



הפקולטה להנדסה ומדעי המחשב  
החוג להנדסת חשמל ואלקטרוניקה

## פרויקט גמר באלקטרוניקה

מtag שבת חכם

## Smart Shabbat Switch

מגישים: ברק אשואל ודוד אורליין  
שבט תשפ"ז  
מנחה: לירון בחרכה  
ירושלים

## **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: CISCO מגן פלסטיק .....
10 .....	איור 3.1: דיאגרמת בלוקים של מערכת "מtag שבת חכם" .....
11 .....	איור 3.2: שרטוט מערכת "מtag שבת חכם".....
15 .....	איור 3.3: תרשימים פנימיים.....
16 .....	איור 3.4: מודול HC-12 .....
17 .....	איור 3.5: דגם AC .....
18 .....	איור 3.6: מודול ממיסר אלקטرومגנטי .....
19 .....	איור 3.7: ממיר 5V AC-DC .....
21 .....	איור 4.1: מצב הרצין (דלאק) בכניסה למצב שבת .....
21 .....	איור 4.2: מצב הרצין במצב שבת לאחר שינוי .....
21 .....	איור 4.3: מצב הרצין (כבי) בכניסה למצב שבת.....
21 .....	איור 4.4: מצב הרצין במצב שבת לאחר שינוי .....
26 .....	איור ג.1: חיישות ותצורת עבודה של ATmega328P .....
26 .....	איור ג.2: חיישות שכבת המיתוג והחיששה.....

## **רשימת טבלאות**

12 .....	טבלה 3.1: רשותות מתח ואוטות מרכזיים .....
13 .....	טבלה 3.2: ATmega328P פינים בשימוש .....
14 .....	טבלה 3.3: חיבורים חיצוניים .....
25 .....	טבלה נוספת ב': תרחישי קצה .....

## תקציר

שימוש במתג קיר להפעלת צרכני חשמל הוא חלק בלתי נפרד מההתקנות היומיומית בבתים ובמרחבים ציבוריים. במצבים שונים, לחיצה מקרית על המתג (למשל ע"י ילדים, אורחים או מתוק الرجل) עלולה לשנות את מצב התאורה או המכשיר החשמלי באופן שאינו רצוי. עברו ציבור שומר השבת, שינוי צזה במהלך השבת יוצר קושי "יחוד": הוא עלול לכפות מצב חדש, ובמהלך השבת לא ניתן לתקן את השינוי ולהחזיר את המצב לקדמותו באופן מכני. פתרונות קיימים כגון CISCOים מכנים למוגדים מספקים מענה חלק בלבד, משום שהם מצריכים התקינה והסורה ידנית בכל שבת, פוגעים באסתטיקה, ואינם מספקים חסימה אמינה לאורך זמן. מטרת פרויקט זה היא פיתוח "מתג שבת חכם" – יחידת קצה אלקטרוניות המונעת שינוי לא רצוי של מצב הרצן במהלך השבת באמצעות נעילה אלקטרוניות של מתג הקיר.

המערכת שפותחה מבוססת על מיקרו-בקר ומשלבת מגנון דגם מצב הרצן באמצעות מעגל חישה לנוכחות מתח רשת (AC), יחד עם שני מסרים אלקטרוניות. בעת קבלת פקודה מעבר למצב שבת, היחידה דוגמתת את מצב הרצן (דילוק או כבוי), מנטרלת את השפעת מתג הקיר וקובעת את מצב ההזנה כך שהמצב שנציג יישמר במשך מצב השבת. המתג פועל ייחידת קצה הנשלטת ע"י ייחידת בקרה מרכזית, ומתקשר עם ייחידת הבקרה באמצעות תקשורת אלחוטית, הכוללת מגנון אישור קבלה (ACK) להבטחת אמינות הפוקודות.

תוצאות הבדיקות הראו כי במצב שבת נשמר מצב הרצן באופן עקבי, ללא תלות בשינויים פיזיים במתג הקיר. הן בתרחיש שבו הרצן נכנס במצב שבת כשהוא דילוק והוא כאשר נכנס כבוי, הודגם כי לחישה על המתג במהלך השבת אינה גורמת לשינוי במצב הרצן. בנוסף, נבחנה התנהוגות המערכת במצב קצה כגון הפסוקות חשמל וחזרת מתח, ונמצא כי היחידה מתואושת באופן צפוי ובטוח, תוך שמירה על רציפות לוגית של מצב הפעולה.

הפרויקט תורם פתרון פשוט, אמין ויישומי למונעת שינוי לא רצוי של הרצן חשמלי במצב שבת באמצעות נעילה אלקטרוניות פעילה. אף שהמערכת פותחה כדי להתמודד עם בעיה הלכתית לציבור שומר השבת, העיקנון ההנדסי שלו היה מושפע – נעילת השפעת המתג ושימור מצב הרצן – מאפשר להקליל את הפתרון גם למצבים שבהם נדרש יציבות תפעולית, כגון במערכות 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 מגiei קיר פשוטים, הנמצאים בשימוש תדרי ונגישים לכל דייר הבית. עבור ציבור שומר השבת, השימוש במערכות אלו מחייב תכנון מוקדם ויצירת מצב שבו פעולה החשמל נשמרת קבועה לאורך השבת, ללא צורך בהתרבות אונסית ולא שניי בלתי רצוי של מצב המערכת.

במציאות הביתית, ובפרט בזמנים שבהם מתגוררים ילדים או מתקיים מצב תנועת אורחים, קיימן סיכון ממשי לשינוי בלתי-צפוי של מצב החשמל. ילדים עלולים ללחוץ על מתג מתוך סקרנות, משחק או חוסר מודעות, ואילו מבוגרים עשויים לשנות את מצב המתג מתוך הרגל, חווור תשומת לב או הישענות מקרית על הקיר. פעולות אלו מתרכשות באופן טבעי ו倏רתי, אך במהלך השבת הן עלולות לגרום לשינוי לא רצוי במצב התאורה או בצריכת החשמל.

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 והמטוכננת של היום, ליצור תחושת חוסרנוחות ולפגוע בתחומי השיטה והשלווה של בני הבית. עבור משפחות רבות, השבת אינה רק מסגרת ההלכתית אלא גם זמן של רוגע, משפחתיות וכבוד, וכל תקללה או שינוי בלתי רצוי במערכת החשמל עלולים לפגוע בחוויה זו.

קיימים פתרונות פשוטים מנובאים על אמצעים מכניים, כגון תלויות חוץ פיזי או כיסוי למstag הקיר לפני כניסה לשבת, במטרה למנוע לחיצה ישירה על המתג. עם זאת, פתרונות אלו מספקים מענה חלקי בלבד, שכן הם תלויים בזיכרון ובהיערכות מוקדמת של המשתמש בכל ערב שבת ואינם פועלים באופן אוטונומי. בסופו, חוץ פיזי אינו מונע באופן מוחלט שינוי מצב המתג: ילדים עלולים לשחק בו, להסתירו או להזיזו ממקומו, ואף מבוגרים עשויים להסתירו מעתה וחסור תשומת לב. מוגבלות אלו פוגעות באמונות הפתרון ומגבירות את הסיכון לשינוי לא מתוכנן של מצב החשמל, על כל ההשלכות הנלוות לכך.

על רקע זה, מטרת העבודהuproיקט זה היא לפתח פתרון טכנולוגי ייעודי בדמות "מstag שבת חכם", אשר ימנע שינוי בלתי-צפוי של מצב צרכני החשמל במהלך השבת, גם במקרה של לחיצה פיזית על מתג הקיר. המתג נדרש לפעול כחלק מערכת מתוכנת מראש, אך גם כיחידה עצמאית המספקת שכבת הגנה ברורה ויעילה מפני טעויות אנוש. בכך,uproיקט מתמקד בבעיה יומיומית ומעשית המוכרת לכל בית שומר שבת, ולא רק בהיבט תאוורתי או טכני.

הפתרון שפותח במסגרתuproיקט מבוסס על עילאה אלקטונית של מצב המתג בזמן השבת, כך שמצווב הרצין החשמלי נשמר כפי שהוא עם כניסה השבת ואינו משתנה כתוצאה מפעולה פיזית על המתג. גישה זו מבטלת את התלות בזרירות המשמשים או בהסבירה מוקדמת לילדים לאורחים, ומאפשרת התנהלות טبيعית ללא חשש מתמיד משינוי בלתי רצוי של מצב החשמל. בכך, המערכת תורמת לשמירה על רציפות השבת, על האווירה הביתית ועל כבודה של השבת, ולא רק על עמידה טכנית בכללים.

חשיבותו הציבורית שלuproיקט באה לידי ביטוי בשיפור איכות החיים של הציבור שומר השבת. המערכת מעניקה תשומת ביטחון ושקט נפשי, מפחיתה מצב אי-ידאות ומאפשרת ניהול ביתי רוגע גם בסביבה שבה מתקייח השם נגשים לכל הדורים ואורחים. היא מצמצמת מצבים של מתח, אכזבה או פגעה באווירת השבת, ומאפשרת לבני הבית להתמקד במשמעותו הרוחנית והמשפחהית של היום.

מעבר לסייעת הביתית, למstag שבת חכם" קיימת תרומה גם למרחבים ציבוריים שאינם פרטיים, כגון אולמות כנסים, אתרי אירועים, מרכזי קהילתיים ובניין ציבור. במקרים מסוימים מתקייח חשמל ותאורה נגשים לעתים לקהיל רחוב, וקיים סיכון לשינוי מצב החשמל עקב לחיצה לא מכוונת, הישענות מקרית או חוסר מודעות של משתמשים אחרים. שינוי זהה עלול לגרום להפרעה לאירוע, לפגיעה בראף הפעילות ולעגמת נשפם בקרב המשתמשים. האפשרות לנעול את מצב המתג מראש מאפשרת שמירה על יציבות ורכיפות תפעולית, ללא תלות בנסיבות איש תפעול סמוך לכל מstag.

לסיום,uproיקט "מstag שבת חכם" נולד מתוך צורך צורב ביתי וציבורי ממשי: מניעת שינוי בלתי-צפוי של מצב החשמל בסביבה שבה מתקייח הקיר נגשים למשתמשים רבים. באמצעות פתרון טכנולוגי פשוט, ברור ויעיל,uproיקט מציע מעשי לבעה יומיומית נפוצה, תורם למניעת עגמת נשפם ותשמירה על כבוד השבת, ומאפשר יצירת סביבה ביתית וציבורית רוגעה, מבוקרת ומוכבת יותר. בכך, הוא מדגים כיצד תכנון הנדסי רגיש יכול לתת מענה מודיעין לאתגר אנושי-ערבי ולשפר באופן ממשי את חוות הרים.

## 2. רקע תיאורטי וקירת ספרות

### 2.1 מוצרים קיימים בשוק

#### 2.1.1 מגני מתגים קיימים בשוק



איור 1.2: כיסוי מגן פלסטי [1]

אחד הפתרונות הנפוצים והפשוטים ביותר למניעת לחיצה מקרית על מתג קיר הוא שימוש במגן מתג פיזי. בפועל, ברוב המקרים מדובר בכיסוי פלסטי ממוקן על גבי מסגרת המתג (איור 2.1), והוא מחסום מכני המקטין את הנגישות הישירה ללחץ. הcisוי מיועד למנוע לחיצה אקראיית הנגרמת מהיסח דעת, משחק ילדים, או הישענות מקרית על הקיר, ובכך לצמצם שינוי לא רצוי במצב התאורה או הצריך החשמלי המחבר.

יתרונו המרכזי של פתרון זה הוא פשוטות: מדובר בהתקנה מהירה יחסית, ללא צורך בחיווט, ללא צורך בבקר, ולא שניינן במערכות החשמל המקוריות. עם זאת, מאחר שמדובר בפתרון פסיבי המבוסס על חסימה מכנית בלבד, הוא אינו " מבין" את מצב המערכת ואין מבע בקרה או נעללה אלקטטרונית של המיגל. כלומר, הוא מנסה לצמצם את ההסתברות לחיצה – אך אינו מבטיח ש מצב הצריך ישמר בפועל.

### 2.2 מגבלות המוצרים הקיימים

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

- **היררכות פיזית מבוזרת לפני שבת:** פתרונות כיסוי דורשים התקינה/הצמדה פיזית לכל מתג בנפרד לפני שבת (ולעתית גם הסרה לאחריה). כלומר, ההגנה תלולה בטרחה חוזרת ובזכירה פר-מתג.
- **אמינות מכנית מוגבלת:** רכיב פלסטי נוטה לבלאי, שבר, התראות או נפילה לאורך זמן שימוש, ולכן אינו מספק יציבות תפעולית עקבית.
- **פגיעות להתקבבות משתמשים ועקיפה:** הסרה אינטואיטיבית (אורחים/ילדים), הזזה, או הפעלה "דרך הcisוי" – מנעים מהפתרון למשמש נעללה אמיתית של מצב המתג.

לאור מגבלות אלו עליה הצורך בפתרון אלקטронי מובנה וחכם, שאינו נשען על חסימה פיזית פשוטה בלבד, אלא מבצע נעללה פונקציונלית של השפעת המתג ושומר על מצב הצריך כפי שהיא ברגע הגדרת מצב שבת – גם אם המתג נלחץ בפועל. פתרון כזה מחייב תלות במשמעות וזהירות, וממיר את ההגנה ממנגנון "מנוע לחיצה" למנגנון "מנוע 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 קיימ, אשר מונעת שינוי בלתי-מכoon של מצב הצריך החשמלי במהלך השבת באמצעות מגנון נעליה אלקטרוני של השפעת המתג.**

לשםימוש מטרה זו הוגדרו יעדי הפיתוח הבאים:

- **דגימת מצב נוכחי לפני נעליה:** טרם מעבר למצב שבת, היחידה תציג את מצב הצריך כדי לקבוע מהו המצב שיש לשמר.
- **שמירת מצב הצריך לאורך השבת:** המערכת תשמר את מצב הצריך (דלאק/כבוי) כפי שהיא בעת כניסה השבת, ללא תלות במצב הפיזי של מתג הקיר במהלך השבת.
- **שילוב עם יחידת שליטה מרכזית:** יחידת המתג תפעל כיחידה קצה במערכת הכללית, ותדע לקבל פקודות מצב (שבת/חול) מיחידה מרכזית (למשל "שעון שבת חכם"), כדי לאפשר תפעול מסונכרן ונovo של כל יחידות הקצה בבית.
- **בטיחות ובידוד חשמלי:** התכnon יבטיח הפרדה נאותה בין מתח הרשת לעגל הבקרה, ויעשה שימוש ברכיבים מתאימים (למשל מסרים ובידוד אופטי), בהתאם לעקרונות בטיחות בסיסיים במערכות מיתוג רשות.
- **הקפדה על הלכות שבת:**

יעדים אלו ישמשו בסיס להערכת עמידת הפרויקט במטרותיו בפרק' התוצאות והמסקנות.

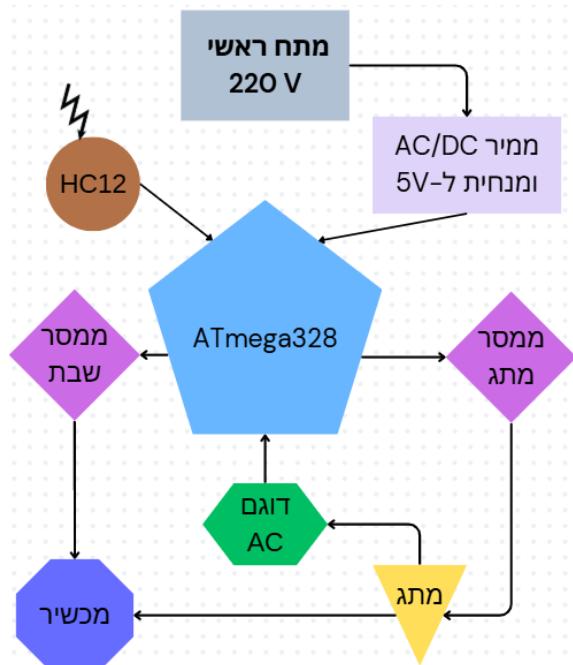
### 3. פיתוח ושיטות

פרק זה מפרט את תהליכי התכנון ואת שיטות המימוש שנבחרו עבור מערכת "מתג שבת חכם". התכנון ההנדסי בוצע בהתאם ליעדי הפיתוח שהוגדרו בפרק הרקע הטיאורטי (פרק 2), ובdagש על מימוש ייחידת קבוצה קומפקטיבית המתאימה להתקנה בקופסת קיר ועל מגנון שמיירת מצב הרצין בעת מעבר למצב שבת. בפרק יוצגו הבחירה המבניות והטכנולוגיות שנעשו – החל מארQUITקטורת המערכת, דרך החומרה והחברורים החשמליים, ועד ללוגיקת התוכנה ומצבי הפעולה הייעודיים.

#### 3.1 דיאגרמת בלוקים

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

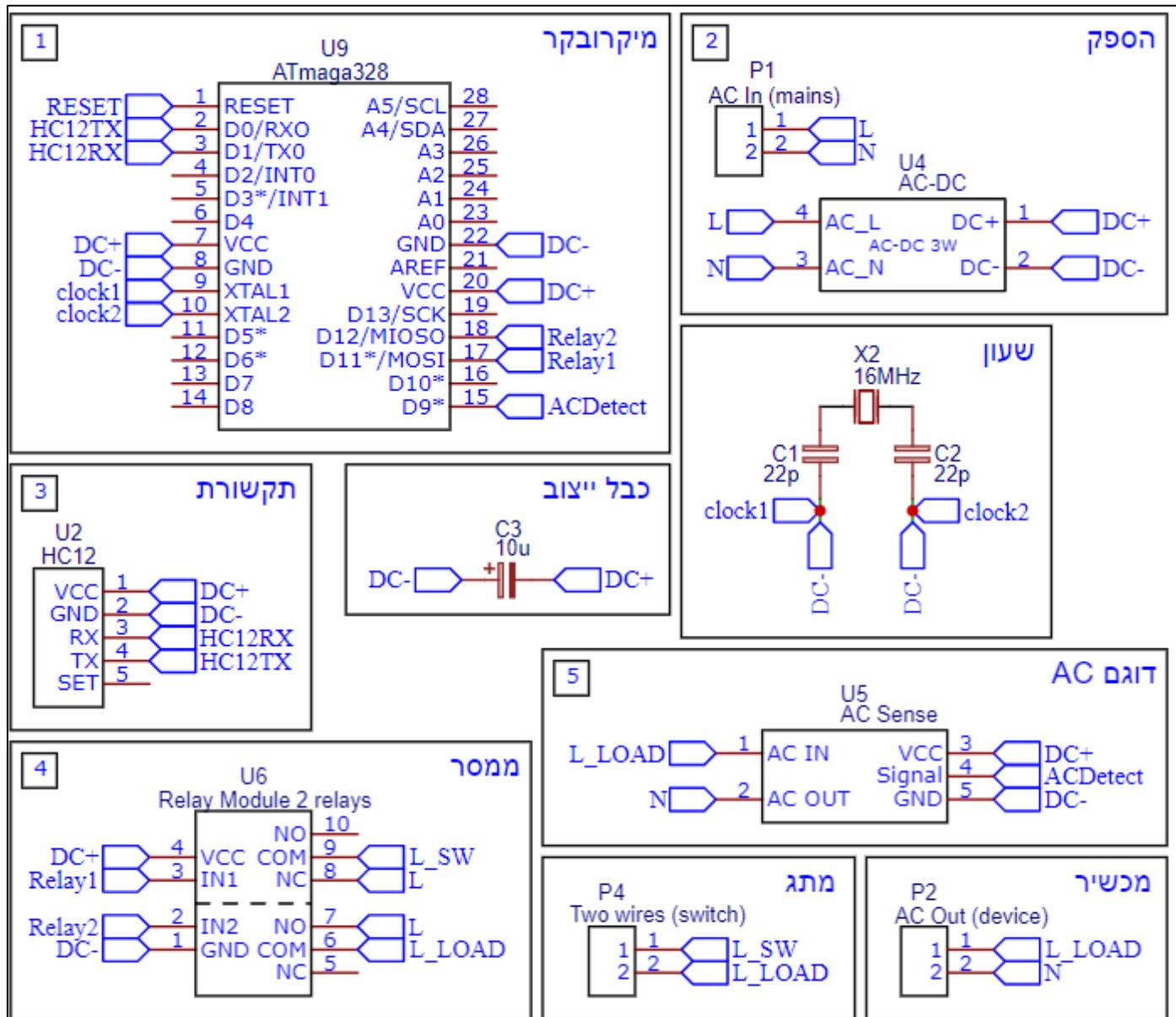
- במצב חול ה"מתג" פועל רגיל – "מסר מתג" מחובר במצב (NC) (Normally Closed).
- במצב לשבת היחידה דוגמתת את מצב ה"מכשיר" באמצעות "דגם AC".
- לאחר מכן ננעל מצב ה"מכשיר" באמצעות שני מסרים: אחד לנטרול השפעת המתג ("מסר מתג"), ואחד לקביעת מצב הרצין החשמלי ("מסר שבת").



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

### 3.2 שרטוט מערכת "מתקן שבת חכם"

איור 3.2 מציג את חיבוריו החומרה של מתקן שבת חכם" ברמת הרכבים. לצורך בהירותו, השרטוט חולק לארבעה בלוקים: בקר (1) וمعالgi תמייח, ספק כוח (2), מודול תקשורת HC-12 (3), מודול הממסרים (4) AC Sense (5). האותות המרכזיות הם קווי UART לתקשורת, אות ACDetect לאזיהוי מצבם, ושתי יציאות שליטה לממסרים.



איור 3.2: שרטוט מערכת "מתקן שבת חכם"

### 3.3 תיאור חשמלי ומיפוי חיבורים

לאחר הצגת השירות, מובא כאן תיאור חשמלי משלים שמספרת את החיבורים בפועל: מהין מתאפשר כל מתח וכל אות, لأنם מתחברים, ומהם תפקידם במערכת.

#### 3.3.1 רשתות מתח ואוטות מרכזים

טבלה 3.1 מציגה את רשתות המתח והאותות העיקריים במערכת. לכל רשת מצוינים סוג הרשת (מתוך רשת מתח 230VAC, מתח DC, או אות לוגי), מקור הזרנה/האות, והרכיבים אליויהם היא מחוברת. ריכוז זה מאפשר לה賓ן בקלות את מסלולי הזרנת המערכת ואת הקשרים המרכזיים בין בלוקי החומרה.

הערות	CRCNIM	מקור	רמת מתח / סוג	Net / Signal
פaza נכנסת למערכת	AC-DC (AC_L), Relay Module (COM)	Mains (1)	(פaza) 230VAC	L
Afso משותף (לא ממוגן)	AC-DC (AC_N), Device (2), AC Sense (AC OUT)	Mains (2)	(Afso) 230VAC	N
מסילת הזרנה	ATmega (VCC), HC-12 (VCC), Relay Module (VCC), AC Sense (VCC)	AC-DC (DC+)	(50ק) +5VDC	DC+
אדמה משותפת	ATmega (GND), HC-12 (GND), Relay Module (GND), AC Sense (GND)	AC-DC (DC-)	0V (GND)	DC-
פaza למציג	Switch (1)	(OUT) Relay1	מגע (קו למציג) 230VAC	L_SW
פaza לצריך וגם לדגם	Device (1), AC Sense (AC IN), Switch (2)	,(OUT) Realy2 Switch (2)	מגע (קו לצריך 230VAC / לדגם)	L_LOAD
Active-low	ATmega (D9)	AC Sense (Signal)	Digital input (0/5V)	ACDetect
TX→RX	ATmega (RXD)	HC-12 (TX)	UART (TTL 0/5V)	HC12TX
TX→RX	HC-12 (RX)	ATmega (TXD)	UART (TTL 0/5V)	HC12RX
שליטת Relay1	Relay Module (IN2)	ATmega (D11)	Digital output (0/5V)	Relay1
שליטת Relay2	Relay Module (IN1)	ATmega (D12)	Digital output (0/5V)	Relay2
R1=10k	ATmega (RESET)	Pull-up (DC+)	Reset (active-low)	RESET

טבלה 3.1: רשתות מתח ואוטות מרכזים

### 3.3.2 מיפוי פיני הבקר (ATmega328P) בשימוש

טבלה 3.2 מפרטת את פיני המיקרו-בקר בשימוש במערכת, יחד עם הרשות אליה מחובר כל פין ותפקידו. הפירוט כולל את קווי התקשורת (UART) למודול HC-12, יציאות הבקרה למסרים, כניסה זיהוי המתח, וכן פיני ההזנה והאיפוס. מיפוי זה מקשר באופן ישיר בין הדרישות לבין מימוש החומרה והתוכנה.

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

טבלה 3.2 פינים בשימוש ATmega328P

### 3.3.3 חיבורים חיצוניים (מחברים)

בחיבורו מתג קיר קיימים שני מוליכים: פазה מוגנת למstag (צד הכניסה של המtag), ופазה ממוגנת היוצאת מהמtag אל הרצן. במערכת הנוכחית הפазה המוגנת למstag אינה מגיעה ישירות מלאה החשמל, אלא מתקבלת דרך "מסר מתג" (Relay1), ומסומנת כחיבור-1-H. הפазה היוצאת מהמtag לכיוון הרצן מסומנת כחיבור-2-H, והיא משמשת גם כקו הנדגם על-ידי מעגל AC Sense לצורך קביעת מצב הרצן בעת מעבר במצב שבת (L\_LOAD).

תפקיד	לאן הולך פיזית	רשת	טרמינל	מחבר
הזרת המערכת	פазה מהRESET	L	1	P1 (AC IN)
הזרת המערכת	אפס מהRESET	N	2	P1 (AC IN)
פазה לעומס	פазה לצרכן (צומת L_LOAD)	L_LOAD	1	P2 (AC OUT)
אפס לא מבוקר	אפס לצרכן (ישיר)	N	2	P2 (AC OUT)
כניסת מתג	פазה שנכנסת למstag (m-1-yrelay)	L_SW	1	H1 (Switch)
יציאה מתג / קו נדגם	יציאה מתג לצרכן + לדגם AC	L_LOAD	2	H1 (Switch)

טבלה 3.3: חיבורים חיצוניים

## 3.4 רכיבים

### 3.4.1 ATmega328P – מיקרו-בקר לבקורת מערכות משובצות

#### תיאור כללי:

ה-ATmega328P הוא מיקרו-בקר משפחת AVR של Microchip (לשבור Atmel), הנפוץ במיוחד בלוחות Uno Arduino 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 וכוניסות/יציאות דיגיטליות ואנלוגיות.

#### עקרון פעולה:

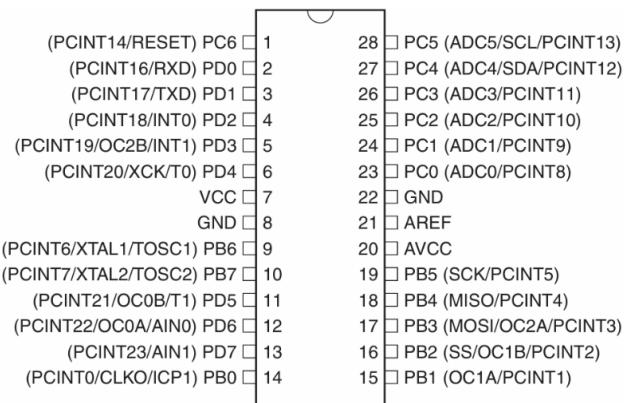
הברker פועל על פי קוד תוכנה המאוחסן בזיכרון הפנימי ובמציע הוראות בהתאם לתדר השעון. באמצעות פקודות תוכנה ניתן לשנות במשחק GPIO, לקרוא נתונים מחישנים אנלוגיים, ולהפעיל התקנים חיצוניים דרך פרוטוקולים כמו SPI, UART ו-(I2C).

#### השימוש בפרויקט שלנו:

ה-ATmega328P משמש כברker של יחידת ה"מtag שבת חכם". הוא מתפרק לחידת קצה (Node) המקבלת פקודות מהברker המרכזי, ואחראי למימוש מצב שבת. מיקרו-בקר זה קל לתכנות ומספק מספיק פיני IO, בעוד הוא מאפשר לנו לשמור על מערכת קטנה כך שתוכל להשתלב בתוך קופסה בקיר.

#### תיאור פינים עיקריים:

- **VCC / GND** – הזרת מתח והארקה.
- **PC0–PC5, PD0–PD7** – קווי קלט/פלט דיגיטליים (GPIO).
- **XTAL1 / XTAL2** – חיבור לクリיסטל חיצוני (16MHz).
- **RX / TX (PD0 / PD1)** – תקשורת UART סיריאלית.
- **RESET** – איפוא הברker.
- **AREF** – גND.
- **AVCC** – גND.
- **PC0 (ADC0/PCINT8)**
- **PC1 (ADC1/PCINT9)**
- **PC2 (ADC2/PCINT10)**
- **PC3 (ADC3/PCINT11)**
- **PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)**
- **PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)**
- **GND**
- **21**
- **22**
- **23**
- **24**
- **25**
- **26**
- **27**
- **28**



איור 3.3: תרשימים פינים [2]

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

#### תיאור כללי:

ה-HC-12 הוא מודול תקשורת אלחוטית חזק ואמין העובד בתדר 433MHz. המודול מאפשר תקשורת דו-כיוונית בין שני מיקרו-רבקרים באמצעות משק (Serial) UART. 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:

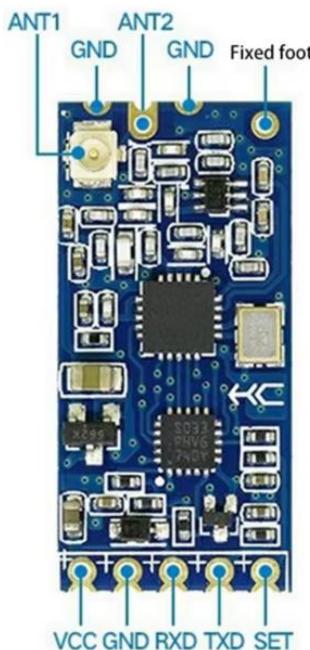
המודול מתפרק כמשמעותו "כבל סיריאלי אלחוטי" – כל מידע הנשלח דרך UART מצד אחד מתקבל אוטומטית במודול השני, ללא צורך בפרוטוקול תקשורת נוסף. ניתן להגדיר את המודול למגוון מצבים באמצעות פקודות AT, כגון מהירות שידור (Baud Rate), עוצמת שידור וערוץ עבודה (תדר).

#### השימוש בפרויקט שלנו:

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

#### תיאור פינים עיקריים:

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



[3] מודול HC-12 [3]

### 3.4.3 – מעגל דגימת מתח AC Sense Circuit

#### תיאור כללי:

המעגל AC Sense הוא מעגל זיהוי נוכחות מתח רשת במעגל מסוים. המנגנון מבוסס על מבודד אופטי (Optocoupler).

המאפשר להעביר מידע על קיומ מתח בצורה בטוחה תוך גלוי בין מתח הרשת למעגל הבקרה.

#### עקרון פעולה:

כאשר קיומ מתח AC בקו הנמדד, זורם זרם דרך צד ה-LED-במבודד האופטי (באמצעות רכיבי הגבלת זרם/ישור בתוכן), ומפעעל הפוטו-טרנזיסטור יוצר אות לוגי למיקרו-בקר, המשקף את מצב המתח במעגל – "0" לוגי כאשר יש מתח, ו-"1" כאשר אין.

#### השימוש בפרויקט שלנו:

מעגל AC Sense משמש את ה"망ג שבת חכם" לzychוי מצב המתג בעת קבלת פקדות "מצב שבת" (shabbat).  
המעגל מזהה האם קיימת נוכחות מתח ביציאת המתג, והמידיע משמש את הבקר כדי לשלוט על מצבים המנסרים כרגע שמצויר המחבר (דלאק או כבוי) יישמר קבוע לאורך כל השבת.

#### תיאור חיבורים עיקריים:

- **L** – כניסה מיציאת המתג הידני (קו פazaה הנמדד).
- **N** – חיבור לאפס של רשת החשמל.
- **OUT** – פלט דיגיטלי למיקרו-בקר (LOW כאשר מזוהה מתח).
- **VCC / GND** – הזרת מתח לצד הבקרה.



איור 3.5: דגם AC [4]

## Relay Module 3.4.4 – ממסר אלקטרוני לmitsog צרכני חשמל

### תיאור כללי:

המסר הוא רכיב אלקטרוני המשמש כmpsok חשמלי המופעל על ידי אות בקרה. הוא מאפשר למיקוד-בקר (כמו ATmega328P) לשנות בمعالג זרם גבוה או במתוח רשות, תוך בידוד גלוני בין צד הבקרה לצד הצרן החשמלי (Flyback Diode) (Optocoupler), דיוד הגנה (Opto-coupler), או לבודד אופטי (Optocoupler). נוריות חיוי, ובכך מותאפשרת הפעלה נוכה באמצעות יציאה דיגיטלית, בהתאם למפרט המודול.

### עקרון פעולה:

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

### השימוש בפרויקט שלנו:

לאחר בחינת מספר אפשרויות שונות למימוש הלוגיקה הנדרשת למערכת בפרויקט זה, נעשה שימוש במודול הכלול שני ממירים. מודול זה מאפשר למשתמש לוגיקת ה"מוג שבת חכם" בצורה מלאה: עקיפת המתג הידני, ונעילת מצב הצרן החשמלי.

### תיאור פינים עיקריים:

- **VCC** – מתח הזרנה (5V).
- **GND** – הארקה.
- **IN** – כניסה אות בקרה מהמיקוד-בקר (HIGH או LOW Active-Low Active-High).
- **COM** – מגע משותף לmitsog הצרן החשמלי.
- **NO** – מגע פתוח במצב מנוחה, נסגר בהפעלה.
- **NC** – מגע סגור במצב מנוחה, נפתח בהפעלה.



איור 6.3: מודול ממסר אלקטרוני [5]

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

#### תיאור כללי:

הממיר ה-AC-DC משמש להמרת מתח הרשת (230V AC) למתח ישר נמוך (בדרך כלל DC 5V או DC 3.3V (3.3V)). המתאים להזנת המיקרו-בקר ושאר רכיבי הבקרה במערכת. מדובר במודול AC-DC קומפקטי הכלול מעגל יישור, סינון ויצוב מתח, ומאפשר חיבור ישיר למתח הרשת תוך שימוש חשמלי בלבד גלווני בין צד הרשת לבין הצד DC.

#### עקרון פעולה:

הממיר מבצע יישור והמרה ממוגנת פנימית (SMPS) ליצירת מתח DC מיוצב. הממיר כולל בידוד גלווני בין כניסה הראשת לבין יציאת ה-DC, ומספק מתח יציב להזנת ה-ATmega328P, מודול התקשרות והמסרים.

#### השימוש בפרויקט שלנו:

הממיר משמש להזנת ה-ATmega328P וכל שאר רכיבי הבקרה במתח DC 5V. הוא מאפשר חיבור ישיר של המערכת לרשת החשמל, תוך שימוש ובידוד מלא. כך נשמרת אספוקת מתח יציבה לכל הרכיבים. רכיב זה מאפשר לחבר את רשת החשמל למערכת בזורה קלה וכן השומר על גודל קטן של המערכת.

#### תיאור חיבורים עיקריים:

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



[6] ממיר 5V AC-DC

### 3.4.6 הצעקה בחירת רכיבי חומרה מרכזית

לצורך עמידה בדרישות הפרויקט נבחרה ארכיטקטורה המחלקת את המערכת ליחידה מרכזית ויחידת קצה המותקנת בקופסת קיר. בברkr יחידת הקצה נבחר ATmega328P בשל פשוטותימוש, זמינות גבולה ויכולת שליטה ישירה בקוו O/I ובמסרים. לצורך תקשורת אלחוטית פשוטה ואמינה נבחר מודול HC-12, המאפשר פיקודות שליטה ללא תלות ברשת Wi-Fi בסביבת המתקן. שבירת מצב הרצין באמצעות שבת מבוצעת באמצעות דגימה של נוכחות מתח (AC Sense) תוך שמירה על בידוד חשמלי באמצעות אופטוקופלר. ההזנת המערכת מבוצעת באמצעות ספק AC-DC מבודד, שנבחר על מנת לאפשר אינטגרציה קומפקטיבית ובטוחה בתוך קופסת קיר.

## 3.5 תוכנות שפותחו

במערכת "מתקן שבת חכם" פותחה קושחה האחראית ללוגיקת מצב שבת, לדגימת מצב הרצין החשמלי ולשליטה בממסרים בהתאם לפיקודות המתקבלות מהיחידה המרכזית.

### 3.5.1 קושחה "מתקן שבת חכם" (Smart Shabbat Switch)

הkoschah Mazina לפיקודות מצב מהיחידה המרכזית דרך HC-12.

### 3.5.2 ממשק אינטרנטית למשתמש (Web Interface)

הגדרת לוח הזמינים ומצב שבת/חול מבוצעת במכשיר Web ביחידה המרכזית. יחידת המתקן מקבלת את פיקודות המצב באמצעות HC-12 ומבצעת אותן מקומיות.

## 3.6 מבנה המערכת

### 3.6.1 ארכיטקטורת המערכת ותקשורת בין יחידות

המערכת מציעה ארכיטקטורה היררכית המהווה מענה לצורכי בקרה מרכזית ותקשורת בין יחידות. יחידת ה"מתקן שבת חכם" היא יחידת קצה המתקבלת פיקודות מיחידה מרכזית באמצעות RF (HC-12).

- שליטה מרכזית:** יחידת המתקן מקבלת פיקודות מצב שבת/חול ומפעילה נעה מקומית של המתקן. לדוגמה, ניתן בליחצת כפתור להעביר בביטחון את כל יחידות הקצה למצב שבת – מצב המונע את שינוי מצב המתגים – וביצת השבת להציג את כלן במצב רגיל.

- תקשורת דו-כיוונית:** המערכת מבצעת אימות פקודה באמצעות (acknowledgement) ACK: לכל פקודה שנשלחת מהיחידה המרכזית, יחידת המתקן משיבה ACK. איסוף ACK בתוך פסק זמן מוגדר מסובגת את הפעולה ככשלה ובכך מŻביעה על עליית תקשורת/חיבור. במצב צזה לא ניתן מעבר למצב שבת.

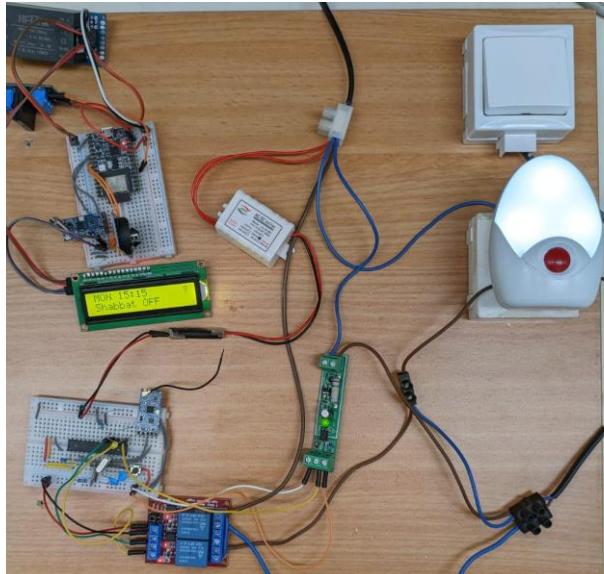
### 3.6.2 מימוש התאמה הלקתית ומצב שבת אוטומטי

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

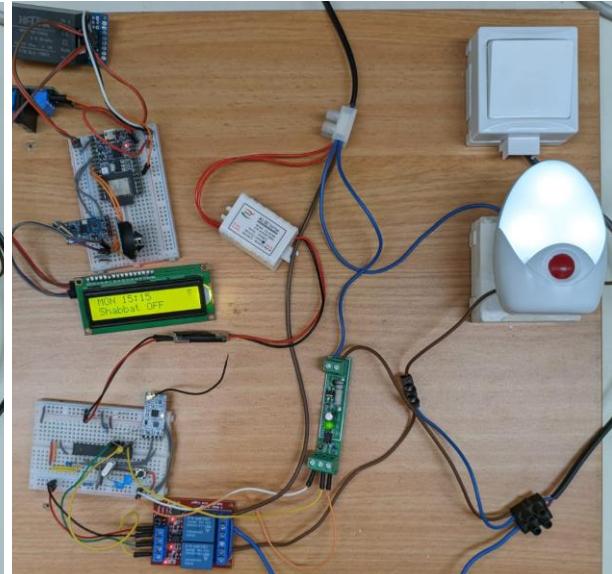
**מצב שבת (Shabbat Mode):** בעת מעבר למצב שבת, היחידה המרכזית שולחת לכל המתגים פיקודת מעבר ל"מצב שבת". המצב נקבע על סמך דגימת ה-AC Sense טרם נעלמת המתקן. מצב הממסרים נקבע וננעל כך שהרצין החשמלי נשמר כפי שנדגם לפני המעבר למצב שבת (דלאוק/כבוי) לארוך השבת. גישה זו ממשמת נעה אלكتروנית של המתקן ובכך מבטלת שינוי לא-מכוון.

## 4. תוצאות

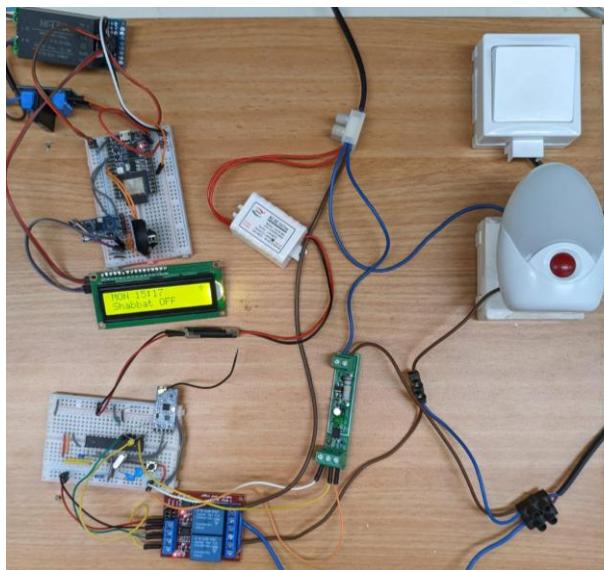
בפרק זה מוצגות תוצאות ניסוי האימוט של ה"מתג שבת חכם". בכל ניסוי נקבע מצב התחלתי של הרצין לפני כניסה למצב שבת (דלאק/כבו). במצב שבת בוצעה לחיצה על המתג הידני כדי לוודא ש מצב הרצין אינו משתנה. איורים 4.1 – 4.4 מציגים את מצב הרצין ההתחלתי ואת מצבו לאחר שינוי פיזי במתג במהלך מצב שבת.



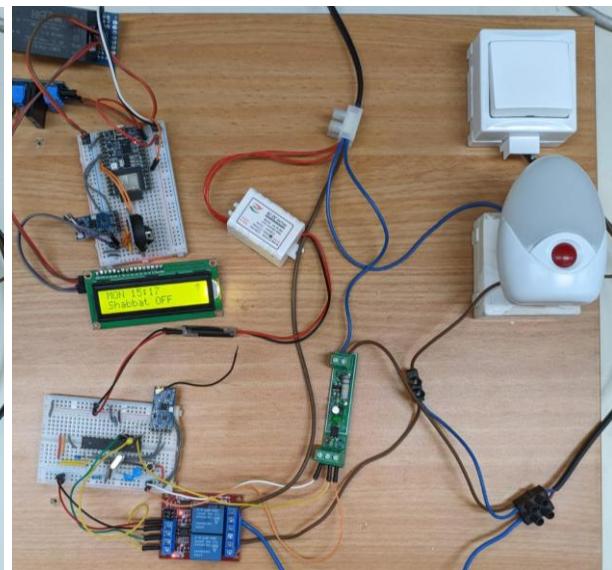
איור 4.2: מצב הרצין (דלאק) בכניסה למצב שבת לאחר שינוי



איור 4.1: מצב הרצין (דלאק) בכניסה למצב שבת



איור 4.4: מצב הרצין (כבו) בכניסה למצב שבת לאחר שינוי



איור 4.3: מצב הרצין (כבו) בכניסה למצב שבת

## 5. מסקנות וסיכום

פרק זה מסכם ומעריך באופן ביקורתית את העבודה הפרויקט מראשית ועד סופה. הוא מנהת את רמת העמידה במטרות שנקבעו, מציע הסברים לתוצאות שהושגו ומציג כיווני פיתוח עתידיים.

### 5.1 עמידה במטרות הפרויקט והערכתה ביקורתית

מטרת הפרויקט הנוכחי הייתה פיתוח יחידת "מtag שבת חכם" – מודול אלקטронי הנitin להוספה למtag קיר קיימ, הממשש פקודות מצב/עליה המתקבלות מיחידה מרכזית. במסגרת זו נבחנו היתכנות אלקטונית, בטיחותית והלכתיות של פתרון עקיפת המtag ושימור מצב המכשיר לאורך השבת.

המערכת עמדה ביעדי הפיתוח שהוגדרו במסגרת הפרויקט. המימוש ההנדסי של הארכיטקטורה הדו-רכיבית – הכוללת יחידת שעון מרכזי (մבוסס ESP32) ויחידות מתג קצה (mbosse ATmega328P) – הוכח כייב, פונקציונלי ומספק מענה לעד הפיתוח שהוגדרו בסעיף 3.3 בפרק "רקע תיאורתי וסיכום ספורות":

- **בקורה מרכזית ותקשות בין יחידות:** עד זה מומש בהצלחה באמצעות פרוטוקול התקשרות האלחותית RF בין יחידת השעון המרכזית למוגדים המרוחקים. יכולת זו מאפשרת סync'ון של כל המתגים מרוחק ובלחיצת כפתור אחד, מבצעת תיאום מצב מול יחידה מרכזית ומאפשרת זיהוי חוסר תגובה באמצעות ACK.

- **שימוש מצב שבת חכם:** בעת מעבר במצב שבת יחידת המtag דוגמת את מצב הרצף החשמלי באמצעות AC Sense, מגדרה את מצב שני הממסרים ונעולת את השפעת המtag הידני קר שמאז הרצף נשמר לאורך השבת. בבדיקה המעודת הוגם כי שני פיז'י במתג הידני לאחר המעבר במצב שבת אינו משנה את מצב הרצף, הן כאשר נכנס דלוק והן כאשר נכנס כבוי.

לסיכום, מערכת "מtag שבת חכם" מדגימה פתרון עקיפה ונעה מהבוסס ATmega328P, שני ממסרים ומمعال 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 למשתמש לעתיד כדי להעלות את רמת הפרויקט ולספק ערך נוסף:

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

במימוש הנוכחי יחידת הקצה בניה ממספר מודולים מוכנים, ולכן למרות שהמערכת עובדת היטב, הנפח הפיזי והמורכבות המכנית עדין אינו מיטבים להתקנה נקייה בטור קופסת קיר. שיפור מיידי ומתבקש הוא מעבר לאינטגרציה חומרתית באמצעות בחירה מחודשת של רכיבים ותוכנו PCB ייעודי. כרטיס ייעודי יאפשר לאחד על גביلوح אחד את רכיבי הבקרה, התקשרות ומוגלי החישה והפעלה, לצמצם חיווט ומחברים, ולהתאים את המערכת באופן מדויק לדרישות הפונקציונליות של "מtag שבת חכם". בנוסף, תוכנן PCB יאפשר לתכנן מראש מרחק בידוד ובטיחות, ולשפר אמינות ויכולת יצור/הרכבה.

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

הרחבת עתידית היא תמייהה במערכות מורבות יחידות קצה, שבה כל יחידה מקבלת זהות קבועה ונינתנת לניהול אישי – תוך שימוש בערוץ תקשורת מסווף אחד, ללא חלוקת תדרים ולא תכונות יידני של מזהים מראש. לשם כך נעשה שימוש במנגנון "זיווג" (Pairing) אוטומטי: יחידה חדשה שמחקה שאין לה מזהה שמור נכנסת למצב זיווג מוגבל בזמן עם חיוי לד', ואם לא הוגדרה – עוברת למצב האזנה בלבד כדי לצמצם עומס ושידורים מיותרים. תהליך ההagation מתבצע מצד הבקר המרכזית באמצעות פקודות סריקה כלילית שמחזירה יחידות לא מזוהות למצב זיווג, ולאחר מכן פיז'י באמצעות פקודה ליחידה ספציפית. לאחר שהמשתמש מאשר שזו היחידה הרצiosa, מזוהה לה מזהה קבוע הנשמר בזיכרון הלאי-נדיף, ומאותו רגע היחידה מגיבה רק לפקודות מעוננות אליה או לפקודות כליליות. כך נוצר הפרדה לוגית על גבי אותו ערוץ תקשורת, המאפשר תפקוד הדומה למערכת רב-יעורצת – ללא צורך במורכבות חומרתית או בהקצתת תדרים נפרדים.

## 5.3 תרומת הפרויקט

פרויקט "מתג שבת חכם" מציג תרומה כפולה:

1. **תרומה טכנולוגית:** הפרויקט מדגיםIMPLEMENTATION של יחידת קצה – "מתג שבת חכם" – המאפשרה למתג Kirigami מגננון נעליה אלקטטרונית הבוסס על ATmega328P, שני מסרים וمعالג AC Sense. היחידה דוגמת את מצב הצרך החשמלי לפני מעבר למצב שבת, מגדרה את מצב הממסרים בהתאם, ושומרת על מצב הצרך גם במקרה של שינוי פיזי במתג הידני. בנוסף, הודגם מגננון תקשורת RF פשוט בין יחידת הקצה ליחידה המרכזית, הכלול אישור קבלה (ACK) ליזוי קבלת פקודות וחוסר תגובה.

2. **תרומה ציבורית/הלכתית:** הפרויקט מהוות פתרון ממוקד, בטוח ונגיש לבעיית השיליטה באוטומציה ביתית עבור הציבור שומר השבת. הוא מפשט את התפעול, מגביר את רמת הדיווק ו מבטיח את עקרון מניעת חילול שבת באמצעות אמצעות נעליה אלקטטרונית מובנית, ובכך משפר את איכות החיים והבטיחון ההלכתי של המשתמשים.

## נספח א

### התנוגות המערכת בעת הפסקת חשמל וחזרת מתח

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

במקביל, כדי לשפר שרידות והתנוגות צפוייה לאחר הפסקות חשמל, היחידה שומרת בזיכרון לא נדי' את מצב הממסרים האחרון. כך, אם לפני הכיבוי היחידה הייתה במצב שבת (עקביה פעילה) או במצב חול, לאחר חזרת המתח היא יכולה לשחזר את המצב האחרון ולהמשיך באותה התנוגות, ללא תלות מיידית בתקשורת עם השעון. השחזור המקומי מקטין תלות ברשות ומאפשר עמידות גבוהה יותר בתרחישים שבהם יחידת הקצה חוותה הפסקת חשמל מקומית בעוד השעון ממשיך לפעול, או להפסיק.

כאשר היחידה מקבלת פקודות מהשעון (שבת/חול), היא מיישמת את הפקודה ומשמרת את המצב החדש בזיכרון הלא נדי'. במעבר למצב שבת היא משתמשת בחינוי מצב (לדוגמה, חישן מצב עומס/מתח) כדי לקבע את מצב המכשיר כך שהשפעת המתג המקומי תונטרול, והמצב ישאר יציב לאורך השבת. בדרך זו, ההתנוגות לאחר הפסקת חשמל נשארת עקבית עם ההחלטה האחורונה שניתנה למתג, ומתוישבת עם מטרת יחידת הקצה: יציבות ורכילות מצב.

## נספח ב

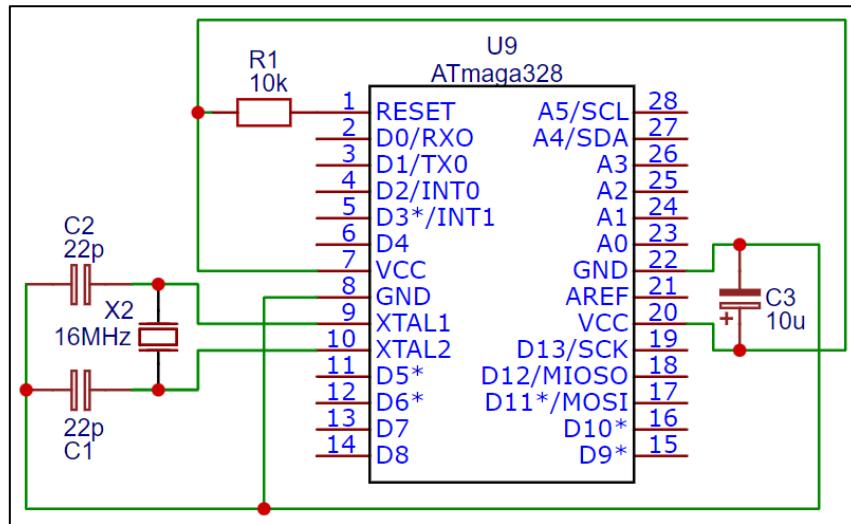
### תרחישי קצה ובדיקות מערכת

תנאי התחלת	אירוע/פעולה	תוצאה צפיה	הערה (למה זה חשוב)
מצב חול	מתיקבלת פקודות "شبט" מהשעון	המTAG מפעיל עקיפה ומקבע את מצב המCSR; נשלח ACK	כניסה אמינה למצב שבת
מצב שבת	מתיקבלת פקודות "חול" מהשעון	המTAG מבטל עקיפה וחוזר להתנהגות רגילה; נשלח ACK	יציאה נקייה למצב שבת
מצב שבת	הפסקת חשמל למTAG וחזרת מתח	המTAG משוחזר את מצב השבת מהזיכרון הלא-נדיף (ನಾಶರ ಶಬ್ದ)	שרידות יחידת קצה ללא תלות מיידית בשעון
מצב חול	הפסקת חשמל למTAG וחזרת מתח	המTAG נשאר חול (שוחזר מצב reboot)	עקביות התנהגות אחריו reboot
הפעלה ראשונה / זיכרון לא מאוחROL	חרזרת מתח	המTAG נכנס לברירת מחדל בטוחה: חול	התנהגות צפיה במוצר חדש
מצב שבת; חיוי מצב המכשיר גבול/רuese	כניסה לשbat בזמן מדידה לא יציבה	המTAG מקבל החלטה עקבית ולא "מתהף" באופן אקראי	חסינות לרעש/חומר יציבות בכניות
תקשורת לא יציבה (כפייליות/עיכובים)	מתיקבלות פקודות חזרות	המTAG מגיב בצורה דטרמיניסטית; לא נוצר מצב ביןיהם; ACK עקובי לא מושלמת תחת תקשורת לא	אמינותות תחת תקשורת לא מושלמת
לחצן Override (אם קיימ)	לחיצה בזמן שבת	המTAG חוזר לחול באופן מיידי לפני שליטה מקומית במקורי קיזון	שליטה מקומית במקורי קיזון
עבודה רציפה לאורך זמן	מעברים רבים שבת→חול	הרילים תמיד במצב מוגדר, לא "מצב ביןיהם"	יציבות מכנית/לוגית

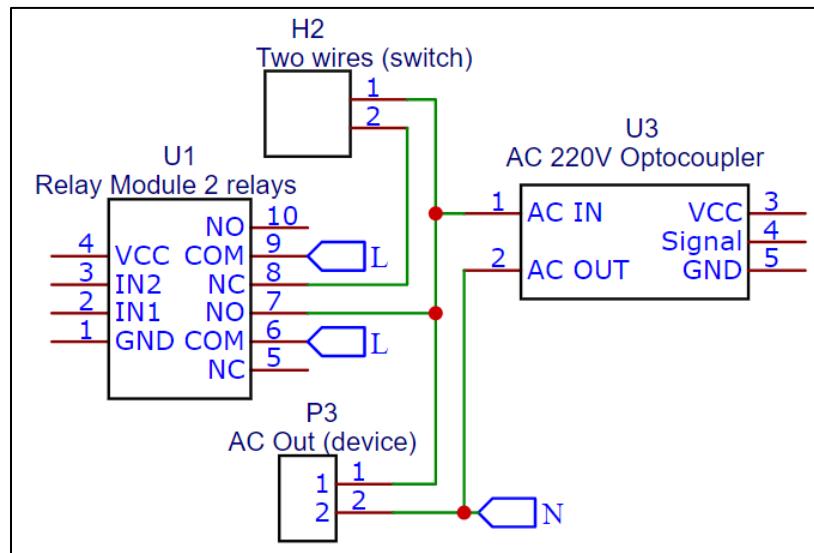
טבלה נוספת ב': תרחישי קצה

## נספח ג

### סכמוות חייזט – השלמה לתרשים הבלוקים (פרק 3)



איור ג.1: חיווט ותוצרת עבודה של ATmega328P (Reset, קריסטל 16 MHz וקבלי יצוב).



איור ג.2: חיווט שכבת המיתוג והחישה (ממזרים + חישן AC מבודד אופטי).

## מקורות

- [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].