

# גלגל המזל – מסמך אפיון טכני מלא

## 1. מבוא

מערכת "גלגל המזל" היא מיצב אמנות-טכנולוגי אינטראקטיבי המשלב הנדסת חומרה, תאורה חכמה ובקרה מבוססת מיקרו-בקרים. המערכת נבנית בהשראת נושא מידברן השנה – "ויהי אור", ומשלבת חוויית אור, תנועה, ואינטראקציה עם הקהל.

## 2. מטרות המערכת

- יצירת גלגל מסתובב בהיקף 10 מטרים עם תאורה צבעונית דינמית.
- הדגשת סגמנט נבחר בעת עצירה באמצעות משולש מואר.
- יצירת סנכרון מלא בין התנועה הפיזית לבין התאורה והמטריצה המרכזית.
- אפשרות שליטה ובקרה דרך ממשק ווב.

## 3. מבנה כללי

המערכת מורכבת משלושה בקרים לצורך יתירות ועמידות לתקלות:

- **Arduino Uno** – LED-שולט בטבעת ההיקפית של פסי ה-.
- **ESP32** (חיישנים + משולש) – קורא את חיישני הסיבוב ומפעיל את תאורת המשולש.
- **ESP32** (מטריצה) – שולט במטריצה המרכזית ומפעיל ממשק ווב לניהול ובקרה.

### החיבור בין הרכיבים

- (חיישנים) ESP32-ל Arduino פיזית בין UART תקשורת.
- (אישור) ACK מטריצה, כולל מנגנון (ESP32-חיישנים) ל ESP32 בין ESP-NOW תקשורת אלחוטית. קבלה) וניסיונות שידור חוזרים במקרי כשל.

## 4. דרישות מערכת

- למטריצה ולבקרים WS2814, 5V לפסי מתחים: 24.
- LED בתחילת פסי F מקבלים 1000, TVS, **הגנות**: פיזים נפרדים לכל ענף, דיודות.
- וניסיונות חוזרים (ACK) קצרות עם אישורי קבלה JSON **סנכרון**: הודעות.
- לפחות לרכיבים החיצוניים IP65: **עמידות**.

## 5. ממשק משתמש ובקרה

של המטריצה ESP32 שליטה מלאה דרך ממשק ווב רספונסיבי המתארח על

### מסכי עיקריים 5.1

- **Dashboard**: טלמטריה חיה, (Ring/Matrix) חיווי לינק, Presets, סטטוס, מצב מערכת, בהירות.
- **Animations**: (Palette/Speed/Width/FPS/brightness) פרמטרי טבעת/מטריצה.
- **Text & Graphics**: הזנת טקסט, בחירת פונט, גלילה, יישור, טעינת אייקונים.

- **Diagnostics:** Pixel-walk, Sensor-scan, Link-test, (אוסצילוסקופ וירטואלי), **מפת תקינות תקשורת**, בדיקות זרם/מתח אם זמינים
- **Settings:** אבטחה/הרשאות, רשת, OTA, Presets export/import.

## 5.2 מסך כיול ייעודי (Calibration UI)

- **Spin & Learn:** Doublet; כפתור הפעלה/עצירה; מונה הקפות; חיווי זיהוי (confidence). מדד יציבות
- **Align Triangle:** — מציב את המשולש על הסגמנט המחושב ומבקש אישור משתמש
- **Segment Offset:** "כפתור" אפס + (-4...+4) סליידר/Stepper
- **AB Phase:** מעלות/אחוז פסיעה) + כפתור "תקן" אוטומטי)  $A \leftrightarrow B$  הצגת היסט
- **Thresholds:** עם (MIN\_PULSE\_US, T\_STOP\_DETECT\_MS, RPM\_MIN\_SPIN) טופס ערכים  
Restore Defaults.
- **Save/Export:** עם פרמטרי כיול JSON הורדת קובץ + NVS שמירה ל-
- **Safety Note:** וללא קהל קרוב IDLE הודעת אזהרה — כיול רק במצב

## 6. חיישנים ומשולש

- (לזיהוי כיוון הסיבוב (קוודרטורה A3144 שני חיישני
- לנקודת 0 (Doublet) מגנט כפול
- מרחק חיישן-מגנט 2-4 מ"מ
- המשולש מואר לפי סגמנט העצירה
- מערך החיישנים מתוכנן להיות עמיד לרעידות ושינויים סביבתיים, כולל מנגנון כיול ידני או אוטומטי לאיפוס רגישות וזווית

## 7. דרישות מכניות

- היקף גלגל: 10 מטר
- FCOB WS2814 **טבעת תאורה**: פרופיל אלומיניום עם פסי
- (סגמנטים  $11.25^\circ$  כל אחד 32
- Doublet **מגנטים**: 32 יחידות + אינדקס
- חיישנים קבועים, מגנטים על חלק מסתובב
- T6-מסגרת אלומיניום 6061
- חיבורי כבל מוגנים ומקובעים, IP65 הגנה

## 8. לוגיקה ואלגוריתמים

- $A = B$  (עם כיוון השעון  $B = A$  לפני) (A) מזהים את כיוון הסיבוב לפי סדר ההפעלות A3144 שני חיישני (נגד)
- מגנט כפול יוצר שני פולסים מהירים ← נקודת 0
- לפי זמן בין פולסים RPM המערכת מחשבת
- בעת עצירה (אין פולסים  $< 0.6$  שניות): קובעת סגמנט זכייה
- במקרי קצה כמו תנועה איטית מאוד או עצירה על נקודת האיפוס, האלגוריתם מבצע סינון ממוצע ומוודא בדיוק בנקודת העצירה
- שולחת לארדואינו פקודה להאיר את הסגמנט הזוכה
- המטריצה מציגה אנימצית זכייה

## 9. תקשורת בין-בקרים

- **ESP32 (Master-חיישנים)** הוא ה.
- או על שינוי מצב msמשולח נתונים כל 100.
- **אל Arduino** דרך UART: <SPIN, CW, 45, 12>
- **JSON): { "state": "spinning", "dir": "cw", "rpm": 42, "segment": 18, "ack": true }** אל מטריצה (אלחוטית

### מצבי תקלה ותקשורת

תצוגה	פעולה	סוג תקלה
הטבעת נשארת פעילה.	אפקט רדיפה צבעוני איטי	ESP→Arduino נתק
המטריצה נשארת פעילה.	"טקסט קבוע" גלגל המזל	ESP→Matrix נתק
כל התאורה עדינה וקבועה.	IDLE-מעבר ל	אובדן חיישנים
מונע הבהובים.	שמירה על מצב קיים עד 30 שניות	הפרעות זמניות

### (Recovery) התאוששות

- גורפת Reset עם חזרת תקשורת – שליחת.
- (אור רך קבוע) IDLE כל הרכיבים נכנסים למצב.
- נתונים ישנים נמחקים, סנכרון מחדש תוך 3 הודעות.

### מצבי מערכת

מציב	תיאור
IDLE	תאורה רכה, ממתין לתנועה.
SPINNING	אפקט ריצה צבעוני בכיוון הסיבוב.
SLOWDOWN	האטת אנימציה לקראת עצירה.
STOPPED	הדגשת סגמנט זכירה.
ERROR	אפקט תקלה או טקסט קבוע עד התאוששות.

## 10. חשמל וחיווט

### 10.1 מערכת הזנה

- (A)לטבעת (24V/300W 12.5).
- למטריצה ולבקרים 5V/60A ספק.
- הארקה משותפת לכל הרכיבים.

### 10.2 הזרקות מתח

- הזרקה כל 2 מ' בטבעת.
- חוט ראשי 2.5–4 מ"מ<sup>2</sup>, הזרקות 1.5 מ"מ<sup>2</sup>.
- לכל ענף 5–7.5 A פיוז.

### 10.3 הגנות חשמליות

- 15 A (24V), 30A (5V).
- DATA על TVS דיודות.
- LED בתחילת כל פס  $\mu\text{F}$  1000.
- (Star Ground) הארקה בצורת כוכב.

## 10.4 DATA

- UART: ESP32→Arduino (115200bps,  $\leq 30$  מ"ס).
- ESP-NOW (מטריצה) ESP32-בין שני ה.
- בקו הנתונים  $\Omega$  אנגד הגנה 1.

## 10.5 EMI-רעשים

- בנפרד ממתח, עדיפות לכבלים שזורים DATA.
- ליד כל חישן F חקבלים 100.
- הראשי DATA על Ferrite Bead.

## 10.6 חיווט כללי

220V AC

— [E-STOP + [פיוז  
הזרקות כל 2 מ') LED טבעת  $V \rightarrow$  — ספק 24  
ESP32 + מטריצה  $V \rightarrow$  — ספק 5

ESP32 (חיישנים) —UART→ Arduino (טבעת)  
ESP32 (מטריצה) —ESP-NOW→ ESP32 (חיישנים)

# 11. רשימת רכיבים (BOM)

- **בקרים:** Arduino Uno  $\times 1$ , ESP32  $\times 2$ .
- **LED:** WS2814 (10 מ'), WS2812B  $32 \times 32 \times 1$  מטריצה  $\times 1$ .
- **מגנטים:**  $32 \times 0$  כפול לנקודת 0, A3144  $\times 2$ .
- **ספקים:**  $24 \times 1$ ,  $5V/60A \times 1$ ,  $5V/300W \times 1$ .
- **דיודות:** TVS, 1000  $\mu\text{F}$  קבלים, (5A–30A) **הגנות:** פיוזים (5).
- **שזור DATA:** (6 מ"מ<sup>2</sup>)  $V$  (2.5–4 5 מ"מ<sup>2</sup>), **חיווט:** 24.
- **מבנה:** פרופילי אלומיניום, מכסים שקופים, מארזים IP65.
- **כלים:** מלחם, מולטימטר, שרולי חום, אפוקסי.

# 12. בטיחות

## 12.1 בטיחות חשמלית

- (E-STOP) כל מערכת החשמל כוללת פיוזים נפרדים לכל ענף ומפסק חירום ראשי.
- עם הארקה משותפת בלבד ל-24V בידוד מלא בין 5.
- שימוש בכבלים איכותיים, בידוד כפול, וחיבורים נעולים.
- בדיקה תקופתית של הארקות ופיוזים.

## 12.2 בטיחות מכנית

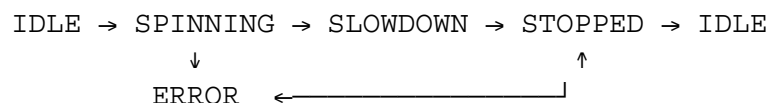
- תכנון עמיד לרעידות, עם חיזוקי אלומיניום ומרווחי ביטחון סביב חיישנים.
- הגנה פיזית סביב הגלגל, מניעת מגע ישיר עם חלקים נעים.
- חיישני עצירה או מפסק חירום מכני במקרה של תקלת סיבוב.

## 12.3 מנגנוני חירום

- (V-5 ו-IV) מנתק פיזית את שני הספקים (E-STOP 24) לחצן.
- בכל תקלה בזיהוי או תקשורת IDLE מנגנון תוכנתי למעבר אוטומטי למצב.
- בעת תקלה במערכת הסיבוב – עצירה מיידית של אפקטים ואיפוס כללי.

# 13. נספחים

## 13.1 תרשים מצבי מערכת (State Diagram)



- עצירה מלאה, או תקלה בתקשורת, RPM כל מעבר מתרחש לפי תנאי סף: זיהוי פולסים, ירידת.
- מבטיחה יציבות ובטיחות IDLE חזרה תמידית למצב.

## 13.2 טבלת זרמים והספקים

רכיב	מתח	זרם משוער	הספק	הערות
WS2814 טבעת	24V	12.5A	300W	כל הלדים בלבן מלא.
WS2812B מטריצה	5V	35A	175W	עומס מקסימלי.
ESP32 ×2	5V	0.5A	2.5W	Wi-Fi + בקר.
Arduino Uno	5V	0.1A	0.5W	בקרה לטבעת.
משולש תאורה	5V	1A	5W	עוצמה מלאה.
סה"כ מערכת	—	~49A	~483W	ספקים ב-20% רזרבה.

# 14. מנגנון כיול (Calibration)

## 14.1 מטרות

- דיוק בזיהוי כיוון, מהירות וסגמנט עצירה בתנאי שטח משתנים.
- עמידות בפני שינויי טמפרטורה/רטיבות, רעידות, וסטיות במיקום.

## 14.2 כיול מכני (חד-פעמי)

- מרחק חיישן-מגנט: 2–4 מ"מ.
- (קוודרטורה):  $2.8^\circ \approx \frac{1}{4}$  פסיעה)  $A \leftrightarrow B$  היסט זוויתי.
- קיבוע חיישנים על תושבות קשיחות עם ברגי כיוון.

### 14.3 "Spin & Learn" – כיול אלקטרוני

Web UI מנוהל מופעל דרך ה-

1. **איפוס פרמטרים**
2. **(סיבוב איטי ידני)** (לפחות 2 הקפות)
3. Doublet סטיית תקן, יחס,  $\text{median}(\Delta t)$ : **חישוב מדדים**
4. **זיהוי אינדקס**
5.  $\text{segmentOffset}$ ,  $\text{phaseOffsetAB}$ : **חישוב היסטים**
6.  $\text{MIN\_PULSE\_US}$ ,  $\text{T\_STOP\_DETECT\_MS}$ ,  $\text{RPM\_MIN\_SPIN}$ : **הגדרת ספים**
7. JSON וייצוא NVS **שמירה**: כתיבה ל-.

### 14.4 טריגרים לכיול

- UI ידני: כפתור "כיול" ב-.
- יורד (confidence) **אוטומטי**: בהפעלה או כאשר מדד היציבות.

### 14.5 טיפול במקרי קצה

- תנועה איטית מאוד: שימוש בחלון ממוצע ארוך יותר.
- הכרעה מבוססת פולס אחרון + היסטריזיס (Doublet): עצירה על אינדקס.
- רעש/דליפת פולס: דרישת עקביות של  $2 \leq$  רצפים תקינים.
- שינוי כיוון רגעי: דרישת עקביות של 3 "הצבעות" עוקבות.

### 14.6 אימות כיול (Verification)

- אימות סטיית מיקום  $> \frac{1}{2}$  סגמנט  $\text{CW/CCW}$  ריצת בדיקת סיבוב.
- בדיקת התאמה טבעת  $\leftrightarrow$  משולש  $\leftrightarrow$  מטריצה.

### 14.7 ערכי ברירת מחדל

פרמטר	ערך דיפולט	טווח מומלץ	הערות
$\text{MIN\_PULSE\_US}$	$1800 \mu\text{s}$	$1500\text{--}3000 \mu\text{s}$	דיבאונס פולסים לחיישני הול.
$\text{T\_STOP\_DETECT\_MS}$	600 ms	500–800 ms	חלון עצירה.
$\text{RPM\_MIN\_SPIN}$	5.0 RPM	3–8 RPM	SPINNING-סף כניסה ל
$\text{RPM\_SLOWDOWN\_TH}$	3.0 RPM	2–5 RPM	סף מעבר SLOWDOWN-ל
$\text{T\_WINNER\_ARM\_MS}$	250 ms	200–400 ms	Winner. דיליי חימוש לפני
$\text{T\_WINNER\_HOLD\_S}$	5 s	3–10 s	Winner. משך הצגת
$\text{K\_DOUBLET}$	0.55	0.45–0.65	Doublet. לקביעת $\Delta t$ יחס
$\text{CONFIDENCE\_MIN}$	0.70	0.6–0.8	מתחת לסף — לא מעדכנים סגמנט.

## 15. Logging & Monitoring) לוגים, ניטור ואבחון

### 15.1 מטרות

- מתן שקיפות תפעולית בזמן אמת ובדיעבד.
- קיצור זמן ניתוח תקלות והוכחת ביצועים.

## 15.2 סוגי לוגים

- **Telemetry (5–10Hz):** rpm, dir, segment, confidence, rssi, ack\_latency\_ms, retries, v\_in, t\_board.
- **Events:** mode\_change, winner(seg), calibration\_start/finish, link\_up/down, recovery\_to\_idle, estop.
- **Errors/Warnings:** packet\_loss, crc\_fail, no\_sensor\_pulses, overtemp, undervoltage.

## 15.3 פורמט וקיבולת

- JSON Lines (.log), לא (NTP) חותמת זמן מבוססת זמן ריצה (לא).
- Ring Buffer (2000 רשומות) + שמירת סטטוס אחרון ל NVS-ביכרון.

## 15.4 דוגמאות רשומה

```
{ "lvl": "INFO", "ev": "mode_change", "from": "spinning", "to": "slowdown", "ts_ms": 345123 }
{ "lvl": "WARN", "ev": "link_down", "target": "ring", "retries": 3, "ts_ms": 412345 }
```

## 15.5 ונראות UI

- **Logs מסך:** log, אירוע, חיפוש טקסט, הורדה כקובץ/Level/סנן לפי זמן.
- **(Heatmap), RSSI, ACK%, Retry Rate, V\_in, T°:** מפת תקינות תקשורת.
- **דגלים:** LINK LOST, DEGRADED, CALIBRATION NEEDED.

## 15.6 ספי התראות (Alerts)

- ACK success < 95% → WARN. במשך 60 שני.
- packet\_loss > 10% → WARN. במשך 30 שני.
- overtemp או undervoltage → ERROR + הורדת בהירות אוטומטית.

## סיכום:

מסמך זה מרכז את כל המידע ההנדסי לבניית מערכת גלגל המזל – כולל חשמל, תקשורת, חיישנים, תוכנה, בטיחות ומבנה. המערכת מתוכננת לעבודה ממושכת בתנאי שטח עם יציבות, גמישות ואמינות גבוהות, תוך הקפדה על בטיחות חשמלית ומכנית מלאה.