

גיליון יורה מדע

גיליון חודשי להלכה, מדע וטכנולוגיה

גיליון 29 – סיון תשפ"ו

בשאלות הלכה למעשה יש להיוועץ בפוסק. פסיקת הלכה למעשה צריכה לבוא לאחר עיון בכל נתוני השאלה, השואל והמקום.

המקרה בשבת (ג)

הקדמה

בגיליון הקודם הכרנו כמה סוגים של תרמוסטט. התרמוסטט במקרה מושפע מהטמפרטורה של חלל המקרה, והשינויים החשמליים שנגרמים בו עקב כך משפיעים על מערכות המקרה. הכרנו את התרמוסטט המכאני, שבו שינויי הטמפרטורה משפיעים בצורה ישירה על פתיחה וסגירה של מעגל חשמלי. בקצרה הכרנו גם רכיב שמבוסס על פיסת חומר, שההתנגדות החשמלית שלה משתנה בעקבות שינויי הטמפרטורה. הרכיב בעל ההתנגדות המשתנה מהווה את הבסיס לתרמוסטט הדיגיטאלי, שנכיר בגיליון זה בהרחבה. לאחר מכן הכרנו כמה מערכות במקרה, שפעילותן נשלטת בצורה זו או אחרת על ידי התרמוסטט.

בחלק ההלכתי של הגיליון שעבר, הכרנו את דעות הפוסקים שדנו בתחילת דרכם של המקררים, על שאלת פתיחת דלת המקרה בשבת, תוך השפעה על טמפרטורת המקרה, וממילא על התרמוסטט ועל המדחס שנשלט על ידו. בזמנם היה מדובר על תרמוסטט מכאני, והחלק היחיד שהושפע על ידי התרמוסטט היה מנוע המדחס שיוצר את הקור במקרה.¹

בגיליון זה, בחלק הטכנולוגי נלמד את נושא ה'רישומים הדיגיטליים', כדי להשלים את התמונה (יחד עם ההסבר מהגיליון הקודם) לקראת הדיון ההלכתי על תרמוסטט דיגיטלי. בחלק ההלכתי, נעסוק בכמה נושאים הנוגעים לפתיחת וסגירת הדלת של מקררים מודרניים בשבת. במסגרת הגיליונות אי אפשר להקיף בצורה מלאה את נושא השימוש במקרה בשבת, ואפילו לא להתקרב לכך. הרוצה להרחיב את היריעה מוזמן לעיין בהרחבה בספרים שהוזכרו בגיליונות הקודמים ויוזכרו בגיליון זה, מעבר לעמודים ולפרקים הספציפיים שצינתי אליהם בגיליונות. אני מודה לכל מי שסייע לי בעבודה על הגיליון באופנים שונים.

הסבר טכנולוגי – רישומים דיגיטליים

פתיחה

הבנה מעמיקה של הרישומים הדיגיטליים דורשת הרבה מעבר למה שכתוב בגיליון זה. כמו כן, ייתכנו שינויים בין הדגמים מבחינת הטכנולוגיה המדויקת שבה משתמשים עבור הרישומים הללו. לכן ההסבר

¹ הסבר של אופן יצירת הקור מופיע בגיליון 27. אפשר לקבל גיליונות קודמים ללא תשלום, דרך כתובת הדוא"ל שמופיעה בסוף הגיליון.

שמופיע כאן מיועד בעיקר כדי להבין את העקרונות, כדי לסייע בדיון ההלכתי. ההסבר מתאים בעיקר למי שיש לו היכרות עם מושגים בסיסיים בחשמל, כי הסבר של הנושא מהרמה הבסיסית חורג מעבר לגבולות גיליון זה.² עד כמה שאוכל, אשמח לנסות לעזור למי שהסבר לא מספיק מובן לו. אפשר לפנות בנושא זה דרך כתובת הדוא"ל שמופיעה בסוף הגיליון.

בסיס בינארי

נתחיל בנושא הבסיס הבינארי, שהוא נושא מתמטי, אבל הוא נצרך כדי להבין איך רכיבים חשמליים מסוגלים ליצור זיכרון שבו נשמרים מספרים, ומידע בכלל.

השיטה המקובלת בין בני האדם לרישום מספר היא שיטה עשרונית. כל ספרה של המספר מייצגת כמות של אחדות, עשרות, מאות וכו'. לדוגמה: המספר 273 מייצג 2 מאות ועוד 7 עשרות ועוד 3 אחדות. בדומה לזה, המספר 203 מייצג 2 מאות ועוד 3 אחדות. במקרה הזה אין עשרות שמתחברות למאות ולאחדות כדי להרכיב את המספר, ולכן סיפרת העשרות היא אפס. השיטה הזו משתמשת בבסיס עשרוני: היא משתמשת ב-10 סוגי ספרות שונות – 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9, וכל ספרה מתוך מספר שלם מייצגת כפולה אחרת של 10. הספרה הימנית ביותר היא סיפרת האחדות, הספרה הבאה היא סיפרת העשרות, המייצגת עשרות שהן גדולות פי 10 מהאחדות, הספרה הבאה היא סיפרת המאות, המייצגת מאות שהן גדולות פי 10 מהעשרות, וכן הלאה.

אפשר להציג מספרים גם בבסיסים אחרים. אחד הבסיסים הנפוצים, שמשמש את עולם המחשבים, הוא בסיס 2, שנקרא בסיס בינארי. אם בבסיס עשרוני משתמשים ב-10 סוגי ספרות, בבסיס בינארי משתמשים רק ב-2 ספרות: 0 ו-1. כמו שבבסיס עשרוני כל ספרה מתוך מספר שלם מייצגת כפולה אחרת של 10, כך בבסיס בינארי כל ספרה מייצגת כפולה אחרת של 2 – הספרה הימנית מייצגת את האחדות, הבאה אחרי את הכפולה 2, אחריה את הכפולה 4, אחריה את הכפולה 8 וכן הלאה.

לדוגמה: המספר 7 מיוצג בבסיס בינארי כך: 111. הספרה הימנית היא כפולות של 1, הבאה אחריה משמאל – כפולות של 2 והשמאלית ביותר – כפולות של 4. בגלל ששלושת הספרות הן 1, המספר מורכב מ-1 ועוד 2 ועוד 4, שהם יחד 7. אם אנתנו רוצים לייצג בבסיס בינארי את המספר 5 – שקטן מהמספר 7 ב-2, נכתוב: 101. זה כמו המספר הקודם, אך הספרה האמצעית המייצגת כפולות של 2 כדי היא 0 במקום 1, כדי לחסר 2 מהמספר הקודם.

עתה נעשה דוגמה מהכיוון ההפוך. ניקח את המספר שכתוב בבסיס בינארי: 10110, וננסה לפענח מה המספר הזה בבסיס עשרוני. נתחיל לעבור על הספרות זו אחר זו:

- הספרה הימנית ביותר מייצגת את האחדות. הספרה היא 0, אם כן אין 1 שמצטרף לחיבור של המספרים המרכיבים את המספר.
- הספרה הבאה (משמאל) מייצגת את הכפולה 2. הספרה היא 1, אם כן המספר 2 הוא חלק מהמרכיבים של המספר המיוצג כאן.
- הספרה הבאה (משמאל) מייצגת את הכפולה 4. הספרה היא 1, אם כן המספר 4 הוא חלק מהמרכיבים של המספר המיוצג כאן.
- הספרה הבאה (משמאל) מייצגת את הכפולה 8. הספרה היא 0, אם כן אין 8 שמצטרף לחיבור של המספרים המרכיבים את המספר.
- הספרה הבאה (משמאל) מייצגת את הכפולה 16. הספרה היא 1, אם כן המספר 16 הוא חלק מהמרכיבים של המספר המיוצג כאן.

לסיכום: המספר הזה מייצג את הערך של 2 ועוד 4 ועוד 16, שבכתיבה עשרונית כותבים אותו: 22.

² תלמידי הנדסת חשמל ואלקטרוניקה, מקבלים לרוב את התמונה השלמה של הנושא הזה בצורה מעמיקה רק באמצע-סוף שנה ג, אחרי שלמדו כמה קורסים שמהווים את הבסיס לכך. בהסבר כאן ניסיתי לסכם בקצרה את הידיעות הנצרכות להבנת הנושא.

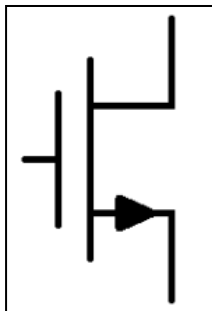
כדוגמה נוספת שתוכלו אולי לסייע בהבנת השיטה, מוצגים כאן המספרים בין 0 ל-15 בסדר עולה בכתיבה בינארית (בשביל הסדר והנוחות כולם מיוצגים ב-4 ספרות): 0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111.

הייצוג החשמלי למספרים בינאריים

הספירה הבינארית שהכרנו היא שיטה עקרונית שבאמצעותה אנחנו כבני אדם יכולים לייצג מספרים, אבל למחשב אין דעת שאיתה הוא נולד, וצריך למצוא דרך לייצג את המספרים האלה ב'זיכרון' של המחשב. עושים זאת באמצעות מתחים חשמליים – שזו ה'שפה' שהמחשב 'מבין'. בשפה מדויקת יותר: אלו האמצעים שאיתם אפשר ליצור חישוב, והעברת מידע בין רכיבים חשמליים שמרכיבים את המחשב. כמו כן, זו דרך לשמור את המידע הזה ב'זיכרון'.³ במעגל חשמלי ספרתי (נקרא גם 'דיגיטלי' או 'לוגי') יש רק שתי רמות מתח שאליהן אפשר להתחבר: 0 או המתח הגבוה (במעגלים רבים המתח הגבוה הוא 5 וולט, ולכן נשתמש ברמה הזו בדוגמה ובכל ההסבר מכאן והלאה). אפשר לתאר שיש כאילו בטרזיה של 5 וולט, שנותנת חשמל לכל המעגל, ואפשר לחבר חלקים שונים במעגל או לקצה התחתון (השלילי) שלה – וזה המתח 0 של המעגל, או לקצה העליון (החיובי) שלה – וזה המתח עליון, שכפי שאמרנו נשתמש בדוגמה של 5 וולט. חשוב לציין שהביטוי 'מתח 0' אין משמעותו 'כלום' אלא מתח ברמה שמוגדרת 0, כי יחסית אליה נמדדים שאר המתחים במעגל. למה הדבר דומה? לגובה פני הים שמוגדר כ-0 כי יחסית אליו נמדדים גובהי ההרים והעמקים – ההרים הגבוהים מגובה פני הים יקבלו מספר חיובי, והמקומות הנמוכים ממנו (כמו למשל ים המלח) יקבלו מספר שלילי.

כאשר רוצים לייצג את הספרות 0 ו-1 באמצעות רמות מתחים, המתח הגבוה מייצג את הספרה 1, ומתח האפס מייצג את הספרה 0. עתה נלמד איך יוצרים מעגל חשמלי שבו 'נשמרים' מתחים מסוימים באזורים שונים, כדי להרכיב את ה'זיכרון'.

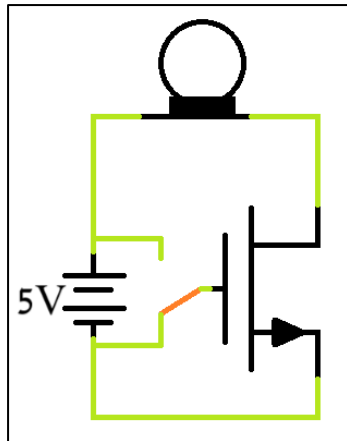
טרנזיסטור בטכנולוגיית FET



אבן הבניין הבסיסית במבנה המייצג את המספרים הבינאריים הוא הטרנזיסטור. כרגיל טרנזיסטור בטכנולוגיית FET. נכיר אותו באופן פשוטני מאוד. טרנזיסטור FET יכול להיות או מסוג N, או מסוג P (בהמשך ההבדל יוסבר). התרשים מימין מייצג טרנזיסטור FET מסוג N.⁴ יש לרכיב זה 3 חיבורים חשמליים (נקראים 'רגליים'). בשימוש הנפוץ עבור מעגלים ספרתיים, הרגל התחתונה מחוברת למתח 0 וולט והמתח ברגל העליונה נשלט על ידי הרגל השמאלית: אם המתח ברגל השמאלית יהיה 0, המתח של הרגל העליונה לא יהיה בעל ערך מסוים קבוע. אם המתח ברגל השמאלית יהיה 5 וולט, ייווצר בתוך הטרנזיסטור שדה חשמלי, שיגרום לאלקטרונים

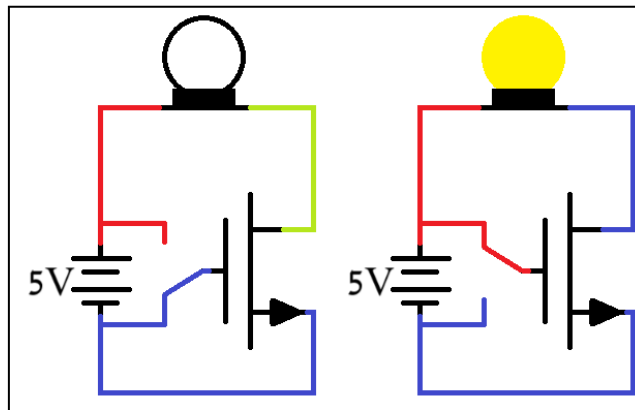
רבים להימצא באזור שבין המגע של הרגל העליונה לבין המגע של הרגל התחתונה. בצורה כזו ייווצר 'חיבור' חשמלי בין הרגל התחתונה לרגל העליונה, והמתח ברגל העליונה יהיה כמו בתחתונה – 0 וולט. חשוב לציין, שה'חיבור' הזה אינו חיבור של חלקים נפרדים כמו בחיבור של מפסק חשמלי רגיל, אלא יצירת אזור רווי באלקטרונים, שהופכים את הטרנזיסטור (וליתר דיוק: את האזור שבין הרגל העליונה לתחתונה) למוליך. כך הרגל העליונה והרגל התחתונה כאילו מחוברות. כמו כן, יש לציין שלא עובר זרם מהרגל השמאלית אל אחת מהרגליים, אך אם הרגל השמאלית מקבלת מתח של 5 וולט, זרם יכול לעבור בין הרגל העליונה לרגל התחתונה. הרגל השמאלית היא כאילו הברז ששולט על מעבר זרם חשמלי (והשוואת המתח) בין הרגל העליונה לתחתונה או הפוך. בקיצור: כאשר המתח ברגל השמאלית הוא 5 וולט, הרגל העליונה והתחתונה 'מחוברות' – יכול לעבור ביניהן זרם, ורמות המתחים בהן משתוות. כאשר המתח ברגל השמאלית הוא 0, זה לא מתקיים.

³ ישנן שיטות נוספות לשמירת מידע. כאן נכיר את השיטה שמשמשת את המעבד בתהליך החישוב וה'חשיבה' שלו.
⁴ התרשים בנוי בצורת סימון ישנה שכבר לא נפוצה, אבל היא פשוטה יותר מהצורה הנפוצה כיום, ולכן נשתמש בה.



לצורך המחשה, נשתמש בדוגמה של המעגל שמופיעה כאן משמאל (החוטים המחברים את חלקי המעגל מסומנים בירוק, כדי להבדיל בין רכיבי המעגל לבין החוטים המחברים ביניהם).
רכיבי המעגל הם:

- סוללה בעלת ערך של 5 וולט (מסומנת בתור 4 קוים, בצד השמאלי של המעגל). הכיתוב '5V' ליד הסוללה מבטא את העובדה שהערך של המתח שמפיקה הסוללה הוא 5 וולט. הצד העליון שלה הוא ה'פלוס' – בעל מתח 5 וולט, והתחתון הוא ה'מינוס' – בעל מתח 0 וולט.
 - נורה (מופיעה בחלק העליון), שדולקת כאשר יש עליה מתח, כלומר כאשר יש הפרש מתחים בין הצד הימני לצד השמאלי שלה.
 - טרנזיסטור FET מסוג N כמו זה שלמדנו עליו, שהרגל השמאלית שלו מחוברת למפסק.
 - מפסק (צבוע בכתום), שיכול לחבר את הרגל השמאלית של הטרנזיסטור למתח 0 וולט (תחתית הסוללה) או ל-5 וולט (החלק העליון של הסוללה).
- בתרשים הבא מופיע המעגל בשני המצבים האפשריים של המפסק, כשהחוטים של המעגל צבועים בהתאם למתח בכל חוט: צבע אדום מסמן 5 וולט, צבע כחול מסמן 0 וולט וצבע ירוק מסמן מתח לא ידוע.

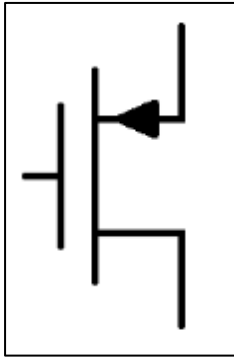


נתחיל עם המצב המוצג מימין: כאשר המפסק מחבר את הרגל השמאלית של הטרנזיסטור אל המתח של 5 וולט, יש קשר בין הרגל העליונה לתחתונה בטרנזיסטור, ורמת המתח 0 שברגל התחתונה היא גם רמת המתח של הרגל העליונה. כך מקבלת הנורה מצד ימין מתח 0 (מהרגל העליונה של הטרנזיסטור). בגלל שמצד שמאל הנורה מחוברת למתח 5 וולט, יש עליה הפרש מתחים של 5 וולט, והיא דולקת כאילו היא הייתה מחוברת ישירות לסוללה.

עתה נבין את המצב המוצג משמאל: כאשר המפסק מחבר את הרגל השמאלית של הטרנזיסטור אל המתח של 0 וולט, הטרנזיסטור לא מוליך, ואין קשר בין הרגל העליונה לתחתונה. לכן, רמת המתח ברגל העליונה אינה קבועה⁵. כך מקבלת הנורה מצד שמאל מתח של 5 וולט, אך בגלל שמצד ימין היא מחוברת למתח לא יציב, לא יהיה עליה הפרש מתחים יציב, והיא תישאר כבויה.

[המפסק המחובר לרגל השמאלית של הטרנזיסטור, שימש אותנו להבנת הדוגמה. מכאן והלאה לא נשתמש בדוגמאות עם מפסקים. גם בדוגמה הסופית, שבה יוצג תרמוסטט דיגיטלי פשוט, נראה איך המערכת הדיגיטלית מצליחה לעבוד בלי מפסקים בכלל].

⁵ למעשה, מהר מאוד רמת המתח שם תגיע ל-5 וולט, דרך הנורה. בגלל שבמעגלים הספרתיים אין נורה, העדפתי לעסוק במצב לפני שהמתח של הרגל העליונה מתייצב דרך הנורה.



לאחר שהוסבר טרנזיסטור FET מסוג N, נבין איך עובד טרנזיסטור FET מסוג P, שהסימון שלו מוצג בתמונה מימין. טרנזיסטור זה הוא כמו טרנזיסטור מסוג N, רק 'בדיוק הפוך'. בשימוש הנפוץ עבור מעגלים ספרתיים, הרגל העליונה שלו מחוברת למתח הגבוה (לדוגמה: 5 וולט) והמתח ברגל התחתונה נשלט על ידי הרגל השמאלית: אם המתח ברגל השמאלית יהיה 5 וולט, הרגל התחתונה לא תהיה מחוברת לרגל העליונה, ולכן לא יהיה לה מתח מסוים קבוע. אם המתח ברגל השמאלית יהיה 0 וולט, יתהוו בתוך הטרנזיסטור תנאים פיזיקליים שיגרמו ל'חיבור' חשמלי בין הרגל התחתונה לרגל העליונה, והמתח ברגל התחתונה יהיה כמו בעליונה – 5 וולט. גם כאן כמו בטרנזיסטור מסוג N, ה'חיבור' הזה אינו חיבור

של חלקים נפרדים כמו בחיבור של מפסק חשמלי רגיל, אלא יצירת תנאים פיזיקליים שהופכים את הטרנזיסטור למוליך, כך שהרגל העליונה והתחתונה כאילו מחוברות. כמו כן, יש לציין שלא עובר זרם מהרגל השמאלית אל אחת מהרגליים, אך אם הרגל השמאלית מקבלת מתח של 0 וולט, זרם יכול לעבור בין הרגל העליונה לרגל התחתונה, והמתח שלהן משתווה.

כדי שההבדל ואופן הפעולה של שני סוגי הטרנזיסטורים יהיה ברור, שני כללי הפעולה שלהם מופיעים כאן זה לצד זה, כשההבדלים מודגשים:

בטרנזיסטור מסוג P,

הרגל העליונה מחוברת למתח 5 וולט.

אם ברגל השמאלית יש מתח 0

גם ברגל התחתונה יהיה מתח 5 וולט.

אם ברגל השמאלית יש מתח 5 וולט,

ברגל התחתונה יהיה מתח לא קבוע.

בטרנזיסטור מסוג N,

הרגל התחתונה מחוברת למתח 0.

אם ברגל השמאלית יש מתח 5 וולט,

גם ברגל העליונה יהיה מתח 0.

אם ברגל השמאלית יש מתח 0,

ברגל העליונה יהיה מתח לא קבוע.

שערים לוגיים

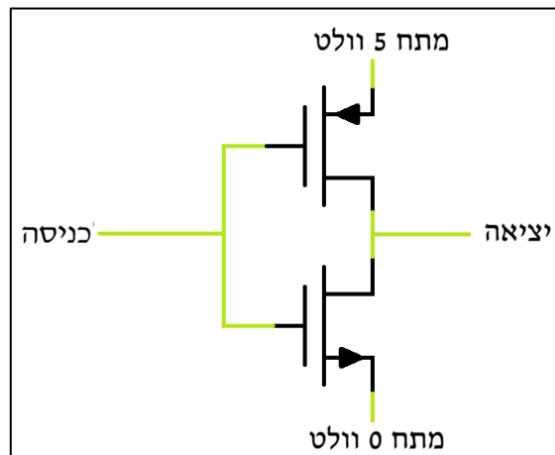
מחיבור בין כמה טרנזיסטורים מהסוגים שהכרנו, אפשר ליצור 'שערים לוגיים'. אלו רכיבים שיש להם כניסה אחת או כמה כניסות, ויציאה אחת. לכניסות מתחברים מתחים חשמליים, שבאים מרכיבים אחרים, וערך המתח שביציאה תלוי בערכי המתחים שבכניסות של השער, על פי הכלל שנקבע לאותו השער. ההסבר הכללי הזה עלול להיות מבלבל, ולכן ננסה להבין את העיקרון דרך דוגמאות.

הדוגמה הראשונית תהיה 'שער NOT', שנקרא גם 'מִהְפֵּךְ'. בשער זה יש כניסה אחת ויציאה אחת, והפעולה

שהוא עושה היא 'היפוך': אם בכניסה יינתן מתח שמייצג את הספרה 1 (מתח גבוה – 5 וולט לפי הדוגמה שלנו) ביציאה שלו ייווצר מתח שמייצג את הספרה 0 (מתח 0), ואם בכניסה שלו יינתן מתח שמייצג 0 (0 וולט), ייווצר ביציאתו מתח שמייצג את הספרה 1 (5 וולט).

המעגל של השער הזה מתואר מימין (כאן אין משמעות לצבע החוטים. הוא נועד רק כדי להבדיל בין החוטים לבין רכיבי המעגל).

המעגל מורכב משני טרנזיסטורי FET – התחתון מסוג N שרגלו התחתונה מחוברת למתח האפס של

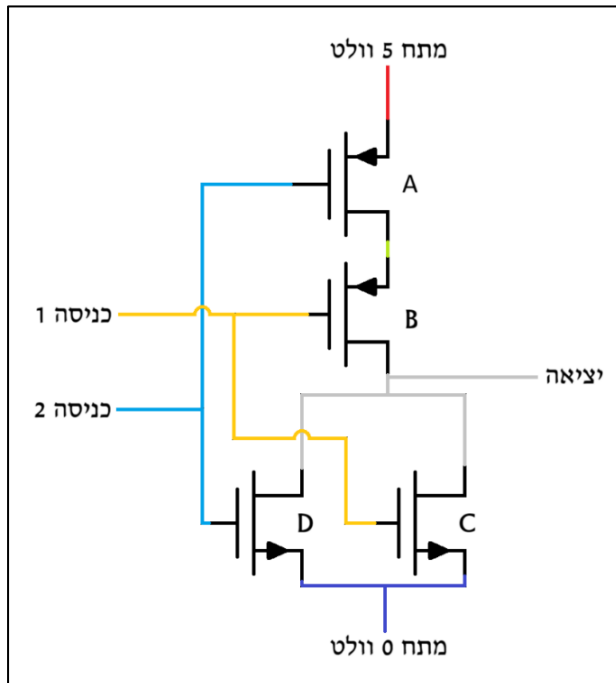


המעגל (לא רואים בתרשים את מקור המתח) והעליון מסוג P שרגלו העליונה מחוברת למתח הגבוה (5 וולט).

הכניסה של המעגל מחוברת לשתי הרגליים השמאליות של שני הטרנזיסטורים והיציאה מחוברת לרגל התחתונה של הטרנזיסטור העליון מסוג P ולרגל העליונה של הטרנזיסטור התחתון מסוג N. אם בכניסה יינתן מתח 0, בטרנזיסטור העליון יהיה קשר בין הרגל העליונה לתחתונה, כי זה מה שקורה בטרנזיסטור מסוג P שמקבל ברגלו השמאלית מתח 0. לכן הרגל התחתונה של הטרנזיסטור העליון תקבל מתח גבוה (5 וולט) שגם יופיע ביציאה של המעגל. במקרה זה, בטרנזיסטור התחתון לא יהיה חיבור בין הרגל העליונה לתחתונה, כי הוא מסוג N, שאינו מוליך כאשר מגיע מתח 0 לרגל השמאלית שלו. לכן הוא לא ישפיע על מתח היציאה, ורק הטרנזיסטור העליון ישפיע.

אם בכניסה יינתן מתח גבוה (5 וולט), בטרנזיסטור התחתון יהיה קשר בין הרגל העליונה לתחתונה (כי הוא מסוג N), והרגל העליונה של הטרנזיסטור התחתון תקבל מתח 0 שגם יופיע ביציאה של המעגל. במקרה זה, בטרנזיסטור העליון לא יהיה חיבור בין הרגל העליונה לתחתונה ולכן הוא לא ישפיע על מתח היציאה, אלא רק הטרנזיסטור התחתון ישפיע.

אם כן, כאשר המעגל מקבל מתח 5 וולט שמייצג את המספר 1, הוא מוציא מתח 0 וולט שמייצג את המספר 0, וכאשר הוא מקבל מתח 0 וולט שמייצג 0 הוא מוציא מתח 5 וולט שמייצג 1. כפי שנכתב לעיל, זו המטרה של השער הזה.



קצת נכיר שער מורכב יותר⁶ שנקרא 'שער NOR', שבו יש 2 כניסות ויציאה אחת. המעגל שלו מוצג משמאל (צבעי החוטים אינם מבטאים רמות מתח, אלא נועדו לנוחות ההסבר. הסימון של חצי עיגול, שרואים פעמיים בחוט הצהוב, מסמן שהחוט הצהוב 'מדג' מעל חוטים אחרים, בלי לגעת בהם).

במעגל יש 2 טרנזיסטורים מסוג P (מסומנים באותיות A, B) ושני טרנזיסטורים מסוג N (מסומנים באותיות C, D). הרגל העליונה של טרנזיסטור A מחוברת למתח 5 וולט. הרגל התחתונה של טרנזיסטור A מחוברת לרגל העליונה של טרנזיסטור B. הרגל העליונה של טרנזיסטור C מחוברת למתח 0 וולט. כניסה 1 מחוברת

(בחוט שמשומן בצבע צהוב) לרגליים השמאליות של טרנזיסטור B וטרנזיסטור C. כניסה 2 מחוברת (בחוט שמשומן בצבע תכלת) לרגליים השמאליות של טרנזיסטור A וטרנזיסטור D. היציאה מחוברת (בחוט שמשומן בצבע אפור) לשני הרגליים העליונות של טרנזיסטור C וטרנזיסטור D ולרגל התחתונה של טרנזיסטור B. בטבלה הבאה מוסברים כל המצבים האפשריים של ערך המתח ביציאה בהתאם למתחי הכניסה:

יציאה	טרנזיסטור D	טרנזיסטור C	טרנזיסטור B	טרנזיסטור A	כניסה 2	כניסה 1
מקבלת מתח של 5 וולט מהרגל התחתונה של טרנזיסטור B. בטרנזיסטורים C ו-D אין קשר בין הרגל העליונה לתחתונה, ולכן אינם משפיעים על היציאה. אם כן ביציאה יהיה ייצוג של 1.	מקבל 0 וולט ברגל השמאלית, ולכן אין קשר חשמלי בין הרגל העליונה לתחתונה.	מקבל 0 וולט ברגל השמאלית, ולכן אין קשר חשמלי בין הרגל העליונה לתחתונה.	מקבל 0 וולט ברגל השמאלית, מה שמחבר בין הרגל העליונה לתחתונה, וברגל התחתונה ייווצר מתח של 5 וולט, כי הרגל העליונה של טרנזיסטור B קיבלה את המתח הזה מהרגל התחתונה של טרנזיסטור A.	מקבל 0 וולט ברגל השמאלית, מה שמחבר בין הרגל העליונה לתחתונה, וברגל התחתונה ייווצר מתח של 5 וולט.	0 וולט (0)	0 וולט (0)

⁶ גם אם הוא לא יהיה מובן עד הסוף, מספיק להבין את הרעיון שלו באופן כללי.



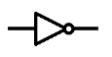
<p>הטרנזיסטור היחיד שיש לו מתח יציב ברגל שמתחברת ליציאה הוא טרנזיסטור D, ולכן היציאה תקבל 0 וולט מהרגל העליונה שלו.</p> <p>אם כן ביציאה יהיה ייצוג של 0.</p>	<p>מקבל 5 וולט ברגל השמאלית, מה שמחבר בין הרגל העליונה לתחתונה, וברגל העליונה ייווצר מתח של 0 וולט.</p>	<p>מקבל 0 וולט ברגל השמאלית, ולכן אין קשר חשמלי בין הרגל העליונה לתחתונה.</p>	<p>מקבל 0 וולט ברגל השמאלית, מה שכאורה היה אמור לחבר בין הרגל העליונה לתחתונה, אך בגלל שבטרנזיסטור A אין קשר בין הרגל העליונה לתחתונה, אין מה שקובע את המתח ברגל העליונה של טרנזיסטור B, ולכן אין משמעות לערך המתח ברגל השמאלית של טרנזיסטור B.</p>	<p>מקבל 5 וולט ברגל השמאלית, ולכן אין קשר חשמלי בין הרגל העליונה לתחתונה, וברגל התחתונה ייווצר מתח של 5 וולט.</p>	<p>0 וולט (0)</p>	<p>5 וולט (1)</p>
<p>הטרנזיסטור היחיד שיש לו מתח יציב ליציאה הוא טרנזיסטור C, ולכן היציאה תקבל 0 וולט מהרגל העליונה שלו.</p> <p>אם כן ביציאה יהיה ייצוג של 0.</p>	<p>מקבל 0 וולט אין השמאלית, ולכן אין קשר חשמלי בין הרגל העליונה לתחתונה.</p>	<p>מקבל 5 וולט ברגל השמאלית, מה שמחבר בין הרגל העליונה לתחתונה, וברגל העליונה ייווצר מתח של 0 וולט.</p>	<p>מקבל 5 וולט ברגל השמאלית, ולכן אין קשר חשמלי בין הרגל העליונה לתחתונה של טרנזיסטור A לבין הרגל התחתונה.</p>	<p>מקבל 0 וולט ברגל השמאלית, מה שמחבר בין הרגל העליונה לתחתונה, וברגל התחתונה ייווצר מתח של 5 וולט.</p>	<p>0 וולט (0)</p>	<p>5 וולט (1)</p>
<p>מקבלת מתח של 0 וולט מהרגליים העליונות של טרנזיסטורים C ו-D. טרנזיסטורים A ו-B לא מופיעים, כי אין בהם קשר בין הרגל העליונה לתחתונה.</p> <p>אם כן ביציאה יהיה ייצוג של 0.</p>	<p>מקבל 5 וולט ברגל השמאלית, מה שמחבר בין הרגל העליונה לתחתונה, וברגל העליונה ייווצר מתח של 0 וולט.</p>	<p>מקבל 5 וולט ברגל השמאלית, מה שמחבר בין הרגל העליונה לתחתונה, וברגל העליונה ייווצר מתח של 0 וולט.</p>	<p>מקבל 5 וולט ברגל השמאלית, ולכן אין קשר חשמלי בין הרגל העליונה לרגל התחתונה. בכל מקרה, אין משמעות למה שיהיה ברגל השמאלית שלו, כי הרגל העליונה שלו לא מחוברת למתח יציב.</p>	<p>מקבל 5 וולט ברגל השמאלית, ולכן אין קשר חשמלי בין הרגל העליונה לתחתונה.</p>	<p>5 וולט (1)</p>	<p>5 וולט (1)</p>

את הטבלה שהוצגה זה עתה מקובל לצמצם לטבלה שבה מיוצגים רק ערכי הכניסות והיציאות, לא בתור מתחים אלא בתור מספרים, כדי להבין מה הפעולה הלוגית של השער. טבלה זו נקראת 'טבלת אמת'. עבור שער NOR שהכרנו זה עתה, היא תיראה כך:

יציאה	כניסה 2	כניסה 1
1	0	0
0	1	0
0	0	1
0	1	1

לסיכום: בשער הזה, היציאה תהיה בעלת מתח המייצג 1 רק כאשר בשתי הכניסות יהיה מתח המייצג 0. בשאר המקרים יהיה ביציאה מתח המייצג 0.

באמצעות חיבורים שונים של טרנזיסטורים אפשר ליצור סוגים נוספים של שערים לוגיים, שלכל אחד מהם יש 'טבלת אמת' משלו, וגם סימון מוסכם, כך שיהיה אפשר לתאר מעגל חשמלי שמורכב משערים לוגיים בלי לציין את כל המבנה הפנימי של כל שער כזה. בטבלה הבאה מופיעים השערים הנפוצים, עם טבלאות האמת שלהם ועם הסימון המקובל (בסימונים הללו הרגל או הרגליים מצד שמאל הם הכניסות והרגל מצד ימין היא היציאה):

NAND			AND			NOT	
							
יציאה	כניסה 2	כניסה 1	יציאה	כניסה 2	כניסה 1	יציאה	כניסה
1	0	0	0	0	0	0	1
1	1	0	0	1	0	1	0
1	0	1	0	0	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0

בטבלה הבאה מוסברים כל המצבים האפשריים ברכיב (כזכור, הערך הלוגי 1 מיוצג ע"י 5 וולט והערך הלוגי 0 מיוצג ע"י 0 וולט). מי שמעוניין יכול לדלג על הטבלה ולראות את הטבלה המצומצמת. הטבלה המפורטת מיועדת למי שמעוניין להבין למה קורים הדברים בצורה שהם קורים.

המצב הסופי של יציאה \bar{Q}	המצב הסופי של יציאה Q	תזכורת: שער NAND מוציא 0 רק במקרה שהוא מקבל 1 בשתי הכניסות שלו. בשאר המקרים הוא מוציא 1.		מה קורה בשער NAND המסומן באות A	מה קורה בשער NAND המסומן באות B	מה קורה בשער NAND המסומן באות C	מה קורה בשער NAND המסומן באות D	הערך הלוגי של CLOCK	הערך הלוגי של D	המצב הקודם של יציאה Q	המצב הקודם של יציאה \bar{Q}	
		מקבל 1 משער NAND המסומן באות B	מקבל 1 משער NAND המסומן באות A									
0	1	מקבל 1 משער NAND המסומן באות B	מקבל 1 משער NAND המסומן באות A	מקבל 0 מ-D מקבל 0 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	מקבל 1 בכניסה העליונה (הפוך מ-D) מקבל 0 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	במצב זה, היציאה של שער NAND המסומן באות C (שהיא יציאה Q של המעגל) והיציאה של שער NAND המסומן באות D (שהיא יציאה \bar{Q} של המעגל) צריכות להיות בעלות ערכים הפוכים זה מזה. כל אפשרות אחרת תוביל לסתירה פנימית שלא תואמת את הפונקציה של שער NAND. אם כן, ישנן שתי אפשרויות: או שהכניסות תישארנה כפי שהן, או שהן תתהפכנה. מבחינה פיזיקלית הן לא יכולות להתהפך, כי חלקי התהליך של ההיפוך אחוזים זה בזה בבחינת 'צבת בצבת עשויה' ולכן הן תישארנה כפי שהן.			0	0	0	1
1	0	מקבל 1 משער NAND המסומן באות B	מקבל 1 משער NAND המסומן באות A	מקבל 0 בכניסה העליונה (הפוך מ-D) מקבל 0 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	מקבל 0 בכניסה העליונה (הפוך מ-D) מקבל 0 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	במצב זה, היציאה של שער NAND המסומן באות C (שהיא יציאה Q של המעגל) והיציאה של שער NAND המסומן באות D (שהיא יציאה \bar{Q} של המעגל) תישארנה כפי שהן, מאותה סיבה שהוסברה במקרה הקודם.			0	0	1	0
0	1	מקבל 1 משער NAND המסומן באות B	מקבל 1 משער NAND המסומן באות A	מקבל 0 בכניסה העליונה (הפוך מ-D) מקבל 0 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	מקבל 1 מ-D מקבל 0 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	במצב זה, היציאה של שער NAND המסומן באות C (שהיא יציאה Q של המעגל) והיציאה של שער NAND המסומן באות D (שהיא יציאה \bar{Q} של המעגל) תישארנה כפי שהן, מאותה סיבה שהוסברה במקרים הקודמים.			0	1	0	1
1	0	מקבל 1 משער NAND המסומן באות B	מקבל 1 משער NAND המסומן באות A	מקבל 0 בכניסה העליונה (הפוך מ-D) מקבל 0 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	מקבל 1 מ-D מקבל 0 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	במצב זה, היציאה של שער NAND המסומן באות C (שהיא יציאה Q של המעגל) והיציאה של שער NAND המסומן באות D (שהיא יציאה \bar{Q} של המעגל) תישארנה כפי שהן, מאותה סיבה שהוסברה במקרים הקודמים.			0	1	1	0
1	0	מקבל 0 משער NAND המסומן באות B Q מ-0	מקבל 1 משער NAND המסומן באות A \bar{Q} מ-1	מקבל 1 בכניסה העליונה (הפוך מ-D) מקבל 1 מ-CLOCK לכן, מוציא 0	מקבל 0 מ-D מקבל 1 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	יש לציין שגם אם הערכים הקודמים של Q ושל \bar{Q} היו שונים, בכל מקרה היינו מסיימים עם המצב הזה, כי זה המצב היחיד שלא סותר את הפונקציה של שערי NAND המסומנים ב-C ו-D-			1	0	0	1

1	0	מקבל 0 משער NAND המסומן B באות	מקבל 1 משער NAND המסומן A באות	מקבל 1 בכניסה העליונה (הפוך מ-D) מקבל 1 מ-CLOCK לכן, מוציא 0	מקבל 0 מ-D מקבל 1 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	1	0	1	0
		האפשרות היחידה במצב זה הוא שיציאת שער NAND המסומן ב-C (שהיא יציאה Q של המעגל) תהיה 0 והיציאה של שער NAND המסומן באות D (שהיא יציאה Q של המעגל) תהיה 1. כל אפשרות אחרת תוביל לסתירה פנימית שלא תואמת את הפונקציות של שערי NAND המסומנים ב-C ו-D.							
0	1	מקבל 1 משער NAND המסומן B באות	מקבל 0 משער NAND המסומן A באות	מקבל 0 בכניסה העליונה (הפוך מ-D) מקבל 1 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	מקבל 1 מ-D מקבל 1 מ-CLOCK לכן, מוציא 0	1	1	0	1
		האפשרות היחידה במצב זה הוא שיציאת שער NAND המסומן ב-C (שהיא יציאה Q של המעגל) תהיה 1 והיציאה של שער NAND המסומן באות D (שהיא יציאה Q של המעגל) תהיה 0. כל אפשרות אחרת תוביל לסתירה פנימית שלא תואמת את הפונקציה של שערי NAND המסומנים ב-C ו-D.							
0	1	מקבל 1 משער NAND המסומן B באות	מקבל 0 משער NAND המסומן A באות	מקבל 0 בכניסה העליונה (הפוך מ-D) מקבל 1 מ-CLOCK לכן, מוציא 1	מקבל 1 מ-D מקבל 1 מ-CLOCK לכן, מוציא 0	1	1	1	0
		מקבל 1 מ-Q לכן, מוציא 0 (שזה גם מה שהיה בו לפני כן, כי הערך הקודם של Q היה 0)	מקבל 0 מ-Q לכן, מוציא 1 (שזה גם מה שהיה בו לפני כן, כי הערך הקודם של Q היה 1)						

כדי לקבל תמונה כללית על התפקוד של הרכיב, נעתיק חלק מהעמודות של הטבלה ונתמקד בהן (הצבעים יישמשו אותנו בהסבר):

המצב הסופי של יציאה Q	הערך הלוגי של CLOCK	הערך הלוגי של D	המצב הקודם של יציאה Q
1	0	0	0
0	0	0	1
1	0	1	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	0	1
1	1	1	0
1	1	1	1

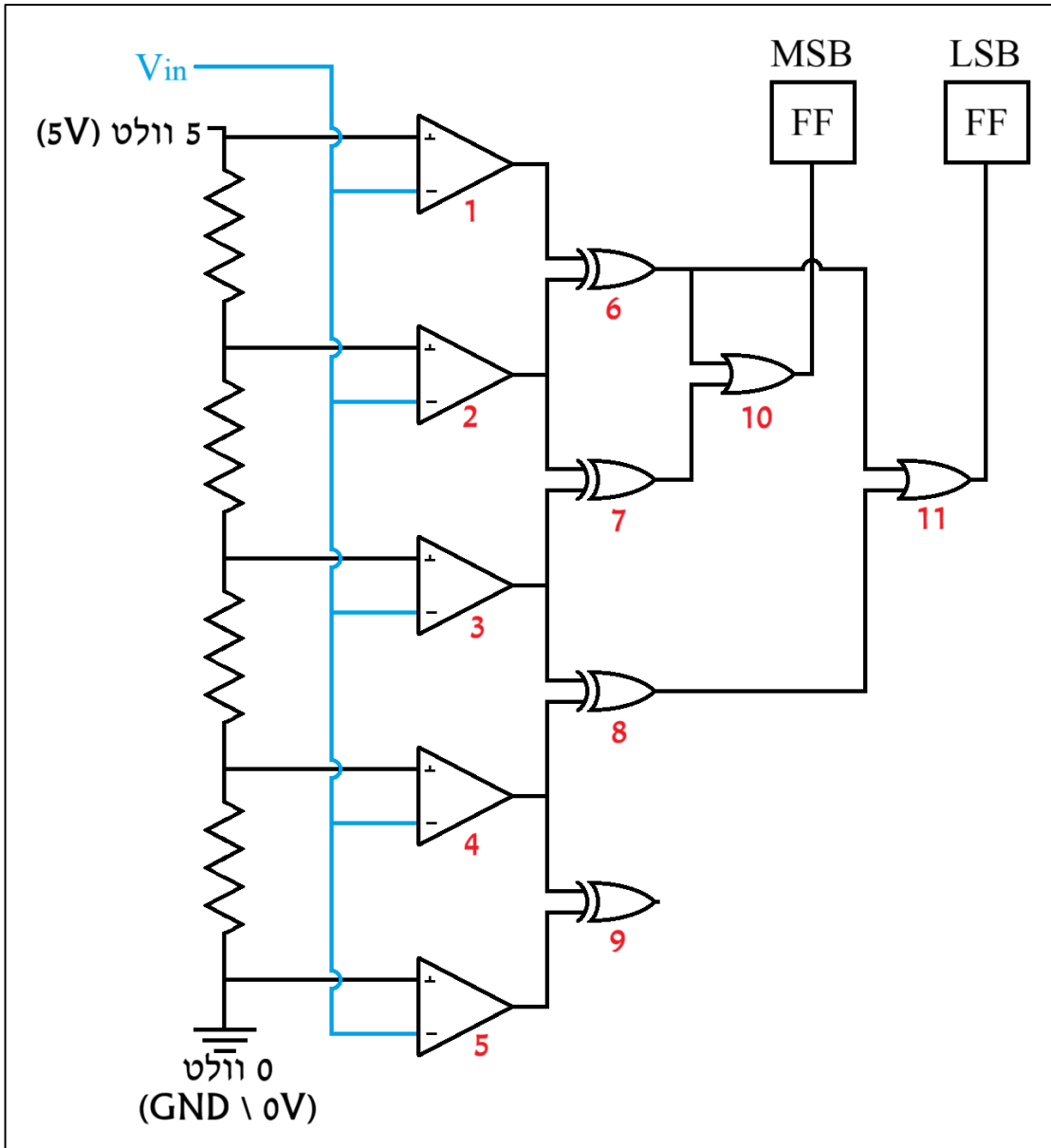
אפשר לסכם את הטבלה באמצעות שני כללים:

- כאשר המצב של CLOCK הוא 0 (מגיע אל הכניסה הזו מתח 0 וולט), היציאות נשארות כפי שהן. עובדה זו בולטת כאשר מתבוננים בערכים הצבועים בצבע תכלת.
 - כאשר המצב הלוגי של CLOCK הוא 1 (מגיע אל הכניסה הזו מתח 5 וולט) יציאה Q מקבלת את הערך המופיע בכניסה D. עובדה זו בולטת כאשר מתבוננים בערכים הצבועים בצבע אדום.
- אם כן, יש לנו רכיב ש'זוכר' את הערכים ביציאה שלו כל עוד בכניסה CLOCK יש 0, ומעדכן את הערכים ביציאה שלו על פי הכניסה D כאשר בכניסה CLOCK יש 1.⁸

⁸ כפי שעולה מההסבר, כל עוד הכניסה CLOCK תהיה בעלת ערך לוגי 1, המידע שבכניסה D ייכנס ל-Q. כלומר, יציאה Q תשתנה בעקבות כל שינוי שיתרחש בכניסה D במשך כל הזמן שערכה של הכניסה CLOCK יהיה 1. העובדה הזו עלולה לגרום בעיות במעגלים מעשיים, ולכן, כפי שהוזכר בהערה הקודמת, ישנו רכיב יותר מתקדם (ויותר מסובך) שנקרא Edge Triggered D Flip Flop, שמעביר את המידע שב-D לתוך Q רק ברגע שבכניסה CLOCK מתרחש שינוי מ-0 ל-1 (רגע זה מכונה 'עליית שעון'). ברכיב זה, אם המידע שבכניסה D ישתנה תוך כדי משך הזמן ש-CLOCK נמצא בערך 1, המידע ב-Q לא ישתנה. לא הבאתי כאן את המעגל שלו, כי הוא יותר מסובך ובכל מקרה ההסבר כאן רק בא לתת את העקרונות שעל פיהם פועלים רישומים דיגיטליים, והדוגמה כאן מספיקה לזה.

שמירת ערך של מתח כלשהו בזיכרון דיגיטלי

אחרי שראינו את הצורה שבה זיכרון דיגיטלי עובד, נראה איך אפשר לשמור בצורה דיגיטלית ערך של מתח כלשהו בתוך זיכרון כזה.⁹ מעגל אפשרי עבור מטרה זו הוא המעגל הבא:



נסביר את המעגל משמאל לימין:

בחלק השמאלי ביותר, בין החיבור ל-5 וולט לבין החיבור ל-0 וולט ישנו טור של 4 נגדים (כל אחד מהם מסומן בתור זיגזג) שווים בערך ההתנגדות שלהם. כרגע לא נעסוק בשאלה למה זה כך, אבל במצב כזה, על כל נגד יש מתח שהערך שלו הוא רבע מהערך של מתח ה-5 וולט שעל כל הנגדים יחד, כלומר אחד ורבע ($1\frac{1}{4}$) וולט.¹⁰ אם כן, הערכים של המתח בחוטים השחורים שיוצאים מטור הנגדים לכיוון המשולשים הממוספרים מ-1 עד 5 יהיה כדלהלן:

- בחוט העליון שנכנס לכניסה העליונה של משולש מספר 1 המתח הוא 5 וולט, כי הוא מחובר ישירות ל-5 וולט.

⁹ בשפה מקצועית, מדובר על המרה של ערך אנלוגי לערך דיגיטלי.
¹⁰ ובסימון עשרוני: 1.25.

- בחוט הבא, שיוצא מבין שני נגדים ונכנס לכניסה העליונה של משולש מספר 2 המתח הוא שלוש ושלושת רבעי וולט ($3\frac{3}{4}$), כי צריך לחסר מה-5 וולט את המתח של הנגד העליון, שהוא אחד ורבע וולט.
- בחוט הבא, שיוצא מבין שני נגדים ונכנס לכניסה העליונה של משולש מספר 3 המתח הוא שנים וחצי וולט ($2\frac{1}{2}$), כי צריך לחסר מהמתח של החוט הקודם את המתח של נגד נוסף, שגם הוא אחד ורבע וולט.
- בחוט הבא, שיוצא מבין שני נגדים ונכנס לכניסה העליונה של משולש מספר 4 המתח הוא אחד ורבע וולט ($1\frac{1}{4}$), כי צריך לחסר מהמתח של החוט הקודם את המתח של נגד נוסף, שגם הוא אחד ורבע וולט.
- בחוט התחתון, שנכנס לכניסה העליונה של משולש מספר 5 המתח הוא 0 וולט, כי הוא מחובר ישירות ל-0 וולט.

בנוסף, ישנו מתח חיצוני המסומן V_{in} שאותו רוצים למדוד ולשמור את ערכו בזיכרון. מושכים מ- V_{in} חוט שמתחבר לכניסות התחתונות של כל 5 המשולשים (החוט צבוע בתכלת בתרשים). המדידה הזו לא נותנת במספר את ערך המתח בוולטים, אלא רק באה לומר האם המתח הוא בין 0 ל- $1\frac{1}{4}$ וולט, בין $1\frac{1}{4}$ ל- $2\frac{1}{2}$ וולט, בין $2\frac{1}{2}$ ל- $3\frac{3}{4}$ וולט או בין $3\frac{3}{4}$ ל-5 וולט (כדי לקבל מדידה ברזולוציה גבוהה יותר, צריך להשתמש בהרבה יותר רכיבים מהסוגים שמרכיבים את המעגל שבדוגמה).¹¹

המשולשים הממוספרים מ-1 ל-5 הם 'מְשָׁנָים' (ביחיד: מְשָׁן). הכלל של רכיב כזה הוא: כאשר ערך המתח שמגיע לכניסה העליונה של מְשָׁן (שמסומנת בפלוס) גבוהה יותר מהמתח שמגיע לכניסה התחתונה (שמסומנת במינוס) הוא יוציא ביציאה הימנית שלו 5 וולט (מייצג את הערך 1), וכאשר זה ההפך, הוא יוציא ביציאה הימנית שלו 0 וולט (מייצג את הערך 0).

השלב הבא אחרי המשוונים, הוא שערים לוגיים מסוג XOR (ממוספרים מ-6 ל-9). כמו שמתואר בטבלה בתחילת עמ' 8, שערי XOR מוציאים 1 (מיוצג על ידי מתח גבוה – למשל 5 וולט) כאשר ערכי הכניסות שלהם שונים (0 למעלה ו-1 למטה או להפך), ו-0 (מיוצג על ידי מתח 0) כאשר הערכים בכניסות שלהם שווים. מה שיקרה בשערי ה-XOR שבמעגל שלנו, הוא שרק שער ה-XOR שנמצא מול הנגד שנמצא בטווח המתחים שבתוכו נמצא גם V_{in} יוציא מתח שמייצג 1. כל השאר יוציאו 0.

כדי להבין למה זה כך, נשתמש בדוגמה שבה הערך של V_{in} הוא 3 וולט. זה יהיה המצב כל המשוונים:

- משוון מספר 1 יוציא 1, כי המתח בכניסת הפלוס שלו (5 וולט) גבוה מהמתח בכניסת המינוס שלו ($V_{in} = 3$ וולט).
- משוון מספר 2 יוציא 1, כי המתח בכניסת הפלוס שלו ($3\frac{3}{4}$ וולט) גבוה מהמתח בכניסת המינוס שלו ($V_{in} = 3$ וולט).
- משוון מספר 3 יוציא 0, כי המתח בכניסת הפלוס שלו ($2\frac{1}{2}$ וולט) נמוך מהמתח בכניסת המינוס שלו ($V_{in} = 3$ וולט).
- משוון מספר 4 יוציא 0, כי המתח בכניסת הפלוס שלו ($1\frac{1}{4}$ וולט) גבוה מהמתח בכניסת המינוס שלו ($V_{in} = 3$ וולט).

¹¹ יש מעגלים שיש בהם יותר מ-1000 נגדים בטור, ואפשר לקבל על ידם מדידה ברזולוציה גבוהה. רכיבים אלה נפוצים מאד ואפשר להשיגם בזול. כאן בגיליון לא הובאו מעגלים כאלה, לצורך פישוט ההסבר.

- משוון מספר 5 יוציא 0, כי המתח בכניסת הפלוס שלו (0 וולט) גבוה מהמתח בכניסת המינוס שלו ($V_{in} = 3$ וולט).

אחרי שראינו מה יהיה המתח ביציאות של המשוונים נראה מה יהיו ביציאות שערי ה-XOR:

- שער XOR מספר 6 יוציא 0, כי בכניסות שלו יש 1 (ממשוון מספר 1) ו-1 (ממשוון מספר 2).
- שער XOR מספר 7 יוציא 1, כי בכניסות שלו יש 1 (ממשוון מספר 2) ו-0 (ממשוון מספר 3).
- שער XOR מספר 8 יוציא 0, כי בכניסות שלו יש 0 (ממשוון מספר 3) ו-0 (ממשוון מספר 4).
- שער XOR מספר 9 יוציא 0, כי בכניסות שלו יש 0 (ממשוון מספר 4) ו-0 (ממשוון מספר 5).

השלב האחרון הוא התרגום למספר בינארי שמייצג את הטווח שבו נמצא V_{in} . כדי להבין את התהליך, נראה מה אמור לקרות בסופו. בסוף התהליך, תהיה מיוצגת המדידה בצורה מספרית בשני רכיבי הזיכרון שבפינה הימנית עליונה של התרשים, כך:

ממשעות מספרית בספירה עשרונית	יוצג בשתי ספרות הזיכרון (מספר בינארי)	עבור מתח V_{in} בין הערכים
0	0 0	בין 0 ל- $1\frac{1}{4}$ וולט
1	0 1	בין $1\frac{1}{4}$ ל- $2\frac{1}{2}$ וולט
2	1 0	בין $2\frac{1}{2}$ ל- $3\frac{3}{4}$ וולט
3	1 1	בין $3\frac{3}{4}$ ל-5 וולט

כפי שניתן לראות בטבלה, המספר לא מייצג את הערך המדויק של המתח בוולטים, אלא מייצג את הטווח שבו נמצא המתח, לפי מספור שמופיע בצד שמאל של הטבלה.¹² עבור התרגום הזה משתמשים בשני שערי OR. כפי שמופיע בטבלה בתחילת עמ' 8, שער OR מוציא 1 כאשר לפחות אחת מהכניסות שלו מקבלת 1.

לפי הטבלה שמופיעה בעמוד זה, הספרה הימנית (הנמוכה מבין שתי הספרות הבינאריות, המסומנת בתרשים שבעמוד 11 כ-LSB) תהיה 1 כאשר ערך המתח V_{in} הוא בין $1\frac{1}{4}$ ל- $2\frac{1}{2}$ וולט או כאשר הוא בין $3\frac{3}{4}$ ל-5 וולט, כלומר כאשר שער XOR מספר 8 או שער XOR מספר 6 מוציא 1. לכן הספרה הזו מקבלת את ערכה (לתוך כניסת ה-D שהכרנו כשלמדנו על רכיב הזיכרון) משער OR, שמקבל את היציאות של שני שערי XOR הללו. כאשר אחד משערי XOR מספר 6 ומספר 8 יוציא שער OR מספר 11 את הערך 1, ערך זה יגיע לספרה השמאלית של המספר שמייצג את הטווח שבו נמצא מתח הכניסה.

כמו כן, לפי הטבלה שבעמוד זה, הספרה השמאלית (הגבוהה מבין שתי הספרות הבינאריות, המסומנת בתרשים שבעמוד 11 כ-MSB) תהיה 1 כאשר ערך המתח V_{in} הוא בין $2\frac{1}{2}$ ל- $3\frac{3}{4}$ וולט או כאשר הוא בין $3\frac{3}{4}$ ל-5 וולט, כלומר כאשר שער XOR מספר 6 או שער XOR מספר 7 מוציא 1. לכן הספרה הזו מקבלת את ערכה (לתוך כניסת ה-D שהכרנו כשלמדנו על רכיב הזיכרון) משער OR מספר 10, שמקבל את היציאות של

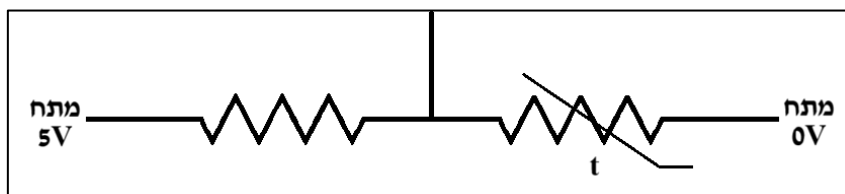
¹² כדי להבין יותר את השיטה הזו לייצוג ערכי מתח, תוצג כאן דוגמה נוספת של מספור כזה (שאולי תעזור לחלק מהקוראים להבנה נוספת) במערכת שבה המדידה ממוקדת פי 2 ממה שראינו, ומחלקת את טווח המתחים ל-8:

ממשעות מספרית בספירה עשרונית	יוצג בשלוש ספרות הזיכרון	עבור מתח V_{in} בין הערכים	ממשעות מספרית בספירה עשרונית	יוצג בשלוש ספרות הזיכרון	עבור מתח V_{in} בין הערכים
4	1 0 0	בין $2\frac{1}{2}$ ל- $3\frac{1}{8}$ וולט	0	0 0 0	בין 0 ל- $\frac{5}{8}$ וולט
5	1 0 1	בין $3\frac{1}{8}$ ל- $3\frac{3}{4}$ וולט	1	0 0 1	בין $\frac{5}{8}$ ל- $1\frac{1}{4}$ וולט
6	1 1 0	בין $3\frac{3}{4}$ ל- $4\frac{3}{8}$ וולט	2	0 1 0	בין $1\frac{1}{4}$ ל- $1\frac{7}{8}$ וולט
7	1 1 1	בין $4\frac{3}{8}$ ל-5 וולט	3	0 1 1	בין $1\frac{7}{8}$ ל- $2\frac{1}{2}$ וולט

שני שערי XOR מספר 6 ומספר 7. כאשר אחד משערי XOR הללו יוציא 1, הספרה השמאלית של המספר שמייצג את הטווח שבוא נמצא מתח הכניסה תהיה 1. כפי שלמדנו לעיל, ערך הזיכרון יתעדכן בזמן שערכו של CLOCK יהיה 1, וישאר יציב בזמן שערכו של CLOCK יהיה 0.

תרמוסטט דיגיטלי

לאחר שהוסבר איך שומרים ערך של מתח חשמלי בזיכרון דיגיטלי, נלמד איך אפשר ליצור תרמוסטט דיגיטלי, שמייצג את הטמפרטורה במספר בינארי, באמצעות הרכיב שהכרנו בגיליון שעבר בעמוד 4. הרכיב שהכרנו בגיליון שעבר, הוא נגד שההתנגדות שלו משתנה לפי הטמפרטורה שבסביבתו. אפשר לחבר את הנגד תלוי הטמפרטורה לנגד אחר בעל התנגדות קבועה, ואת שניהם יחד להפרש מתחים קבוע, בצורה כזו:



הנגד הימני הוא נגד תלוי טמפרטורה, והשמאלי הוא נגד קבוע. ההפרש של 5 וולט מתחלק בין הנגדים לפי ערך ההתנגדות שלהם. ערך המתח בחוט שבין שני הנגדים, יהיה תלוי ביחסי ההתנגדות של שני הנגדים. כאשר משתנה ערך הנגד תלוי הטמפרטורה, משתנה היחס בין ההתנגדות של שני הנגדים, ומשתנה גם ערך המתח בחוט שבין שני הנגדים. החוט שבין שני הנגדים, מביא את המתח שבין שני הנגדים למעגל דומה למעגל שמשורטט בעמוד 11. אפשר לומר שהמתח בין שני הנגדים הוא מתח V_{in} שמופיע שם.

בצורה כזו, ישנו בזיכרון כל הזמן ערך מספרי שמייצג את המתח בין שני הנגדים, ולמעשה תלוי בטמפרטורה. התוכנה של המקרר מפעילה את הפעולות הנכונות לפי המספרים. למשל: מי שכתב את התוכנה יודע שמספר מסוים נוצר בזיכרון כאשר הטמפרטורה חמה מאוד, ולכן הוא יכניס בתוכנה פקודה שכאשר יש מספר כזה, המחשב צריך להפעיל את מדחס המקרר בעוצמה חזקה. בדומה לזה, יופיעו פקודות נוספות בתוכנה של המקרר – כל פקודה בהתאם למספר אחר שנוצר בתרמוסטט.

הזרם במעגלים לוגיים

חלק מהמאמרים שדנו בנושא הרישום הדיגיטלי עסקו גם בשאלה מתי יש זרם במעגלים לוגיים, כמו הזיכרון הדיגיטלי שהכרנו בגיליון זה. לכן ניגע בנקודה לפני תחילת הדיון ההלכתי. בשערים לוגיים, ובזיכרון המבוסס עליהם ישנו זרם מזערי¹³ בזמן שהערך הלוגי קבוע, כלומר בזמן שהיציאות והכניסות אינן משנות את המתח החשמלי שלהן, ומייצגות ערכים לוגיים (0 או 1) בצורה יציבה. בזמן שינוי מ-1 ל-0 או להפך, זרם זרם גדול יותר, שמאפשר את השינוי של מצבי הטרינזיסטורים, ושינוי ערכי המתח בנקודות השונות. אין הבדל מהותי בין מצב 0 למצב 1 מבחינת הזרם. ההבדל המהותי הוא בין מצב יציב לבין רגע השינוי של המצב. כפי שהוזכר לעיל, לא נכון להתייחס למצב 0 כ'כבוי' ולמצב 1 כ'דלוק', אלא מדובר על שתי רמות מתח שלכל אחת יש את המשמעות שלה, וכל מעבר בין מצבים מצריך זרם כדי להתרחש.

כתיבת ההסבר הטכנולוגי התבססה בעיקרה על ידע מקורסים שונים בהנדסת חשמל שיצא לי ללמוד או ללמד במרכז האקדמי לב ('מכון לב'). את רוב המעגלים שתיארתי בהסבר בניתי גם פיזית כדי להסביר את הנושא בשיעורים שונים, והם עובדים כפי שמתואר בהסבר.

¹³ לפי הידע המקובל בנושא, וניסויי שעשיתי בעצמי על מעגל לדוגמה, מדובר על פחות ממיקרו-אמפר בשער לוגי או תא זיכרון בודד.

דיון הלכתי בנושא רישומים דיגיטליים

פתיחה

מעבר לפעולות שהמקרה מבצע כמו הפעלת מדחס, מאווררים, נורה ועוד, יש הסוברים שהרישומים הדיגיטליים שבמעבד של המחשב, כלומר ערכי המתח שמשנתנים בעקבות שינוי הטמפרטורה, מהווים בעיה. בחלק מפרסומי מכון 'משמרת השבת' מופיע בשם כמה פוסקים חשובים, שיש ביצירת הרישומים הדיגיטליים איסור תורה.¹⁴ לעומתם, יש פוסקים חשובים שאינם חוששים לזה. כך למשל שיטתם של רבני המכון הטכנולוגי להלכה.¹⁵ לעני"ד מובנת יותר שיטת המקילים בהם, כפי שיפורט כאן.

בתחילה נדון בשאלה האם עצם יצירת הרישום יכול להיות מוגדר כמלאכה מהתורה או כאיסור דרבנן, ולאחר מכן נדון בשאלה האם האופן שבו נעשים רישומים אלה במקרה אסור. הדיון נסוב על רישומים שאינם נשמרים לצורך כלשהו,¹⁶ אלא מופיעים בזיכרון המעבד 'בזמן אמת', תוך כדי הפעילות השגרתית של המקרה.

השוואה בין רישום דיגיטלי לבין טעמי איסור שימוש בכלי חשמל

האיסור (אם יש) ביצירת רישומים דיגיטליים בשבת, יכול להיות חלק מהאיסור הכללי של שימוש בכלי חשמל בשבת. נתבונן בשיטות השונות להסביר את האיסור על שימוש במכשירי חשמל שונים בשבת, כדי לראות האם אפשר להוציא מתוכן איסור על יצירת רישום דיגיטלי.

לדעת הגר"י שמעלקיש, בשו"ת בית יצחק (יורה דעה, חלק ב, מפתחות, סימן לא), אסור להדליק מכשיר חשמלי בשבת משום איסור "מוליד". הסוגייה שעליה בנויה שיטת הבית יצחק, אוסרת הכנסת בושם בבגד ביום טוב משום "מוליד" (מוליד תכונת ריח בבגד). הוא סובר שגם הכנסת הזרם למכשיר מולידה בו תכונה חדשה, ולכן אסורה מאותו הטעם. במקרה של רישומים דיגיטליים, הרישומים הללו אינם מורגשים בחושים, וקשה לומר שיש כאן הולדת תכונה חדשה במיקום בזיכרון שהשתנה הערך שלו. למה הדבר דומה? לאדם המניח טיפת בושם מיקרוסקופית על בגד, כך שהיא מולידה בו ריח מאד חלש שאין מי שיוכל לחוש בו. אם לרישומים כשלעצמם היה ערך לאדם, היה אפשר לומר שלמרות שהרישום עצמו לא ניכר יש לו תוצאה ניכרת. כאשר הרישומים מגיעים למספר שמשנה את פעולת המקרה (הפעלת מדחס, מאווררים, דאמפר וכו') יש להם תוצאה ניכרת, אך דינם לא יהיה תמור יותר מהפעולה הניכרת עצמה, שעליהם דנו הפוסקים כל פעולה לגופה, וחלקם הוזכרו בגיליון זה או בגיליון הקודם. אם כן, לא נראה שמהבחינה הזו יש איסור ברישום דיגיטלי כשלעצמו.

בספר חזון איש (או"ח, סימן נ, ס"ק ט) סובר, שסגירת מעגל אסורה משום מלאכת בונה, בדומה לחיבור פרקים (חלקים של כלי גדול) שנאסר בגמרא באופנים שונים. כפי שמופיע בהסבר הטכנולוגי לעיל, ברישומים דיגיטליים אין חיבור פיזי של חלקים, זאת בשונה מהמפסקים המצויים בבתיים להדלקת אור וכדומה. במוליכים למחצה אין חיבור של פרקים, אלא רק שימוש בשדות חשמליים שמאפשרים או חוסמים זרם דרך הטרנזיסטורים, באמצעות שינוי תכונות פיזיקאליות. לכן נראה, שיהיה קשה להגדיר רישום דיגיטלי כמלאכת בונה מהבחינה הזו.

הגדרות נוספות המופיעות בדברי החזון איש (בסימן נ, ס"ק ט הנ"ל, ובמכתביו לגרש"ז אוירבך שהובאו בין השאר במנחת שלמה חלק ב, סימן כה), ומסבירות מדוע בהפעלת המכשיר יש איסור בונה או מכה בפטיש, הן: "מעמיד הדבר על תכונתו" ו"מקים ממוות לחיים". כלומר, הכנסת זרם במכשיר חשמלי 'בונה' אותו, כי היא נותנת לו (או לחוטים המוליכים שבתוכו) את המשמעות ואת הפעילות התקינה שהייתה חסרה לו

¹⁴ בחוברת 'מקוררים ומקפאיים בשבת' של הרה"ג אליהו ברורמן, בהוצאת משמרת השבת (קיימת באוצר החכמה) נאספו כמה מכתבים חתומים על ידי רבנים חשובים, בעניין זה.

¹⁵ ראה בחוברת 'על משמר השבת' בהוצאתם (החוברת נמצאת באוצר החכמה וגם באתר של המכון הטכנולוגי להלכה). לרשימת רבנים נוספים ראה ספר צומת (חלק א, עמ' 115, הערה 11).

¹⁶ שמירת נתונים לעתיד עבור צורך כלשהו, מקובלת כאיסור, הכלול בתוך האיסור הכללי על שימוש בכלי חשמל בשבת. אמנם הרישום עצמו לא ניכר, אבל הוא משמש את האדם ונעשה למטרה חשובה. אם כן, אפשר שגם אם נעשים במקרה רישומים הנשמרים לטווח ארוך יש מקום להקל משום פסיק רישיה, גרמא וכו'. אם מקרה שומר את הנתונים כדי ללמוד את אופי השימוש של המשפחה הספציפית, יש לדון על כך בנפרד. ראה מה שנכתב בגיליון 11.

לפני כן.¹⁷ במקרה של רישומים דיגיטליים, המכשיר לא יותר תקין עקב כך שרשום בו מספר זה או אחר. אמנם האדם רוצה שהמספר במכשיר יהיה עדכני, אבל אי אפשר לומר שהמערכת לא פעלה לפני כן, ובעדכון המספר היא נהייתה פעילה. בכל עת המכשיר תקין ועשה את תפקידו: לייצג את הטמפרטורה העכשווית, ולכן אין בשינוי המספר השמור בזיכרון יתיקון.

לדיון בשיטת החזון איש יש להוסיף, שרכיבי הזיכרון המאחסנים את הספרה הדיגיטלית (0 או 1) משמשים פעם כ-1 ופעם כ-0, וכל אחד מהם הוא שימוש. אם כן הדבר דומה לסגירת ופתיחת דלת, או הנחת כיסוי על סיר והסרת הכיסוי, שאין בהן איסור בונה וסותר, כי שימושה של הדלת או הכלי בסגירה ופתיחה תדירים. החזון איש (שם, ובמכתב הראשון לגרש"ז המופיע בחזון איש או"ח השמטות קנו, לסימן שיג) מסביר שהדלקה וכיבוי של נורה אינם דומים למקרה של דלת וכיסוי כלי – שסגירתם ופתיחתם מותרות בשבת, כי כיבוי הנורה אינו שימוש אחר, אלא הפסקת השימוש, ולכן הוא אסור משום סותר. יוצא לכאורה מדבריו שברכיבי הזיכרון אין בונה וסותר, כי גם כשהם מכילים את הספרה 0 וגם כשהם מכילים את הספרה 1 מדובר על שימוש, שהרי לדוגמה המספר 1100 אינו שווה למספר 11, ואם כן גם לאפסים יש משמעות. גם אם מתייחסים לטרנזיסטורים שמרכיבים את המעגל, המצב שבו טרנזיסטור מסוים 'חסום' הוא חלק מתפקוד המעגל בצורה הנכונה. החסימה באה למנוע ממתח להגיע לחוט שהוא לא אמור להגיע אליו.¹⁸ לכן אי אפשר לומר שכאשר טרנזיסטור נפתח להולכה הוא מתוקן.

הגרש"ז אוירבך זצ"ל, למרות שלא סבר (לפחות לא בצורה מוחלטת) כשיטת החזון איש בנושא סגירת מעגל בשבת, סבר שיש בשמירת מידע בקלטת משום מלאכת מכה בפטיש (כמובא בשמירת שבת כהלכתה חלק ב, מהדורת תשמט, פרק סח, הערה קכד). נראה שהוא מדבר דווקא על קלטת שלפני כן הייתה ריקה, ולכן חסרת שימוש. גם מהבחינה הזו קשה לומר שרישום דיגיטלי אסור מהתורה. 'יצירת' רישום דיגיטלי בעקבות שינוי טמפרטורה אינה מפעילה אזור בזיכרון המחשב שלא היה פעיל, אלא משנה ערכי מתחים כדי לייצג תמיד את המספר העדכני. הזיכרון המכיל את המידע הדיגיטלי העדכני אינו תקין יותר כשיש בו מספר מסוים ממה שהיה כאשר שהיה בו מספר אחר. זאת בשונה משמירת מידע על קלטת ריקה, שהופכת דבר חסר שימוש לשמיש.¹⁹

הגרא"ז וייס, בשו"ת מנחת אשר (חלק א, סימן ל) סובר שאיסור הדלקת מכשירי חשמל בשבת הוא משום מכה בפטיש. הוא מוכיח מהירושלמי, שמלאכה חשובה שיש בה תיקון מיוחד אסורה משום מלאכת מכה בפטיש. קשה לומר שבעצם יצירת הרישום הדיגיטלי יש מלאכה חשובה, ולכן נראה שאין לאסור את הרישום הדיגיטלי מהבחינה הזו. הגרא"ז וייס שליט"א אכן לא מתייחס לרישומים הדיגיטליים כאיסור, כפי שכתב בתשובה נוספת במנחת אשר (חלק א, סימן לב).

הרב נחום אליעזר רבינוביץ זצ"ל, הביא בשו"ת מלומדי מלחמה (סימן נו), שהגרי"א העניקין התיר הדלקות של מכשירי חשמל בידי גוי אך לא בידי יהודי, אלא אם כן מדובר בהדלקה לצורך חולה. הוא כותב שם שכך גם הורה הגרי"י רודרמן. בסימן נז (עמ' 176) כותב הגר"א רבינוביץ, שסיבת איסור הדלקת החשמל הוא 'עובדין דחול'. קשה לומר שרישום בלתי מורגש בחושים, שרוב בני האדם אינם מודעים לקיומו, נחשב 'עובדין דחול'.

ברור גם שאין סיבה להחשיב את הרישום הדיגיטלי כמלאכת כתיבה, כי לא נוצרת כלל כל צורה פיזית כאשר נעשה רישום דיגיטלי. השם 'רישום' הוא אך ורק שם מושאל.

בספר שבות יצחק (חלק יב, עמ' קכד) התייחס להגדרת האיסור ברישומים דיגיטליים, וכתב בשם הגרי"ש אלישיב זצוק"ל, שרישומים דיגיטליים הם "דוגמת חצי שיעור או חצי מלאכה". לא מופיע שם הסבר מדוע

¹⁷ בדומה לדברים אלו נכתב לפני כן, בשו"ת משפטי עוזיאל (חלק א, סימן יג). יש לציין שבספר קרני אורה (פרק שישי, ענף א, סעיף ה) כתב, שלדעת הגרש"ז אוירבך, החזון איש סובר שגם הפעלת מכשיר באמצעות מוליך למחצה ללא כל חיבור פרקים נחשב למלאכת בונה.

¹⁸ טענה דומה מאוד מופיעה (לגבי מכשיר אחר) מופיעה בקובץ ויען שמואל (של ישיבת כסא רחמים), כרך כב, עמ' שסח, בשם הגר"י הלפרין זצ"ל.

¹⁹ ראה עוד בספר קרני אורה (מהדורת תשפ"ד, עמ' 351-364).

הדבר מוגדר כך.²⁰ כנראה שהטוענים שאין ברישומים דיגיטליים איסור, יאמרו שרישומים אלה אינם 'חצי' אלא 'לא כלום', כל עוד לא גרמו לפעולה כמו הדלקת מדחס וכדומה.

האם הדרך שבה נעשים הרישומים במקרה היא גרמא?

בתרמוסטט דיגיטלי ההשפעה של פתיחת דלת אינה ממש מיידית, כי לוקח זמן (לפחות כמה שניות) עד שהקור או החום משתנים בסביבות הנגד ומשנות את התכונות שלו.²¹ לכן יש מקום להגדיר השפעה זו כ'גרמא', לפי הפוסקים שהתירו את פתיחת הדלת במקרים הישנים (בעלי התרמוסטט המכאני) אף בזמן שהמדחס לא עובד. אמנם ההשפעה על הנגד יותר מהירה מההשפעה על תרמוסטט מכאני, אך עדיין מדובר על פרק זמן ניכר.²² לפי הפוסקים שלא התירו פתיחת דלת במקרה מכאני נראה שאין להחשיב את ההשפעה על הרישום הדיגיטלי כ'גרמא' מותרת.

האם הרישומים הדיגיטליים במקרה הם בני קיימא?

יש מקום לטעון שהרישומים הדיגיטליים אינם ברי קיימא מצד עצמם, כי אם החשמל יכבה הם לא יישארו.²³ מצד שני, כל עוד המקרה מחובר לחשמל ואין סיבה לחשוב שתרחש הפסקת חשמל, הקיום של רישומים אלה יכול להיחשב כבר קיימא.²⁴ סיבה נוספת להחשיב את הרישומים כאינם בני קיימא, הוא משום שהזיכרון ישתנה אם הטמפרטורה תשתנה, דבר שקורה מדי פעם גם ללא התערבות המשתמש.

האם מדובר על פסיק רישיה דלא ניחא ליה?

כאשר מתייחסים לרישומים שבעקבותיהם מתרחשת פעולה של המדחס וכדומה, נראה שהרישומים הללו לא מצריכים דיון בפני עצמו, כי הם לא חמורים יותר מהפעולות שהם גורמים במדחס וכו', שהן מורגשות בחושים. עיקר הדיון הוא על רישומים שנעשים לפני שהמספר השמור בזיכרון הגיע לערך שמפעיל מערכות. ברישומים אלה, אין כלל רווח ברישום, ואין למשתמש עניין בכל החלפת הספרות בדרך. עד כמה שידוע לי, אין צורך טכני בכל החלפת המספרים שמתרחשות בתהליך כדי להגיע למספר שבו יקרה השינוי במערכות המקרה. עקרונית, אם התרמוסטט יקבל הרבה אור חם בבת אחת ו"יקפוץ" למספר שיהיה משמעותי, הוא יפעיל מערכות במקרה בלי לעבור את כל המספרים בדרך, והמערכת תעבוד בצורה טובה.²⁵

רישום דיגיטלי של פתיחה וסגירה

אחת האפשרויות 'לבטל' את לחצני הדלת של המקרה (המכאני או המגנטי, שהכרנו בגיליון 27) היא באמצעות התוכנה, כך שיתבצע רישום דיגיטלי של מצב המקרה אך הוא לא ישפיע. לא ברור כלל שרישומים

²⁰ אולי כוונתו שזה שלב בתהליך עד שמגיעים לרישום של מספר שמשפיע על מערכות כמו מדחס, דאמפר וכו'. על כך ראה מה שכתוב בעניין פסיק רישיה דלא ניחא ליה.

²¹ ראה: מאור השבת (חלק ד, עמ' שכו).

²² בספר המטבח כהלכה (מהדורת תשעו, עמ' 381, הערה 5) כתב, שבמקרה שבדקו ראו שההשפעה ניכרה לאחר 17 שניות. לא מופיע שם כל מהלך הניסוי, ולכן קשה לקבוע עד כמה יש לזה משמעות, ועד כמה מדובר על הערך המצוי של אורך הזמן. מכל מקום, גם 17 שניות הן פרק זמן ניכר. פתיחת מקרה ממוצעת (על פי מה שעקבתי אחרי אנשים שפותחים מקרה בצורה טבעית) לוקחת פחות זמן. זה אומר שההשפעה תתרחש לרוב לאחר הסגירה של הדלת, וברור שזה לא כח ראשון. לעת עתה לא מצאתי בפוסקים הגדרה של אורך פרק הזמן שמספיק כדי להחשיב את ההפעלה כ'גרמא' או 'כח שני'. אפשר אולי להביא ראיה שאין צורך בפרק זמן ארוך מתוך ההלכה בשולחן ערוך (יו"ד, סימן ז, סעיף א):

ואם פטר אדם את המים (פתח את סכר המים) עד שבאו וסבבו את הגלגל, ושחט בסביבתו, הרי זה כשר בדיעבד, שהרי מכח אדם בא; במה דברים אמורים, בסביבה ראשונה שהיא מכח האדם, אבל מסביבה שנייה ולאחריה, פסולה.

ההפך בין הסיבוב הראשון לסיבוב השני כנראה לא לוקח פרק זמן ארוך מאוד, ובכל זאת הסיבוב השני הוא כבר כח שני.

במקום אחר בספר המטבח כהלכה (עמ' 392, סוף הערה 26) ציין זמן של 3-5 שניות, ואיני יודע האם זו סתירה, או שכוונתו שם לבדיקה באופן אחר.

²³ אם מדובר על מקרה ששומר את הנתונים בזיכרון 'לא נדיף' עבור שימוש עתידי, טענה זו לא נכונה. אך כפי שכתב בתחילת הדיון, הוא נסוב על זיכרון שנשמר בזמן אמת תוך כדי הפעלת המקרה ולא על זיכרון שנשמר לאורך זמן.

²⁴ עם זאת, יש לציין ששיטת הגרב"צ אבא שאול בכמה מקומות, שאדם שלחץ על כפתור שהתחיל תהליך שתלוי בחשמל מהרשת, נחשב כאילו עשה רק את מה שקרה מיד אחר הלחיצה, אך שאר התהליך נקרא על שם חברת החשמל ולא על שם הלוחץ על הכפתור במכונה.

²⁵ אם נשתמש בדוגמה שראינו בהסבר הטכנולוגי, מה שיקרה במקרה עקרוני כזה, הוא שבבת אחת היציאה של הרבה משוונים תשתנה מ-1 ל-0 או להפך, ושער ה-XOR שיוציא 1 יהיה שער XOR שאינו קרוב לזה שהוציא 1 לפני כן, אלא מרוחק מעט ממנו.

כל זאת בשונה מרכיב שנקרא 'מונה' (Counter), שאותו לא הכרנו בגיליון זה, והוא בנוי כך שצריך לעבור דווקא ממספר למספר בסדר עוקב, ולא יכול לדלג על שלבים בדרך.

אלה אסורים, אך יש מקום להחמיר בהם יותר מאשר ברישומים שנעשים על ידי התרמוסטט, כי הם נעשים בצורה ישירה בידיו של המשתמש שפותח וסוגר. מי שחושש לרישומים אלה, וברשותו מקרר עם התקן שבת שלא מבטל אותם, יכול לנטרל את לחצני הדלת בצורה שהוסברה בגיליון 27 (בעמוד 6).

חומרה ברישומים דיגיטליים משום גדר וסייג

בספר שערי השבת לרבי שמואל יוסף שטיצברג (חלק א, עמ' קיא) כתב שאף אם נאמר שהרישומים הדיגיטליים אינם מהווים בעיה מעיקר הדין, יש מקום להחמיר בהם משום גדר וסייג. אפשר להבין את הטענה בעולם הטכנולוגי שבו אנו חיים, והמכשירים בו מתפתחים בקצב מהיר. מצד שני, אם אדם מקפיד לקנות דווקא מקרר עם התקן שמאפשר על ידי רבנים, הוא לא צריך לחשוש לפריצת גדר, כי הגופים הרבניים העוסקים בתחום משגיחים על הנעשה ומקפידים להתעדכן בהתפתחויות. במכשיר מודרני עשויות להיות שאלות רבות שהקונה כלל לא מודע אליהן, ואם הגוף הרבני הוא רציני, הבעיות האלה עברו בדיקה ונמצאה דרך טובה לטפל בבעיות המצריכות טיפול.

דיונים הלכתיים בנושאים נוספים

גוף החימום של ההפשרה

בגיליון הקודם למדנו את דברי הגרש"ז אורבך בשו"ת מנחת שלמה (חלק א, סימן י). הוא מתיר את פתיחת דלת המקרר גם בזמן שמדחס המקרר אינו עובד, למרות ההשפעה העקיפה על הדלקת המדחס. בתחילת התשובה מופיעה הערה, שהמאמר לא דן במקררי ספיגה²⁶ או במקררים שיש בהם גוף חימום של הפשרה, שבהם נגרמת הדלקת גוף חימום לוחט. ההערה נוספה כנראה בעקבות הערת הגר"י הלפרין, המופיעה בקובץ עטרת שלמה (כרך ב, עמ' עג) ומתייחסת לגרסה הקודמת של תשובת הגרש"ז, שהופיעה במקומות שונים.²⁷ מקררי ספיגה כמעט לא מצויים כיום, אך ההסתייגות לגבי מקרר עם גוף הפשרה נוגעת מאוד לרוב המקררים המצויים בבתי, ולכאורה מקשה להסתמך על תשובת הגרש"ז עבור מקררים בני ימינו, שלהרבה מהם יש גוף חימום להפשרת הקרח.²⁸

כפי שראינו בהסבר המדעי בגיליון הקודם, כאשר גוף החימום של ההפשרה פועל, לפחות בחלק מהדגמים הוא לוחט.²⁹ חימום גוף מתכתי לרמה של להט נחשב לפי פוסקים רבים כאיסור תורה.³⁰ כנראה מסיבה זו סייג הגרש"ז אורבך את דבריו. עם זאת, לא ברור שלדעת הגרש"ז פתיחת דלת במקרר כזה אסורה (נכון להיום), משום שלפחות חלק מסברות ההיתר שכתב לגבי פתיחת דלת המקרר נכונות גם במקרר שיש בו חוט להט. ההפעלה של גוף החימום אינה ישירה בעקבות פתיחה או סגירה של הדלת, אלא מתרחשת (נכון להיום) רק לאחר סך מסוים של שעות של עבודה של המדחס (במצטבר), או בחישוב שכולל תנאים שונים, ולכן נראה שתיחשב גרמא. אמנם גרמא של מלאכה מהתורה אסורה, אך כאן מדובר בפסיק רישיה של גרמא, שסבר הגרש"ז (בתשובתו הני"ל) שמותרת אף במלאכה מהתורה:

...גם פשוט הוא שאף אם היינו אומרים שיש איסור תורה בהפעלת מנוע מ"מ בנידון שלנו... כאן שהחום רק גורם שלאחר זמן יתפשט הגז, ויחד אתו המפוח, ורק אז תתחיל המלאכה ע"י זה שיגרום חיבור עם הזרם, באופן זה מסתבר דחשיב רק גרמא בעלמא, וגם אפשר שכיון שמעיקר הדין אמרו בגמ' שגרמא מותר, לכן אף שהרמ"א הביא דעת המרדכי דלא שרי אלא במקום פסידא, מ"מ אפשר

²⁶ מה שמויחד במקרר זה ומשליך על הדיון ההלכתי, הוא שמקרר זה משתמש בתנור שיכול להיות מבוסס על גוף חימום (לוחט כנראה) או על אש. להרחבה ראה: קרני אורה (מהדורת תשפ"ד, עמ' 577).

²⁷ ראה מה שנכתב בגיליון הקודם בעמ' 11.

²⁸ בשו"ת נחלת לוי לרבי אסי הלוי אבן יולי (חלק ג, או"ח, סימן טו, אות יב) עמד על שאלה נוספת שיש לשאול במקררים עם גוף חימום להפשרה: כשגוף החימום מתחיל לפעול, הקרח נמס, ולפחות חלק מהטיפות נופלות על גוף החימום ומתבשלות. הוא פוסק שהדבר מותר מכמה טעמים, אך תמה על כך שאין הסבר להתקן שבת או מאמר הלכתי שהתייחס לשאלה זו.

²⁹ בספר כשרות ושבת במטבח המודרני (עמ' שלא) כתב שזה לא כך בכל הדגמים, אך הוא נכתב לפני עשרות שנים ואולי כיום המידע הזה לא עדכני.

³⁰ ראה מה שנכתב בעניין זה בהרחבה בגיליון 12.

שדוקא בכה"ג שמכוין להדיא לגרמא, אז הוא דאסור שלא במקום הפסד, אבל בכה"ג דנידון דידן שאינו מכוין אלא לפתוח הדלת, ורק פס"ר הוא שיצא מזה גרמא בכה"ג לא מצינן שאסור... בנוסף, ישנן עוד שתי סיבות להקל:

- לפחות בחלק מהמקרים, הפעלת גוף החימום תלויה גם בפתיחות וסגירות של הדלת. את חיישן הדלת בכל מקרה יש לנטרל, כפי שנכתב בגיליון 27, ולכן בכל מקרה המעבד (ה'מוחי') של המקרר לא יקבל מידע לגבי פתיחות וסגירות של הדלת, ולא יפעיל את ההפשרה במקרים שבהם ההפשרה תלויה במספר פתיחות דלת.

- לפחות בחלק מהמקרים, השפעת פתיחת הדלת על הקדמת פעולת גוף החימום (בעקבות זמן עבודה נוסף של המדחס) תתבטא רק במוצאי השבת.³¹ בספר מאור השבת (חלק ד, עמ' שכד-שכה) מובאת התכתבות של המחבר עם הגרש"ז אורבך בעניין זה, ודיון בעקבותיה. המחבר מסיק מההתכתבות שהגרש"ז אכן היקל לפתוח דלת של מקרר אף כשיש במקרר גוף חימום, מהטעם שצוטט לעיל מהתשובה במנחת שלמה.³² לעומת זאת, בספר שבות יצחק (חלק יב, עמ' קיט) הביא עדות, שכשהתחילו להגיע מקררים עם גוף חימום להפשרה, הגרש"ז אורבך הורה להעדיף קניית מקרר ללא הפשרה, כי היתר גרמא הוא למצב שמתרחש באופן מקרי וזמני, ולא לשימוש תמידי על סמך גרמא.³³ גם בספר המטבח כהלכה (מהדורת תשע"ו, עמ' 413-415) טען שאף לשיטת הגרש"ז אין להקל בהשפעה על גוף החימום. בספר שערי השבת (חלק א, עמ' עג-עה) הביא כמה סיבות להחמיר במקרר עם גוף חימום, אף לפי שיטת הגרש"ז אורבך, אך הלכה למעשה הוא נוטה להקל (בעמ' עה, הערה יג, וכן בעמ' עו, הערה יד).

עד כאן הדיון התמקד בשיטת הגרש"ז אורבך. אך לפי הפוסקים שאסרו לפתוח את הדלת של המקרר אלא כאשר המנוע עובד, יש להניח שבמקרר עם גוף חימום יאסרו לפתוח אף כאשר המדחס עובד. פתיחת הדלת מאריכה את זמן פעולת המדחס ובכך מקדימה את הדלקת גוף החימום בפעם הבאה, ובגלל שמדובר (לפחות בחלק מהמקרים) על גוף חימום לוחט, יש בו שאלה חמורה יותר מהפעלת המדחס. אם כן, יש לציין שאפשר להגדיר את אופן הקדמת גוף החימום כ'גרמא של גרמא', שאולי יותר קלה מגרמא אחת,³⁴ משום שפתיחת דלת גורמת בגרמא להארכת זמן המדחס, והיא גורמת בגרמא (לאחר הצטברות זמן עבודה מספיק) להדלקת גוף החימום.³⁵

יש לציין, שאם אסור להשפיע על הדלקת גוף החימום, גם הקפדה על פתיחת הדלת רק בזמן שהמדחס עובד לכאורה לא משנה את הדין, כי אם הפותח את הדלת מאריך את משך פעולת המדחס בעקבות הפתיחה של הדלת, הוא מוסיף שעות עבודה של המדחס ומקדים את הדלקת גוף החימום. אמנם ההשפעה של האדם על פעולת המדחס היא בגרמא, אך בכל מקרה הפעלת גוף החימום הוא בגרמא, ולכן נראה שזה לא ישנה את הדין לפי שיטה זו. נראה שמי שיאסור את ההשפעה (העקיפה) על פעילות גוף החימום בשבת, יתיר רק מקרר שבו אין כלל השפעה של האדם על משך זמן פעילות המדחס.³⁶

³¹ בשו"ת חלקת יואב (חלק א, או"ח, סימן ז), בשו"ת אבני נזר (חלק או"ח, סימן מח), בשו"ת מהרש"ם (חלק ג' סימן שמח, ד"ה ומ"ש ר"מ בדין הדביק) ובשו"ת חדות יעקב (של הגאון רבי צבי אריה יהודה מייזליש, תנינא, סימן לא), דנו בשאלה מה דינו של אדם שהתחיל בישול מעט לפני מוצאי שבת, והבישול בשיעור המחייב הגיע רק במוצאי שבת. נראה שגם מי שיחמיר במקרה הני"ל יכול להקל במקרה שלנו, כי בשונה מבישול שמתחיל בתוך השבת, בפתיחת דלת המקרר לא התחילה המלאכה כלל, אלא קרו רק הדברים שבסופו של דבר יגרמו למלאכה בדרך של גרמא.

³² גם בספר מכשירי חשמל בשבת (עמ' צא-צב) סוברים שהגרש"ז יקל בהשפעה על מערכת ההפשרה. ראה גם בספר נחלת לוי לרבי אסי הלוי אבן יולי (חלק ג, או"ח, סימן טו, אותיות ב-ז), שמיקל בשאלת הקדמת הפעלת גוף החימום על ידי פתיחת הדלת, מכמה טעמים, שלפחות חלקם הם הטעמים שהזכיר הגרש"ז אורבך בתשובתו.

³³ צריך עיון איך ליישב את העדות בשם הגרש"ז עם מה שהובא בימאור השבת. מכל מקום, לא ברור מתוך העדות הני"ל, מה הגרש"ז היה אומר כיום, כשהמקרים ללא הפשרה נעשים נדירים. אמנם יש התקנים שפותרים את השאלה הזו בצורה מוחלטת, אך לפחות בחלק מהמקרים השימוש בהם כרוך בטרחה.

³⁴ אציין כאן כמה מקורות שדנו ביגרמא של גרמא: קצות החושן (סימן שפו, ס"ק ג), שו"ת בית אפרים (יו"ד, סימן סב, ד"ה יומ"ש מכ"ת שיש לדון ע"פ מ"ש הש"ך בח"מ), כשרות ושבת במטבח המודרני (עמ' שו-שוז). ראה גם שו"ת מנחת אשר (חלק ג, סימן כה, בתחילתו) שטוען שאין השפעה עקיפה (אפילו רחוקה) שנחשבת 'פחות מגרמא'.

³⁵ ראה בשו"ת נחלת לוי לרבי אסי הלוי אבן יולי (חלק ג, או"ח, סימן טו, אות ד).

³⁶ שיטת רבני המכון הטכנולוגי להלכה שליט"א אינה כך. כך עולה ממה שכתבו בעניין זה בחוברת על משמר השבת (עמ' 9-8) וגיליונות אספקלריה. לשיטתם, אם הארכת זמן פעילות המדחס היא בימניעת מונע, אין בעיה בכך שהיא גוררת את הקדמת הפעלת גוף החימום. בספר צומת (חלק א, עמ' 151, הערה 32) הסבירו, שכנראה רבני המכון

האם מדחס אינוורטר מקל או מחמיר את הדיון על ההשפעה על מדחס המקרר?

במדחסים הישנים, עוצמת הפעולה הייתה קבועה. הם התחילו לפעול כאשר הטמפרטורה הגיעה למקסימום המותר (החום הכי גבוה שנמצא בטווח הטמפרטורה הנחשב לתקין), והפסיקו כשהטמפרטורה הגיעה למינימום המותר (החום הכי נמוך שנמצא בטווח הטמפרטורה הנחשב לתקין). בכל הזמן שהם פעלו, הם פעלו בעוצמה קבועה. לעומתם, מדחסי אינוורטר, המצויים בהרבה מקררים כיום, פועלים רוב הזמן, אך עוצמת הפעולה שלהם משתנה לפי הצורך. כאשר יש פער גדול בין הטמפרטורה בפועל לטמפרטורה הרצויה, הם יפעלו בעוצמה גבוהה, וכאשר הפער קטן הם יפעלו בעוצמה נמוכה.

היחס למדחסים אלו תלוי בעיקר ביחס לשינוי עוצמת זרם חשמלי בשבת (ראה גיליון מספר 1). לפי השיטה ששינוי עוצמת זרם חשמלי אינה אסורה בשבת, המדחסים האלה קלים יותר מהמדחסים הישנים, כי פחות מצוי שהם נכבים ונדלקים, אלא יותר משנים את עוצמת הפעולה שלהם. לפי השיטה ששינוי זרם אסור בשבת, מדחסי אינוורטר חמורים יותר, כי השינויים בהם יותר תדירים בעקבות ההתאמה המדויקת יותר למצב העכשווי.³⁷

שימוש בשעון שבת

בגיליון 27 למדנו, שיש המשתמשים בשעון שבת כדי להימנע מבעיות שונות בפתיחת המקרר בשבת. האם פתרון זה יפתור גם את השאלות שהכרנו בגיליון זה, לפי מי שחושש להן?

- לגבי גוף החימום קשה לומר שזה יפתור בצורה מוחלטת את החשש (על הצד שיש בזה בעיה), כי בפתיחת הדלת נכנס אוויר חם. האוויר החם הזה יפעיל את המדחס יותר זמן לאורך פרק הזמן שהשעון ידליק את המקרר, כך שבסופו של דבר עלולה להיגרם הדלקה של גוף החימום בשבת. אם המשתמש יסדר את זמני ההדלקה והכיבוי של שעון השבת כך שגם ללא פעולת הפתיחה והסגירה המדחס היה דולק למשך כל הזמן שבו המקרר מחובר לחשמל דרך השעון,³⁸ הבעיה הזו תיפתר, כי המשתמש לא האריך את זמן הפעולה של המדחס יותר ממה שהיה ללא מעשיו.
- לגבי הרישומים הדיגיטליים הפתרון הזה לפחות יקל את הבעיה (אם יש), כי לא ייווצרו רישומים דיגיטליים בזמן פתיחת המקרר. אמנם כשהמקרר יידלק יהיה בזיכרון מספר שונה מהמספר שהיה אילו הדלת לא הייתה נפתחת, עקב הטמפרטורה הגבוהה יותר, אך מדובר על השפעה רחוקה עוד יותר ממה שהיה קורה אם המקרר היה עובד כשהאדם פתח את דלת המקרר.

התקני שבת

עתה נכיר בצורה כללית כמה מהתקני השבת המצויים בימינו. ניסיתי להגיע למידע אמין על ההתקנים כיום, ואקווה שלא יצאה תקלה מתחת ידי. הדברים הם רק סיכום כללי, ואם יש צורך במידע מדויק שיש לו השפעה על פסיקת ההלכה, יש לעיין במקור הדברים או לפנות למכונים עצמם.

ההתקן של מכון צומת (ברמת 'כשר')³⁹

בהתקן זה, רק חיישן הדלת (מפסק מכאני או מגנטי) מנוטרל, כך שאין השפעות ישירות לפתיחה וסגירת הדלת. יש עדיפות לנטרול המפסק עצמו, כך שישאר במצב קבוע כל השבת, אך אפשר גם לדאוג לנטרול ההשפעה של המפסק בתוכנה של המקרר, כך שלא יתחשב בסגירות ובפתיחות.

הטכנולוגי הולכים בזה לשיטתם, שימניעת מונעי נחשבת להיתר גמור, אף אם בסופו של דבר היא הקדימה פעולה חדשה, ולא רק שימרה מצב קיים (על זה מבוססים התקני 'מניעת מונעי' של המכון הטכנולוגי להלכה). ראה עוד מה שכתב בספר שערי השבת (חלק א, עמ' עב-עג, הערה יא, וכן בעמ' עו, הערה יד).

³⁷ יש לציין שהממיר שמזין את המדחס עובד באמצעות 'חיבור' ו'ניתוק' חלקי מעגל (המעגלים שעושים את הפעולה הזו שונים מהמעגלים הלוגיים שלמדנו, אך גם הם מבוססים על 'מוליכים למחצה'). נראה שלא יהיה נכון להתייחס אליהם כמו כיבוי והדלקה של מכשיר (ולומר שלא מדובר כאן על שינוי זרם אלא על הדלקות וכיבויים), כי החיבורים והניתוקים הללו הם דרך פעולת המכשיר התקינה, בדומה למה שהוסבר לעיל בפרק על רישומים דיגיטליים. הם גם מתרחשים במהירות מאוד גדולה, שאי אפשר להרגיש בחושים.

³⁸ לדוגמה: הוא יסדר זמני כיבוי ארוכים, שבהם המקרר יתחמם, וזמני הדלקה קצרים שבהם המקרר לא יספיק להתקרר לרמה שהוא צריך. כך המדחס יפעל בכל הזמן שהמקרר מחובר לחשמל דרך שעון השבת.

³⁹ על פי המתואר בספר צומת (חלק א, עמ' 154 ועמ' 156). הם ציינו שם שהתקן הפועל כמו זה של המכון הטכנולוגי להלכה יקבל אישור ברמת 'מהדרין'.

ההתקן של המכוון הטכנולוגי להלכה⁴⁰

ההתקן מבטל את ההשפעות הישירות של פתיחה וסגירה של הדלת על הנורה, המאוורר ורכיבים נוספים (ההשפעות של לחצני הדלת).

את המדחס של המקרר, מפעיל ההתקן כך :

א. המדחס מתחיל מחזורי פעולה בהפרשי זמן קבועים, ללא תלות בטמפרטורה (לדוגמה : אם פרק הזמן הקבוע הוא 30 דקות, המדחס יתחיל לפעול ב-18:00, ושוב יתחיל ב-18:30, ושוב ב-19:00 וכן הלאה, בלי קשר לטמפרטורה).

ב. לאחר 2 דקות מתחילת מחזור הפעילות, נבדק (באמצעות התרמוסטט) האם יש צורך בהמשך עבודת המדחס.

ג. אם אין צורך בהמשך הפעולה, כי המקרר מספיק קר, המדחס יכבה. אם יש צורך בהמשך הפעולה, המדחס ימשיך לפעול לפי הצורך, עד שהתרמוסטט יחוש שהטמפרטורה הגיע לרמה הרצויה, ואז יפסיק המדחס לעבוד.

ד. המדחס יידלק שוב מעצמו בשעה שתוכננה מראש (חזרה לסעיף א)

בצורה כזו, פתיחת דלת המקרר, בין בזמן שהמדחס עובד ובין בזמן שאינו עובד, לא תשפיע על הקדמת ההדלקה של המדחס. היא תשפיע רק על כך שהמדחס יסיים מאוחר יותר את הפעולה שלו, בגלל שבסוף 2 הדקות הראשונות של מחזור הפעילות שלו יחוש התרמוסטט שיש צורך בהמשך הפעילות. במקרר עם מדחס אינוורטר, גם השינוי בעוצמת המדחס מתחיל ללא תלות בטמפרטורה, והטמפרטורה רק משפיעה על סיום פרק הזמן שבו המדחס עבד בעוצמה השונה.

במקררים שבהם ישנה התראה שהדלת פתוחה, או שהטמפרטורה גבוהה מדי, וההתראה מבוססת על התרמוסטט ולא רק על חיישן הדלת, ההתראה הזו מבוטלת בשבת.

ההתקן לא משנה את פעולת הדאמפר.⁴¹ זאת משום שבבדיקות שביצעו במכון ראו שכאשר המדחס פועל במצב שבת כפי שהוסבר, אין למשתמש (בשימוש רגיל בשבת – ללא הכנסת סיר רותח לתוך המקרר) השפעה על הקדמת פעולה של הדאמפר. המשתמש עלול להשפיע רק על איחור של סגירת הדאמפר. אם כן, גם ללא שההתקן ישלוט עליו, אופן פעולת הדאמפר שווה (מבחינת הדין) לאופן פעולת המדחס בזמן שפועל מצב שבת.

אין ביטול של הרישומים הדיגיטליים הפנימיים, אך אין בהם כל תועלת, כי מערכות המקרר כמו המדחס, הנורות וכי' פועלים במתכונת שבת.

ההתקן של משמרת השבת⁴²

ההתקן עוקף לחלוטין את כל הפעילות הדיגיטלית במעבד של המקרר ומפעיל את מערכות המקרר בזמנים קבועים מראש, כך שאין לאדם כל השפעה על פעילות המקרר. בגלל שהתרמוסטט כלל לא משפיע, ואין התאמה של פעילות המקרר לטמפרטורה, יש לכוון את המקרר מערב שבת לתוכנית המתאימה למוג האוויר ולתדירות השימוש במקרר, כך שהקירור לא יהיה חזק מדי (ויקפא את המאכלים) או חלש מדי (והמאכלים לא יישארו טריים).

בנוסף לפיקוד הממוחשב, שמנטרל את הפעולות של החיישנים למיניהם, יש גם לדאוג שהמפסק של הדלת (המכאני או המגנטי) יהיה תפוס במצב קבוע בשבת.⁴³

הערה כללית על התקני שבת

בגיליון זה לא באתי להכריע הלכה כהתקן מסוים או שלא כהתקן אחר, אלא לפרט את הסוגים השונים עד כמה שידי מגעת. תוך כדי לימוד הדברים ודיבור עם אנשים העוסקים בתחום, התחדדה לי הסתכלות על מצב 'שוק התקני השבת'.

⁴⁰ על פי המתואר בחוברת 'על משמר השבת', בהוצאת המכון הטכנולוגי להלכה, ובגיליונות 'אספקלריה' מהחודשים סיון – אב תשפ"ד.

⁴¹ בביאור המושג, ראה גיליון קודם בעמ' 5.

⁴² מבוסס על מה שמופיע באתר של משמרת השבת.

⁴³ כנראה מחשש ליסגירת חצי מעגל'.

כיום, קיימים התקנים שונים למקררים ברמות הידור/חומרה שונות, והדבר גורר הרבה דיונים בעד ונגד חומרות או קולות של ההתקנים השונים. צריך להיזהר מלהאמין לטענות שנאמרות ללא בדיקה יסודית של הדברים, בין אם מדובר בטענות טכניות/מעשיות ובין אם מדובר בטענות הלכתיות. יש שיטענו שהתקן מסוים מחמיר מדי, והוא חורג מכללי הפסיקה המקובלים, אך בעניין זה ישנן כמה נקודות שיש לשים לב אליהן:

- כאשר באים לתת אישור למוצר מדובר על מצב של 'לכתחילה', שבו הקונה עוד לא קנה מוצר. יש מקום להחמיר במצב כזה יותר ממצב שהקונה כבר קנה מוצר, והוא שואל מה עליו לעשות בשבת.
 - בהוראה כללית לציבור, יש לפעמים מקום להחמיר יותר מאשר במענה לשאלה הלכתית פרטית.
 - אפשר כיום להשיג יחסית בקלות התקנים מחמירים למקררים,⁴⁴ ויש מקום להחמיר יותר לצאת ידי יותר דעות הלכתיות אם אפשר בקלות מלכתחילה, והדבר לא כרוך בטירחה.
- מצד שני, אסור לפסול התקן 'מיקלי' שנבנה על פי הוראה של פוסק, ללא בירור רציני של המציאות ושל הטענות ההלכתיות של מי שאישר את ההתקן. כמו כן, צריך לראות האם החומרה כרוכה בקושי או הפסד, ולשקול האם נכון להחמיר במצב זה.
- בתפילה שיתקיים בנו הפסוק "והאמת והשלום אהבו".⁴⁵

סיכום

בחלק המדעי למדנו על אופן יצירת ה'רישומים' הדיגיטליים באמצעות התרמוסטט הדיגיטלי, שקיים במקררים המצויים כיום. מדובר על אזורים בתוך מעגל, שהמתח החשמלי בהם משתנה בעקבות הטמפרטורה. כל אזור כזה נמצא ברמת מתח שמייצג את הספרה 1 או מתח שמייצג את הספרה 0. כמה רכיבים כאלה מרכיבים יחד מספרים שונים בצורה 'בינארית', כאשר כל מספר תואם לטמפרטורה מסוימת.

⁴⁴ לא בכל המוצרים זה כך, אך במקררים זה נפוץ.

⁴⁵ אציין בקצרה כמה נקודות שלא הספקתי לדון בהן בגיליון זה:

צג טמפרטורה

כאשר צג הטמפרטורה מופעל רק עם פתיחת דלת, ביטול חיישני הדלת, שבכל מקרה צריך לעשות, יפתור את הבעיה של הדלקת הצג. אך כאשר הצג פועל כל הזמן, ופתיחת הדלת שמכניסה אוויר חם למקרר תגרום להופעת מספר שונה על הצג, צריך לדון בשאלה האם יש בשינוי מספר על הצג משום איסור כותב מהתורה או מדרבנן, ולבדוק עד כמה פתיחת הדלת משפיעה בצורה ישירה על שינוי המספר המופיע על גבי הצג. התשובות לשאלות האלה תלויות בסוג הספציפי של המסך ואופן פעולתו וכן בגדרי מלאכת כותב בשבת. לא נספיק למצות את הדיון הזה במסגרת הגיליון.

דאמפר

למדנו בגיליון הקודם על ה'דאמפר'. מדובר על תריס שמוסת את כניסת האוויר הקר מהמקפיא למקרר. נראה שכרגיל הדיון של ההשפעה עליו לא יותר חמור יותר מהדיון של ההשפעה על המדחס, ולכן אינו מזיק דיון בפני עצמו.

צפצוף עקב פתיחה לזמן רב

בחלק מהמקררים, גם לאחר ביטול חיישן הדלת, אם המקרר יהיה פתוח זמן רב יישמע צפצוף אזהרה. הוא פועל כאשר הוא מרגיש שהקור של המקרר 'בורח' במשך זמן ממושך, ומתריע על כך שהדלת פתוחה או שיש תקלה. אם הצפצוף הזה לא נוטרל, יש לדאוג לסגור את הדלת מיד אחר הוצאת האוכל. אם הצפצוף כבר התחיל, הדיון של סגירת הדלת תלוי בכמה שאלות. לכאורה הפתרונות שהוצעו למקרה שהדלת של המקרר נפתחה והסתבר שלא ביטלו את חיישן הדלת (כשראו שנדלק אור) יתאימו גם למקרה הזה (ראה גיליון 27).

חיישנים נוספים

בגיליון זה ובקודם, עסקנו רק בתרמוסטט ובפעולות הנגרמות בעקבותיו. בגיליון 27 עסקנו בחיישן הדלת ובפעולות שהוא גורם. בחלק מהמקררים קיימים חיישנים נוספים. לדוגמה: מצלמה המצלמת את תוכן המקרר, כדי להודיע למשתמש את המלאי הקיים שיש במקרר, או אף להמליץ למשפחה אלו מתכונים הם יכולים להכין בהתאם למה שיש כרגע במקרר. כיום, האופציות האלה די נדירות. מי שקנה מקרר מהסוג הזה יתייעץ עם פוסק איך להשתמש בו בשבת.

איסור בישול בחימום חומר הקירור

בשלב מסוים במחזור שבו עובר חומר הקירור (שאותו הכרנו בגיליון 27), חומר הקירור מתחמם מאוד. לכאורה, כאשר אדם פותח את דלת המקרר בשבת, הוא גורם למדחס לעבוד יותר ובכך נגרמים יותר מחזורי חימום-קירור לחומר הקירור. כלומר: האדם גרם לגז להתבשל יותר פעמים. לגבי נקודה זו, אסתפק בציון מראי מקומות בלבד, משום שפתיחת הסוגיה ברצינות מצריכה אריכות גדולה. מראי המקומות שראיתי בנושא הם: אור לציון (חלק ב), פרק מא, תחילת הערה (ב), מנחת שלמה (חלק א, סימן י, ד"ה אולם אין זה ברור אצלי), חמדה גנוזה לרבי דוד שלוש (חלק ב), סימן מב, אות מ), קובץ עטרת שלמה של המכון הטכנולוגי להלכה (חלק ב, עמ' עד, אות ה1), נחלת לוי לרבי אסי הלוי אבן יולי (חלק ג, או"ח, סימן טו, אות יא), שערי השבת לרבי שמואל יוסף שטיצברג (חלק א, עמ' לח). אני מודה מקרב לב לרב הגאון אור אשתר שליט"א, שהאיר עיני בנקודה הזו, והחכים אותי בדיון עליה.

וטכנולוגיה נשאלתי את השאלה הבאה: גם במערכות שמתוכננות כך שהמים שבתוכן לא יעברו את החום שיד סולדת בהן, המים שקרובים לגוף החימום עוברים את החום הזה. אם כן, איך אפשר ליצור מערכת כזו שתהיה 'כשרה' לשבת? כדי לשאול את השאלה צריך להבין בחימום וקירור, ולחשוב בצורה יסודית על המערכת.

כדי למצוא תשובה, בדקתי בספר, ומצאתי שהוא לקח את העובדה הזו בחשבון ודן עליה באריכות על פני כ-15 עמודים (תשובות נוספות סימן ג). דבר זה מראה מחד את היסודיות של הספר, שנוגע בפרטים הקטנים של המערכת, ואת העושר התורני שקיים

בספר. הספר זמין באוצר החכמה.

חימום מים בשבת

מאת

הרב לוי יצחק הלפרין

(חלק החלטה)

דב ציוני

(חלק הטכנולוגי)

בחוץ המכון המדעי טכנולוגי למעיות הלכה
ירושלים תשל"ד

ככלי שני (פרק ו), האם כניסת מים קרים חדשים לדוד החימום בעקבות הוצאת מים חמים ממנו נחשבת מעשה או גרמא (פרק ז), הגדרת איסור מבעיר בגחלת של מתכת (פרק ט), חימום חוזר בשבת של מים שחוממו בעבר בשמש או בחשמל (קובץ תשובות סימן ז) ושיעור חום שהיד סולדת בו (קובץ תשובות סימן ח).

הדיונים שהזכרתי ודיונים נוספים בספר נוגעים הלכה למעשה גם להתקנים בני ימינו, למרות הזמן שעבר מאז הדפסת הספר.

אשתף כאן סיפור שגרם לי הערכה רבה לספר. בתחילת עיסוקי בנושאי הלכה

הגיליון נערך בס"ד בידי אליעזר טויק.

להערות, לתגובות ולקבלת העלון באופן קבוע,
נא לפנות לכתובת הדוא"ל המופיעה בסוף הגיליון.



מחקר • שיעורים והרצאות • גיליון חודשי 'יורה מדע'

halacha.tech@gmail.com