

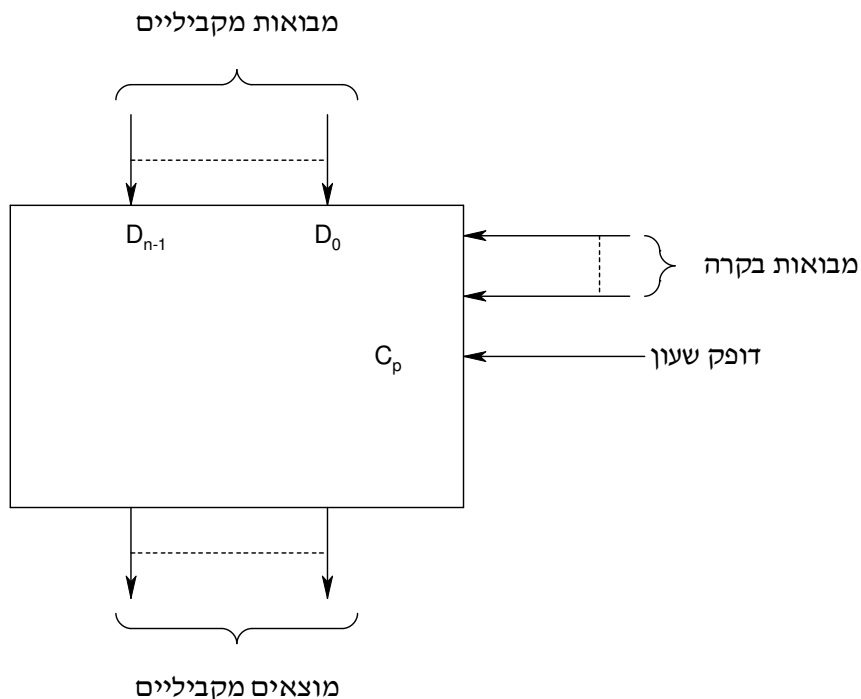
פרק 13

מונים .

13.1 הקדמה . היכולת למנות קיימת במערכות ספרתיות רבות. השעון הספרתי הוא דוגמא למערכת ספרתית כזאת. שעון כזה מסוגל למנות שניות, דקות ושעות.

הגדרה : מונה (ספרתי) COUNTER הוא מערכת ספרתית, המסוגלת למנות את מספרי דפקי השעון המוזנים למבוא דופק השעון, ולהפיק במוצאיה מספר זה בצופן ספרתי (בדרך כלל – בינארי).

סימול לוגי של מונה מופיע באיור הבא. למונה זה n מבואות מקביליים $D_{n-1}...D_0$, שדרכם ניתן לטעון למונה מצב התחלתי מסוים.

סיווג מונים .

למונה עשויים להיות מספר מבואות בקרה, שעל חלקם כבר למדנו בעבר. דוגמאות למבואות בקרה :

- מבוא טעינה (Load) – מאפשר לטעון אל המונה את הנתון $D_{n-1}...D_0$ שבמבואותיו.
- מבוא איפוס (Clear) – לאיפוס המונה.
- מבוא המאפשר ספירה (COUNT ENABLE) – כאשר מבוא זה פעיל, יספור המונה את דפקי השעון (C_p); כאשר מבוא אינו פעיל, ישמור המונה על מצבו.

מצבו של המונה מוצג במוצאיו $Q_{n-1}...Q_0$.

לפי המבנה הפנימי, ניתן לחלק את המונים לשני סוגים עיקריים. כל אחד ממונים אלה מורכב ממספר דלגלים.

- א. מונה סינכרוני – במונה זה מחובר דופק השעון לכל מבואות השעון של הדלגלים.
- ב. מונה אסינכרוני – במונה אסינכרוני קיים לפחות דלגל אחד, אשר מבוא השעון שלו אינו מחובר ישירות לדופק השעון.

בנוסף לחלוקת המונים לשני סוגים (סינכרוניים ואסינכרוניים), קיימות חלוקות נוספות של המונים, בהתאם לתכונותיהם. מרבית המונים שנכיר, הם **מונים מחזוריים**. נתבונן, למשל, באופן המנייה של השעון הספרתי: מונה השניות, למשל, מונה מ-0 עד 59 שניות, ובמנייה הבאה ערכו מתאפס, וחוזר חלילה. מחזור המנייה של מונה השניות בשעון הוא אפוא 60. לעומת זאת, מונה השעות מונה מ-0 עד 23, ולאחר מכן הוא מתאפס. מחזור המנייה שלו הוא 24.

מונה החוזר למצבו ההתחלתי לאחר כל N מניות, נקרא **מונה מחזורי מודולו N** או **מונה מודולו N** . מונה השניות הוא אפוא **מונה מודולו 60**, ואילו מונה השעות הוא **מונה מודולו 24**.

המונים מודולו N הפשוטים ביותר למימוש, הם אלה שמחזור המנייה שלהם הוא חזקה של 2 (כמו 2, 4, 8, 16 וכדומה), כלומר: $N = 2^K$; $K = 1, 2, 3, \dots$.

עם זאת, נפוצים גם מונים בעלי מחזורי מניה אחרים, למשל מונה עשרוני (10).

מונה הסופר כלפי מעלה, נקרא **מונה מעלה** ומונה הסופר כלפי מטה, נקרא **מונה מטה**.

עד כה עסקנו בהגדרת מונים. בסעיפים הבאים נלמד את המבנה ואופן הפעולה של המונים השונים ..

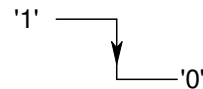
13.2 מונה אסינכרוני .

כללי :

מונה אסינכרוני הממומש באמצעות חיבור דלגלי T המדורבנים במעבר (שעון שלהם פעיל במעבר) נקרא מונה גלי. אנו נשתמש בדלגל JK כאשר מחברים את הכניסות J ו-K ביחד. לאחר חיבור זה הדלגל מתפקד כדלגל מסוג T.

13.2.1 מונה מעלה .

מטרה : תכנון מונה מעלה הסופר בצורה בינרית באמצעות דלגלים מסוג T שבהם $T = 1$. (תזכורת כאשר $T = 1$ הדלגל הופך מצב עם כל אות שעון).
על מנת להבין את שיטת התכנון הכללית עבור מונה מעלה, נתכן לדוגמה מונה מעלה מודולו 8, ומתכנון זה נוכל להסיק על תכנון בצורה כללית.
דוגמה : תכנן מונה בינרי מעלה מודולו 8 באמצעות דלגלים מסוג T, כאשר הדלגל פעיל בירידת שעון :



פתרון : המונה הנדרש מונה מ-0 עד 7 וחוזר חלילה.

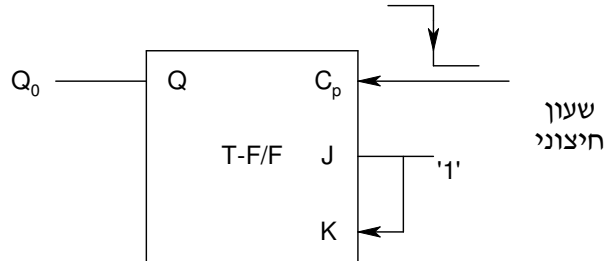
בצורה בינרית צריך 3 סיביות לערך המניה, נסמן: Q_2, Q_1, Q_0 . לכל סיבית ידרש דלגל אחד.

ננתח את צורת הספירה :

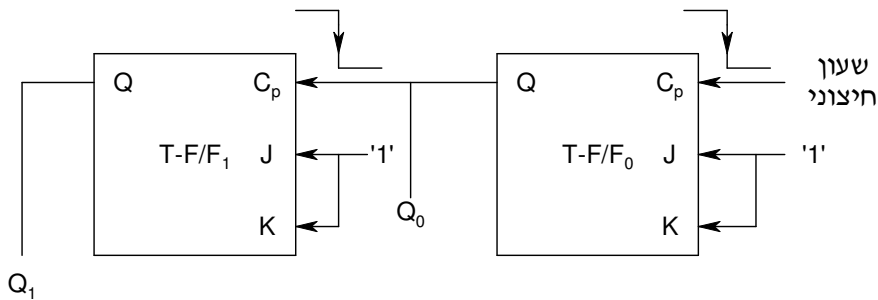
עשרוני	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1
0	0	0	0
1	0	0	1

מסקנות מהטבלה: נדרש שהמונה יספור בסדר כפי שמתואר בטבלה וכן נדרש שבכל ירידת שעון יתעדכן ערך המונה לערך חדש.

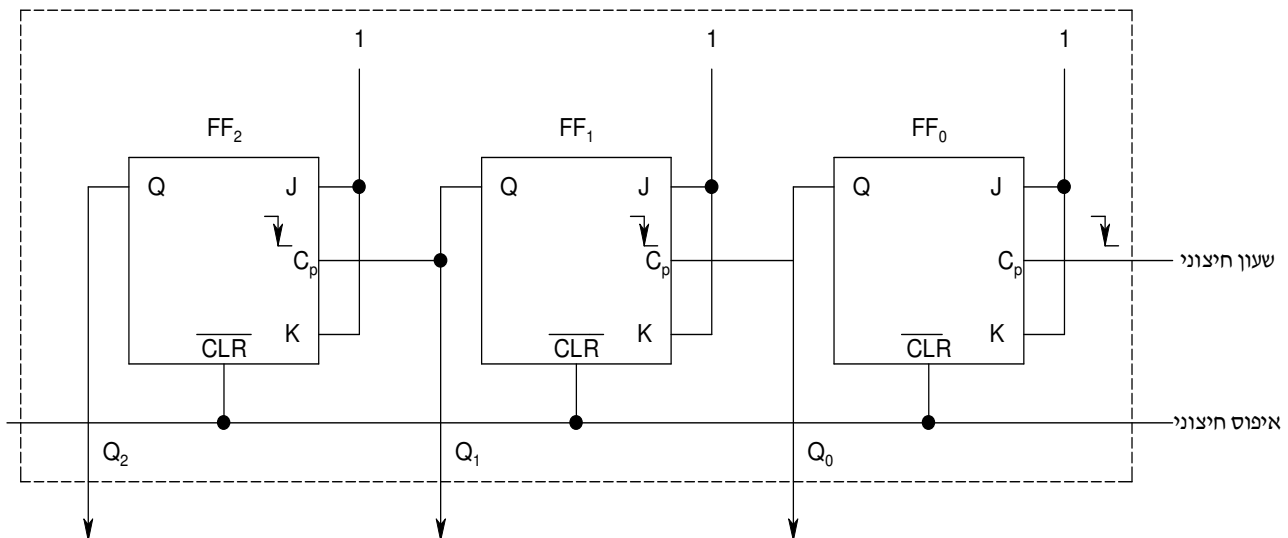
אם נתבונן בטבלה רואים שסיבית Q_0 (סיבית ה-L.S.B של המונה) משתנית עם כל הופעת שעון. בדוגמה שלנו השעון פעיל בירידה ולכן מימוש הדרגה הראשונה של המונה שיוצרת את Q_0 הינו:



ב. אם נתבונן בטבלה רואים שסיבית Q_1 משתנית בכל פעם ש- Q_0 עובר מ-1 ל-0. ולכן נחבר את Q_0 לשעון של דרגה שנייה שמייצרת את Q_1 .



ג. אם נתבונן בטבלה רואים שסיבית Q_2 משתנית בכל פעם ש- Q_1 עובר מ-1 ל-0 ולכן נחבר את Q_1 לשעון של דרגה שלישית שמייצרת את Q_2 . מבנה המונה השלם מודולו 8 נתון באיור הבא:



הסבר : הדלגלג FF_0 שבאיור הופך את מצבו בכל דופק שעון. במוצא דלגלג זה מתקבלת הסיבית Q_0

(הפחות משמעותית). המוצא (Q_0) של דלגלג זה מחובר אל מבוא השעון של הדלגלג השני (FF_1) .

הדלגלגים פעילים בירידת דופק השעון, ולכן עם ירידת Q_0 מ-1 ל-0, ידורבן הדלגלג השני, ומוצאו (Q_1) יחליף מצב. ירידה של Q_1 מ-1 ל-0 תדרבן את הדלגלג השלישי. במוצאים תופיע אפוא המנייה הבינארית, כמתואר בדיאגרמת הזמנים שבעמוד הבא. בדיאגרמה זו רשומות הספרות הבינאריות, המתקבלות בכל דופק שעון. המספר הבינארי במוצאי המונה הוא Q_2, Q_1, Q_0 (Q_0 היא הסיבית הפחות משמעותית). בתחתית הדיאגרמה רשומים המספרים העשרוניים המתאימים למספרים הבינאריים שבמוצאי המונה.

בתחילת הפעולה מאפסים את הדלגלגים באמצעות מבוא האיפוס (\overline{CLR} באיור). בכל ירידת דופק שעון מתהפך מצבו של הדלגלג FF_0 ; ובכל ירידת Q_0 , מתהפך מצבו של הדלגלג FF_1 ; ובכל ירידת Q_1 , מתהפך מצבו של הדלגלג FF_2 .

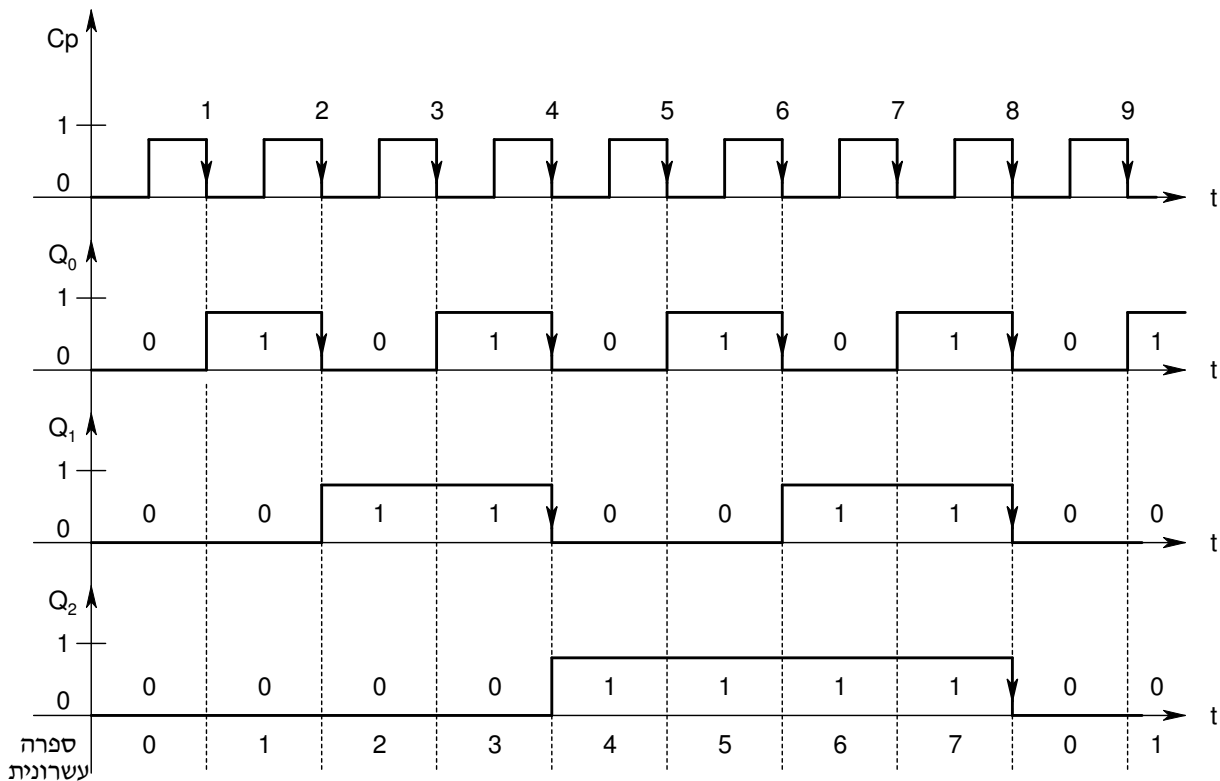
מבוא השעון של המונה אינו מחובר לכל הדלגלגים, ולכן זהו מונה אסינכרוני. שמו של המונה הוא מונה גלי, משום שדרגה אחת גורמת להיפוך מצבה של הדרגה הבאה, ויש כאן מעין התפשטות גלית (בדומה להתפשטות הנשא במסכם גלי).

הרחבה למונה בעל יותר מ-3 סיביות: באמצעות מוצא Q_2 (של דלגלג FF_2) ניתן להוסיף דרגה נוספת

ע"י חיבור Q_2 לשעון של הדרגה החדשה, ובכך להגדיל את המניה למודולו 16 (בין 0 ל-15). בשיטה זו ניתן

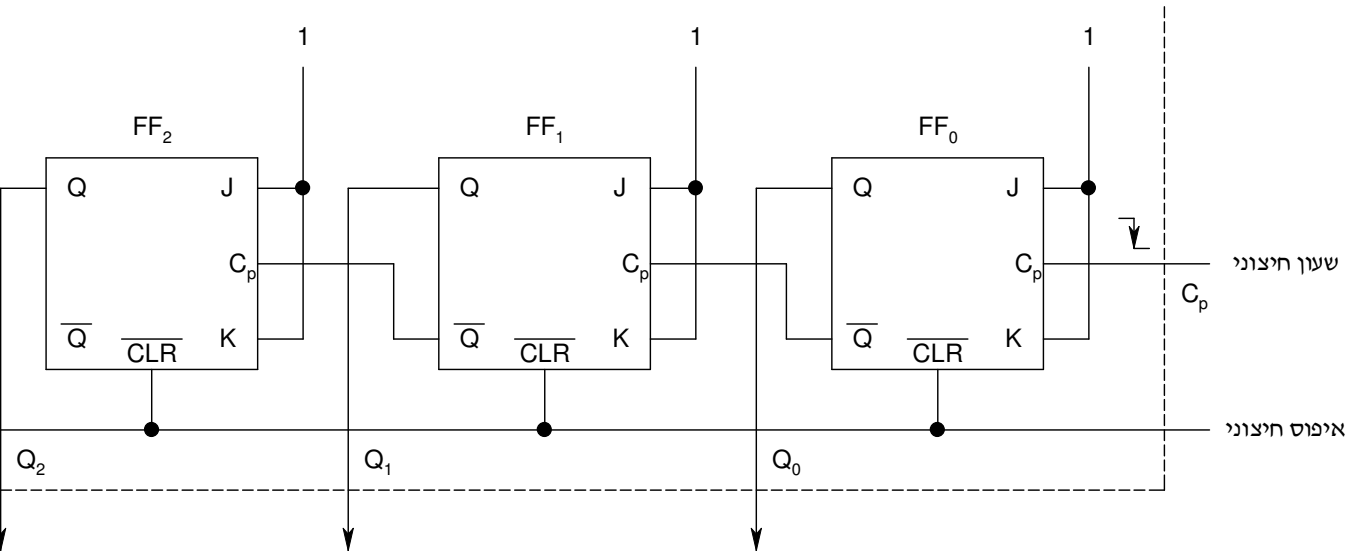
להגיע למונה כלשהו מודולו 2^n שיהא מורכב מ-n דלגלגים.

דיאגרמת הזמנים של מונה מעלה גלי, בינארי, מודולו 8 הינה :



13.2.2 מונה מטה

כפי שהזכרנו כבר, לעיתים קרובות יש למנות כלפי מטה. באיור הבא תמצא מונה בינארי, אסינכרוני, מודולו 8, הסופר כלפי מטה. גם מונה זה ממומש כמונה גלי.
תרשים לוגי של מונה מטה גלי, בינארי, מודולו 8 :



שלושת המוצאים של המונה (Q_2 ו- Q_1, Q_0) באיור מחוברים בהתאמה אל המוצאים (Q) של הדלגלים השונים. מבוא השעון של הדלגלים FF_2 ו- FF_1 מדורבן באמצעות המוצא \bar{Q} (ולא באמצעות המוצא Q) של הדלגלים FF_1 ו- FF_0 , בהתאמה.
שים לב: הדלגל פעיל בירידת שעון (מ-1 ל-0).

אפשרות נוספת למניה מטה: להשאיר חיבור Q (ולא \bar{Q}) לדרגות הבאות, אלא להשתמש בשעון פעיל בעליה ונניח שדלגל משתנה בעלית שעון (ננתח אפשרות זאת בתרגול).

חסרונו העיקרי של המונה הגלי הוא זמן ההשהיה שלו. כדי שהדרגה האחרונה (המשמעותית ביותר) תשנה את מצבה, דרושה התפשטות של דופק השעון בכל הדרגות הקודמות. לכל דלגל יש זמן השהיה $t_{pd}(FF)$, בין מבוא למוצא. אם במונה הגלי יש n דרגות, הרי שזמן ההשהיה של המונה יהיה $n \cdot t_{pd}(FF)$.

כל זמן שכל הדלגלים במונה לא הגיבו לדופק השעון, אין לספק דופק שעון נוסף במבוא השעון החיצוני, כדי שלא ייווצרו שיבושים בפעולת המונה.

לכן, **אסור** שמרווח הזמן בין שני דופקי מבוא חיצוני עוקבים, יהיה קטן מ- $n \cdot t_{pd}(FF)$.

יתרונותיו של המונה הגלי מודולו N (בהשוואה למונים שבהמשך) נובעים מפשטות המבנה שלו: המונה (מעלה או מטה, אך לא מעלה/מטה) אינו מכיל שערים בין הדלגלים, וקל להרחיבו לכל מחזור מניה N מהצורה $N = 2^K$ ($K = 1, 2, 3, \dots$). למונה כזה נדרשים K דלגלים.

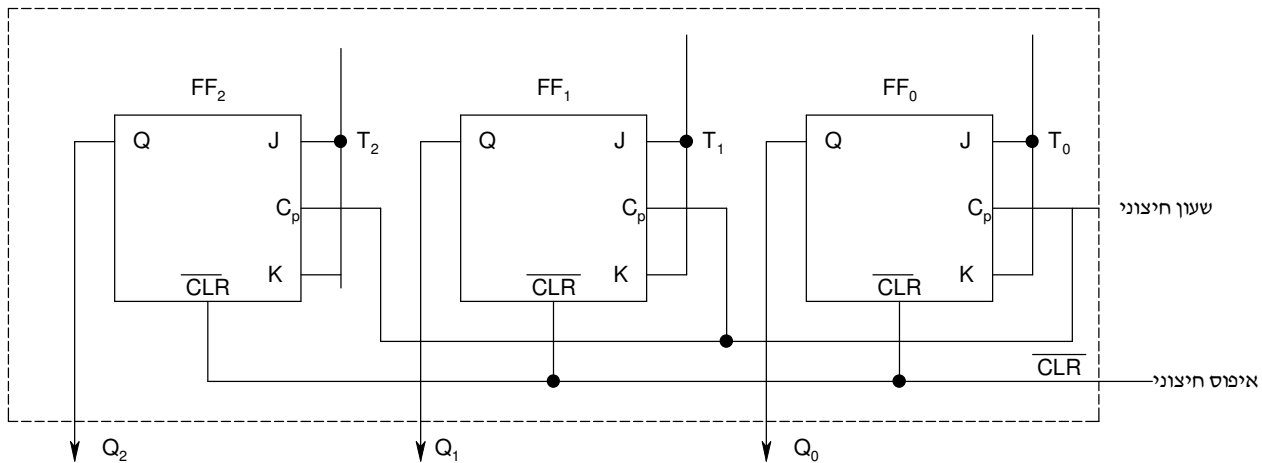
13.3 מונה סינכרוני

במונה סינכרוני השעון החיצוני מחובר לכל הדלגלים, כך שאותו דופק שעון גורם לדברון כל הדלגלים בו-זמנית. באמצעות חיבור כזה ניתן להתגבר על חסרונם העיקרי של המונה הגלי (שהוזכר לעיל).

13.3.1 מונה מעלה סינכרוני פשוט

באיור הבא נתון תרשים לוגי חלקי של מונה מעלה סינכרוני מודולו 8, מכיוון שדופק השעון מחובר לכל דלגל, ההחלטה אם להפוך את מצבו של הדלגל, תיקבע בהתאם לערכים במבוא העירור T (T_0) בדלגל FF_0 (וכדומה). כאשר $T = 0$, ישמור הדלגל על מצבו הקודם; ואם $T = 1$, יחליף הדלגל את מצבו בכל ירידה של דופק השעון.

דוגמה : תכנן מונה מעלה סינכרוני מודולו 8
פתרון (חלקי, כי עדיין לא קבענו ערכי ה-T-ים).



תרשים לוגי חלקי של מונה מעלה סינכרוני מודולו 8.

הערה : במונה סינכרוני לא משנה אם הדלגל פעל בירידה או בעלית שעון כי כל הדלגלים מחוברים לאותו שעון. דופק השעון באיור מחובר לכל הדלגלים.

השאלה היא אפוא מה צריך להיות ערכם של T_0, T_1 ו- T_2 , כך שהמונה ימנה מודולו 8.

קביעת ערכי T של הדלגלים.

-בהתאם לטבלת ספירה מודולו 8 שראינו במונה האסינכרוני נראה כי הדלגל הראשון (FF_0)

מחליף את מצבו בכל דופק שעון, ולכן דרוש כי $T_0 = 1$.

-הדלגל השני (FF_1) ישנה את מצבו, רק אם ערכו של Q_0 במנייה הקודמת היה 1. אם ערכו הקודם

של Q_0 היה 0, שומר הדלגל השני על מצבו. לכן Q_0 צריך להיות מחובר ל- T_1 . $T_1 = Q_0$.

-הדלגל השלישי (FF_2) ישנה את מצבו, רק אם התקיימו שני תנאים במנייה הקודמת: ערכו של Q_1

היה 1, וגם ערכו של Q_0 היה 1. לכן $T_2 = Q_0 \cdot Q_1$.

לסיכום : המשוואות עבור מבוואות העירור הינן ,

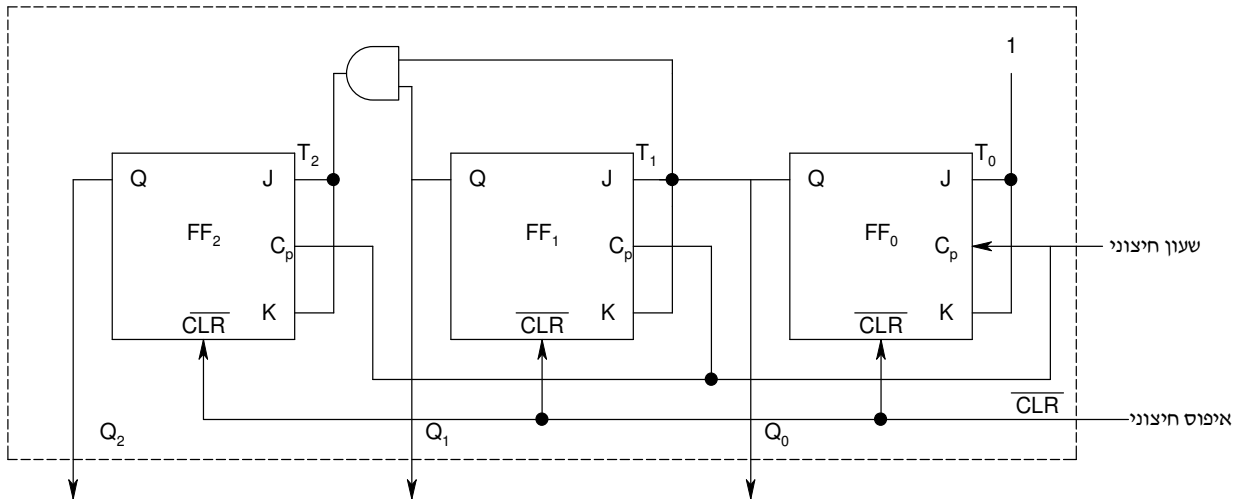
$$T_0 = 1$$

$$T_1 = Q_0$$

$$T_2 = Q_0 \cdot Q_1$$

נשלים את המימוש החלקי למימוש מלא של המונה הסינכרוני :

תרשים לוגי של מונה מעלה סינכרוני, בינארי מודולו 8.



סי

כום : נבדוק כעת מהו זמן ההשהיה של מונה סינכרוני פשוט, כלומר : הזמן העובר מרגע מעבר פעיל (עליה או ירידה) במבוא השעון, ועד להשפעתו על כל מוצאי המונה (Q_2, Q_1, Q_0). מכיוון שדופק השעון מסופק בו-זמנית לכל הדלגלים, זמן ההשהיה של המונה זהה לזמן ההשהיה של דלגלג אחד, בתוספת זמן ההשהיה של שער AND, ללא תלות במספר הדלגלים. בדוק טענה זו לגבי המונה הסינכרוני שתוכנן.

עבור המונה הסינכרוני שתואר בדוגמא האחרונה קיבלנו את המשוואות הבאות :

$$T_0 = 1$$

$$T_1 = Q_0$$

$$T_2 = Q_0 \cdot Q_1$$

ועבור מונה מודולו 16 תתוסף המשוואה :

$$T_3 = Q_0 \cdot Q_1 \cdot Q_2$$

את המשוואות האלו ניתן לרשום גם בצורה שונה :

$$T_0 = 1$$

$$T_1 = Q_0$$

$$T_2 = T_1 \cdot Q_1$$

$$T_3 = T_2 \cdot Q_2$$

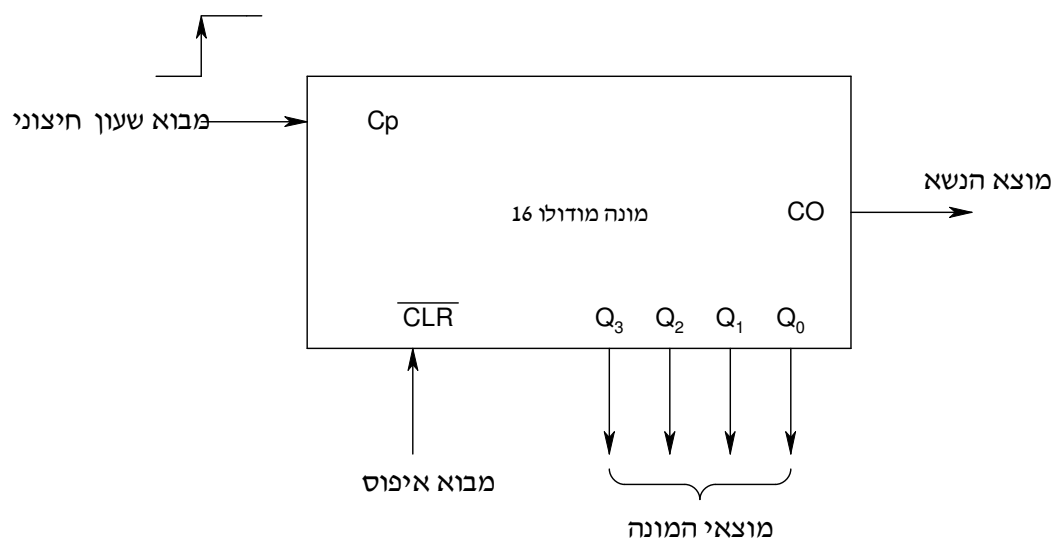
ובאופן כללי נקבל :

$$(T_K = T_{K-1} \cdot Q_{K-1})$$

באיור הבא משורטט התרשים הלוגי של מונה מודולו 16, לפי משוואות אלו. המונה הוא מונה סינכרוני

לכל אחד מהמונים שבסעיפים הקודמים, היה מחזור מנייה של 2^n (מ-0 עד $2^n - 1$). לצורך זה היו למונה n דלגלים. למשל, מונה בעל ארבעה דלגלים מבצע מנייה מ-0 עד 15 ($2^4 - 1 = 15$), לאחר מכן הוא מתאפס, ומתחיל את המנייה מחדש. קראנו למונה כזה מונה מודולו 16 ($2^4 = 16$). לעיתים קרובות מתעורר צורך בפעולת מנייה, שבה המודולו שונה מ- 2^n למשל, מודולו 10 . המונה המתאים הוא, כמובן, מונה עשרוני (שמונה מ-0 עד 9).

ניתן להשתמש במונה מודולו 2^n , בעל מבוא איפוס, כדי ליצור בעזרתו מונה מודולו K כאשר $K < 2^n$. בדוגמה הבאה נמחיש זאת עבור מונה מודולו 6.



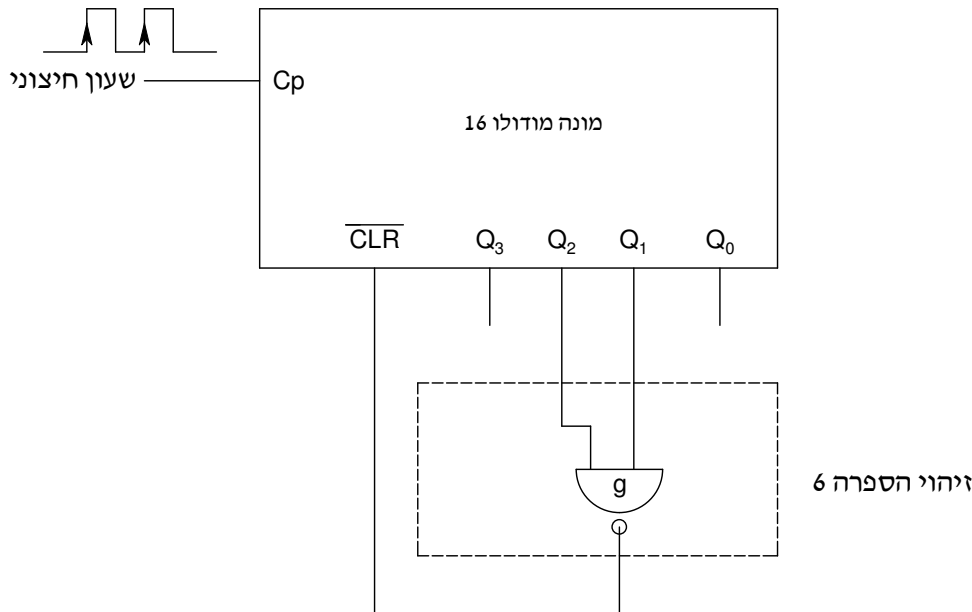
דוגמא : תכנן מודל מודולו 6, בעזרת מונה מודולו 16 אשר נלמד בסעיף הקודם. סימולו הלוגי מתואר שוב (מטעמי נוחות) באיור. המנייה בעלית שעון ואילו האיפוס מתבצע בצורה אסינכרונית.

פתרון : במונה מודולו 6 מופיעות ספרות המנייה 0, 1, 2, 3, 4 ו-5. יש מספר שיטות לתכנון מונה

מודולו 6 בעזרת מונה מודולו 16. אנו נציג שיטה אחת :

זיהוי הספרה 6 ואיפוס המונה .

מימוש המונה מודולו 6 מתואר באיור הבא.



נסביר את פעולת המונה.

נניח שבתחילת הפעולה מאופס המונה. מוצא השער g הוא 1 ($\overline{Q_1 \cdot Q_2} = \overline{0 \cdot 0} = 1$). מוצא זה מחובר למבוא האיפוס. וכאשר הערך של מוצא זה הוא 1, לא מתבצע איפוס. מתבצעת מנייה אחרת בכל עליית דופק שעון. מניית הספרה 6 מתבצעת, כמובן, בעליית הדופק השישי.

עם המנייה של הספרה 6 ($Q_3 = 0, Q_2 = 1, Q_0 = 0$), מתקבל במבוא האיפוס: $\overline{CLR} = \overline{Q_1 \cdot Q_2} = \overline{1 \cdot 1} = 0$. לכן מבוא האיפוס פעיל, ומתבצע איפוס אסינכרוני מידי של המונה, והמונה חוזר למצבו ההתחלתי. גם כאן התקבלו שישה מצבי מנייה. (הספרה 6 נשארה לזמן קצר - יוסבר בהמשך).

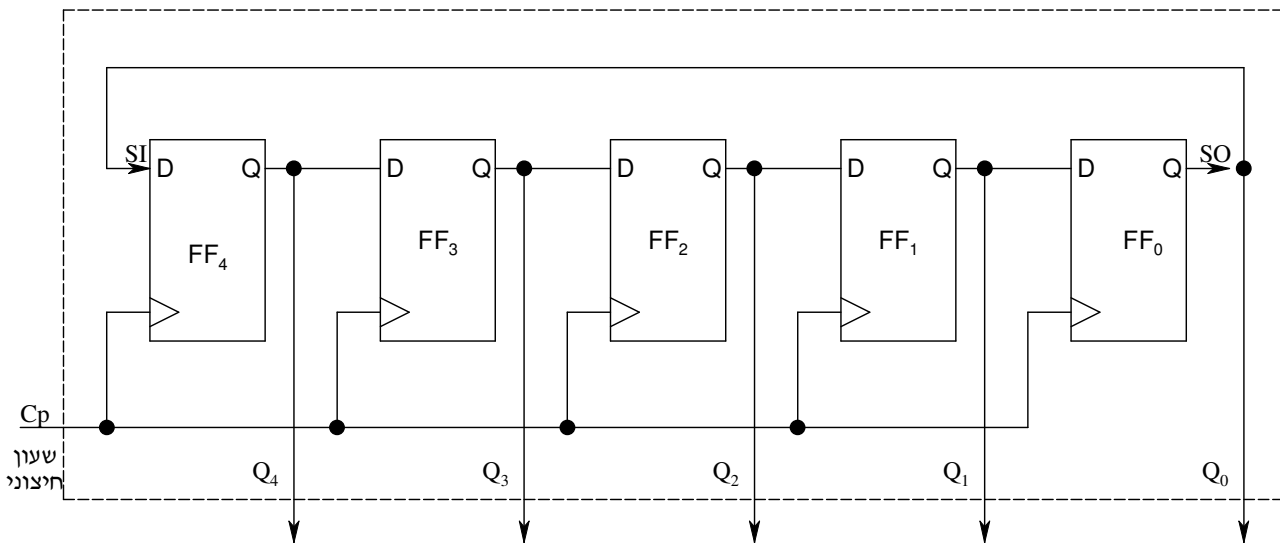
אילו זיהינו את הספרה 5 במונה המתואר כאן, היתה הספרה מופיעה לפרק זמן קצר ביותר במוצאי המונה, ומיד לאחר מכן (כעבור זמן ההשהיה של השער g וזמן ההשהיה הדרוש לפעולת האיפוס) היה המונה מתאפס. לפי הגדרת פעולתו של מונה מודולו 6, דרוש להציג במוצאיו את כל ספרות המנייה (0,1,2,3,4 ו-5), כל ספרה – במשך מחזור שעון אחד. גם את הספרה 5 יש להציג כמובן, במשך מחזור אחד. כל עוד לא נספק למונה דופק שעון נוסף, תמשיך הספרה 5 להופיע במוצאי המונה.

החיסרון של המימוש בשיטה זו (על ידי איפוס) הוא בכך שהספרה שאינה כלולה במחזור המנייה (במקרה זה 6), מופיעה במוצאי המונה לפרק זמן קצר. אילו מבוא האיפוס היה סינכרוני, לא הייתה ספרה זו מופיעה כלל. במקרה זה היה דרוש לזהות את הספרה 5. באיפוס סינכרוני בעיה של הופעת ערך 6 לזמן קצר אינה קיימת.

13.4 מונים טבעתיים

13.4.1 בכל המונים שהצגנו עד כה הופקה תוצאת המנייה בצורה בינארית במוצאי המונה. לעיתים דרוש להפיק את תוצאת המנייה בצורה מפוענחת – ולא כמספר בינארי. דוגמה לכך היא מונה המפקח על פעולת מעלית בבנין בעל 7 קומות (וכן קומת כניסה). התוצאה מופקת בצורה בינארית במוצאי המונה (000 – קומת כניסה, 001 – קומה ראשונה, וכך הלאה). למעלית שלעיל יש 8 נורות תצוגה, אחת לכל קומה שבה עשויה להימצא המעלית. כשהמעלית מגיעה לקומה מסוימת, נדלקת נורת התצוגה המתאימה, ומאירה על מספר הקומה (ק – קומת כניסה, 1 – קומה ראשונה וכן הלאה). ניתן להמיר את תפוקות המונה הבינארי בעל 3 סיביות כך שיבקר הדלקת 8 נורות בהתאם לקוד – באמצעות מפענח 3→8.

אפשרות נוספת להפקת תוצאה בצורה מפוענחת הינה ע"י מונה טבעתי RING COUNTER. מונה זה מתבסס בעצם על חיבור הדלגלים כאוגר הזזה. SO הוא המוצא הטורי של האוגר ו- SI – המבוא הטורי. המוצא (SO) של הדלגל האחרון מחובר למבוא (SI) של הדלגל הראשון. אוגר הזזה המחובר בצורה כזו, נקרא מונה טבעתי.




שים לב כי הדלגלים הינם מסוג D ולכן כל אות שעון האינפורמציה מתקדמת ימינה.

ננתח את פעולתו של המונה הטבעתי שבאיור. נניח שהמוצא ההתחלתי הוא 10000 ($Q_4 = 1, Q_3 = 0, Q_2 = 0, Q_1 = 0, Q_0 = 0$).

הטבלה שלהלן מתארת את מוצאי המונה לאחר כל עליה בדופק השעון.

טבלת המצבים של מונה טבעתי מודולו 5 .

Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
1	0	0	0	0
0	1	0	0	0
0	0	1	0	0
0	0	0	1	0
0	0	0	0	1



בכל דופק שעון, ה-1 שבמונה הטבעתי מוזז ימינה, עד למצב המתואר בשורה האחרונה בטבלה. עם קבלת דופק שעון נוסף, מועבר ה-1 באמצעות החיבור הטבעתי – אל הדלגלג הראשון, וכך המנייה מתחילה מחדש.

למונה זה חמישה מצבים שונים, והוא מחזורי – ולכן זהו מונה טבעתי מודולו 5. מספר הדלגלים במונה טבעתי הוא כמספר המצבים השונים הדרושים. למימוש מונה מודולו K דרושים אפוא K דלגלים וזהו חסרוננו העיקרי של המונה הטבעתי שהצגנו.

השימוש במונה טבעתי (לעומת מונה בינארי) נוח בעיקר בשני מקרים :

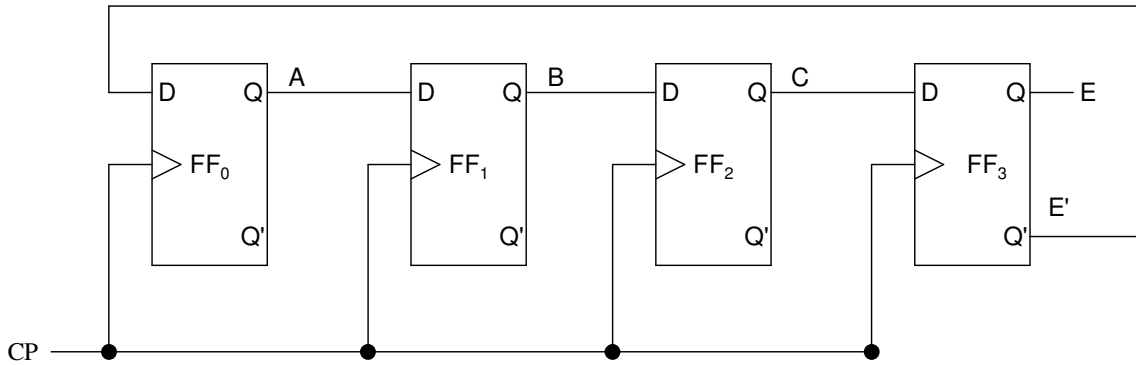
- כאשר דרוש להפיק בצורה מפוענחת את תוצאת המונה. השימוש במונה זה חוסך מפענח.
- כאשר מחזור המנייה אינו גדול. אזי אין הפרש גדול בין מספר הדלגלים בשתי שיטות המימוש : מימוש ע"י מונה טבעתי או מימוש ע"י מונה בינארי רגיל.

13.4.2 מונה ג'ונסון - מונה טבעתי בחוג מוצלב .

מונה טבעתי בעל k סיביות מעביר באופן מעגלי סיבית בודדת (השווה 1) בין הדלגלים כדי לספק k מצבים שונים. ניתן להכפיל את מספר המצבים, אם נחבר את אוגר ההזזה כמונה טבעתי בחוג מוצלב. מונה טבעתי בחוג מוצלב הוא מונה הזזה שבו החיבור הטבעתי מתבצע בין היציאה המהופכת (Q') של הדלגלג האחרון (הימני ביותר) לבין הכניסה של הדלגלג הראשון (השמאלי ביותר). האיור הבא מתאר מונה מסוג זה. האוגר מזיז את תוכנו פעם אחת ימינה בכל דופק שעון, ובאותו זמן הערך המהופך של הדלגלג E מועבר אל הדלגלג A. כשמונה ג'ונסון מתחיל במצב clear, הוא עובר סדרה של שמונה מצבים הרשומים באיור. באופן כללי, מונה ג'ונסון בעל k סיביות יעבור סדרה של $2k$ מצבים. כשהמונה מתחיל במצב שבו כל הדלגלים מאופסים, כל פעולת הזזה מכניסה 1-ים משמאל, עד שהאוגר מתמלא כולו ב-1-ים. בסדרות הבאות נכניס 0-ים משמאל, עד אשר האוגר שוב מתמלא כולו ב-0-ים, ולכן יש בו $2k$ מצבים. הסדרות שמתקבלות הינן צופן ג'ונסון (לא נעסוק בזה).

לדוגמה : מונה ג'ונסון בעל ארבע דרגות , כפי שרואים בטבלת המניה יש שמונה מצבים שונים.

מונה טבעתי בחוג מוצלב בעל ארבע דרגות . (בנוי מדלגלים מסוג D)



למערכת יש 8 מצבים (סדרות) שונים כפי שמתואר בטבלה הבאה :

מספר סדרה	יציאות הדלגלים			
	A	B	C	E
1	0	0	0	0
2	1	0	0	0
3	1	1	0	0
4	1	1	1	0
5	1	1	1	1
6	0	1	1	1
7	0	0	1	1
8	0	0	0	1