן שמשרת את המנהל (A) ואת שלושת עוזריו (B,C,D). לכל אחד מהם יש מפסק אישי להפעלת המזגן. מטעמי חיסכון, הוחלט שהמזגן יופעל אם המנהל דורש זאת, ו/או **לפחות** שנים מעוזריו דורשים זאת, כאשר "דרישה" פירושה הפעלת המפסק האישי של הדורש.

נדרש לתכנן את המערכת, לפי ההנחיות הבאות :

- א. רשום את את טבלת הצירופים של המערכת.
 - ב. רשום את הפונקציה במבנה סכום מכפלות סטנדרטי.
 - ג. בצע צמצום אלגברי.
 - ד. רשום את טבלת האמת בתוך מפת קרנו.
 - ה. בצע צמצום במפה, ורשום את הפונקציה המינימלית.
- במדה וקיימים מספר פתרונות מינימליים – רשום את כולם.



תרגיל 1-7

גנרטור חשמלי מופעל באמצעות 3 מפסקים A, B, C . על מנת להפעילו בצורה תקינה, יש לחבר את הדקי המפסקים לפי הסדר הבא: A , B , C . ואחריו C . הפעלה בסדר שונה גורמת להרס המכונה. כמו כן בכיבוי הגנרטור יש לנתק את המפסקים בסדר הפוך: C , B , ואחריו A .

במהלך העבודה התברר שהעובדים מפעילים אמנם את המפסקים בזה אחר זה, אך לעתים קרובות בסדר שונה מהנדרש.



על מנת לפתור את הבעיה, הוחלט לחבר את הדקי הגנרטור אל מערכת מיתוג בעלת 3 מפסקי קלט: Z, Y, X , כך ש:

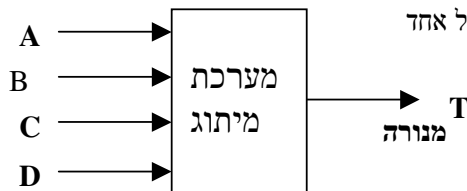
- המפסק הראשון שיופעל (לא משנה איזה), יחבר לגנרטור את ההדק A .
- המפסק השני שיופעל (בהנחה שהראשון עדיין מופעל) יחבר לגנרטור את ההדק B .
- המפסק השלישי שיופעל (בהנחה ששני קודמיו עדיין מופעלים) יחבר לגנרטור את ההדק C .

בצורה דומה יופסק הגנרטור ללא קשר עם סדר הניתוק של המפסקים Z, Y, X .

נדרש לתכנן את מערכת המיתוג המתאימה:

- רשום את טבלת האמת של המערכת, והעתק אותה למפות קרנו.
- רשום את פונקציות הפלט (A, B, C) , כ"א כתלות במשתני הקלט (X, Y, Z) .
- צייר את המערכת בשימוש במגעי המפסקים.

תרגיל 1-8

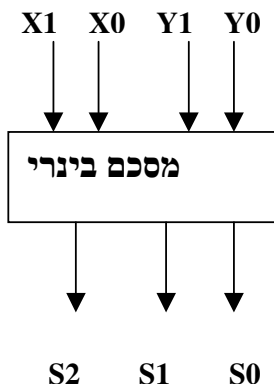


חברה הנפיקה 100 מניות, שכל אחת נותנת לבעליה זכות של קול אחד בהצבעות בישיבה הכללית. המניות חולקו בין 4 מנהלים לפי:

- מנהל A - 10 מניות
- מנהל B - 20 מניות
- מנהל C - 30 מניות
- מנהל D - 40 מניות

כדי להעביר הצעה, נדרש רוב של לפחות $2/3$ הקולות. לכל מנהל יש מפסק אישי. הוא מציין "בעד" ע"י סגירת המפסק (1), ו"נגד" - ע"י פתיחתו (0).

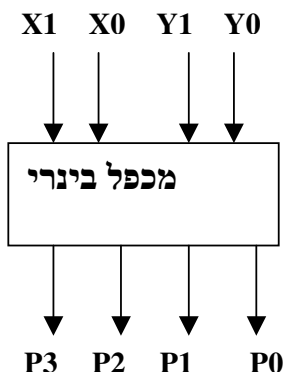
- נדרש לתכנן מערכת מיתוג שתפעיל מנורה בכל מקרה שההצבעה עוברת:
- רשום את טבלת האמת של המערכת, והעתק אותה למפת קרנו.
 - רשום את פונקציות הפלט (T) , כתלות במשתני הקלט.
 - צייר את המערכת בשימוש במגעי המפסקים.



תרגיל 1-9
המשקל של מספר בינרי (בסיס 2) נקבע באמצעות חזקות של 2, בדומה לבסיס 10 בו נקבע המשקל של כל ספרה באמצעות חזקה של 10.

נדרש לתכנן מערכת לסיכום שני מספרים בינריים בני 2 סיביות כל אחד, ולהפיק את התוצאה באמצעות מספר בינרי בן 3 סיביות.

א. רשום את טבלת האמת של המערכת, והעתק אותה לתוך מפות קרנו.
ב. פשט את הפונקציות באמצעות המפות.
ג. חזור על א' ו-ב', בהנחה שתחום הערכים בקלט הוא 0 עד 2 בלבד.



תרגיל 1-10
המשקל של מספר בינרי (בסיס 2) נקבע באמצעות חזקות של 2, בדומה לבסיס 10 בו נקבע המשקל של כל ספרה באמצעות חזקה של 10.

נדרש לתכנן מערכת להכפלת שני מספרים בינריים בני 2 סיביות כל אחד, ולהפיק את התוצאה באמצעות מספר בינרי בן 4 סיביות.

א. רשום את טבלת האמת של המערכת, והעתק אותה לתוך מפות קרנו.
ב. פשט את הפונקציות באמצעות המפות.
ג. חזור על א' ו-ב', בהנחה שתחום הערכים בקלט הוא 0 עד 2 בלבד.

תרגיל 1-11
גנרטור במפעל מסוגל לספק עד 55KW. במפעל 4 מכונות בעלות התצרוכות הבאות :

A	→	מערכת	→	M	•	מכונה A – 40 KW
B	→				•	מכונה B – 30 KW
C	→				•	מכונה C – 30 KW
D	→				•	מכונה D – 10 KW

כאשר העומס עולה על המותר, נדרש להפעיל גנרטור חרום. הפעלת גנרטור החרום נעשית באמצעות מערכת מיתוג שקולטת את מצב מפסקי המכונות, ומפיקה את הפעלה של הגנרטור, ע"י הקו M. תכנן את מערכת המיתוג המתאימה :

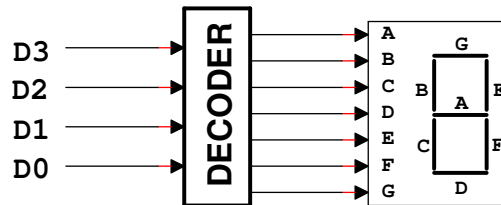
א) רשום את טבלת האמת של המערכת, והעתק אותה לתוך מפת קרנו, וקבע את הפונקציה המינימלית.
ב) חזור על א) בהנחה שהמכונות C ו-D אינן מופעלות אף פעם בו זמנית.

1-12 תרגיל

מכשירים אלקטרוניים רבים נעזרים לתצוגת מספרים עשרוניים בשיטת **7-Segment**. יחידת התצוגה של ספרה עשרונית מכילה 7 קטעים ישרים (סיגמנטים) שניתנים להארה, וכל ספרה מיוצרת ע"י הארת הסיגמנטים המתאימים. מערכת הפיענוח קולטת את הספרה העשרונית בייצוג בינרי (4 אותות בשיטת **BCD**), ומפיקה את הפלט המתאים לסיגמנטים המתאימים.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

7-Sgments Arrangement



Decoding System Block Diagram

נדרש לתכנן את מערכת הפיענוח, בהנחה שבקלט ייתכנו אך ורק 10 הצירופים שמייצגים את הספרות 9-0 :

- א) רשום את טבלת האמת של המערכת, והעתק אותה לתוך מפות קרנו.
- ב) רשום את 7 פונקציות הפלט הנדרשות המצומצמות (או חלק מהן, בהתאם להנחיות שיינתנו בהרצאה).
- ג) נדרש להוסיף למערכת קו חמישי, שהפעלתו תבצע בדיקת תקינות של כל הסיגמנטים, כלומר בדיקה שתפעיל את כולם. בהנחה שתכננת את תכנון את 7 הפונקציות, הוסף למערכת את קו הבדיקה, בצורה חסכונית.

גליון תרגילים 2 – תכנון בשיטת קסקדה למימסרים

הנחיות לתרגילים

בכל אחד מהתרגילים בצע את הסעיפים הבאים, אלא בהרצאה צויין אחרת :

- העתק את המחזור, חלק אותו לקבוצות וסמן לכל קבוצה מספר סידורי.
- צייר דיאגרמת סולם לפי שיטת הקסקדה לממסרים, בהנחה שכל צילינדר נשלט ע"י שסתום הפעלה בעל שני סולנואידים, ללא קפיץ מחזיר.
- חזור על ב' בהנחה שכל צילינדר נשלט ע"י שסתום הפעלה בעל סולנואיד יחיד, וקפיץ מחזיר.

הערה : ה"שעון" (Timer) שמופיע בחלק מהתרגילים של גליון זה, הוא מסוג "On-Delay", בהתאם להגדרה שמופיעה בציור 8-1 שבחוברת ההרצאות. למעשה הוא מהווה מימסר מיוחד, שהפעלתו מושהית אך ניתוקו נעשה מיידית.

2-1 : START , D+ , D- , E+ , F+ , E- , F-

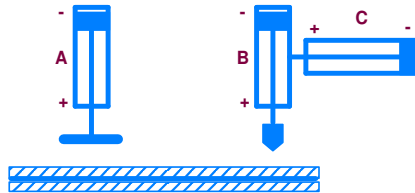
2-2 : START , A+ , A- , (10 sec delay), A+ , A- , B+ , B-

2-3 : START , $\left(\begin{matrix} A+ \\ B+ \end{matrix} \right)$, C+ , C- , $\left(\begin{matrix} A- \\ B- \end{matrix} \right)$

תרגיל 2-4

יש לקדוח שני חורים בגוש עץ באמצעות מערכת של שלושה צילינדרים.

- צילינדר A משמש להפעלת מלחציים להידוק גוש העץ.
- צילינדר B משמש להורדת המקדחה לצורך קידוח.
- צילינדר C משמש להזזת המקדחה למיקום המתאים לחור השני.



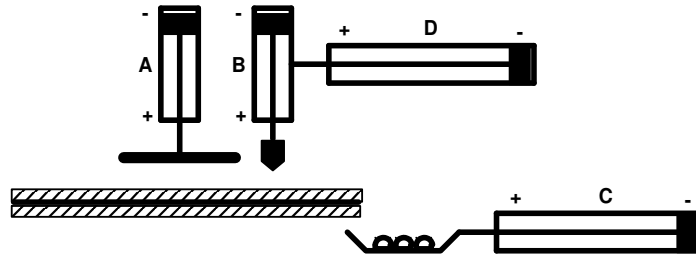
אי לכך, המחזור הנדרש לפעולה הוא :

START , A+ , B+ , B- , C+ , B+ , B- , $\left(\begin{matrix} A- \\ C- \end{matrix} \right)$

תכנון וצייר את מערכת הפיקוד, לפי ההנחיות הרשומות למעלה.

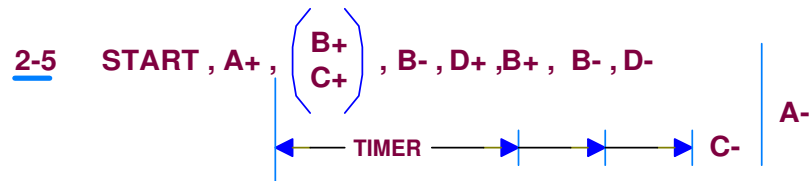
תרגיל 2-5

תהליך חיתוך והדבקת לוחות (פנלים) ע"י חימום תחת לחץ, מתנהל באמצעות המערכת הבאה :



- (א) התהליך מתחיל עם מתן האות **Start**.
 (ב) צילינדר **A** מופעל (+), מהדק את הלוחות ומפעיל לחץ.
 (ג) צילינדר **B** (מסור) מופעל ומנסר את הקצה (הימני בצירור) של הלוחות.
 בו בזמן מופעל הצילינדר **C** שמעביר את גוף החימום אל מתחת ללוחות.
 במקביל, מופעל שעון מסוג **On-Delay** (ראה הערה בתחילת הגליון). השעון קובע את משך החימום.
 (ד) המסור עולה.
 (ה) צילינדר **D** מעביר את המסור לקצה השני של הלוחות (השמאלי בצירור).
 (ו) המסור יורד וחותר את הקצה השני.
 (ז) המסור עולה.
 (ח) צילינדר **D** מחזיר את המסור לנקודה המקורית.
 (ט) עם קבלת אות מהשעון, צילינדר **C** מחזיר את גוף החימום אל מחוץ ללוחות.
 (י) צילינדר **A** חוזר, בתנאי **שגם C** וגם **D** חזרו (ראה הערה בהמשך).

מכאן, המחזור הנדרש הוא :



הערה : אין קשר זמני בין משך החימום לבין משך פעולת החיתוך, כלומר אות השעון (לציון סיום החימום) עשוי להופיע במהלך המחזור, בכל עיתוי שהוא. במדה ומופיע לפני גמר החיתוך – הפסקת החימום נעשית אמנם מיד (כרגיל), אך תהליך החיתוך חייב להמשיך עד לסיומו. מכאן ההגדרה שבסעיף י', ושרטוט מספר חיצים בהקשר ל-**Timer**.

תכנן וצייר את מערכת הפיקוד, לפי ההנחיות שבראש הגליון.

2-6 : START , A+ , A- , A+ , A- , A+ , A-

2-7 : START , A+ , B+ , B- , A-

2-8 : START , A+ , $\left(\begin{array}{c} B+ \\ A- \end{array} \right)$, B-

2-9 : START , A+ , B+ , B- , A-

2-10 : START , D+ , D- , E+ , F+ , E- , F-

2-11 : START , A+ , A- , $\left(\begin{array}{c} B+ \\ A+ \end{array} \right)$, A- , B- , B+ , B-

2-12 : START , A+ , B+ , B- , C+ , B+ , A- , A+ , A- , B- , C-

2-13 : START , A+ , B+ , A- , B- , $\left(\begin{array}{c} B+ \\ A+ \end{array} \right)$, A- , B-

2-14 : START , A+ , A- , $\left(\begin{array}{c} B+ \\ A+ \end{array} \right)$, B- , A-

גליון תרגילים 3 – PLC בקר מתוכנת

הנחיות לתרגילים 3-1 עד 3-8

התרגילים קשורים לסדרות המתוכננות בשיטת הקסקדה, וממומשות באמצעות PLC. בכל אחד מהתרגילים הנ"ל נדרש לבצע את השלבים הבאים :

- א. תכנון המערכת בשיטת הקסקדה למימסרים, ושרטוטה.
 - ב. רישום טבלת הקלט/פלט וההצבה המתאימה עבור PLC.
 - ג. ציור מערכת קסקדה המיועדת למימוש באמצעות PLC. בציור יופיעו המשתנים כפי שהוגדרו בסעיף ב'. שים לב שבמקרים מסויימים יתכן צמצום בהשוואה לציור שבסעיף א'.
 - ד. כתיבת תכנית PLC מתאימה. במדה ולא מצויין אחרת, יש להתייחס למודל של חברת TI.
 - ה. יש להימנע משמוש במחסנית ללא צורך, כלומר במקרים בהם שינוי סדר הענפים בדיאגרמת הסולם מאפשר לפשט את התכנית. במדה וקיימים מקרים כאלה, יש לעדכן את השרטוט לפי סדר הפקודות בתכנית.
- הערה : פקודת OUT אינה מוחקת את החישוב הנוכחי. לעתים ניתן להיעזר בזאת לפישוט התכנית.

תרגיל 3-1

נדרש לתכנן מערכת בקרה לסדרה הבאה, כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל שני סולנואידים ללא קפיץ מחזיר :

START , D+ , D- , E+ , F+ , E- , F-

תרגיל 3-2

נדרש לתכנן מערכת בקרה לסדרה שבתרגיל 3-1, כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל סולנואיד אחד, עם קפיץ מחזיר.

תרגיל 3-3

נדרש לתכנן מערכת בקרה לסדרה שבתרגיל 3-1, כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל שני סולנואידים, ללא קפיץ מחזיר, ולממש אותה באמצעות PLC שפועל בצורה סינכרונית : אין משוב של מפסקי גבול, והמעבר מצעד לצעד נעשה באופן קבוע כל 5 שניות.

תרגיל 3-4

נדרש לתכנן מערכת בקרה לסדרה הבאה (הוגדרה גם בתרגיל 2-4), כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל שני סולנואידים ללא קפיץ מחזיר :

START , A+ , B+ , B- , C+ , B+ , B- , $\begin{pmatrix} A- \\ C- \end{pmatrix}$

תרגיל 3-5

נדרש לתכנן מערכת בקרה לסדרה המוגדרת בתרגיל 3-4, כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל סולנואיד אחד עם קפיץ מחזיר.

תרגיל 3-6

נדרש לתכנן מערכת בקרה לסדרה שבתרגיל 3-4, כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל שני סולנואידים ללא קפיץ מחזיר, ולממש אותה באמצעות PLC שפועל בצורה סינכרונית : אין משוב של מפסקי גבול, והמעבר מצעד לצעד נעשה באופן קבוע כל 5 שניות.

תרגיל 3-7

נדרש לתכנן מערכת בקרה לסדרה הבאה, כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל סולנואיד אחד, עם קפיץ מחזיר :

START , A+ , A-



20 times

תרגיל 3-8

נדרש לתכנן מערכת בקרה לסדרה הבאה, כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל סולנואיד אחד, עם קפיץ מחזיר, ולממש אותה באמצעות PLC :

START , A+ , A- , B+ , A+ , (5 sec. delay) , B- , A- , B+ , A-



10 פעמים

גליון תרגילים 4 – טכנולוגיות

4-1 תרגיל

בהנחה שלרשותך אך ורק המעגלים המשולבים (אינטגרלים) המתוארים בציור 4-1 של דפי ההרצאות, תכנן מעגל למימוש הפונקציה הבאה : $T = ABC + A'B'C'$

- (א) במינימום שערים
(ב) במינימום רכיבים
הערה : יתכן ששני הפתרונות יהיו זהים.

4-2 תרגיל

חזור על תרגיל 4-1, עבור הפונקציה $T = AB' + A'B$

4-3 תרגיל

חזור על תרגיל 4-1, עבור הפונקציה $T = AB'C + ABD + A'C'D'$

4-4 תרגיל

תכנן וצייר מעגל פניאומטי, באמצעות ססתומים פניאומטיים, מהסוג שמוגדר בציור 4-13 שבחוברת ההרצאות, עבור הפונקציה $T = AB' + B'C + CD$

4-5 תרגיל

חזור על תרגיל 4-4, עבור הפונקציה $T = AB + BC + AC' + B'C'$

4-6 תרגיל

תכנן וצייר מעגל פניאומטי, באמצעות אלמנטים לוגיים פניאומטיים מסוג MPL, לפי ההגדרה בציור 4-16 שבחוברת ההרצאות, עבור הפונקציה $T = AB' + A'B$

4-7 תרגיל

חזור על תרגיל 4-6, עבור הפונקציה $T = A'B + BC$
הערה : ניתן לממש באמצעות אלמנט יחיד

4-8 תרגיל

חזור על תרגיל 4-6, עבור הפונקציה $T = ABC + A'B'C'$

תרגיל 4-9

א { פתח את הפונקציה הבוליאנית המגדירה את אות הפלט T עבור אלמנט MPL המוגדר בציור 4-17 של דפי ההרצאות.
ב { בשימוש באלמנטי MPL מהסוג הנ"ל, תכנן וצייר את חמשת השערים הבאים :

NOT , AND , OR , INHIBITION , IMPLICATION

הערות : הפונקציה INHIBITION מוגדרת כ- AB' .
הפונקציה IMPLICATION מוגדרת כ- $A+B'$.

תרגיל 4-10

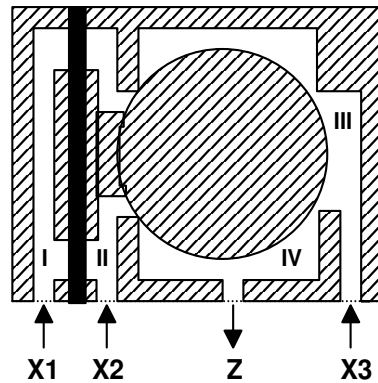
חזור על תרגיל 4-9 סעיף ב', עבור הפונקציה $T = AB' + A'B$.

תרגיל 4-11

חזור על תרגיל 4-10 , עבור הפונקציה $T = ABC + A'B'C'$.

תרגיל 4-12

א { פתח את הפונקציה הבוליאנית המגדירה את אות הפלט T, עבור אלמנט MPL המתואר בציור הבא (תוצרת חברת Hoerbiger , אוסטריה).



הערה : הדיאפרגמה מפרידה בין התאים I ו-II . בהתאם לאותות שמופעים בכניסות לתאים I , II ו-III , הדיאפרגמה דוחפת את הכדור ימינה או שמאלה.

ב { בשימוש באלמנטי MPL מהסוג הנ"ל, תכנן וצייר את חמשת השערים הבאים :

NOT , AND , OR , INHIBITION , IMPLICATION

גליון תרגילים 5 – שיטת הופמן, אותות אקראיים

הנחיות לתרגילים

- א. את המערכות הבאות יש לתכנן בשימוש בשיטת הופמן (Huffman), כאשר לכל מצב פנימי מוקצה פליפ- פלופ נפרד (פרט למקרה של מערכת בת שני מצבים פנימיים בלבד).
 - ב. בכל תרגיל יש לבצע את השלבים המוצגים להלן, אלא אם בגוף התרגיל יש הנחיות אחרות.
 - ג. פתרון כל תרגיל יהיה מורכב מהשלבים ד' עד י'.
 - ד. דיאגרמת זרימה פרימיטיבית (תזרים).
 - ה. טבלת זרימה פרימיטיבית.
 - ו. דיאגרמת מיזוג, רישום אפשרויות המיזוג המינימלי, וציון האפשרות שנבחרה למימוש.
 - ז. טבלת הזרימה הממוזגת, והקציית יחידות זכרון למצבים הפנימיים שבטבלה.
 - ח. רישום פונקציות הפיקוד ליחידות הזכרון (Set , Reset).
 - ט. רישום מפת/מפות הפלט, כולל גם את מצבי המעבר, ורישום פונקציות/פונקציות הפלט.
 - י. ציור המערכת, רק במידה והדרישה צויינה בתרגיל.
- י"א. רישום תכנית מתאימה ל-PLC. הערה: ניתן להניח שבשום מקרה לא משתנה מצב של שני אותות קלט (או יותר) בו זמנית, אלא אם בתרגיל הוגדר אחרת.

5 התרגילים הראשונים מתייחסים לסדרות קבועות. שאר התרגילים מתייחסים לאותות אקראיים. הערה: למרות שתרגיל 5-5 מתייחס לסדרה קבועה, קיים גם מצב בו הקלט עשוי להשתנות בצורה אקראית. איזה ומדוע?

5-1 : START , A+ , A-

5-2 : START , A+ , A- , A+ , A-

5-3 : START , A+ , A- , A+ , A- , A+ , A- (תזרים פרימיטיבי בלבד)

5-4 : START , A+ , B+ , B- , A- (תזרים פרימיטיבי בלבד)

5-5 : START , A+ , $\left(\begin{matrix} B+ \\ A- \end{matrix} \right)$, B- (תזרים פרימיטיבי בלבד)

תרגיל 5-6

מכונה M מופעלת באמצעות שני מפסקים A ו-B. ניתן להפעילה כאשר שני המפסקים במצב "1" (AB=11), בתנאי שמצבם הקודם היה AB=01, לאחר הפעלת המכונה, היא נשארת במצב זה עד לפתיחת שני המפסקים (AB=00), ללא תלות בסדר פתיחת המפסקים.

תכנן את מערכת הפיקוד למכונה.

תרגיל 5-7



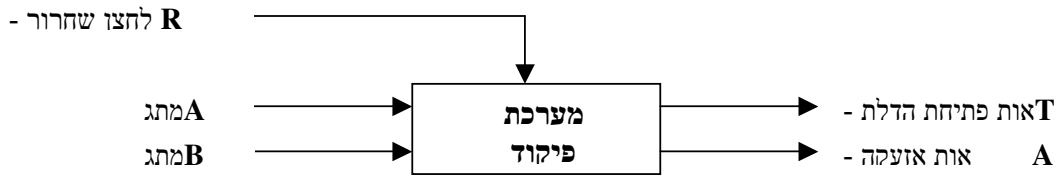
מנורה סלונית מכילה 3 נורות, המופעלות ע"י לחצן יחיד. במצב מנוחה הלחצן משוחרר ושלושת הנורות כבויות. הפעלה ראשונה של הלחצן מפעילה את נורה מס' 1. הפעלה שנייה של הלחצן מפעילה גם את נורה מס' 2. הפעלה שלישית של הלחצן מפעילה גם את נורה מס' 3. הפעלה רביעית של הלחצן מחזירה את המערכת למצב ההתחלה, בו כל הנורות כבויות.

תכנן את מערכת הפיקוד למנורה :

- (א) כאשר כל הפעלה מתבצעת כאשר הלחצן נלחץ.
(ב) כאשר כל הפעלה מתבצעת כאשר הלחצן משתחרר.

תרגיל 5-8

מתקן לפתיחת דלת של אזור מסווג מבוקר ע"י סדרת אותות קלט, שניתנים באמצעות שני המתגים A ו-B. רק סדרת קלט אחת פותחת וסוגרת את הדלת. כל סדרה אחרת נועלת את המערכת במצב אזעקה, ומנטרלת את האפשרות להחזירה למצב החוקי באמצעות המתגים. ניתן להחזיר את המערכת למצב ההתחלה רק באמצעות לחצן (מתג לחיצה) מיוחד - R, הממוקם במקום מוגן (נסתר).



נתוני המערכת

- א. הסדרה היחידה החוקית היא $00 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 01 \rightarrow 00$, כאשר הדלת נפתחת (T=1) ע"י האות הרביעי - AB=01, ונסגרת (T=0) ע"י האות החמישי - AB=00.
ב. כל סדרה אחרת - כולל שלב הסגירה - נועלת את הדלת, מפעילה את מנגנון האזעקה (A=1), ומנטרלת את פעולת המתגים.
ג. על מנת להחזיר את המערכת למצב ההתחלה יש לפתוח את שני המתגים (AB=00), אח"כ להפעיל את הלחצן R (R=1), ולשחררו. הנעילה והאזעקה נפסקות עם הלחיצה. לחצן השחרור מנוטרל בכל המצבים בהם לפחות אחד המתגים מופעל ("1").

הנחות

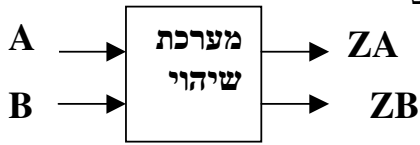
- א. אין אפשרות טכנית לשנות מצב של שני מפסקים (או יותר) בו זמנית.
ב. בשלב שחרור המערכת, מרגע ההפעלה של הלחצן R ועד לשחרורו, אין אפשרות טכנית לשנות את מצב המתגים AB (נעילה מכנית).

תכנן את מערכת הפיקוד לשליטה על מצב הדלת.

רמז : מומלץ לתכנן את המערכת ללא התייחסות ללחצן השחרור, ורק לאחר מכן לבצע את התיקון המתאים.

תרגיל 5-5

תכנון מערכת שיהוי.



המערכת קולטת סדרות שינויים בערוצים A ו-B. בכל פעם שבקלט מופיע צרוף חדש, המערכת פולטת על הקווים ZA ו-ZB את הצרוף **הקודם**, כלומר הקלט מועבר לפלט בשיהוי של שינוי אחד.

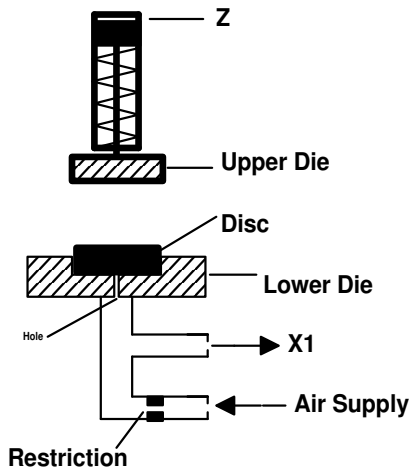
הערה : במצב ההתחלה הקלט הוא $AB=00$, והפלט שרירותי, המערכת חייבת לפעול בהתאם להגדרה למעלה רק החל משינוי הקלט הראשון.

תכנון את מערכת השיהוי.

תרגיל 5-10

המכונה המוצגת להלן מיועדת להטבעת דוגמה על דיסקיות העשויות ממתכת רכה : לחיצה על מפסק **START**

($START=1$), גורמת לירידת הבוכנה ($Z=1$), שמטביעה את הדוגמה על הדיסקה, ושחרור **START** ($START=0$) מחזיר את הבוכנה למצב המנוחה שלה ($Z=0$).



יש למנוע את הפעלת הבוכנה אם בזמן הפעלת **START** לא נמצאת דיסקה, וזאת על מנת למנוע נזק למכונה. כמו כן אין לבצע הטבעה כפולה (רצופה) על אותו מטבע.

מטעמי בטיחות אין להפעיל את הבוכנה אם הוכנסה דיסקה בזמן ש-**START** לחוץ.

על מנת לאבחן אם במכונה יש או אין דיסקה, הוכנס במערכת חיישן בצורת חור קטן עם אספקת אויר (ראה בציור). כאשר אין דיסקה, החור הקטן פתוח, והאות **X1** הוא **0**.

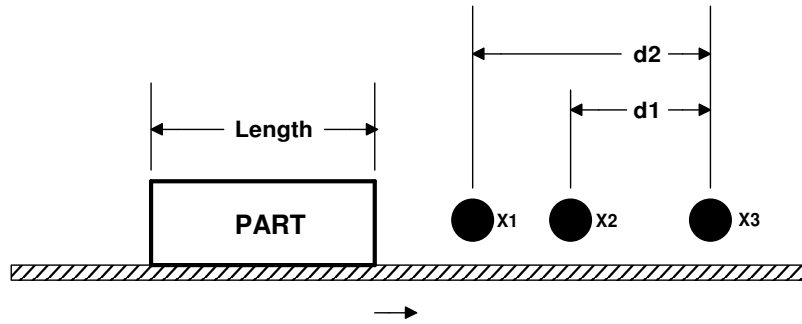
במהלך העבודה עלול החור הקטן להיסתם. גם במקרה זה יש למנוע את הפעלת הבוכנה ע"י **START** ($START=1$).

הנח שכל בוקר, לפני תחילת העבודה, מנוקה החור מלכלוך.

תכנון את המערכת

תרגיל 5-11

תכנון מערכת לסינון רכיבים "לקויים".
בתהליך ייצור, נעים החלקים על מסוע (סרט נע) שמשמש כמסלול מדידה. אורך חלק תקין חייב להיות בין המידות $d1$ ו- $d2$, כלומר אורכו של חלק תקין (PART) חייב לקיים את התנאי :
 $d1 < PART < d2$
המערכת צריכה להתריע על כל גילוי חריגה, לצורך סילוק החלק הפגום מהמסלול (הסילוק עצמו מתבצע ע"י מערכת משנה שאינה קשורה לתרגיל).
לצורך זה הותקנו שלושה חיישנים $x1, x2, x3$ במרחקים המצויינים בצירור שלהלן.



דרישות

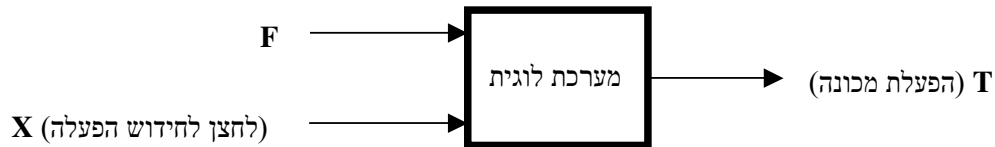
- (א) במדה וחלק ארוך מ- $d2$, יש להתריע ע"י הפקת האות $L=1$ (מספיק פולס קצר).
- (ב) במדה וחלק קצר מ- $d1$, יש להתריע ע"י הפקת האות $S=1$ (מספיק פולס קצר).

הנחות

- (א) המרחק בין שני חלקים סמוכים גדול מ- $d2$, או שווה לו.
 - (ב) לא קיימים חלקים שאורכם קטן מהמידה $d2-d1$.
 - (ג) שני אותות הקלט אינם יכולים להשתנות בו זמנית.
- תכנן את מערכת הזיהוי.

תרגיל 5-12

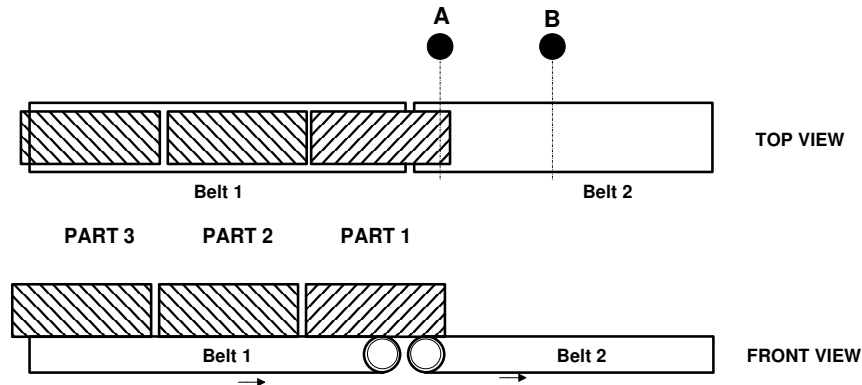
מכונה מופעלת באמצעות האות $T=1$. חיישן מסוים שולח את האות $F=1$ ברגע שמזוהה תקלה. אות זה חוזר ל-0 רק בסיום התקלה. לאחר סיום התקלה, ניתן להפעיל את המכונה מחדש רק ע"י לחיצה **כפולה** על הלחצן X . מטרת הלחיצה הכפולה היא למנוע אפשרות של הפעלה עקב לחיצה בשוגג או אפילו נגיעה בו בטעות (דבר שעלול לגרום לנזק או פגיעה).



במצב ההתחלה של המערכת $F=0$ במצב זה המכונה פועלת. $(T=1)$ ללא תלות במצבו של לחצן החידוש.
עם קליטת האות $F=1$ המכונה מופסקת $(T=0)$. ההפעלה מחדש – בהתאם לרשום למעלה – נעשית ע"י לחיצה כפולה על X , לאחר סיום התקלה.
הערה : בדרך כלל מצבו של הלחצן הוא $X=0$. במדה ובסיום התקלה הוא עדיין לחוץ, יש לשחררו ולאחר מכן להפעילו פעמיים ברציפות, כנדרש.
תכנן את מערכת הפיקוד.

תרגיל 5-13

מערכת נדרשת לקבוע מרחק קבוע בין חלקים הנעים על מסוע. החלקים המקוריים צמודים זה לזה. למטרה זו נבנו שני מסועים צמודים כפי שמוצג בציור שלהלן. מסוע 1 מכיל את החלקים הצמודים, והם מועברים למסוע 2 בו מתבצע תהליך ההפרדה (למרווחים שווים). מסוע 2 נע ברציפות במהירות קבועה, ואילו מסוע 1 נע ועוצר (באמצעות מצמד חשמלי) ע"י אות שנוצר במערכת הפיקוד. באזור מסוע 2 מותקנים שני חיישנים פוטו-אלקטריים, כאשר כל אחד מהם מפיק אות "1" בזמן שחלק "שובר" את קרן האור שלו.



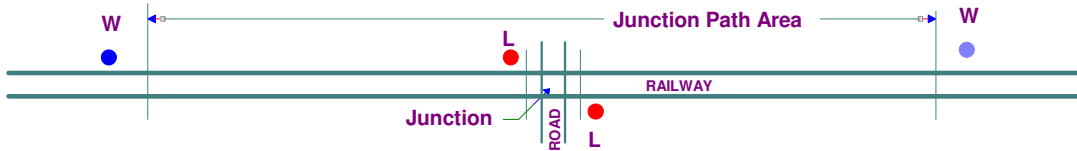
אופן הפעולה: ברגע שחלק עולה על מסוע 2, הוא מאובחן ע"י החיישן A, וזה עוצר את המסוע 1. מאחר והחלק שזוהה כבר נמצא (חלקית) על מסוע 2, הוא ממשיך לנוע עליו בכח החיכוך. לאחר שהחלק עבר מרחק קבוע, ונוצר המרווח המתאים בינו לבין החלק הבא, הוא מזוהה ע"י החיישן השני – B. ברגע זה מופעל שוב מסוע 1 הוא מעביר את החלק הבא אל מסוע 2, והתהליך חוזר על עצמו.

שיים לב : אורך החלקים עשוי להיות קטן מהמרווח בין החיישנים או גדול ממנו (אך לא זהה למרווח הנ"ל), והמערכת צריכה לפעול כראוי בשני המקרים הנ"ל.

תכנן את מערכת הפיקוד.

תרגיל 5-14

תכנון מערכת פיקוד לרמזור בצומת כביש ומסילת ברזל.
רכבת צריכה להפעיל רמזור L בהיכנסה ל"**אזור מעבר**" שבמרכז הצומת, ולהפסיקו עם יציאתה **מהצומת**.
כנו כן עליה להפעיל את התראה W מחוץ לאזור המעבר, על מנת למנוע כניסת רכבת נוספת לאזור, כאשר אינו פנוי.
מטעמי בטיחות, הפעלת הרמזור חייבת להתרחש ממרחק של 500 מ', כלומר כאשר הקטר מגיע למרחק 500 מ' מהצומת. לעומת זאת נדרש להפסיק את הרמזור מיד עם יציאת הרכבת מהצומת, כלומר ברגע שהקרונ האחרון עוזב את הצומת עצמה. לשם כך הוגדר אזור מעבר בן 1000 מ' (500 מ' מכל צד).
אור ההתראה מופעל עם היכנסה של רכבת לאזור המעבר, אך מופסק רק לאחר שאחרון הקרונות עזב את אזור **המעבר**, כלומר נמשך גם לאחר שהרמזור הופסק.
תנועת הרכבות היא דו-סטריט, והדרישה המוגדרת למעלה מתייחסת לגבי שני כיווני הנסיעה.

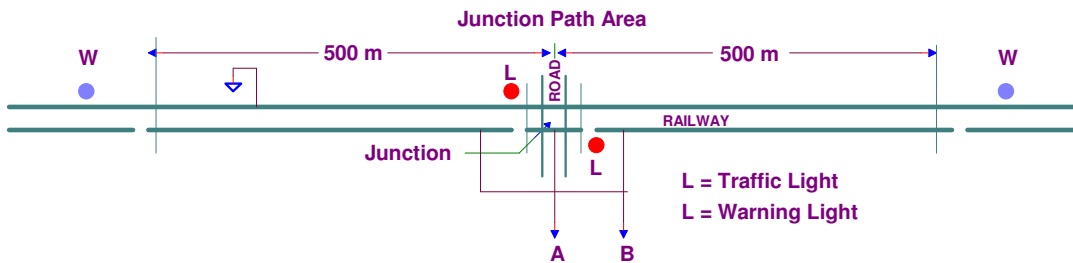


התכנון יתבצע על ההנחות הבאות :

- רכבת אינה מחליפה כיוון באזור המעבר,
- באזור הצומת יכולה להימצא רכבת אחת בלבד (לשם כך קיימת האתראה W).

בטכנולוגיה הישנה שהתבססה על ממסרים, בוצעו האמצעים הבאים לקבלת מידע על הרכבות באזור הצומת :

- אחד הפסים חובר לנקודת מתח קבועה המוגדרת כ-"1" ("אדמה").
- הפס השני הופרד באזור הצומת לשלושה קטעים המחוברים זה לזה מכנית, אך מבודדים זה מזה חשמלית. כמו כן הם מבודדים מקטעי הפס שמחוץ לאזור הצומת (ראה הציור הבא).
- הפס הקצר (באמצע) מחובר חשמלית לקו A, ושני הפסים הצדדיים הארוכים מחוברים חשמלית לקו משותף B.



כאשר הרכבת עולה על אחד מקטעי הפס, גלגליה מקצרים חשמלית את קטע הפס עם הפס שממול, וכתוצאה נשלח על הקו המתאים האות "1".



תכנון את מערכת הפיקוד.

תרגיל 5-15

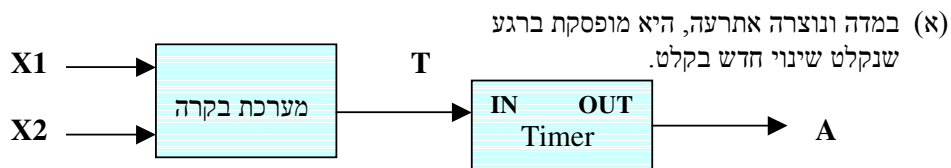
תהליך מסוים מכיל 4 שלבים 1-4. ידוע שהשלבים מתבצעים תמיד בסדר עולה או יורד בלבד, כאשר מכל מצב ניתן לעבור למצב הבא או למצב הקודם. ההנחה היא שתהליך הסדר אמין. בפעולה תקינה, המעבר משלב לשלב חייב להתבצע תוך פחות מדקה. נדרש לתכנן מערכת שתתריע על כל חריגה, כלומר על כל מקרה בו שלב מסוים נמשך דקה ומעלה. למטרה זו צויד התהליך בשני קוי אינפורמציה - X1 ו-X2 - עליהם הוא שולח בריציפות את מצבו העכשווי של התהליך. על מנת לא לגרום לשינוי סימולטני בשני הקוים, נקבע קוד המצבים 1, 2, 3, 4 ע"י הציירופים 00, 01, 10, 11, בהתאמה.

המערכת מכילה Timer מכוון ל-1 דקה. במדה וקלט אות למעלה מדקה רצופה, הוא מפעיל חיווי תקלה. נדרש לתכנן מערכת בקרה שתקלוט את האותות X1 X2, ותפיק את אות T לפיקוד על Timer.

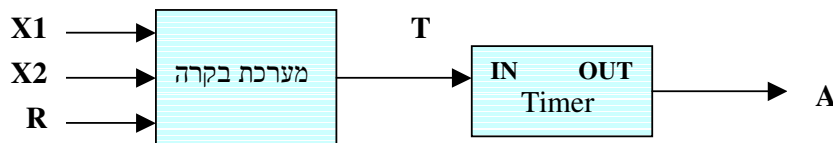
הערות

1. ה-Timer הוא מסוג On-Delay, כפי שהוגדר בפרק 8 ציור 8.1.
2. האתרעה עצמה מופעלת ע"י מגעי הפלט של ה-Timer, וחלק זה אינו קשור למערכת הבקרה.

נדרש לתכנן שתי מערכות אתרעה שונות, בהתאם להגדרות שלהלן :



(ב) הרחב את המערכת הקודמת כך שהפסקת האתראה תתבצע אך ורק באמצעות קו קלט R.



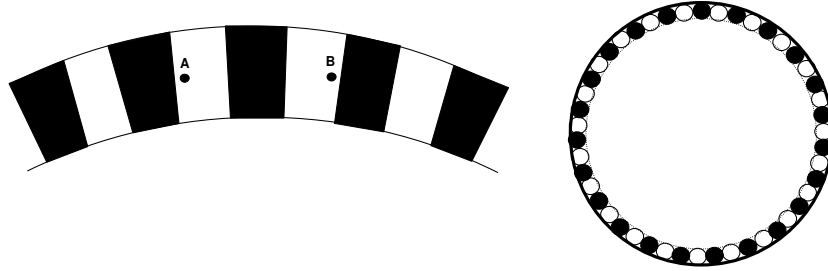
הערות

- שים לב שאיפוס ה-Timer מבוצע ברגע שמזוהה שינוי בקלט, כלומר מוגדר פלט במצבים הלא-יציבים, שלא כפי שהיה בתרגילים הקודמים. עובדה זו תגרום לשינוי מסוים בתהליך המיזוג.
- האם נדרש קלט נוסף בסעיף ב' ? במידה וכן – הוסף אותו.

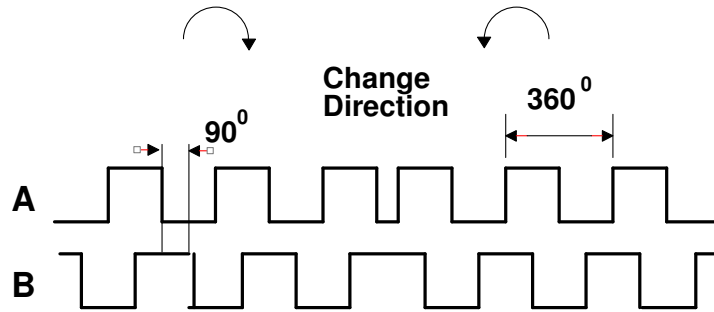
תרגיל 5-16

תכנון מערכת לזיהוי כיוון סיבוב של מנוע.
למנוע קשורה דיסקה המסתובבת על ציר המנוע. הסיבוב יכול להתבצע עם כיוון השעון, או נגדו.
נדרש לתכנן מערכת שתציין - באמצעות 2 נוריות - את הכיוון : נורית F תופעל כאשר הסיבוב הוא עם כיוון השעון, ונורית R תופעל כאשר הסיבוב הוא נגד כיוון השעון.
כמובן, כאשר הדסקית מחליפה כיוון, תתחלף גם ההארה של הנוריות במהירות האפשרית.

למטרה זו חולקה הטבעת החיצונית של הדיסקה לקטעים שקופים ואטומים לסירוגין, ובשני מקומות קבועים הוצבו חיישנים פוטו-חשמליים, כפי שמוצג בציור להלן. תא כזה שולח "1" כאשר מולו קטע שקוף או "0" כאשר הקרן שלו חסומה ע"י קטע אטום.



מאחר והחיישנים מוצבים במרחקים לא סימטריים, הם יפיקו סדרות שונות בהתאם לכיוון הסיבוב, כלומר אותם אותות (00,01,11,10), אך בסדר שונה.



תרגיל 5-17

תכנון מערכת לזיהוי שינוי כיוון סיבוב של מנוע.
תכנן את המערכת שהוגדרה בתרגיל 5-16, באשר היא מכילה קו פלט יחיד P, עליו מפיקה פולס "1" קצר בכל פעם שהדיסקה מחליפה כיוון (לא משנה איזה).



תרגיל 5-18

בקרה על קו טלפון משותף.
באזורים בהם יש מחסור בקו טלפון, מקצים לכל שני מינויים קו יחיד, שיכול לשמש כ"א מהם בנפרד.
(בארץ היה מצב דומה באזורים שונים עד לפני 10-15 שנה). הקציית הקו למנוי נעשית לפי העדפה
שמוגדרת להלן, ובשום מצב לא יכולים שני המינויים להיות מחוברים בו זמנית לקו (כך שנשמרת
הפרטיות של כל מנוי).

מערכת הבקרה פועלת בצורה הבאה :



- כאשר השפופרת נמצאת בתושבת, היא שולחת למערכת "0". כאשר היא מורמת – נשלח "1".
- מערכת הבקרה מפיקה "0" למנוי שאינו מחובר לקו, ו-"1" לזה שמחובר.
- במצב בו שתי השפופרות בתושבת (00), לא מחובר קו לאף מינוי. פלט המערכת 00.
- המינוי הראשון שמרים את השפופרת מקבל מהמערכת קו. במצב זה המנוי השני אינו יכול לקבל קו, גם אם מרים את השפופרת שלו.
- רק לאחר שהמנוי ה"ראשון" מוריד את השפופרת, יכול המנוי ה"שני" לקבל את הקו.

תכנן את מערכת הבקרה.

תרגיל 5-19

תכנון פליפ-פלופ מסוג T.
פליפ-פלופ מסוג T (Toggle) הוא פליפ-פלופ בעל קו קלט יחיד, שמצבו מתהפך בכל פעם שהקלט עובר
ממצב "0" למצב "1".



הערה : ההחלפה נעשית במעבר בלבד, ולא במצב יציב "1".

תכנן את מערכת הפליפ-פלופ.

תרגיל 5-20

תכנון פליפ-פלופ מסוג **D**.
פליפ-פלופ מסוג **D** הוא פליפ-פלופ ש"בודק" את הקלט שלו **D** רק כאשר מקבל את "שעון" ($C=1$),
ואז עובר למצב המוגדר בקלט : כאשר $D=0$, עובר למצב "0", וכאשר $D=1$ - עובר למצב "1".
במלים אחרות, הקלט מועבר לפלט רק בעיתוי אות השעון.



תכנון את מערכת הפליפ-פלופ.

תרגיל 5-21

תכנון מערכת צלצול - **Ringer**.
הצלצול הרציף במצילה (בניגוד להשמעת צליל חד-פעמית), היא מערכת שכאשר מקבלת את האות "1"
מלחצן המצילה, היא עוברת למצב של אי-יציבות, כלומר מחליפה מצבים עד להפסקת הלחיצה על הלחצן.
החלפת המצבים מתבטאת בממסר **CR** שנפתח ונסגר, כאשר אליו מחוברת זרוע, ובכך גורם למערכת
להתנדנד בין שני מצבים לא יציבים כל זמן שהלחצן נלחץ. בכל פעם שהממסר מופעל, הזרוע נעה
ומקיישה על פעמון.

הערה : במערכות הרגילות שינוי בקלט מביא את המערכת למצב יציב, כולל שינוי במצב הפנימי או לא
(כאשר שני המצבים "ממוזגים"). המערכת נמצאת במצב היציב עד לקליטת שינוי חדש.
במקרה הנדון למרות שהקלט "1" קבוע (כל זמן שהלחצן נלחץ), המערכת מחליפה מצבים פנימיים
ברציפות, עד לשחרור הלחצן.

תכנון את מערכת הצלצול.

תרגיל 5-22

תכנון מערכת מעקב אחרי תנועה של בוכנת צילינדר.
במצב עבודה תקין, בוכנת הצילינדר נעה ממצב קיצוני אחד לשני, כאשר אין אפשרות להחלפת כיוון
התנועה **לפני** הגעתה למצב היעד הקיצוני.
במדה והבוכנה החליפה כיוון תוך כדי תנועתה, כלומר לפני הגעתה למצב היעד הקיצוני, נדרש להפיק אות
אתראה. אות האתראה מופסק :

(א) ברגע שהבוכנה מגיעה למצב קיצוני (כלשהו)

או

(ב) ברגע שהבוכנה מגיעה למצב הקיצוני אליו הית חייבת להגיע במקור.

תכנון את מערכת האתראה :

א. לפי קריטריון א' שהוגדר למעלה.


ב. לפי קריטריון ב' שהוגדר למעלה.

תרגיל 5-23

מערכת בקרה לסיום תהליך.
בתהליך מסוים נשלחת אינדיקציה באמצעות שני קוים T1 ו-T2. התהליך הוא דו-שלבי, כאשר בסיום כל שלב, נשלח על הקוים הללו האות 11.
נדרש לתכנן מערכת בקרה שתזהה מתי התהליך הסתיים, כלומר תפיק פלט קצר עם זיהוי כל פעם שניה של האות 11,
תכנן את מערכת הפיקוד.

תרגיל 5-24

תהליך מסוים מורכב מ-3 שלבים שחייבים להתבצע בסדר מסוים ולהסתיים בסדר מסוים:
 • התהליך מתחיל משלב 1, לאחריו מופעל גמ שלב 2, ולאחריו גמ שלב 3.
 • סיום התהליך מתבצע בסדר ההפוך: ראשון מסתיים שלב 3, אחריו שלב 2, ואחריו שלב 1.
 כל שינוי בסדר הנ"ל מהווה תהליך לא תקין.

נדרש לתכנן מערכת שתבצע בקרה אוטומטית על התהליך, ותיתן חיווי על תקינות/אי-תקינות המחזור. המערכת קולטת את מצבי השלבים באמצעות האותות X1, X2, X3 (X=1 מציינ תהליך בשלב ביצוע, X=0 מציינ תהליך בשלב מנוחה – אי-ביצוע).

 המערכת מפיקה את האות L לציון תהליך תקין והאות F לציון תהליך לא תקין. האותות נוצרים בהתאם להגדרות שלהלן:
 • במדה והתהליך בוצע כולו בצורה תקינה, יש להפיק – בסיומו, כלומר כאשר כל הכניסות "0" – את אות התקינות L.
 • סדרת הקלט התקינה היא:

$000 \rightarrow 100 \rightarrow 110 \rightarrow 111 \rightarrow 110 \rightarrow 100 \rightarrow 000$ X

- ברגע שנקלט שינוי לא תקין, מופעל מיד אות האתרעה F.
- החיווי T מופעל רק בסיום התהליך התקין (קלט 000).
- כל אחד מהחיוויים מופסק ברגע שמתחילה סדרת תהליך חדשה (השינוי הראשון לאחר הקלט 000).
- במצב ההתחלה $F=0, L=0$.

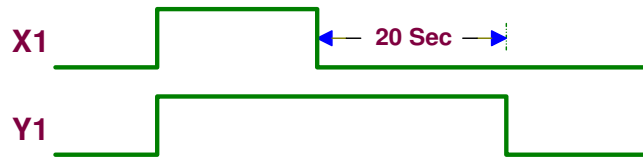
הנחיות והערות עזר

1. המערכת מכילה 15 מצבים פנימיים: מצב התחלה, 6 מצבים של הסדרה התקינה, ו-8 מצבים אפשריים של סדרה לא תקינה.
2. התזרים עשוי להיות מסובך ולא ברור מבחינה גרפית. לכן מומלץ לדלג על שלב התזרים, ולהתחיל את התכנון בטבלת הזרימה הפרימיטיבית.
3. דיאגרמת המיזוג המלאה עשויה להיות מסובכת ולא ברורה מבחינה גרפית. מומלץ לצייר שתי דיאגרמות מיזוג: אחת עבור הסדרה התקינה (כולל מצב ההתחלה), ואחת – עבור הסדרה השגויה.

תרגיל 5-25

תכנון Off delay timer באמצעות PLC.

נדרש לתכנן מערכת PLC שמפיקה את האות Y1, לפי התרשים הבא :



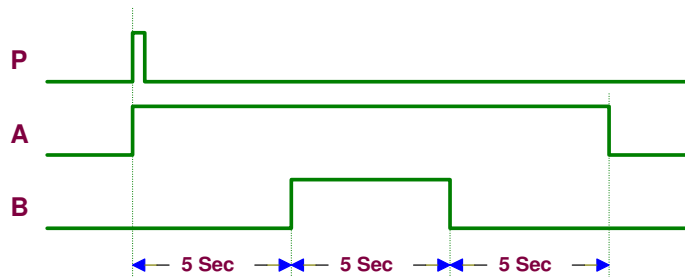
הסבר

- א. כל עוד $X1=0$, גם $Y1=0$.
- ב. כאשר $X1$ עולה ל-1, גם $Y1$ עולה ל-1.
- ג. כאשר $X1$ חוזר ל-0, $Y1$ נשאר במצב "1" 20 שניות נוספות, ואז חוזר ל-0.

תכנן את דיאגרמת הסולם המתאימה, ורשום את התכנית ל-PLC.

תרגיל 5-26

מערכת קולטת פולס P ומפעילה שתי נוריות A ו-B לפי הציור הבא :



נדרש לממש את המערכת באמצעות PLC.

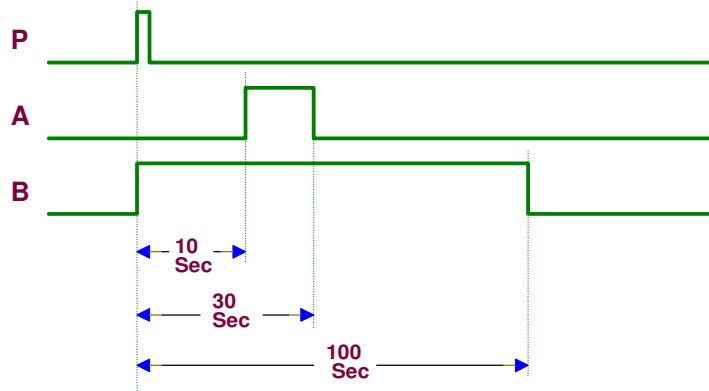
תכנן את דיאגרמת הסולם המתאימה, ורשום את התכנית ל-PLC.

הערה : הסדרה מתחילה כאשר האות P עובר מצב "0" למצב "1", והיא אינה תלויה ואינה מושפעת ממשך הפולס.

- א. תכנן את דיאגרמת הסולם המתאימה, ורשום את התכנית ל-PLC, בהנחה שהמרחק בין שני פולסים עוקבים עולה על 15 שניות.
- ב. תכנן מחדש את המערכת בהנחה שיתכן שיופיעו שני פולסים רצופים גם במרווח קטן מ-15 שניות. במדה ומופיע פולס חדש לפני סיומה של סדרה קיימת, הסדרה נפסקת מיד ומתחילה סדרה חדשה.

תרגיל 5-27

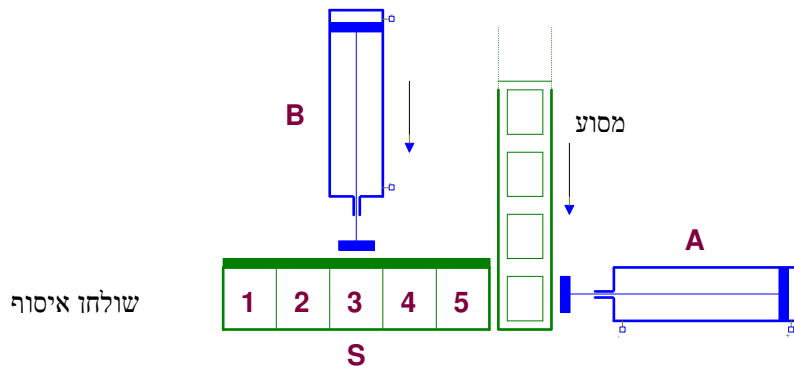
מערכת קולטת פולס P ומפעילה שתי נוריות A ו-B לפי הציור הבא :



תכנן את דיאגרמת הסולם המתאימה, ורשום את התכנית ל-PLC.

תרגיל 5-28

במערכת לאריזה אוטומטית (ראה הציור הבא) קופסאות מגיעות על מסוע. כאשר קופסה מגיעה לקצה המסוע, הבוכנה של צילינדר A דוחפת אותה אל שולחן האיסוף S. כאשר התאספו 5 קופסאות על שולחן האיסוף, הבוכנה של צילינדר B דוחפת אותן (להתקן האריזה) בכיוון החץ המצויר. לאחר מכן צילינדר B חוזר, והמחזור מתחיל מחדש.



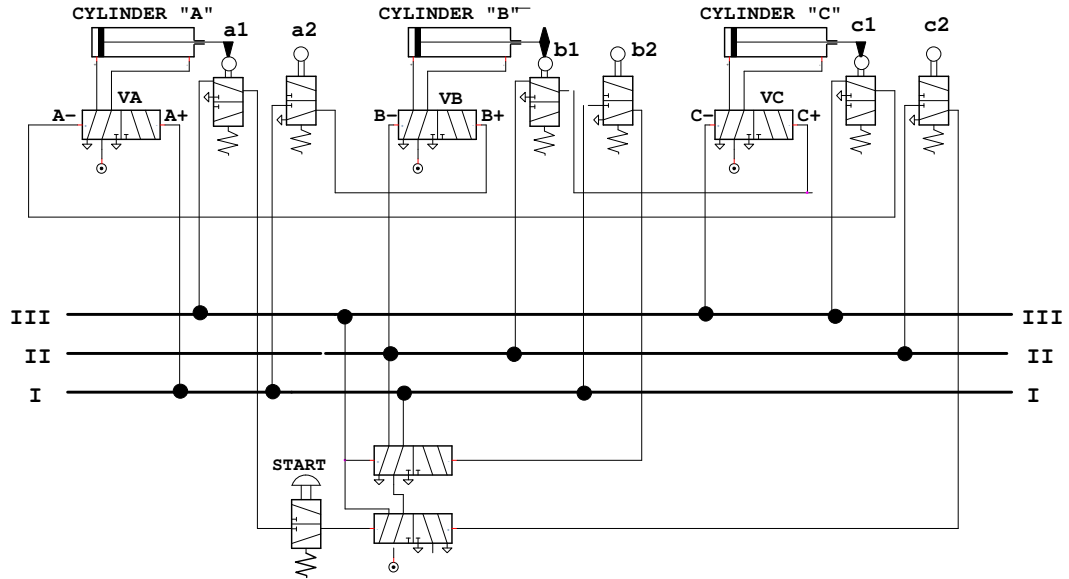
- א. הוסף חיישנים למיניהם לפי הצורך, וכן שסתומי הפעלה לשני הצילינדרים.
- ב. תכנן את דיאגרמת הסולם המתאימה, ורשום את התכנית ל-PLC.

גליון תרגילים 6 – מערכות בקרה פניאומטיות

הנחיה : כל תרגילי הסדרות מתייחסים לצילינדרים בעלי שסתומי הפעלה ללא קפיץ מחזיר.

תרגיל 6-1

להלן שרטוט של מערכת קסקדה פניאומטית.



- (א) מהו המחזור המתקבל מהמערכת עקב לחיצה קצרה על השסתום START ?
(ב) מה קורה עקב לחיצה ממושכת על השסתום START ?

תרגיל 6-2

צייר מעגל פניאומטי בשיטת הקסקדה הפניאומטית, לסדרה המוגדרת בתרגיל 2-1.

תרגיל 6-3

צייר מעגל פניאומטי בשיטת הקסקדה הפניאומטית, לסדרה המוגדרת בתרגיל 2-4.

תרגיל 6-4

צייר מעגל פניאומטי בשיטת הקסקדה הפניאומטית, לסדרה המוגדרת בתרגיל 2-5.
הערה : העזר ב-Timer לפי ציור 8-6.

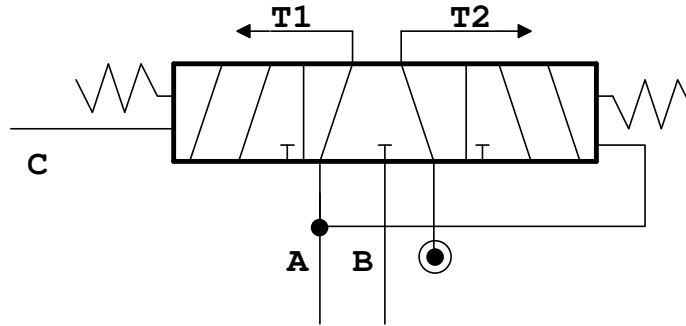
תרגיל 6-5

פתח את הפונקציות :

$$T1 = f1(A,B,C)$$

$$T2 = f2(A,B,C)$$

עבור השסתום המצויר להלן :



תרגיל 6-6

פתרון של בעיה מסוימת מביא לביטויים הלוגיים הבאים (4 קווי קלט, 4 קווי פלט, 2 יחידות זכרון) :

$$S1 = X2.Y2'$$

$$R1 = X1'.X4$$

$$S2 = X2+Y1$$

$$R2 = X4+Y1'$$

$$T1 = X2.Y2+X3.Y2'$$

$$T2 = X4+X1'$$

$$T3 = X1+X3$$

$$T4 = X1.X3+X2.X3'$$

המשתנים $X1$ עד $X4$ הם אותות הקלט של המערכת.
המשתנים $Y1$ ו- $Y2$ הם משתני המצב (יחידות הזכרון של המערכת).

נדרש לממש את המערכת באמצעות שסתומים. מותר לך לבחור בכל סוג שסתום לפי רצונך, אך מספר השסתומים חייב להיות קטן ככל האפשר.

צייר את דיאגרמת המערכת. העזר בטבלאות של דפי ההרצאה.

גליון תרגילים 7 – מונים מתוכנתים

הנחייה

בכל התרגילים הקשורים למונה מתוכנת, צייר כל מודול בצורה סכימטית – מלבן ללא החיבורים הפנימיים שלו. יש לצייר תוספות מסוג שערים ו/או יחידות זכרון, שאינם כלולים במודולים.

תרגיל 7-1

נדרש להפעיל את המחזור הבא ע"י מפסק (תוף) צועד :

$$\text{START}, \begin{pmatrix} B+ \\ A+ \end{pmatrix}, B-, C+, D+, C-, \begin{pmatrix} B+ \\ D- \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} A- \\ B- \end{pmatrix}$$

- (א) כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל שני סולנואידים, ללא קפיץ מחזיר.
(ב) כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל סולנואיד יחיד, עם קפיץ מחזיר.

צייר את הטבלה עבור כל מקרה.

תרגיל 7-2

ממש את הסדרה המוגדרת בתרגיל 7-1, באמצעות מונה מתוכנת מסוג $1/n$:

- (א) כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל שני סולנואידים, ללא קפיץ מחזיר.
(ב) כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל סולנואיד יחיד, עם קפיץ מחזיר.

תרגיל 7-3

ממש את הסדרה המוגדרת בתרגיל 7-1, באמצעות מונה מתוכנת מסוג $2/n$:

- (א) כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל שני סולנואידים, ללא קפיץ מחזיר.
(ב) כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל סולנואיד יחיד, עם קפיץ מחזיר.

תרגיל 7-4

ממש את הסדרה הבאה, באמצעות מונה מתוכנת מסוג $1/n$ (שני מסלולים במקביל) :

$$\text{START}, A+, A-, \begin{pmatrix} B+ \\ A+ \end{pmatrix}, B-, A-$$

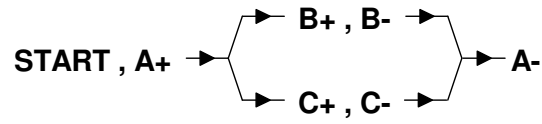
- (א) כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל שני סולנואידים, ללא קפיץ מחזיר.
(ב) כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל סולנואיד יחיד, עם קפיץ מחזיר.

תרגיל 7-5

ממש את הסדרה המוגדרת בתרגיל 7-4, באמצעות מונה מתוכנת מסוג $2/n$, כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל סולנואיד יחיד, עם קפיץ מחזיר.

7-6 תרגיל

ממש את הסדרה הבאה, באמצעות מונה מתוכנת מסוג $1/n$:
(הסדרה מכילה שני מסלולים הפועלים במקביל).



- (א) כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל שני סולנואידים, ללא קפיץ מחזיר.
- (ב) כאשר כל צילינדר מופעל ע"י שסתום בעל סולנואיד יחיד, עם קפיץ מחזיר.

7-7 תרגיל

ממש את הסדרה של תרגיל 7-6, באמצעות מונה מתוכנת מסוג $2/n$.

גליון תרגילים 8 – רכיבים ומערכות שונות



תרגיל 8-1

תכנן מערכת שקולטת סדרה רצופה (אינסופית) של פולסים (האות P) ומתג הפעלה X.

במצב רגיל פלט המערכת $T=0$, אך בכל פעם שמזינים את X בפולס קצר, המערכת פולטת 9 פולסים רצופים, וחוזרת למצב המנוחה.

תרגיל 8-2

שנה את המונה הבינרי "Up" שבציור 8-12a שבדפי ההרצאות, על מנת שיפעל כשעון עצר אלקטרוני. המונה קולט סדרה רצופה (אינסופית) של פולסים מאוסצילטור חיצוני, והמנייה נשלטת ע"י מתג הפעלה S:

במצב ההתחלה המונה נמצא במצב מנוחה, ומצב יחידות הפליפ-פלוף שלו אינו מוגדר. הפעלה ראשונה של המתג X מאפסת את המונה, ושחרור המתג גורם להתחלת המנייה. הפעלה שנייה של המתג עוצרת את המונה במצבו הנוכחי, ושחרורו משאיר את המונה במצב זה. הפעלה שלישית זהה לראשונה, הפעלה רביעית זהה לשנייה, וחוזר חלילה.

המונה חייב להיות מסוגל לספירה עד 10 שניות (הנח שהפרשי הזמן בין ההפעלה לבין העצירה קטנים מ-10 שניות), ולתת תוצאה בדיוק של 0.5 שניה.

הנח שלמונה יש כניסה נוספת (שאינה מופיעה בציור 8-12a), שמאפסת את המונה כאשר היא מוזנת ב-1. כניסה זו תסומן כ-Clear.

קבע את תדירות האוסצילטור, ותכנן וצייר את המערכת.

תרגיל 8-3

במערכות לבקרה נומרית (NC) משתמשים במנוע צעד (Step Motor) לכל ציר. מונה צעד מופעל, כידוע, ע"י סדרות פולסים. בכל פעם שמנוע הצעד מקבל פקודה לנוע, נעשית הפעולה בצורה הדרגתית מבחינת המהירות: התחלה איטית, אח"כ מעבר למהירות גבוהה, וחזרה למהירות איטית לפני העצירה. הערה: שיטה זו מקובלת גם במעליות, וכך גם פועלים כלי הרכב.

נדרש לתכנן ולצייר מערכת לוגית שקולטת סדרה רצופה (אינסופית) של פולסים מאוסצילטור חיצוני, ונשלטת ע"י מתג START. בכל פעם שמפעילים המתג, מספקת המערכת את סדרת הפולסים הבאה:

- 2 פולסים איטיים
- 7 פולסים מהירים
- 2 פולסים איטיים

הנח שמרחק הזמן בין שני פולסים איטיים עוקבים ארוך פי 2 מזה של שני פולסים מהירים. לרשותך אוסצילטור שמספק פולסים בקצב קבוע, ואלמנטים לוגיים לפי הצורך.

א. צייר את דיאגרמת התנועה, לביקורת.

ב. תכנן וצייר את המערכת.

תרגיל 8-4

תכנון מונה בינרי לספירה מ-1 עד 9, לפי הקוד המחזורי המוגדר בציור **8-20d** שבחוברת ההרצאות.

- (א) תכנון מונה שפועל לפי הקוד המחזורי הנ"ל (כרגיל "מתקדם" עם כל פולס שניתן בקלט שלו).
(ב) תכנון מערכת להמרת מספרים בינריים (בתחום **0-9**) מהקוד הבינרי הטבעי **8-4-2-1**, לקוד המחזורי שצויין בתחילת התרגיל. הקלט הוא הוקטור **X₀ X₁ X₂ X₃**, והפלט הוא **Z₀ Z₁ Z₂ Z₃**.
מגבלה לסעיף ב' : לרשותך שערי **NOR** בלבד.

תרגיל 8-5

תכנון מערכת להמרת ספרה עשרונית מקוד **2-out-of-5** (ציור **8-24b**), לקוד **BCD** שמוגדר בציור **8-24a**.

גליון תרגילים 9 – מערכות איטרטיביות

הנחיות לתרגילים

כל תרגיל יהיה בנוי מהשלבים הבאים :

- א. קביעת המשתנים של התא הכללי
- ב. קביעת מצבי המערכת, והמשמעות המילולית של כל מצב.
- הערה : במדה וקיימים יותר מ-2 מצבים, יש להקצות לכל מצב קו נפרד.
- ג. תזרים התא הכללי
- ד. טבלת הזרימה של התא הכללי
- ה. פונקציות התא הכללי
- ו. מימוש התא הכללי באמצעות שערים אלקטרוניים – מינימום שערים
- ז. מימוש התא הכללי באמצעות שערים אלקטרוניים – מינימום שבבים

הערות

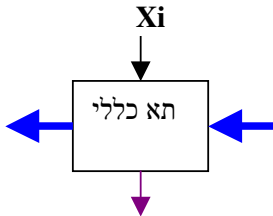
1. בוקטור שמייצג מספר בינרי, X_0 מייצג את הספרה הנמוכה, ו- X_n מייצג את הספרה הגבוהה.
2. לרשותך השערים הבאים : XOR , NOR , OR , $NAND$, AND בעלי 2 ו-3 כניסות, וכן שערי NOT (כניסה אחת).
3. בהתאם לשרטוטים שבתחילת פרק 4, הנח ששבב מכיל :
 - * 4 שערים בעלי 2 כניסות
 - * או 3 שערים בעלי 3 כניסות
 - * או 6 שערים בעלי כניסה אחת
4. בכל התרגילים נדרש לפתור את הבעיות באמצעות מערכות איטרטיביות.

תרגיל 9-1

מערכת לזיהוי זוגיות.

כדי להעלות את האמינות והבדיקות של מערכות מעבירים אינפורמציה באמצעות וקטורי $X_0 - X_n$, כאשר מספר ה"1" הוא תמיד זוגי. וקטור שגוי הוא וקטור בו לא מתקיימת הזוגיות.

(1) **תכנון מערכת** לזיהוי וקטורים שגויים, כאשר פלט "1" פירושו שגוי.

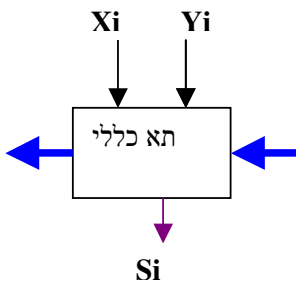


תרגיל 9-2

מסכם בינרי.

תהליך הסיכום של מספרים בינריים מבוצע באותה שיטה בה אנו מסכמים מספרים עשרוניים. בכל שלב מתבצע סיכום של 2 ספרות בלבד $(X_i + Y_i)$, וכן הוספת נשא (carry) מהסיכום הקודם, וייצור נשא לדרגת הסיכום הבאה.

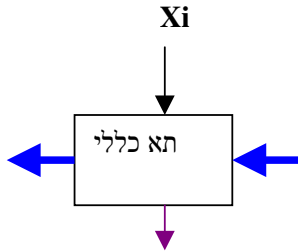
(1) **תכנון מערכת** שקולטת שני וקטורים בינריים - $X_0 - X_n$ ווקטור $Y_0 - Y_n$, ופולטת את וקטור הסיכום $S_0 - S_n$.



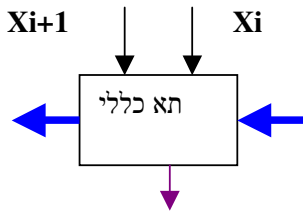
תרגיל 9-3

זיהוי קוד.

קוד מסוים בנוי מהסדרה הבאה (משמאל לימין) : 1011.
על מנת להקשות על זיהוי הקוד ע"י גורמים בלתי רצויים,
משדרים אותו בתוך וקטור ארוך, כאשר הסדרה נמצאת
במקום כלשהו בוקטור.



נדרש לתכנן מערכת לזיהוי הקוד הנ"ל בתוך וקטור באורך n ,
כאשר פלט "1" פרושו שזוהה הקוד.
הנח שמתקיים $n > 4$.

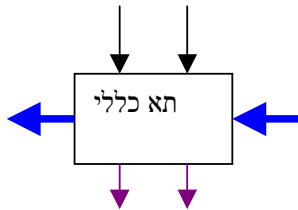


- (1) תכנן מערכת בה התא הכללי קולט סיבית אחת בלבד.
- (2) תכנן מערכת בה התא הכללי קולט 2 סיביות רציפות.
- (3) מי מהפתרונות עדיף מבחינת צמצום שערים/שבבים,
ובכמה יחידות מתבטא הצמצום?

תרגיל 9-4

משווא בינרי (קומפרטור).

מערכת קולטת שני מספרים בייצוג בינרי (כ"א באורך n), ובודקת
מי גדול ממי. התוצאה מופקת ע"י 2 קוי פלט - Z_1, Z_2 , בהתאם
לקוד הבא :



- 10 פירושו $X < Y$
- 01 פירושו $X > Y$
- 00 פירושו מספרים זהים

נדרש לתכנן מערכת שקולטת שני וקטורים בינריים - $X_n - X_0$ ווקטור
 $Y_n - Y_0$, משווא ביניהם ופולטת את התוצאה בהתאם להגדרה בתרגיל :

- (1) תכנן מערכת בה ההשוואה נעשית החל מהסיביות ה"נמוכות".
- (2) תכנן מערכת בה ההשוואה נעשית החל מהסיביות ה"גבוהות".

תרגיל 9-5

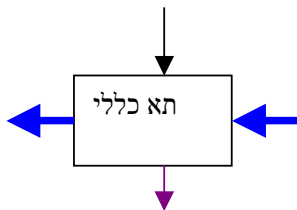
רחובות העיר מוארים ע"י סדרת עמודי תאורה.
מפעם לפעם "נשרפת" מנורה ונדרש להחליפה.

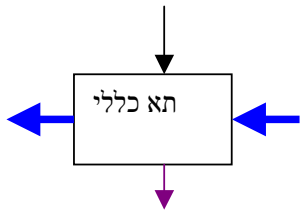
מטעמי חסכון בהוצאות הוחלט לשלוח צוות תיקון רק אם לפחות 3
מנורות סמוכות התקלקלו, מאחר וזה גורם לאזור חשוך גדול מדי.

כל מנורה מצויידת בחיישן ששולח אות "1" כאשר היא מקולקלת.
החיישנים קשורים אל מערכת הבקרה באמצעות וקטור, שסיפורו
נעשה לפי סדר המיקום של המנורות.

- (1) תכנן מערכת שתתן אות אתראה במקרה שדורש צוות תיקון.

הערה : שים לב ! המערכת מתריעה על צורך בתיקון, אך אינה מוסרת מידע על מיקום התקלה.





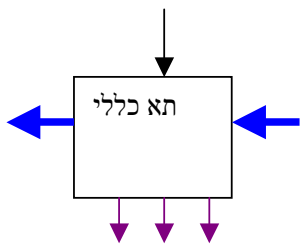
תרגיל 9-6

בדיוני הנהלה הוחלט לאשר הצעות בתנאי שלפחות 5 נציגים יתמכו בהן בשלב ההצבעה. ההצבעה נעשית ע"י הפעלת מתג אישי, והתוצאה מגיעה אל יושב הראש.

במקור היה כל מתג קשור אל נורה, ויושב הראש היה צריך למנות את מספר הנורות הדלוקות.

על מנת לחסוך ליושב הראש את ספירת הקולות, חוברו החיישנים אל מערכת בקרה, וזו אמורה לשלוח ליושב הראש את תוצאת ההצבעה – כן/לא - באמצעות נורה אחת.

(1) תכנן מערכת שתפעיל את הנורה בכל מקרה שההצבעה אישרה את ההצעה.



תרגיל 9-7

מערכת השקייה בנויה משרשרת ממטרות לאורך אזור ההשקייה. מטעמי חסכון הוחלט להשקות ע"י שימוש במחצית הממטרות לסירוגין, כאשר בין כל 2 ממטרות פעילות נמצאת ממטרה לא פעילה, ובין כל 2 ממטרות לא פעילות נמצאת ממטרה פעילה. השליטה על הפעלת הממטרות נעשית ע"י מקור בלתי תלוי שאינו קשור לתרגיל.

כל ממטרה מצוידת בחיישן שמפיק אות "1" כאשר היא פעילה, ואות "0" כאשר אינה פעילה. האותות מחוברים אל מערכת בקרה ע"י וקטור, שמיספור אבריו נעשה לפי הסדר בו ממוקמות הממטרות.

נדרש לתכנן מערכת שקולטת את הוקטור ומפיקה 3 אותות פלט, לפי :

- פלט 1 מסמן מצב תקלה, כלומר זוהו לפחות 2 ממטרות סמוכות פעילות ו/או לא פעילות
- פלט 2 מסמן שכל הממטרות פעילות
- פלט 3 מסמן שכל הממטרות אינן פעילות

הערה : שים לב שבמקרים שקיים פלט 2 או פלט 3, גם פלט 1 קיים (חפיפה).

(1) תכנן את מערכת הבקרה הנדרשת.

גליון תרגילים 10 – מפות קרנו מרובות משתנים

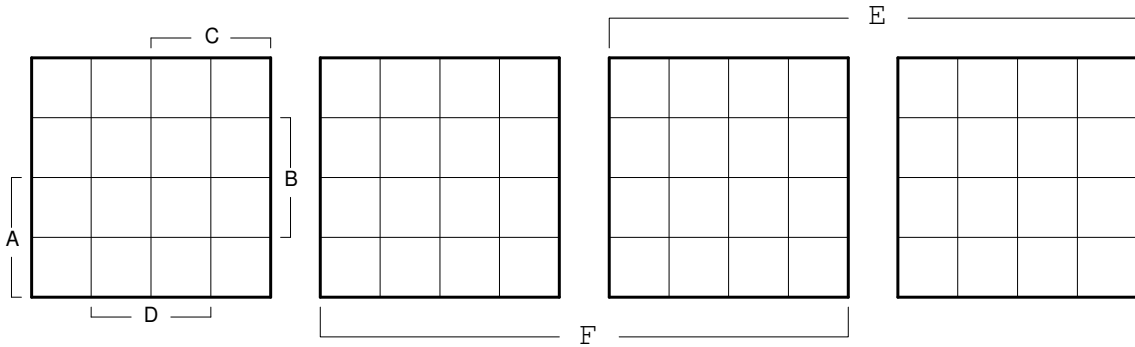
הנחיות לתרגילים 10-1 עד 10-6 (מפות קרנו מרובות משתנים)

- א. השתמש במפת קרנו המודפסת, או במפה מצוירת לפי **אותה** הקציית משתנים.
 ב. השתמש בסימון הבא :
1 : צירוף ששייך לפונקציה
 - : צירוף ברירה (don't care)
משבצת ריקה : צירוף שאינו שייך לפונקציה ("אפסים" של הפונקציה)
 ג. סמן במפה את התאים (המכסימליים) שבחרת עבור הפונקציה המצומצמת, וציין ליד כל אחד מספר סידורי.
 ד. רשום את הפונקציה המצומצמת בפורמט "סכום מכפלות (מינימלי)", וסמן ליד כל ביטוי את מספרו הסידורי של התא אותו הוא מייצג.
 ה. הדגש ע"י קו תחתון כל ביטוי שמייצג תא עיקרי, וסמן ע"י * את המשבצות היחודיות.

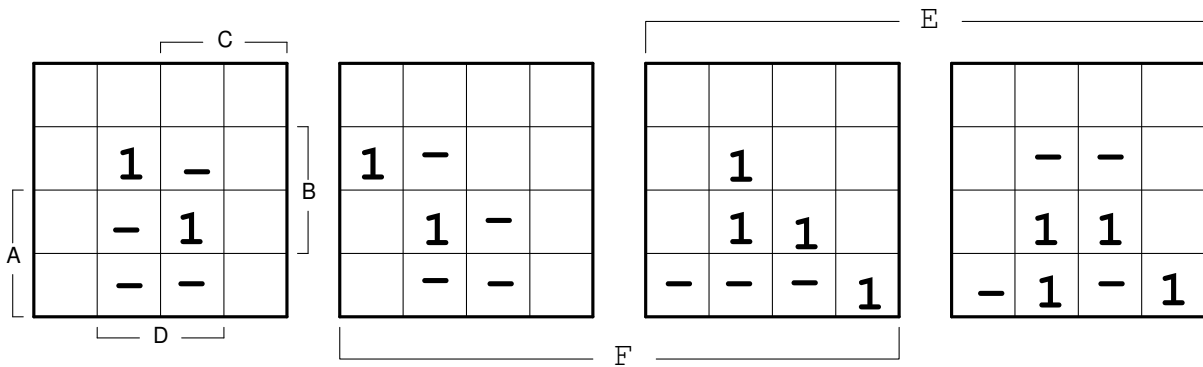
10-1 תרגיל

$$T = A'B'C'D' + AB'CD' + ABCDE + ABC'D'F$$

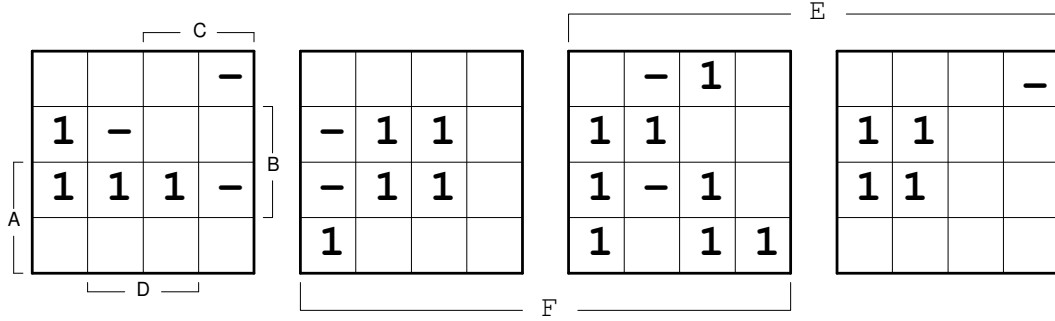
Don't care combinations : $AB'C'D'$, $ABC'D$, $A'BCD$, $A'B'CD'$



10-2 תרגיל



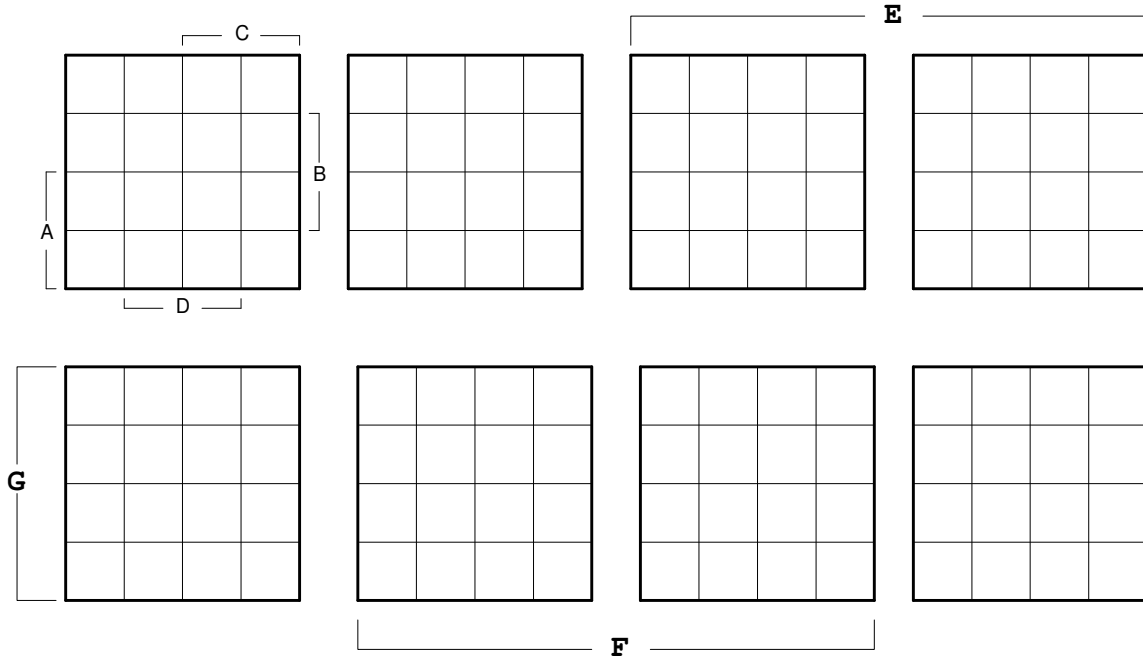
10-3 תרגיל



10-4 תרגיל

$$T = BCDE + CDEF + DEFG + C'D'E'F' + D'E'F'G' + BCDE'F' + ABCD'EFG$$

כאשר המצב $CD'E'G = 1$ הוא בלתי אפשרי..

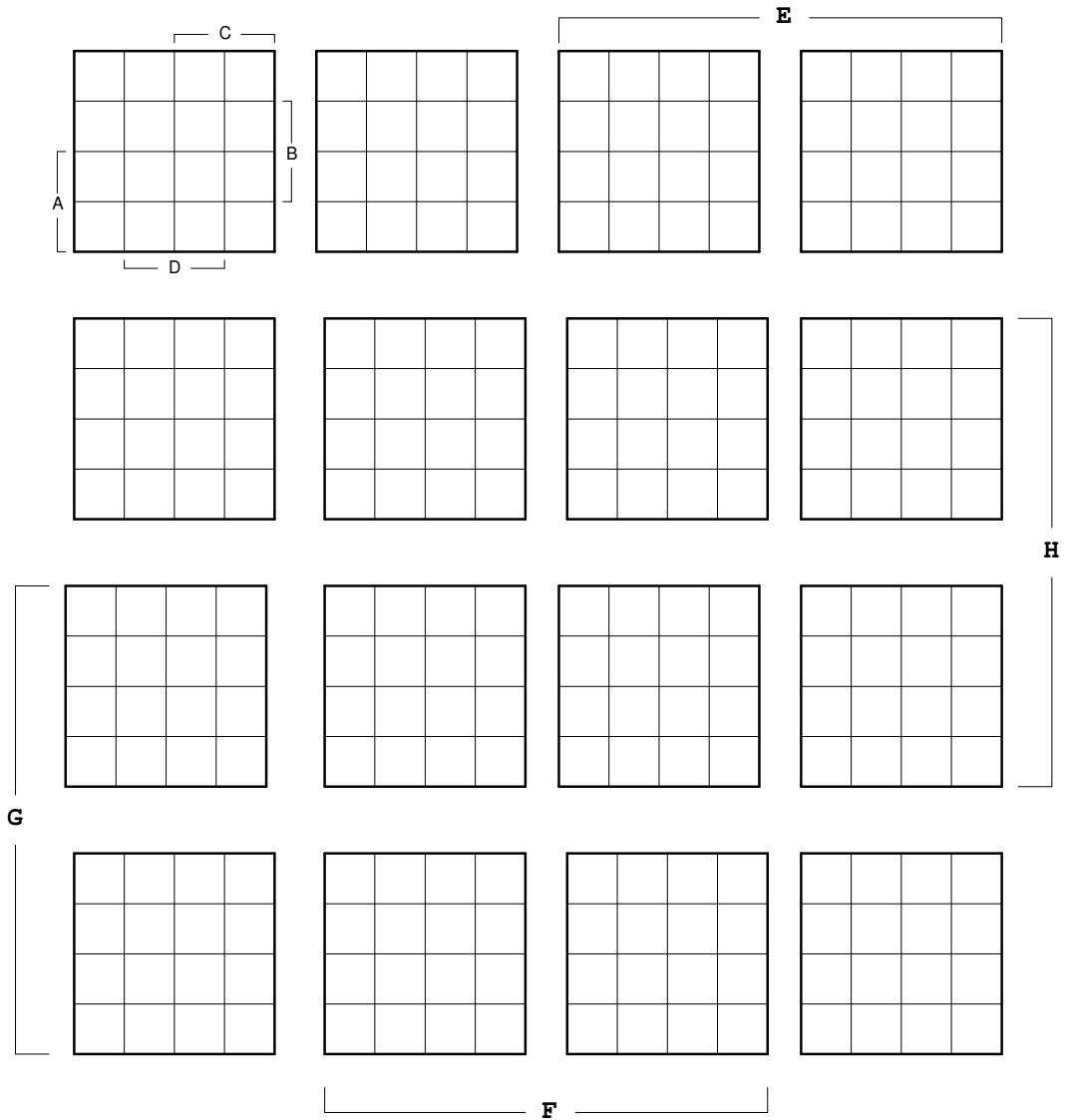


10-5 תרגיל

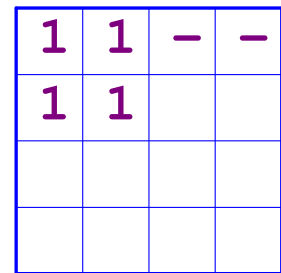
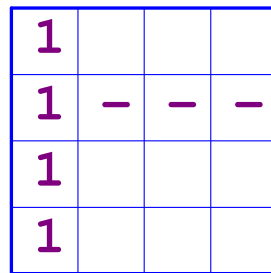
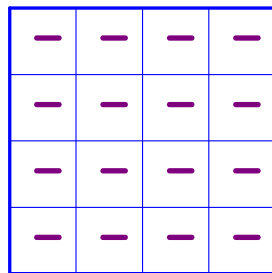
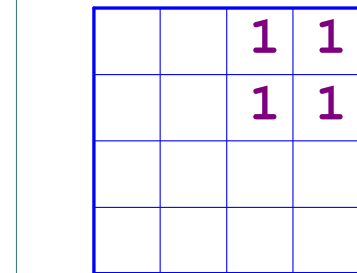
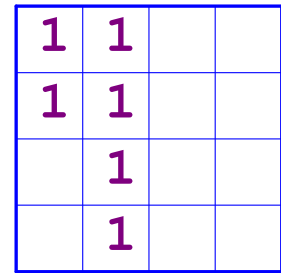
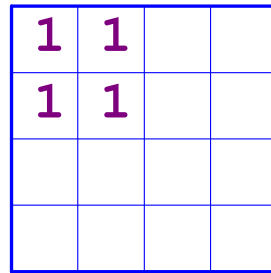
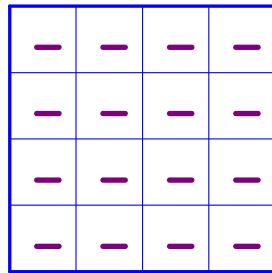
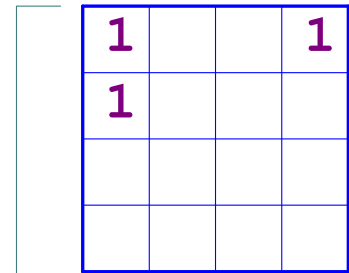
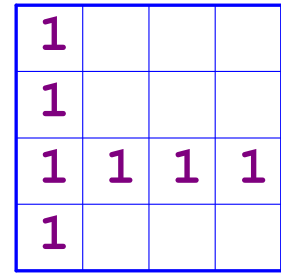
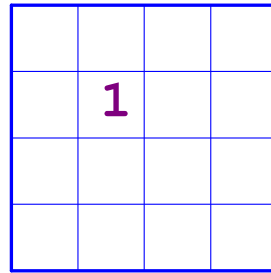
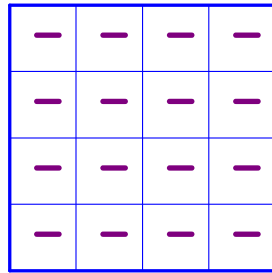
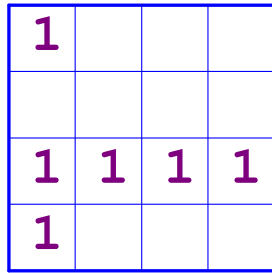
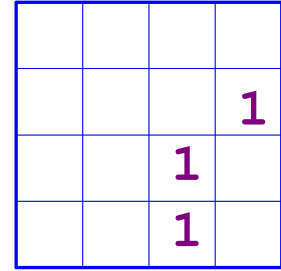
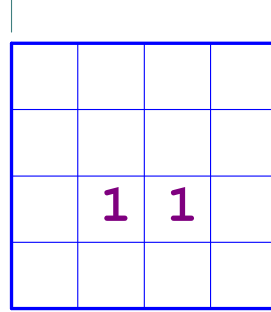
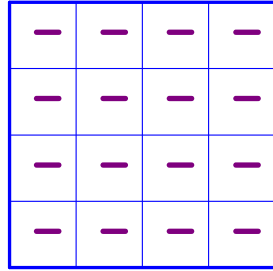
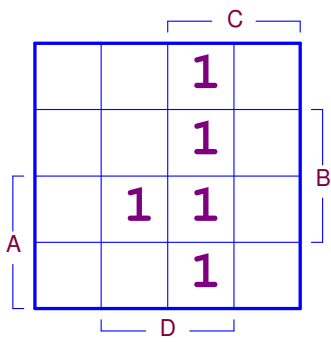
$$T = AC'EFH' + ACEFG'H' + AC'DEF'H' + A'BDE'G' + A'B'CD'EFG'H' + ABCDE'FG'H$$

כאשר המצבים הבאים הם בלתי אפשריים :

$$B'CD'FGH' = 1 , CDGH = 1 , E'F'GH' = 1$$



תרגיל 10-6



G

H

F

המשך גיליון תרגילים 10 – מפת קרנו Pseudo

הנחיות לתרגילים

- א. את המערכות הבאות יש לתכנן בשימוש בשיטת הופמן (Huffman), כאשר לכל מצב פנימי מוקצה פליפ-פלופ נפרד (פרט למקרה של מערכת בת שני מצבים פנימיים בלבד).
- ב. בכל התרגילים מופעלים הצילינדרים באמצעות שסתומים בעלי שני סולנואידים, ללא קפיץ מחזור.
- ג. בכל התרגילים יש להשתמש במפות קרנו מסוג Pseudo.
- ד. הפתרון של כל תרגיל יהיה מורכב מהסעיפים ה' עד י', אלא אם בהרצאה צויין אחרת.
- ה. טבלת זרימה פרימיטיבית (אין צורך לרשום את תזרים התהליך).
- ו. דיאגרמת מיזוג, רישום אפשרויות המיזוג המינימלי, וציון האפשרות שנבחרה למימוש.
- ז. טבלת הזרימה הממוזגת, והקציית יחידות זכרון למצבים הפנימיים שבטבלה.
- ח. רישום פונקציות הפיקוד ליחידות הזכרון (Set, Reset).
- ט. רישום מפת/מפות הפלט, כולל גם את מצבי המעבר, ורישום פונקציות/פונקציות הפלט.
- י. מימוש באמצעות מערכת מימסרים (ציור המערכת).

- 10-7 : **START, A+, A-, A+, A-, A+, A-**
- 10-8 : **START, A+, B+, B-, A-**
- 10-9 : **START, A+, $\left(\begin{matrix} B+ \\ A- \end{matrix} \right)$, B-**
- 10-10 : **START, A+, B+, B-, A-**
- 10-11 : **START, D+, D-, E+, F+, E-, F-**
- 10-12 : **START, A+, A-, $\left(\begin{matrix} B+ \\ A+ \end{matrix} \right)$, A-, B-, B+, B-**
- 10-13 : **START, A+, B+, B-, C+, B+, A-, A+, A-, B-, C-**
- 10-14 : **START, A+, B+, A-, B-, $\left(\begin{matrix} B+ \\ A+ \end{matrix} \right)$, A-, B-**
- 10-15 : **START, A+, A-, $\left(\begin{matrix} B+ \\ A+ \end{matrix} \right)$, B-, A-**

גליון תרגילים 11 – שיטת טבלת הזרימה הפניאומטית

11-1 תרגיל

צייר מעגל פניאומטי בשיטת "טבלת הזרימה הפניאומטית", לסדרה המוגדרת בתרגיל 2-4 .

11-2 תרגיל

צייר מעגל פניאומטי בשיטת "טבלת הזרימה הפניאומטית", למימוש המחזור הבא :

$$\text{START , A+ , B+ , A- , A+ , B- , A- , } \begin{pmatrix} \text{A+} \\ \text{B+} \end{pmatrix} , \begin{pmatrix} \text{A-} \\ \text{B-} \end{pmatrix}$$

11-3 תרגיל

צייר מעגל פניאומטי בשיטת "טבלת הזרימה הפניאומטית", למימוש המחזור הבא :

$$\text{START , A+ , B+ , A- , B- , } \begin{pmatrix} \text{A+} \\ \text{B+} \end{pmatrix} , \text{ A- , B-}$$

11-4 תרגיל

נתון המחזור הבא :

$$\text{START , A+ , B+ , C+ , C- , D+ , D- , C+ , C- , E+ , E- , B- , A-}$$

- (א) רשום את טבלת הזרימה הפניאומטית, ופשט את הצירופים של אותות הכניסה.
(ב) פתור את הבעיה בשיטת "טבלת הזרימה הפניאומטית", וצייר את מעגל הפיקוד.

גליון תרגילים 14 – שיטת GRAFCET

14-1 תרגיל

צייר דיאגרמת GRAFCET עבור המערכת המוגדרת בציור 6.1 שבחוברת ההרצאות.

14-2 תרגיל

צייר דיאגרמת GRAFCET עבור המערכת המוגדרת בציור 6.3 שבחוברת ההרצאות.

גליון תרגילים 15 – ידע כללי

הנחיות לתרגילים

בכל אחד מהתרגילים הבאים, פשט את שלושת הנושאים הבאים שהיית ממליץ עליהם, על מנת להשיג מערכת בעלות נמוכה, אך עם זאת גם להשיג נוחות בשימוש. הנושאים הם :

- א. סוג הצידוד עבור מערכת הפיקוד
- ב. שיטת התכנון של המערכת
- ג. סוג החיישנים הנדרש, ומספרם

רשום את הנימוקים להמלצתך, אך לא יותר מ-50 מילים עבור כל מערכת. מותר לך להיעזר בציורים ובכל חומר אחר הנמצא בדפי ההרצאות. במדה וחסרה לך אינפורמציה, מותר לך להניח כל הנחה סבירה, עם ציון ברור של ההנחה.

תרגיל 15-1

מערכת בעלת שלושה צילינדרים D,E,F מבצעת את המחזור הבא :

START , D+ , D- , E+ , F+ ,E- , F-

המערכת פועלת בצורה סינכרונית, בקצב של פעולה אחת כל 30 שניות.

תרגיל 15-2

מערכת בעלת ששה צילינדרים A,B,C,D,E,F מבצעת מחזור ארוך, בו כל צילינדר מופעל מספר פעמים במשך המחזור.

תרגיל 15-3

המערכת שהוגדרה בתרגיל 15-2 פועלת במפעל לייצור חומרי נפץ.