

המרכז  
האקדמי  
לב



הפקולטה להנדסה ומדעי המחשב  
החוג להנדסת חשמל ואלקטרוניקה  
פרויקט גמר באלקטרוניקה

מתג שבת חכם  
**Smart Shabbat Switch**

שבט תשפ"ו  
ירושלים

מגישים: ברק אשואל ודוד אורליאן  
מנחה: לירון בחכמה

## תוכן עניינים

3.....	רשימת איורים.....
4.....	רשימת טבלאות.....
5.....	תקציר.....
7.....	1. מבוא.....
8.....	2. רקע תיאורטי וסקירת ספרות.....
10.....	3. פיתוח ושיטות.....
21.....	4. תוצאות.....
22.....	5. מסקנות וסיכום.....
24.....	נספח א.....
25.....	נספח ב.....
26.....	נספח ג.....
27.....	מקורות.....

## רשימת איורים

8	איור 2.1: כיסוי מגן פלסטיק
10	איור 3.1: דיאגרמת בלוקים של מערכת "מתג שבת חכם"
11	איור 3.2: שרטוט מערכת "מתג שבת חכם"
15	איור 3.3: תרשים פינים
16	איור 3.4: מודול HC-12
17	איור 3.5: דוגם AC
18	איור 3.6: מודול ממסר אלקטרומכני
19	איור 3.7: ממיר AC-DC 5V
21	איור 4.1: מצב הצרכן (דלוק) בכניסה למצב שבת
21	איור 4.2: מצב הצרכן במצב שבת לאחר שינוי
21	איור 4.3: מצב הצרכן (כבוי) בכניסה למצב שבת
21	איור 4.4: מצב הצרכן במצב שבת לאחר שינוי
26	איור ג.1: חיווט ותצורת עבודה של ATmega328P
26	איור ג.2: חיווט שכבת המיתוג והחישה

## רשימת טבלאות

- טבלה 3.1: רשתות מתח ואותות מרכזיים ..... 12
- טבלה 3.2: ATmega328P פנים בשימוש ..... 13
- טבלה 3.3: חיבורים חיצוניים ..... 14
- טבלה נספח ב': תרחישי קצה ..... 25

## תקציר

שימוש במתגי קיר להפעלת צרכני חשמל הוא חלק בלתי נפרד מההתנהלות היומיומית בבתיים ובמרחבים ציבוריים. במצבים שונים, לחיצה מקרית על המתג (למשל ע"י ילדים, אורחים או מתוך הרגל) עלולה לשנות את מצב התאורה או המכשיר החשמלי באופן שאינו רצוי. עבור ציבור שומרי השבת, שינוי כזה במהלך השבת יוצר קושי ייחודי: הוא עלול לכפות מצב חדש, ובמהלך השבת לא ניתן לתקן את השינוי ולהחזיר את המצב לקדמותו באופן מכני. פתרונות קיימים כגון כיסויים מכניים למתגים מספקים מענה חלקי בלבד, משום שהם מצריכים התקנה והסרה ידנית בכל שבת, פוגעים באסתטיקה, ואינם מספקים חסימה אמינה לאורך זמן. מטרת פרויקט זה היא פיתוח "מתג שבת חכם" – יחידת קצה אלקטרונית המונעת שינוי לא רצוי של מצב הצרכן במהלך השבת באמצעות נעילה אלקטרונית של מתג הקיר.

המערכת שפותחה מבוססת על מיקרו־בקר ומשלבת מנגנון דגימת מצב הצרכן באמצעות מעגל חישה לנוכחות מתח רשת (AC), יחד עם שני ממסרים אלקטרומכניים. בעת קבלת פקודת מעבר למצב שבת, היחידה דוגמת את מצב הצרכן (דלוק או כבוי), מנטרלת את השפעת מתג הקיר וקובעת את מצב ההזנה כך שהמצב שנדגם יישמר למשך מצב השבת. המתג פועל כיחידת קצה הנשלטת ע"י יחידת בקרה מרכזית, ומתקשר עם יחידת הבקרה באמצעות תקשורת אלחוטית, הכוללת מנגנון אישור קבלה (ACK) להבטחת אמינות הפקודות.

תוצאות הבדיקות הראו כי במצב שבת נשמר מצב הצרכן באופן עקבי, ללא תלות בשינויים פיזיים במתג הקיר. הן בתרחיש שבו הצרכן נכנס למצב שבת כשהוא דלוק והן כאשר נכנס כבוי, הודגם כי לחיצה על המתג במהלך השבת אינה גורמת לשינוי במצב הצרכן. בנוסף, נבחנה התנהגות המערכת במצבי קצה כגון הפסקות חשמל וחזרת מתח, ונמצא כי היחידה מתאוששת באופן צפוי ובטוח, תוך שמירה על רציפות לוגית של מצב הפעולה.

הפרויקט תורם פתרון פשוט, אמין ויישומי למניעת שינוי לא רצוי של מצב צרכן חשמלי במצב שבת באמצעות נעילה אלקטרונית פעילה. אף שהמערכת פותחה כדי להתמודד עם בעיה הלכתית לציבור שומרי השבת, העיקרון ההנדסי שעליו היא מבוססת – נעילת השפעת המתג ושימור מצב הצרכן – מאפשר להכליל את הפתרון גם למצבים שבהם נדרשת יציבות תפעולית, כגון במקומות ציבוריים שבהם שינוי לא מכוון של תאורה מהווה בעיה תפקודית.

## Abstract

Wall switches are a routine way to control lighting and electrical loads in homes and public spaces. In various situations, an accidental press (e.g., by children, guests, or out of habit) can change the state of a light or appliance unintentionally. For Sabbath-observant users, such a change during Shabbat creates a unique difficulty: it may impose a new state, and the user cannot directly "undo" the change by operating the switch during Shabbat. Existing solutions such as mechanical switch covers provide only a partial answer, as they require manual installation and removal every week, affect aesthetics, and do not guarantee reliable blocking over time. The goal of this project is to develop a "Smart Shabbat Switch" – an electronic end-unit that prevents undesired changes during Shabbat by electronically locking the effect of the wall switch.

The developed system is microcontroller-based and samples the load state using an AC mains presence sensing circuit, together with two electromechanical relays. Upon receiving a command to enter Shabbat mode, the unit samples whether the load is ON or OFF, neutralizes the effect of the wall switch, and sets the supply path so that the sampled state is maintained throughout Shabbat. The switch operates as an end-unit controlled by a central control unit and communicates with it wirelessly, including an acknowledgment (ACK) mechanism to improve command reliability.

Test results showed that, in Shabbat mode, the load state is maintained consistently regardless of physical changes at the wall switch. Both when entering Shabbat mode with the load ON and when entering it with the load OFF, pressing the switch during Shabbat did not change the load

state. In addition, edge cases such as power outages and power restoration were evaluated, and the unit was found to recover in a predictable and safe manner while maintaining logical continuity of its operating state.

This project delivers a simple, reliable, and practical solution for preventing undesired changes of an electrical load during Shabbat via active electronic locking. Although the system was designed to address a halachic challenge for Sabbath-observant users, its underlying engineering principle – locking the switch influence and preserving the load state – can be generalized to scenarios that require operational stability, such as public spaces where unintended lighting changes are a functional problem.

# 1. מבוא

מערכות חשמל ביתיות מהוות חלק בלתי נפרד מהתנהלות היומיום בבית המודרני. תאורה, מכשירי חשמל וצרכנים שונים מופעלים באמצעות מתגי קיר פשוטים, הנמצאים בשימוש תדיר ונגישים לכל דיירי הבית. עבור ציבור שומרי השבת, השימוש במערכות אלו מחייב תכנון מוקדם ויצירת מצב שבו פעולת החשמל נשמרת קבועה לאורך השבת, ללא צורך בהתערבות אנושית וללא שינוי בלתי רצוי של מצב המערכת.

במציאות הביתית, ובפרט בבתיים שבהם מתגוררים ילדים או מתקיימת תנועת אורחים, קיים סיכון ממשי לשינוי בלתי-מכוון של מצב החשמל. ילדים עלולים ללחוץ על מתג מתוך סקרנות, משחק או חוסר מודעות, ואילו מבוגרים עשויים לשנות את מצב המתג מתוך הרגל, חוסר תשומת לב או הישענות מקרית על הקיר. פעולות אלו מתרחשות באופן טבעי ושגרתי, אך במהלך השבת הן עלולות לגרום לשינוי לא רצוי במצב התאורה או בצרכן החשמלי.

מעבר להיבט ההלכתי, מצבים אלו גורמים בעיקר לעגמת נפש ולפגיעה בכבוד השבת. שינוי פתאומי של תאורה או כיבוי מכשיר חשמלי במהלך השבת עלול להפר את האווירה השקטה והמתוכננת של היום, ליצור תחושת חוסר נוחות ולפגוע בתחושת השליטה והשלווה של בני הבית. עבור משפחות רבות, השבת אינה רק מסגרת הלכתית אלא גם זמן של רוגע, משפחתיות וכבוד, וכל תקלה או שינוי בלתי רצוי במערכת החשמל עלולים לפגוע בחוויה זו.

קיימים פתרונות פשוטים המבוססים על אמצעים מכניים, כגון תליית חוצץ פיזי או כיסוי למתג הקיר לפני כניסת השבת, במטרה למנוע לחיצה ישירה על המתג. עם זאת, פתרונות אלו מספקים מענה חלקי בלבד, שכן הם תלויים בזכירה ובהיערכות מוקדמת של המשתמש בכל ערב שבת ואינם פועלים באופן אוטומטי. בנוסף, חוצץ פיזי אינו מונע באופן מוחלט שינוי מצב המתג: ילדים עלולים לשחק בו, להסירו או להזיזו ממקומו, ואף מבוגרים עשויים להסירו מתוך חוסר תשומת לב. מגבלות אלו פוגעות באמינות הפתרון ומגבירות את הסיכון לשינוי לא מתוכנן של מצב החשמל, על כל ההשלכות הנלוות לכך.

על רקע זה, מטרת העבודה בפרויקט זה היא לפתח פתרון טכנולוגי ייעודי בדמות "מתג שבת חכם", אשר ימנע שינוי בלתי-מכוון של מצב צרכני החשמל במהלך השבת, גם במקרה של לחיצה פיזית על מתג הקיר. המתג נועד לפעול כחלק ממערכת מתוכננת מראש, אך גם כיחידת קצה עצמאית המספקת שכבת הגנה ברורה ויעילה מפני טעויות אנוש. בכך, הפרויקט מתמקד בבעיה יומיומית ומעשית המוכרת לכל בית שומר שבת, ולא רק בהיבט תאורטי או טכני.

הפתרון שפותח במסגרת הפרויקט מבוסס על נעילה אלקטרונית של מצב המתג בזמן השבת, כך שמצב הצרכן החשמלי נשמר כפי שהיה עם כניסת השבת ואינו משתנה כתוצאה מפעולה פיזית על המתג. גישה זו מבטלת את התלות בזהירות המשתמשים או בהסברה מוקדמת לילדים ולאורחים, ומאפשרת התנהלות טבעית בבית ללא חשש מתמיד משינוי בלתי רצוי של מצב החשמל. בכך, המערכת תורמת לשמירה על רציפות השבת, על האווירה הביתית ועל כבוד השבת, ולא רק על עמידה טכנית בכללים.

חשיבותו הציבורית של הפרויקט באה לידי ביטוי בשיפור איכות החיים של הציבור שומר השבת. המערכת מעניקה תחושת ביטחון ושקט נפשי, מפחיתה מצבי אי-ודאות ומאפשרת ניהול ביתי רגוע גם בסביבה שבה מתגי החשמל נגישים לכלל הדיירים והאורחים. היא מצמצמת מצבים של מתח, אכזבה או פגיעה באווירת השבת, ומאפשרת לבני הבית להתמקד במשמעותו הרוחנית והמשפחתית של היום.

מעבר לסביבה הביתית, ל"מתג שבת חכם" קיימת תרומה גם למרחבים ציבוריים שאינם פרטיים, כגון אולמות כנסים, אתרי אירועים, מרכזים קהילתיים ומבני ציבור. במקומות אלו מתגי חשמל ותאורה נגישים לעיתים לקהל רחב, וקיים סיכון לשינוי מצב החשמל עקב לחיצה לא מכוונת, הישענות מקרית או חוסר מודעות של משתמשים שונים. שינוי כזה עלול לגרום להפרעה לאירוע, לפגיעה ברצף הפעילות ולעגמת נפש בקרב המשתתפים. האפשרות לנעול את מצב המתג מראש מאפשרת שמירה על יציבות ורציפות תפעולית, ללא תלות בנוכחות איש תפעול סמוך לכל מתג.

לסיכום, פרויקט "מתג שבת חכם" נולד מתוך צורך ביתי וציבורי ממשי: מניעת שינוי בלתי-מכוון של מצב החשמל בסביבה שבה מתגי הקיר נגישים למשתמשים רבים. באמצעות פתרון טכנולוגי פשוט, ברור ויעיל, הפרויקט מציע מענה מעשי לבעיה יומיומית נפוצה, תורם למניעת עגמת נפש ולשמירה על כבוד השבת, ומאפשר יצירת סביבה ביתית וציבורית רגועה, מבוקרת ומכבדת יותר. בכך, הוא מדגים כיצד תכנון הנדסי רגיש יכול לתת מענה מדויק לאתגר אנושי-ערכי ולשפר באופן ממשי את חוויית החיים.

## 2. רקע תיאורטי וסקירת ספרות

### 2.1 מוצרים קיימים בשוק

#### 2.1.1 מגני מתגים קיימים בשוק



איור 2.1: כיסוי מגן פלסטיק [1]

אחד הפתרונות הנפוצים והפשוטים ביותר למניעת לחיצה מקרית על מתג קיר הוא שימוש במגן מתג פיזי. בפועל, ברוב המקרים מדובר בכיסוי פלסטיק המותקן על גבי מסגרת המתג (איור 2.1), ויוצר מחסום מכני המקטין את הנגישות הישירה ללחצן. הכיסוי מיועד למנוע לחיצה אקראית הנגרמת מהיסח דעת, משחק ילדים, או הישענות מקרית על הקיר, ובכך לצמצם שינוי לא רצוי במצב התאורה או הצרכן החשמלי המחובר.

יתרונו המרכזי של פתרון זה הוא פשטות: מדובר בהתקנה מהירה יחסית, ללא צורך בחיווט, ללא צורך בבקר, וללא שינוי במערכת החשמל הקיימת. עם זאת, מאחר שמדובר בפתרון פסיבי המבוסס על חסימה מכנית בלבד, הוא אינו "מבין" את מצב המערכת ואינו מבצע בקרה או נעילה אלקטרונית של המעגל. כלומר, הוא מנסה לצמצם את ההסתברות ללחיצה – אך אינו מבטיח שמצב הצרכן יישמר בפועל.

### 2.2 מגבלות המוצרים הקיימים

לאחר בחינת הפתרונות הרלוונטיים למניעת שינוי בלתי-מכוון של מתג קיר, ניתן להצביע על מספר מגבלות מהותיות – מגבלות שהפרויקט הנוכחי נועד לתת להן מענה ישיר.

- **היערכות פיזית מבוזרת לפני שבת:** פתרונות כיסוי דורשים התקנה/הצמדה פיזית לכל מתג בנפרד לפני שבת (ולעיתים גם הסרה לאחריה). כלומר, ההגנה תלויה בטרחה חוזרת ובזכירה פר-מתג.
- **אמינות מכנית מוגבלת:** רכיב פלסטי נטוה לבלאי, שבר, התרופפות או נפילה לאורך זמן שימוש, ולכן אינו מספק יציבות תפעולית עקבית.
- **פגיעות להתערבות משתמשים ועקיפה:** הסרה אינטואיטיבית (אורחים/ילדים), הזזה, או הפעלה "דרך" הכיסוי – מונעים מהפתרון לממש נעילה אמיתית של מצב המתג.

לאור מגבלות אלו עולה הצורך בפתרון אלקטרוני מובנה וחכם, שאינו נשען על חסימה פיזית פסיבית בלבד, אלא מבצע נעילה פונקציונלית של השפעת המתג ושומר על מצב הצרכן כפי שהיה ברגע הגדרת מצב שבת – גם אם המתג נלחץ בפועל. פתרון כזה מפחית תלות במשמעת וזהירות, וממיר את ההגנה ממנגנון "מונע לחיצה" למנגנון "מונע שינוי מצב".



## 2.3 מטרות ויעדי הפרויקט

על בסיס פערים אלו, מטרת הפרויקט המרכזית הוגדרה כדלקמן:

**פיתוח יחידת "מתג שבת חכם" הניתנת לשילוב עם מתג קיר קיים, אשר מונעת שינוי בלתי-מכוון של מצב הצרכן החשמלי במהלך השבת באמצעות מנגנון נעילה אלקטרונית של השפעת המתג.**

לשם מימוש מטרה זו הוגדרו יעדי הפיתוח הבאים:

- **דגימת מצב נוכחי לפני נעילה:** טרם מעבר למצב שבת, היחידה תדגום את מצב הצרכן כדי לקבוע מהו המצב שיש לשמר.
- **שמירת מצב הצרכן לאורך השבת:** המערכת תשמר את מצב הצרכן (דלוק/כבוי) כפי שהיה בעת כניסת השבת, ללא תלות במצב הפיזי של מתג הקיר במהלך השבת.
- **שילוב עם יחידת שליטה מרכזית:** יחידת המתג תפעל כיחידת קצה במערכת הכוללת, ותדע לקבל פקודות מצב (שבת/חול) מיחידה מרכזית (למשל "שעון שבת חכם"), כדי לאפשר תפעול מסונכרן ונוח של כלל יחידות הקצה בבית.
- **בטיחות ובידוד חשמלי:** התכנון יבטיח הפרדה נאותה בין מתח הרשת למעגל הבקרה, ויעשה שימוש ברכיבים מתאימים (למשל ממסרים ובידוד אופטי), בהתאם לעקרונות בטיחות בסיסיים במערכות מיתוג רשת.
- **הקפדה על הלכות שבת:**

יעדים אלו ישמשו בסיס להערכת עמידת הפרויקט במטרותיו בפרקי התוצאות והמסקנות.

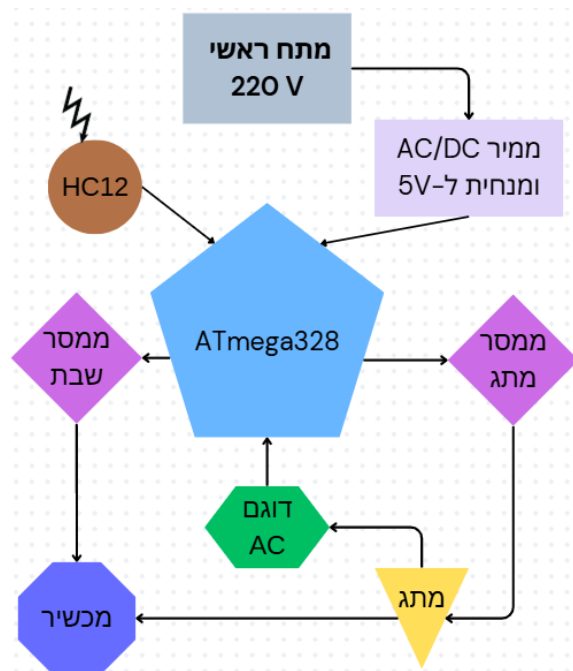
### 3. פיתוח ושיטות

פרק זה מפרט את תהליך התכנון ואת שיטות המימוש שנבחרו עבור מערכת "מתג שבת חכם". התכנון ההנדסי בוצע בהתאם ליעדי הפיתוח שהוגדרו בפרק הרקע התיאורטי (פרק 2), ובדגש על מימוש יחידת קצה קומפקטית המתאימה להתקנה בקופסת קיר ועל מנגנון שמירת מצב הצרכן בעת מעבר למצב שבת. בפרק יוצגו הבחירות המבניות והטכנולוגיות שנעשו – החל מארכיטקטורת המערכת, דרך החומרה והחיבורים החשמליים, ועד ללוגיקת התוכנה ומצבי הפעולה הייעודיים.

#### 3.1 דיאגרמת בלוקים

איור 3.1 מציג את דיאגרמת הבלוקים של מערכת "מתג שבת חכם".

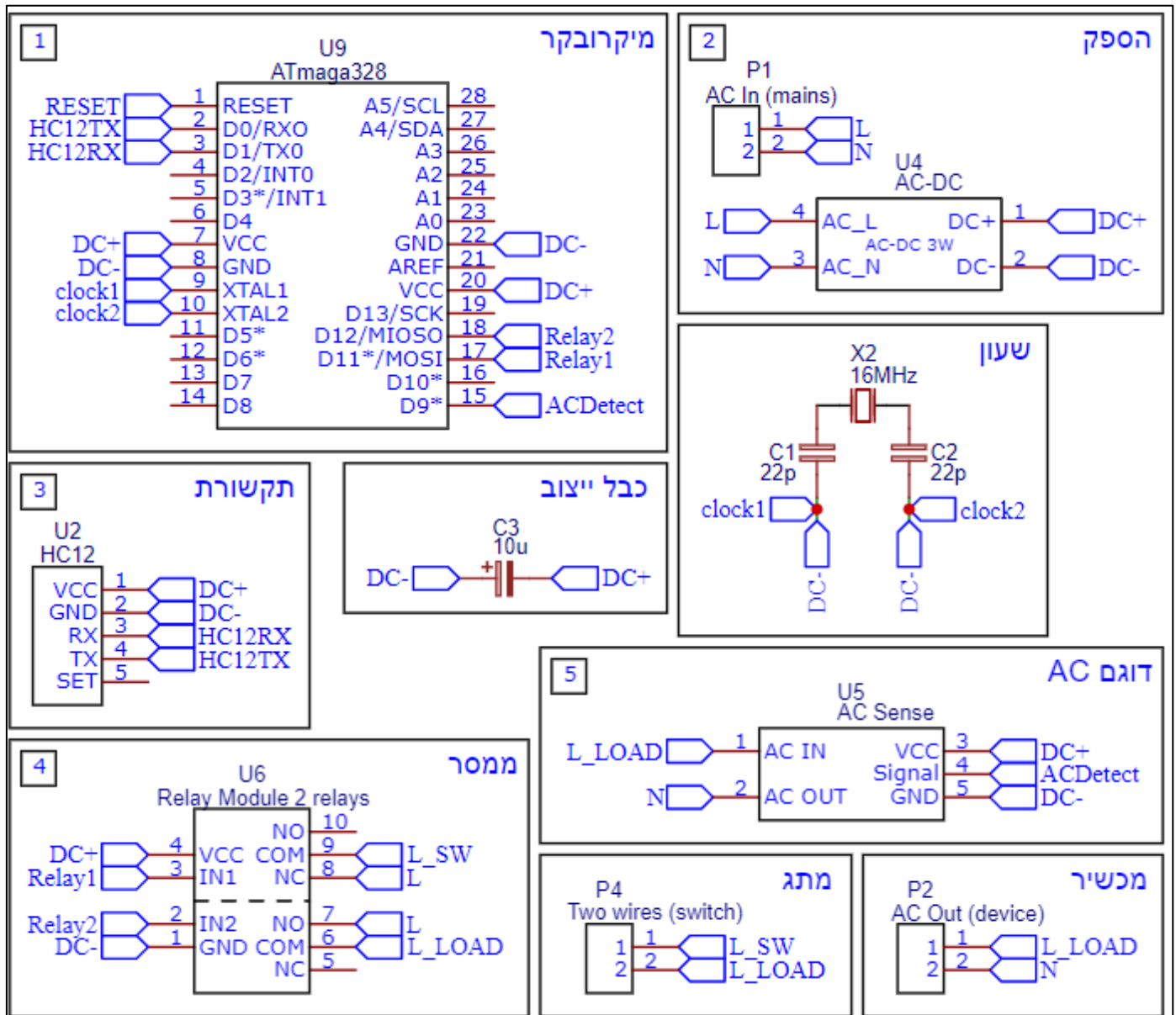
- במצב חול ה"מתג" פועל רגיל – "ממסר מתג" מחובר במצב NC (Normally Closed).
- במעבר לשבת היחידה דוגמת את מצב ה"מכשיר" באמצעות "דוגם AC".
- לאחר מכן ננעל מצב ה"מכשיר" באמצעות שני ממסרים: אחד לנטרול השפעת המתג ("ממסר מתג"), ואחד לקביעת מצב הצרכן החשמלי ("ממסר שבת").



איור 3.1: דיאגרמת בלוקים של מערכת "מתג שבת חכם"

## 3.2 שרטוט מערכת "מתג שבת חכם"

איור 3.2 מציג את חיבורי החומרה של מערכת "מתג שבת חכם" ברמת הרכיבים. לצורך בהירות, השרטוט חולק לארבעה בלוקים: בקר ATmega328P (1) ומעגלי תמיכה, ספק כוח (2), מודול תקשורת HC-12 (3), מודול הממסרים (4) וחיישן AC Sense (5). האותות המרכזיים הם קווי UART לתקשורת, אות ACDetect לזיהוי מצב, ושתי יציאות שליטה לממסרים.



איור 3.2: שרטוט מערכת "מתג שבת חכם"

### 3.3 תיאור חשמלי ומיפוי חיבורים

לאחר הצגת השרטוט, מובא כאן תיאור חשמלי משלים שמפרט את החיבורים בפועל: מהיכן מתקבל כל מתח וכל אות, לאן הם מתחברים, ומה תפקידם במערכת.

#### 3.3.1 רשתות מתח ואותות מרכזיים

טבלה 3.1 מציגה את רשתות המתח והאותות העיקריים במערכת. לכל רשת מצוינים סוג הרשת (מתח רשת 230VAC, מתח DC, או אות לוגי), מקור ההזנה/האות, והרכיבים אליהם היא מחוברת. ריכוז זה מאפשר להבין בקלות את מסלולי הזנת המערכת ואת הקשרים המרכזיים בין בלוקי החומרה.

Net / Signal	רמת מתח / סוג	מקור	צרכנים	הערות
<b>L</b>	230VAC (פאזה)	Mains (1)	AC-DC (AC_L), Relay Module (COM)	פאזה נכנסת למערכת
<b>N</b>	230VAC (אפס)	Mains (2)	AC-DC (AC_N), Device (2), AC Sense (AC OUT)	אפס משותף (לא ממותג)
<b>DC+</b>	+5VDC (ספק)	AC-DC (DC+)	ATmega (VCC), HC-12 (VCC), Relay Module (VCC), AC Sense (VCC)	מסילת הזנה
<b>DC-</b>	0V (GND)	AC-DC (DC-)	ATmega (GND), HC-12 (GND), Relay Module (GND), AC Sense (GND)	אדמה משותפת
<b>L_SW</b>	230VAC (קו למתג)	מגע 1 (OUT) Relay	Switch (1)	פאזה למתג
<b>L_LOAD</b>	230VAC (קו לצרכן / לדוגם)	מגע 2 (OUT) Realy, Switch (2)	Device (1), AC Sense (AC IN), Switch (2)	פאזה לצרכן וגם לנדגם
<b>ACDetect</b>	Digital input (0/5V)	AC Sense (Signal)	ATmega (D9)	Active-low
<b>HC12TX</b>	UART (TTL 0/5V)	HC-12 (TX)	ATmega (RXD)	TX→RX
<b>HC12RX</b>	UART (TTL 0/5V)	ATmega (TXD)	HC-12 (RX)	TX→RX
<b>Relay1</b>	Digital output (0/5V)	ATmega (D11)	Relay Module (IN2)	שליטת Relay1
<b>Relay2</b>	Digital output (0/5V)	ATmega (D12)	Relay Module (IN1)	שליטת Relay2
<b>RESET</b>	Reset (active-low)	Pull-up (DC+)	ATmega (RESET)	R1=10k

טבלה 3.1: רשתות מתח ואותות מרכזיים

### 3.3.2 מיפוי פני הבקר (ATmega328P) שבשימוש

טבלה 3.2 מפרטת את פני המיקרו-בקר שבשימוש במערכת, יחד עם הרשת אליה מחובר כל פין ותפקידו. הפירוט כולל את קווי התקשורת (UART) למודול HC-12, יציאות הבקרה לממסרים, כניסת זיהוי המתח, וכן פני ההזנה והאיפוס. מיפוי זה מקשר באופן ישיר בין השרטוט לבין מימוש החומרה והתוכנה.

פין במיקרו (שם / מספר)	Net	מחובר ל...	תפקיד	הערות
<b>RESET (Pin 1)</b>	RESET	DC+/- R pull-up	איפוס	Pull-up טיפוס 10k
<b>RXD (Pin 2)</b>	HC12TX	HC-12 TX	UART RX	TX→RX
<b>TXD (Pin 3)</b>	HC12RX	HC-12 RX	UART TX	TX→RX
<b>VCC (Pin 7)</b>	DC+	יציאת U12	הזנת מיקרו	5V
<b>GND (Pin 8)</b>	DC-	יציאת U12	אדמה	
<b>XTAL1 (Pin 9)</b>	Clock1	Crystal X2	שעון	
<b>XTAL2 (Pin 10)</b>	Clock2	Crystal X2	שעון	
<b>D9 (Pin 15)</b>	ACDetect	Signal של AC Detector	קלט זיהוי מתח	Active Low
<b>D11 (Pin 17)</b>	Relay1	IN2 של Relay Module	עקיפת מתג	יציאה דיגיטלית
<b>D12 (Pin 18)</b>	Relay2	IN1 של Relay Module	שליטה על עומס	יציאה דיגיטלית
<b>VCC (Pin 20)</b>	DC+	יציאת U12	הזנה נוספת	5V
<b>GND (Pin 22)</b>	DC-	יציאת U12	אדמה נוספת	

טבלה 3.2: ATmega328P פנים בשימוש

### 3.3.3 חיבורים חיצוניים (מחברים)

בחיבורי מתג קיר קיימים שני מוליכים: פאזה מוזנת למתג (צד הכניסה של המתג), ופאזה ממותגת היוצאת מהמתג אל הצרכן. במערכת הנוכחית הפאזה המוזנת למתג אינה מגיעה ישירות מלוח החשמל, אלא מתקבלת דרך "ממסר מתג" (Relay1), ומסומנת כחיבור H1-1. הפאזה היוצאת מהמתג לכיוון הצרכן מסומנת כחיבור H1-2, והיא משמשת גם כקו הנדגם על-ידי מעגל AC Sense לצורך קביעת מצב הצרכן בעת מעבר למצב שבת (L\_LOAD).

מחבר	טרמינל	רשת	לאן הולך פיזית	תפקיד
P1 (AC IN)	1	L	פאזה מהרשת	הזנת המערכת
P1 (AC IN)	2	N	אפס מהרשת	הזנת המערכת
P2 (AC OUT)	1	L_LOAD	פאזה לצרכן (צומת L_LOAD)	פאזה לעומס
P2 (AC OUT)	2	N	אפס לצרכן (ישיר)	אפס לא מבוקר
H1 (Switch)	1	L_SW	פאזה שנכנסת למתג (מ-Relay1)	כניסת מתג
H1 (Switch)	2	L_LOAD	יציאת מתג לצרכן + לדוגם AC	יציאת מתג / קו נדגם

טבלה 3.3: חיבורים חיצוניים

## 3.4 רכיבים

### 3.4.1 ATmega328P – מיקרו־בקר לבקרת מערכות משובצות

#### תיאור כללי:

ה-ATmega328P הוא מיקרו־בקר ממשפחת AVR של Microchip (לשעבר Atmel), הנפוץ במיוחד בלוחות Arduino Uno ודומיהם. הוא מבוסס על ארכיטקטורת 8 ביט מסוג RISC, המאפשרת ביצועים גבוהים וצריכת הספק נמוכה. המיקרו־בקר משלב זיכרון Flash לתוכנית, זיכרון SRAM לעיבוד נתונים ו-EEPROM לאחסון נתונים לא־נדיפים, וכן מגוון רחב של ממשקי תקשורת וכניסות/יציאות דיגטליות ואנלוגיות.

#### עקרון פעולה:

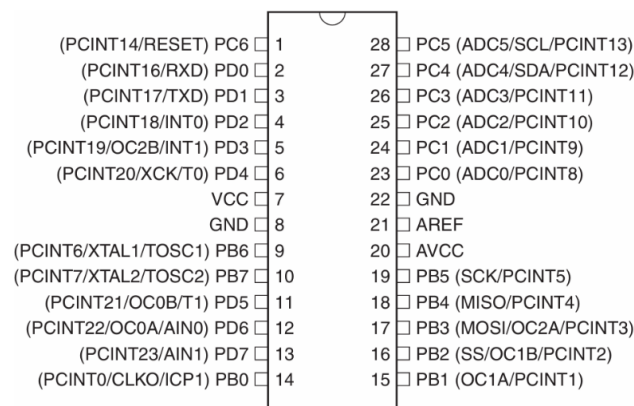
הבקר פועל על פי קוד תוכנה המאוחסן בזיכרון הפנימי ומבצע הוראות בהתאם לתדר השעון. באמצעות פקודות תוכנה ניתן לשלוט בממשקי GPIO, לקרוא נתונים מחיישנים אנלוגיים, ולהפעיל התקנים חיצוניים דרך פרוטוקולים כמו UART, SPI ו-I<sup>2</sup>C (TWI).

#### השימוש בפרויקט שלנו:

ה-ATmega328P משמש כבקר של יחידת ה"מתג שבת חכם". הוא מתפקד יחידת קצה (Node) המקבלת פקודות מהבקר המרכזי, ואחראי למימוש לוגיקת מצב שבת. מיקרו־בקר זה קל לתכנות ומספק מספיק פני I/O, בעוד הוא מאפשר לנו לשמור על מערכת קטנה כך שתוכל להשתלב בתוך קופסה בקיר.

#### תיאור פנים עיקריים:

- **VCC / GND** – הזנת מתח והארקה.
- **PC0–PC5, PD0–PD7** – קווי קלט/פלט דיגטליים (GPIO).
- **RESET** – איפוס הבקר.
- **XTAL1 / XTAL2** – חיבור לקריסטל חיצוני (16MHz).
- **RX / TX (PD0 / PD1)** – תקשורת UART סיריאלית.



איור 3.3: תרשים פנים [2]

## 3.4.2 HC-12 – מודול תקשורת אלחוטית לטווח ארוך

### תיאור כללי:

ה-HC-12 הוא מודול תקשורת אלחוטית חזק ואמין העובד בתדר 433MHz. המודול מאפשר תקשורת דו-כיוונית בין שני מיקרו-בקרים באמצעות ממשק UART (Serial) רגיל. הוא מבוסס על שבב SI4463 של חברת Silicon Labs, ומיועד להעברת נתונים למרחקים של עד 1 ק"מ בקו ראייה, בהתאם לעוצמת השידור והאנטנה.

### עקרון פעולה:

המודול מתפקד כמעין "כבל סיריאלי אלחוטי" – כל מידע הנשלח דרך UART מצד אחד מתקבל אוטומטית במודול השני, ללא צורך בפרוטוקול תקשורת נוסף. ניתן להגדיר את המודול למגוון מצבים באמצעות פקודות AT, כגון מהירות שידור (Baud Rate), עוצמת שידור וערוץ עבודה (תדר).

### השימוש בפרויקט שלנו:

מודול ה-HC-12 משמש לתקשורת בין היחידה הראשית לבין יחידת הקצה – "מתג שבת חכם". הבקר של המתג מקבל באמצעות ה-HC-12 פקודות (shabbat / week) מהיחידה הראשית. בהתאם לפקודה שהתקבלה, הבקר מפעיל את לוגיקת מצב שבת ומעדכן את מצב הממסרים. באופן זה מתאפשר תיאום בין שני היחידה הראשית ליחידת הקצה גם ללא חיבור לרשת Wi-Fi מקומית.

### תיאור פינים עיקריים:

- **VCC** – הזנת מתח פעולה (3.2V-5.5V).
- **GND** – הארקה.
- **TXD** – פלט סיריאלי (מתחבר ל-RX של המיקרו-בקר).
- **RXD** – קלט סיריאלי (מתחבר ל-TX של המיקרו-בקר).
- **SET** – כניסה לתכנות באמצעות פקודות AT (כאשר נמשך ל-LOW).



איור 3.4: מודול HC-12 [3]



### 3.4.3 AC Sense Circuit – מעגל דגימת מתח

#### תיאור כללי:

ה-AC Sense הוא מעגל זיהוי נוכחות מתח רשת במעגל מסוים. המעגל מבוסס על מבודד אופטי (Optocoupler), המאפשר להעביר מידע על קיום מתח בצורה בטוחה תוך בידוד גלוני בין מתח הרשת למעגל הבקרה.

#### עקרון פעולה:

כאשר קיים מתח AC בקו הנמדד, זורם זרם דרך צד ה-LED במבודד האופטי (באמצעות רכיבי הגבלת זרם/יישור בתוך), ומופעל הפוטו-טרנזיסטור בצד המשני. הטרנזיסטור יוצר אות לוגי למיקרו-בקר, המשקף את מצב המתח במעגל – "0" לוגי כאשר יש מתח, ו-"1" כאשר אין.

#### השימוש בפרויקט שלנו:

מעגל ה-AC Sense משמש את ה"מתג שבת חכם" לזיהוי מצב המתג בעת קבלת פקודת "מצב שבת" (shabbat). המעגל מזהה האם קיימת נוכחות מתח ביציאת המתג, והמידע משמש את הבקר כדי לשלוט על מצבי הממסרים כך שמצב המכשיר המחובר (דלוק או כבוי) יישמר קבוע לאורך כל השבת.

#### תיאור חיבורים עיקריים:

- **L** – כניסה מיציאת המתג הידני (קו פאזה הנדגם).
- **N** – חיבור לאפס של רשת החשמל.
- **OUT** – פלט דיגיטלי למיקרו-בקר (LOW כאשר מזהה מתח).
- **VCC / GND** – הזנת מתח לצד הבקרה.



איור 3.5: דוגם AC [4]

## 3.4.4 Relay Module – ממסר אלקטרומכני למיתוג צרכני חשמל

### תיאור כללי:

הממסר הוא רכיב אלקטרומכני המשמש כמפסק חשמלי המופעל על ידי אות בקרה. הוא מאפשר למיקרו־בקר (כמו ATmega328P) לשלוט במעגלי זרם גבוה או במתח רשת, תוך בידוד גלויני בין צד הבקרה לצד הצרכן החשמלי, בהתאם לתכן המודול. במודולים נפוצים משולב מבודד אופטי (Optocoupler), דיודת הגנה (Flyback Diode) ונוריות חיווי, ובכך מתאפשרת הפעלה נוחה באמצעות יציאה דיגיטלית, בהתאם למפרט המודול.

### עקרון פעולה:

כאשר המיקרו־בקר משנה את אות הבקרה (HIGH/LOW בהתאם למודול), זרם הפעלה זורם בסליל המגנטי, וגורם לסגירת המגעים (או פתיחתם, בהתאם לסוג). בצורה זו ניתן להדליק או לכבות צרכן חשמלי חיצוני – לדוגמה, תאורה או מכשיר חשמלי – באמצעות שליטה דיגיטלית פשוטה.

### השימוש בפרויקט שלנו:

לאחר בחינת מספר אפשרויות שונות למימוש הלוגיקה הנדרשת למערכת בפרויקט זה, נעשה שימוש במודול הכולל שני ממסרים. מודול כזה מאפשר לממש את לוגיקת ה"מתג שבת חכם" בצורה מלאה: עקיפת המתג הידני, ונעילת מצב הצרכן החשמלי.

### תיאור פינים עיקריים:

- **VCC** – מתח הזנה (5V).
- **GND** – הארקה.
- **IN** – כניסת אות בקרה מהמיקרו־בקר (Active-HIGH או Active-LOW).
- **COM** – מגע משותף למיתוג הצרכן החשמלי.
- **NO (Normally Open)** – מגע פתוח במצב מנוחה, נסגר בהפעלה.
- **NC (Normally Closed)** – מגע סגור במצב מנוחה, נפתח בהפעלה.



איור 3.6: מודול ממסר אלקטרומכני [5]

## 3.4.5 AC-DC Converter – ממיר מתח לרכיבי בקרה

### תיאור כללי:

ממיר ה-AC-DC משמש להמרת מתח הרשת (230V AC) למתח ישר נמוך (בדרך כלל 5V DC או 3.3V DC) המתאים להזנת המיקרו-בקר ושאר רכיבי הבקרה במערכת. מדובר במודול AC-DC קומפקטי הכולל מעגלי יישור, סינון וייצוב מתח, ומאפשר חיבור ישיר למתח הרשת תוך שמירה על בידוד חשמלי בידוד גליוני בין צד הרשת לצד ה-DC, בהתאם למפרט הממיר.

### עקרון פעולה:

הממיר מבצע יישור והמרה ממותגת פנימית (SMPS) ליצירת מתח DC מיוצב. הממיר כולל בידוד גליוני בין כניסת הרשת לבין יציאת ה-DC, ומספק מתח יציב להזנת ה-ATmega328P, מודולי התקשורת והממסרים.

### השימוש בפרויקט שלנו:

הממיר משמש להזנת ה-ATmega328P וכל שאר רכיבי הבקרה במתח 5V DC. הוא מאפשר חיבור ישיר של המערכת לרשת החשמל, תוך שמירה על בטיחות ובידוד מלא. כך נשמרת אספקת מתח יציבה לכלל הרכיבים. רכיב זה מאפשר לחבר את רשת החשמל למערכת בצורה קלה וכזו השומרת על גודל קטן של המערכת.

### תיאור חיבורים עיקריים:

- **AC IN (L/N)** – כניסת מתח רשת 230V AC (פאזה ואפס).
- **DC OUT (+)** – יציאת מתח ישר 5V DC.
- **DC OUT (-)** – הארקה יציאה.



איור 3.7: ממיר AC-DC 5V [6]

### 3.4.6 הצדקת בחירת רכיבי חומרה מרכזיים

לצורך עמידה בדרישות הפרויקט נבחרה ארכיטקטורה המחלקת את המערכת ליחידה מרכזית ויחידת קצה המותקנת בקופסת קיר. בבקר יחידת הקצה נבחר ATmega328P בשל פשטות מימוש, זמינות גבוהה ויכולת שליטה ישירה בקווי I/O ובמסרים. לצורך תקשורת אלחוטית פשוטה ואמינה נבחר מודול HC-12, המאפשר פקודות שליטה ללא תלות ברשת Wi-Fi בסביבת המתג. שמירת מצב הצרכן במעבר למצב שבת מבוצעת באמצעות דגימה של נוכחות מתח (AC Sense) תוך שמירה על בידוד חשמלי באמצעות אופטוקופלר. הזנת המערכת מבוצעת באמצעות ספק AC-DC מבודד, שנבחר על מנת לאפשר אינטגרציה קומפקטית ובטוחה בתוך קופסת קיר.

## 3.5 תוכנות שפותחו

במערכת "מתג שבת חכם" פותחה קושחה האחראית ללוגיקת מצב שבת, לדגימת מצב הצרכן החשמלי ולשליטה במסרים בהתאם לפקודות המתקבלות מהיחידה המרכזית.

### 3.5.1 קושחת "מתג שבת חכם" (Smart Shabbat Switch)

הקושחה מאזינה לפקודות מצב מהיחידה המרכזית דרך HC-12.

### 3.5.2 ממשק אינטרנטי למשתמש (Web Interface)

הגדרת לוח הזמנים ומצב שבת/חול מבוצעת בממשק Web ביחידה המרכזית. יחידת המתג מקבלת את פקודות המצב באמצעות HC-12 ומבצעת אותן מקומית.

## 3.6 מבנה המערכת

### 3.6.1 ארכיטקטורת המערכת ותקשורת בין יחידות

המערכת מציעה ארכיטקטורה היררכית המהווה מענה לצורך בבקרה מרכזית ובתקשורת בין יחידות. יחידת ה"מתג שבת חכם" היא יחידת קצה המקבלת פקודות מיחידה מרכזית באמצעות (HC-12) RF.

- **שליטה מרוכזת:** יחידת המתג מקבלת פקודת מצב שבת/חול ומפעילה נעילה מקומית של המתג. לדוגמה, ניתן בלחיצת כפתור להעביר בבת אחת את כל יחידות הקצה למצב שבת – מצב המונע את שינוי מצב המתגים – ובצאת השבת להחזיר את כולן למצב רגיל.
- **תקשורת דו-כיוונית:** המערכת מבצעת אימות פקודה באמצעות ACK (acknowledgement): לכל פקודה שנשלחת מהיחידה המרכזית, יחידת המתג משיבה ACK. אי-קבלת ACK בתוך פסק זמן מוגדר מסווגת את הפעולה ככושלת ובכך מצביעה על בעיית תקשורת/חיבור. במצב כזה לא יתאפשר מעבר למצב שבת.

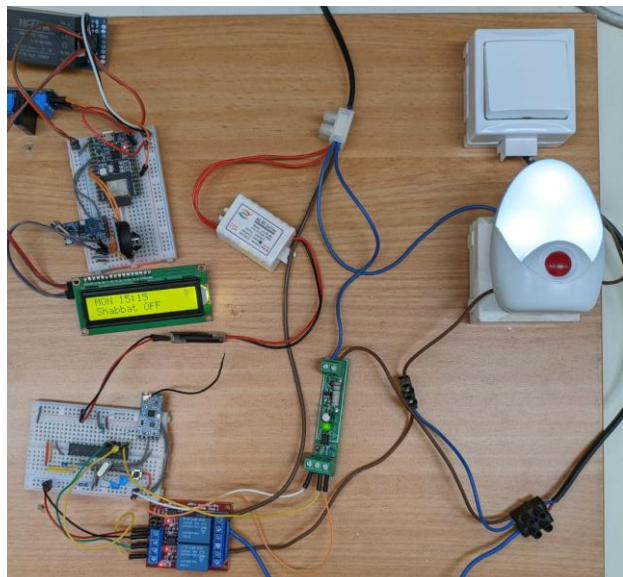
### 3.6.2 מימוש התאמה הלכתית ומצב שבת אוטומטי

הפרויקט מיועד לעמוד ביעד של התאמה מובנית למסגרת ההלכתית באמצעות שילוב מצב פעולה ייעודי:

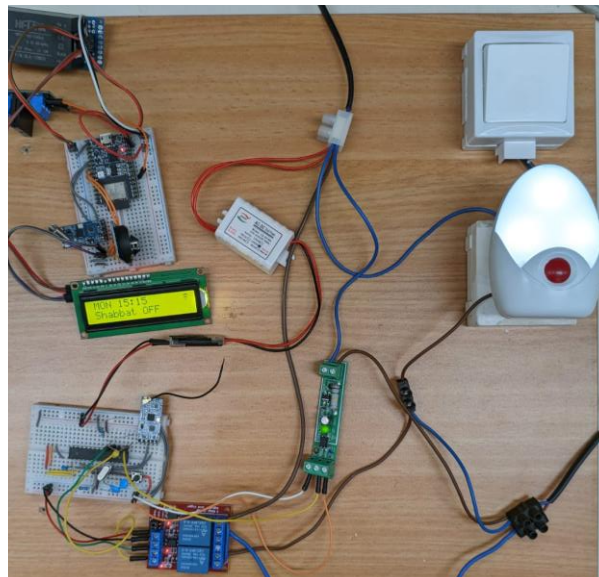
**מצב שבת (Shabbat Mode):** בעת מעבר למצב שבת, היחידה המרכזית שולחת לכל המתגים פקודת מעבר ל"מצב שבת". המצב נקבע על סמך דגימת ה-AC Sense טרם נעילת המתג. מצב המסרים נקבע ונוהל כך שהצרכן החשמלי נשמר כפי שנדגם לפני המעבר למצב שבת (דלוק/כבוי) לאורך השבת. גישה זו מממשת נעילה אלקטרונית של המתג ובכך מבטלת שינוי לא-מכוון.

## 4. תוצאות

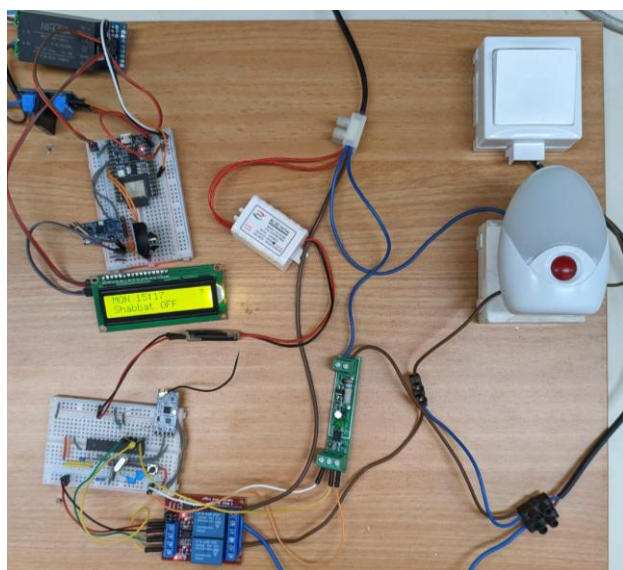
בפרק זה מוצגות תוצאות ניסויי האימות של ה"מתג שבת חכם". בכל ניסוי נקבע מצב התחלתי של הצרכן לפני כניסה למצב שבת (דלוק/כבוי). במצב שבת בוצעה לחיצה על המתג הידני כדי לוודא שמצב הצרכן אינו משתנה. איורים 4.1 – 4.4 מציגים את מצב הצרכן ההתחלתי ואת מצבו לאחר שינוי פיזי במתג במהלך מצב שבת.



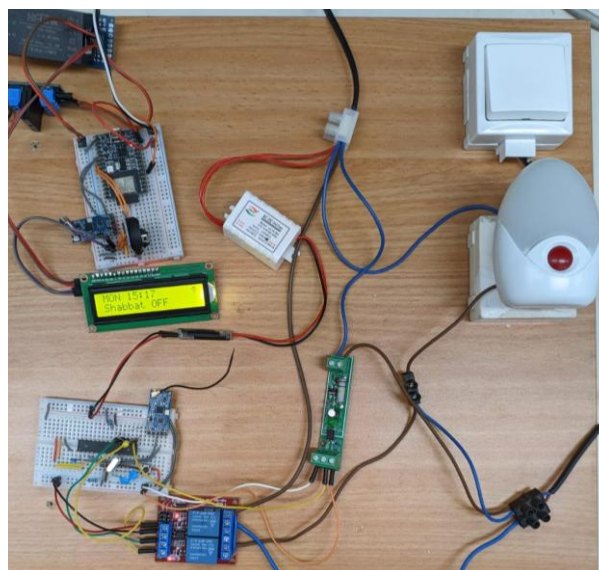
איור 4.2: מצב הצרכן במצב שבת לאחר שינוי



איור 4.1: מצב הצרכן (דלוק) בכניסה למצב שבת



איור 4.4: מצב הצרכן במצב שבת לאחר שינוי



איור 4.3: מצב הצרכן (כבוי) בכניסה למצב שבת

## 5. מסקנות וסיכום

פרק זה מסכם ומעריך באופן ביקורתי את עבודת הפרויקט מראשיתה ועד סופה. הוא מנתח את רמת העמידה במטרות שנקבעו, מציע הסברים לתוצאות שהושגו ומציג כיווני פיתוח עתידיים.

### 5.1 עמידה במטרות הפרויקט והערכה ביקורתית

מטרת הפרויקט הנוכחי הייתה פיתוח יחידת "מתג שבת חכם" – מודול אלקטרוני הניתן להוספה למתג קיר קיים, המממש פקודות מצב/נעילה המתקבלות מיחידה מרכזית. במסגרת זו נבחנו היתכנות אלקטרונית, בטיחותית והלכתית של פתרון עקיפת המתג ושימור מצב המכשיר לאורך השבת.

המערכת עמדה ביעדי הפיתוח שהוגדרו במסגרת הפרויקט. המימוש ההנדסי של הארכיטקטורה הדו-רכיבית – הכוללת יחידת שעון מרכזי (מבוסס ESP32) ויחידות מתג קצה (מבוסס ATmega328P) – הוכח כיציב, פונקציונלי ומספק מענה ליעדי הפיתוח שהוגדרו בסעיף 3.3 בפרק "רקע תיאורטי וסקירת ספרות".

- **בקרה מרכזית ותקשורת בין יחידות:** יעד זה מומש בהצלחה באמצעות פרוטוקול התקשורת האלחוטית RF בין יחידת השעון המרכזית למתגים המרוחקים. יכולת זו מאפשרת סנכרון של כלל המתגים מרחוק ובלחיצת כפתור אחת, מבצעת תיאום מצב מול יחידה מרכזית ומאפשרת זיהוי חוסר תגובה באמצעות ACK.

- **מימוש מצב שבת ושימור מצב הצרכן:** בעת מעבר למצב שבת יחידת המתג דוגמת את מצב הצרכן החשמלי באמצעות AC Sense, מגדירה את מצב שני הממסרים ונועלת את השפעת המתג הידני כך שמצב הצרכן נשמר לאורך השבת. בבדיקות המערכת הודגם כי שינוי פיזי במתג הידני לאחר המעבר למצב שבת אינו משנה את מצב הצרכן, הן כאשר נכנס דלוק והן כאשר נכנס כבוי.

לסיכום, מערכת "מתג שבת חכם" מדגימה פתרון עקיפה ונעילה המבוסס ATmega328P, שני ממסרים ומעגל AC Sense, ומאפשרת פעולה מתואמת מול יחידת בקרה מרכזית.

### 5.2 שיפורים אפשריים והרחבה עתידית

על אף הצלחת המימוש של המערכת, קיימים מספר כיוונים ושיפורים שאפשר לממש לעתיד כדי להעלות את רמת הפרויקט ולספק ערך מוסף:

#### 5.2.1 שיפורים במימוש הנוכחי (Immediate Improvements)

במימוש הנוכחי יחידת הקצה בנויה ממספר מודולים מוכנים, ולכן למרות שהמערכת עובדת היטב, הנפח הפיזי והמורכבות המכאנית עדיין אינם מיטביים להתקנה נקייה בתוך קופסת קיר. שיפור מיידי ומתבקש הוא מעבר לאינטגרציה חומרית באמצעות בחירה מחודשת של רכיבים ותכנון PCB ייעודי. כרטיס ייעודי יאפשר לאחד על גבי לוח אחד את רכיבי הבקרה, התקשורת ומעגלי החישה וההפעלה, לצמצם חיווט ומחברים, ולהתאים את המערכת באופן מדויק לדרישות הפונקציונליות של "מתג שבת חכם". בנוסף, תכנון PCB יאפשר לתכנן מראש מרחקי בידוד ובטיחות, ולשפר אמינות ויכולת ייצור/הרכבה.

#### 5.2.2 הרחבות למערכות עתידיות (Future Scope)

הרחבה עתידית מרכזית היא תמיכה במערכת מרובת יחידות קצה, שבה כל יחידה מקבלת זהות קבועה וניתנת לניהול אישי – תוך שימוש בערוץ תקשורת משותף אחד, ללא חלוקת תדרים וללא תכנות ידני של מזהים מראש. לשם כך נעשה שימוש במנגנון "זיווג" (Pairing) אוטומטי: יחידה חדשה שמזהה שאין לה מזהה שמור נכנסת למצב זיווג מוגבל בזמן עם חיווי לד, ואם לא הוגדרה – עוברת למצב האזנה בלבד כדי לצמצם עומס ושידורים מיותרים. תהליך ההגדרה מתבצע מצד הבקר המרכזי באמצעות פקודת סריקה כללית שמחזירה יחידות לא מזוהות למצב זיווג, ולאחר מכן זיהוי פיזי באמצעות פקודה ליחידה ספציפית. לאחר שהמשתמש מאשר שזו היחידה הרצויה, מוקצה לה מזהה קבוע הנשמר בזיכרון הלא-נדיף, ומאותו רגע היחידה מגיבה רק לפקודות ממוענות אליה או לפקודות כלליות. כך נוצר הפרדה לוגית על גבי אותו ערוץ תקשורת, המאפשר תפקוד הדומה למערכת רב-ערוצית – ללא צורך במורכבות חומרית או בהקצאת תדרים נפרדת.

## 5.3 תרומת הפרויקט

פרויקט "מתג שבת חכם" מציג תרומה כפולה:

1. **תרומה טכנולוגית:** הפרויקט מדגים מימוש של יחידת קצה – "מתג שבת חכם" – המוסיפה למתג קיר קיים מנגנון נעילה אלקטרונית המבוסס על ATmega328P, שני ממסרים ומעגל AC Sense. היחידה דוגמת את מצב הצרכן החשמלי לפני מעבר למצב שבת, מגדירה את מצב הממסרים בהתאם, ושומרת על מצב הצרכן גם במקרה של שינוי פיזי במתג הידני. בנוסף, הודגם מנגנון תקשורת RF פשוט בין יחידת הקצה ליחידה המרכזית, הכולל אישור קבלה (ACK) לזיהוי קבלת פקודות וחוסר תגובה.
2. **תרומה ציבורית/הלכתית:** הפרויקט מהווה פתרון ממוקד, בטוח ונגיש לבעיית השליטה באוטומציה ביתית עבור הציבור שומר השבת. הוא מפשט את התפעול, מגביר את רמת הדיוק ומבטיח את עקרון מניעת חילול שבת בטעות באמצעות נעילה אלקטרונית מובנית, ובכך משפר את איכות החיים והביטחון ההלכתי של המשתמשים.

### התנהגות המערכת בעת הפסקת חשמל וחזרת מתח

מתג השבת החכם הוא יחידת קצה שמטרתה לשמר מצב פעולה יציב במכשיר המחובר, ובפרט במצב שבת שבו יש צורך לעקוף את השפעת המתג המקומי. בזמן הפסקת חשמל היחידה נכבית, והמסרים מאבדים מתח. כאשר החשמל חוזר, היחידה מבצעת אתחול מחדש ומתחילה ממצב ברירת מחדל בטוח (מצב "חול"), כדי למנוע כניסה לא מכוונת לעקיפה ללא הקשר.

במקביל, כדי לשפר שרידות והתנהגות צפויה לאחר הפסקות חשמל, היחידה שומרת בזיכרון לא נדיף את מצב המסרים האחרון. כך, אם לפני הכיבוי היחידה הייתה במצב שבת (עקיפה פעילה) או במצב חול, לאחר חזרת המתח היא יכולה לשחזר את המצב האחרון ולהמשיך באותה התנהגות, ללא תלות מיידית בתקשורת עם השעון. השחזור המקומי מקטין תלות ברשת ומאפשר עמידות גבוהה יותר בתרחישים שבהם יחידת הקצה חווה הפסקת חשמל מקומית בעוד השעון ממשיך לפעול, או להפך.

כאשר היחידה מקבלת פקודות מהשעון (שבת/חול), היא מיישמת את הפקודה ומשמרת את המצב החדש בזיכרון הלא נדיף. במעבר למצב שבת היא משתמשת בחיווי מצב (לדוגמה, חיישן מצב עומס/מתח) כדי לקבע את מצב המכשיר כך שהשפעת המתג המקומי תנוטרל, והמצב יישאר יציב לאורך השבת. בדרך זו, ההתנהגות לאחר הפסקת חשמל נשארת עקבית עם ההחלטה האחרונה שניתנה למתג, ומתיישבת עם מטרת יחידת הקצה: יציבות ורציפות מצב.



## נספח ב

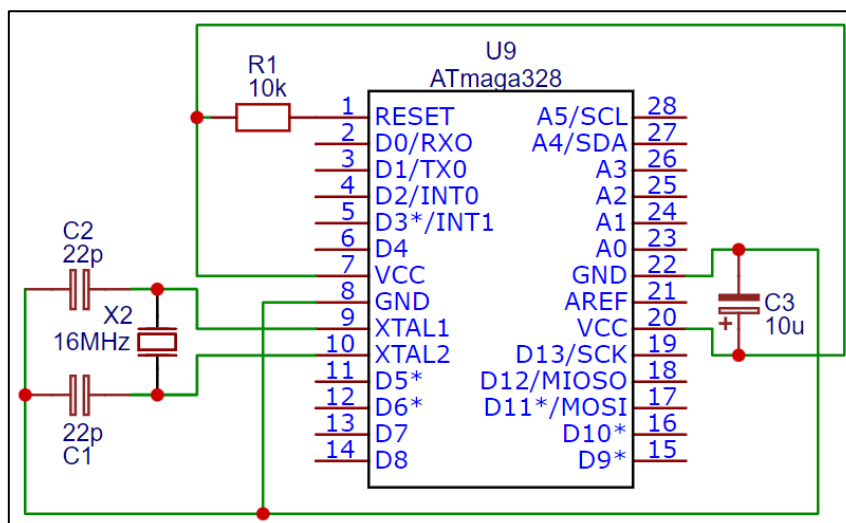
### תרחישי קצה ובדיקות מערכת

תנאי התחלה	אירוע/פעולה	תוצאה צפויה	הערה (למה זה חשוב)
מצב חול	מתקבלת פקודת "שבת" מהשעון	המתג מפעיל עקיפה ומקבע את מצב המכשיר; נשלח ACK	כניסה אמינה למצב שבת
מצב שבת	מתקבלת פקודת "חול" מהשעון	המתג מבטל עקיפה וחוזר להתנהגות רגילה; נשלח ACK	יציאה נקייה ממצב שבת
מצב שבת	הפסקת חשמל למתג וחזרת מתח	המתג משחזר את מצב השבת מהזיכרון הלא-נדיף (נשאר שבת)	שרידות יחידת קצה ללא תלות מיידיית בשעון
מצב חול	הפסקת חשמל למתג וחזרת מתח	המתג נשאר חול (שחזור מצב)	עקביות התנהגות אחרי reboot
הפעלה ראשונה / זיכרון לא מאותחל	חזרת מתח	המתג נכנס לברירת מחדל בטוחה: חול	התנהגות צפויה במוצר חדש
מצב שבת; חיווי מצב המכשיר גבולי/רועש	כניסה לשבת בזמן מדידה לא יציבה	המתג מקבל החלטה עקיבית ולא "מתהפך" באופן אקראי	חסינות לרעש/חוסר יציבות בכניסות
תקשורת לא יציבה (כפילויות/עיכובים)	מתקבלות פקודות חוזרות	המתג מגיב בצורה דטרמיניסטית; לא נוצר מצב ביניים; ACK עקבי	אמינות תחת תקשורת לא מושלמת
לחצן Override (אם קיים)	לחיצה בזמן שבת	המתג חוזר לחול באופן מיידי לפי המדיניות	שליטה מקומית במקרי קיצון
עבודה רציפה לאורך זמן	מעברים רבים שבת↔חול	הריליים תמיד במצב מוגדר, ללא "מצב ביניים"	יציבות מכנית/לוגית

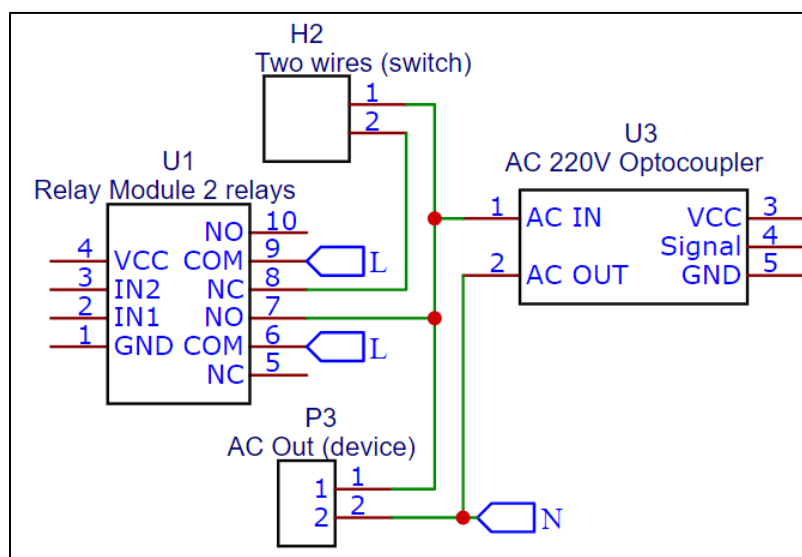
טבלה נספח ב': תרחישי קצה

## נספח ג

### סכמות חיווט – השלמה לתרשים הבלוקים (פרק 3)



איור ג.1: חיווט ותצורת עבודה של Reset של ATmega328P, קריסטל 16MHz וקבלי ייצוב).



איור ג.2: חיווט שכבת המיתוג והחישה (ממסרים + חיישן AC מבודד אופטי).

- [1] *Koretzki.co.il*. [Online]. Available:  
<https://www.koretzki.co.il/product/%D7%97%D7%9E%D7%99%D7%A9%D7%99%D7%99%D7%AA-%D7%9E%D7%92%D7%9F-%D7%A9%D7%A7%D7%A2-%D7%9C%D7%A9%D7%91%D7%AA-%E2%80%93%D7%9B%D7%99%D7%A1%D7%95%D7%99-%D7%9E%D7%AA%D7%92-%D7%90%D7%95%D7%A0%D7%99%D7%91%D7%A8%D7%A1%D7%9C%D7%99>.  
 [Accessed: 28-Jan-2026].
- [2] *Microchip.com*. [Online]. Available:  
<https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MCU08/ProductDocuments/DataSheets/ATmega48A-PA-88A-PA-168A-PA-328-P-DS-DS40002061B.pdf>.  
 [Accessed: 28-Jan-2026].
- [3] "4X HC-12 433Mhz SI4463 Wireless Serial Port Module 1000M Replace Bluetooth HC12 - AliExpress 44," *aliexpress*. [Online]. Available:  
<https://he.aliexpress.com/item/1005005101377869.html>. [Accessed: 28-Jan-2026].
- [4] "1 Channel AC 220V Optocoupler Isolation PLC Module Optocoupler Isolation Drive Module Optocoupler Isolation Test Board Module," *aliexpress*. [Online]. Available:  
<https://he.aliexpress.com/i/1005004340194831.html?gatewayAdapt=glo2isr>. [Accessed: 28-Jan-2026].
- [5] *2 pcs 5V 2 channel DC 5V relay module with optocoupler high/low level trigger expansion board*. .
- [6] "AC to DC Converter Step-down Power Supply Module AC110V 220V 230V To DC 3V 5V 9V 12V 15V 24V 3W Led Isolated Voltage Stabilized - AliExpress 13," *aliexpress*. [Online]. Available: <https://he.aliexpress.com/item/1005005945688332.html>. [Accessed: 28-Jan-2026].