



## 6. תכן הפלטפורמה והבקרה - המשך

### 6.2. פירוט אביזרי חישה שאינם קשורים למודל הבקרה

#### מצלמה:

בכדי שמפעיל הפלטפורמה יהיה למסוגל לנהוג אותה כאשר היא אינה בטווח ראייתו יש להוסיף עליה מצלמה. ישנם סוגים רבים של מצלמות וידאו המאפשרות להמיר את הפוטונים הנקלטים בהם לנתוני מידע שניתן להעביר דרך כבל הנתונים שנמשך מהמפעיל אל הפלטפורמה. אפשר כמובן להרכיב על הפלטפורמה מספר מצלמות קטנות הפונות למספר כיוונים בכדי לקבל תמונה יותר מלאה על הסביבה.

#### חיישני מרחק:

חיישני מרחק יכולים לספק מידע חשוב על מכשולים הנמצאים בטווח הפלטפורמה ועל מרחקם. חיישן מרחק פשוט ונוח לשימוש הוא חיישן IR מבית חברת Sharp, דגם החיישן המתאים הוא R146-GP2D120. חיישן זה הינו חיישן אנלוגי המחזיר מתח כפונקציה של מיקום האובייקט שאותו הוא חש. יש למקם מספר חיישנים כאלו בהיקף הרובוט, ולנקז את המידע שלהם לתוך מערכת בקרה המסוגלת לספק מידע למפעיל על סכנות ומכשולים. המידע יגיע למפעיל דרך כבל הנתונים.



איור 6.9 – חיישן מרחק IR של חברת Sharp

#### מצפן:

חיישן המצפן מאפשר למפעיל לדעת את הכיוון המגמה שלו, ביחס לנקודת ההתחלה שלפיה הוא מכויל. המצפן מאפשר למפעיל לדעת לדוגמא האם הוא פנה פניה של 90 מעלות, יותר או פחות והאם הוא ביצע סיבובים מלאים עם הפלטפורמה – דבר שעלול לגרום לסיבוך כבל הנתונים באובייקטים בשטח. דגם של מצפן פשוט המתאים לדרישות ניתן להשיג בחברת Acroname, למצפן R117-COMPASS - יש רזולוציה של 0.1 מעלה ודיוק של 3-4 מעלות לאחר כיול.



איור 6.10 – מצפן מדגם R117-COMPASS

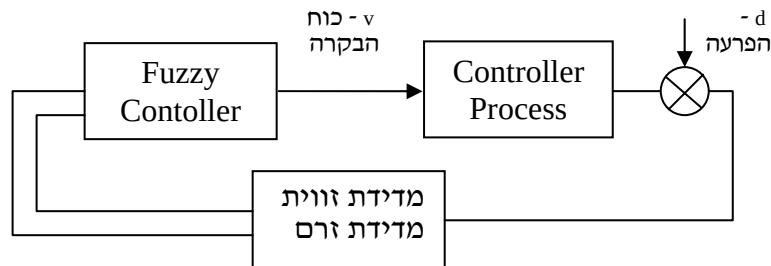
בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



### 6.3. פירוט חלקי מודל הבקרה

#### סכמת הבקרה הכללית:



איור 6.11 – סכמת הבקרה הכללית של המערכת

#### הסבר סכמת הבקרה:

- **Fuzzy Controller** – רכיב זה הוא הבקר של המערכת. תפקידו לקבל את הנתונים המגיעים מהחיישנים ולבצע פעולות מתאימות בהתאם לסט החוקים שהוגדר מראש (ראה טבלה 8.4). בסעיף הבא יובא הספר מפורט על רכיבי הבקר העמום. לבקר זה שתי כניסות ויציאה אחת. כוח הבקרה היוצא מהבקר גורם לשינוי במצב המערכת המבוקרת ע"י שינוי מיקום גלגל מס' 1 במערכת השנאי המכני. שינוי זה גורר שינוי במומנט (מגדיל או מקטין בהתאם לדרישה ולחוקי המערכת העמומה). תיאור מלא של הבקר עבור פרויקט זה יובא בהמשך, בסעיף הבקר.
- **Controller Process** – חלק זה בסכמת הבקרה מייצג את המערכת המכנית שאותה אנו מעוניינים לבקר. למערכת זו קיים מודל מתמטי מסובך, וסיבה זו היא אחת הסיבות לשימוש בבקר עמום. המערכת המכנית מושפעת מהפרעות שנובעות משינוי בתנאי הפלטפורמה כגון שינוי בשיפוע או בטיב פני הקרקע. הפרעות אלה מתבטאות בקושי של הפלטפורמה להמשיך לנוע באופן חלק וניתן למדוד את השינוי בהן בעזרת החיישנים שממוקמים על הפלטפורמה.
- **מדידת הזרם/ מדידת השיפוע** – חלק זה במחזור הבקרה הוא המאפשר את המשוב. כתוצאה מהקריאות הנובעות מחיישנים אלו הבקר מסוגל לבצע החלטות בזמן אמת ולתקן את יחס התמסורת בכדי להתגבר על המכשול הנתון. כמובן שבמידה ולא יהיו הפרעות, קריאות החיישנים לא ישתנו והבקר יתמיד בכוח הבקרה שהוא מעביר לתמסורת ולא יתבצע בה כל שינוי.

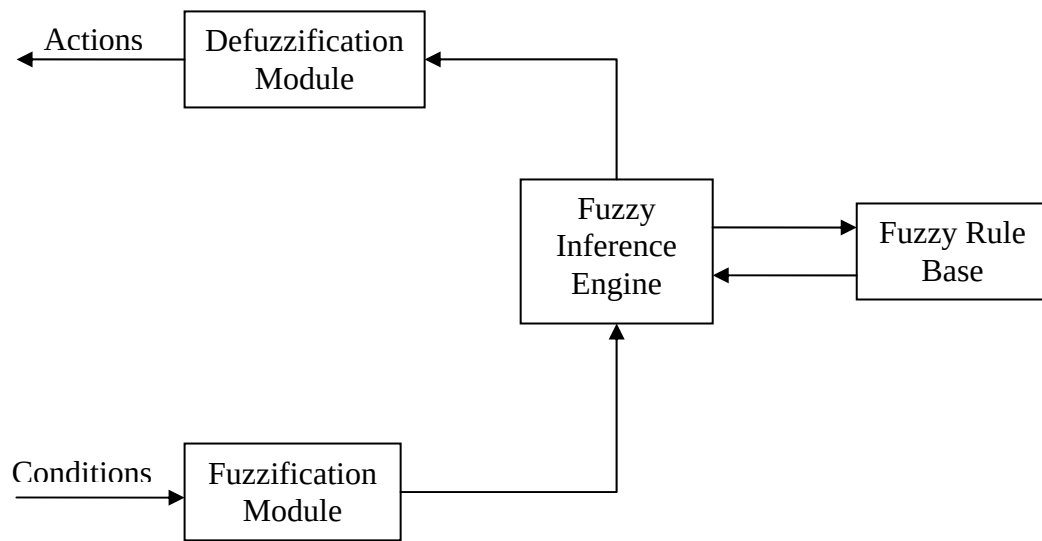
בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף מוניס ולגיא יונה  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר





## סכמת הבקר העמום:



איור 6.12 – סכמת הבקר העמום

## הסבר סכמת הבקר:

- **Fuzzification Module** – תפקיד רכיב זה הוא להפוך את הערכים הקריספיים המתקבלים מהחיישנים (ראה איור 6.x) לערכים עמומים בהתאם לפונקציות ההשתייכות שהוגדרו מראש בבקר, לפירוט על פונקציות אלה ראה פרק 8. רכיב זה הוא המקשר בין העולם החיצוני למערכת העמומה.
- **Fuzzy Inference Engine** – רכיב זה הינו הרכיב המקשר בין הקלט לפלט של המערכת העמומה דרך סט החוקים. הערכים המתקבלים מרכיב הפאזיפיקציה מועברים דרך החוקים עד לקבלת תוצאה עמומה אשר מתארת את תגובת המערכת העמומה לכניסות הנתונות. מכאן מעביר אותן רכיב זה לאלמנט הדה-פאזיפיקציה.
- **Fuzzy Rule Base** – מאגר החוקים של המערכת העמומה מוגדר מראש ע"י המתכנן בצורת IF A AND B THEN C, הוא נקבע תוך ניתוח המערכת וקביעת חוקים לוגיים להתנהגותה עבור הקלטים האפשריים השונים. רכיב זה מתקשר עם הרכיב ה-Fuzzy Inference Engine אשר מציב את הקלט בסט החוקים וקורא ממנו את התוצאה המתקבלת.
- **Defuzzification Module** – תפקיד רכיב זה הוא להפוך את הערכים העמומים המתקבלים מה-Fuzzy Inference Engine לערכים קריספיים מוחלטים שהופכים לכוח הבקרה שמועבר לאלמנט המבוקר במערכת המכנית. רכיב זה, אם כן, מקשר בין המערכת העמומה לעולם החיצוני.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישראו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

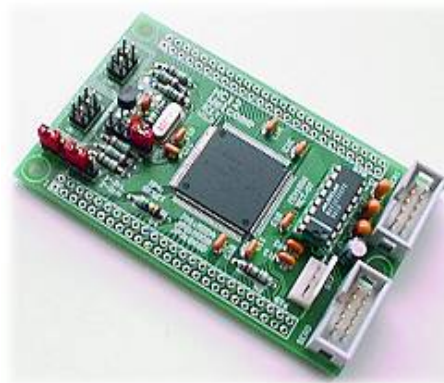
© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



## **בחירת הבקר:**

מערכת ההנעה והתמסורת תבוקר בעזרת מיקרו-בקר אשר תפקידו לקבל את הנתונים המגיעים מהחיישנים (יפורט בהמשך) ובהתאם אליהם לקבל החלטות בזמן אמת, בנוסף לכך הבקר צריך להפעיל את הרכיבים המשפיעים על פעולת המערכת בכדי לקבל שינוי במצב ולהקטין את השגיאה. מיקרו-בקר העונה לדרישות של המערכת באופן טוב מאוד הוא בקר HC12 מתוצרת חברת מוטורולה. ניתן לתכנת מיקרו-בקר זה לבקרה עמומה באופן פשוט יחסית.

בקר ה-HC12 הוא בקר בר תכנות, בשפת אסמבלי או C. בתוך הבקר ישנו מנגנון עזר לביצוע תוכניות למימוש פונקציונלי של לוגיקה עמומה. המתכנת הכותב את התוכנה עבור הבקר לא צריך להבין את תכלית המערכת המכנית שעבורה נכתבת הבקרה, זהו תפקידו של המתכנן הקובע את סט החוקים העמומים. מסיבה זו, תכנות הבקר הוא פשוט הצבת פרמטרי הלוגיקה העמומה במקומות המתאימים והרצת הבקר.



**תמונה 6.13 – מיקרו-בקר HC12**

**בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישרין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה**

**© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר**



## **בחירת חיישנים:**

במערכת בקרה זו ישנם שני חיישנים נפרדים שמספקים נתונים משלימים עבור בקרה רציפה של מצבי הפלטפורמה. חיישן אחד הוא חיישן המודד מהירות זוויתית – חיישן גייירו, שע"פ אינטגרציה של הנתונים המתקבלים ממנו ניתן לקבל את זווית הפלטפורמה. חיישן נוסף הוא חיישן למדידת הזרם שצורך המנוע, שכן ככל שהמנוע צורך יותר זרם – כך הוא דורש יותר מומנט, כלומר יותר קשה לו להתגבר על המכשול שעליו הוא נמצא. להלן יובא פירוט של החיישנים הללו ואיך הם מתחברים לסכמת הבקרה שהוצגה בתחילת הפרק.

## **חיישן גייירו:**

למטרת מדידת הזווית נבחר את חיישן הגייירו של חברת Acroname, חיישן זול וקטן המתאים לדרישות המערכת.



תמונה 6.14 – חיישן גייירו מתוצרת חברת Acroname

## **מפרט:**

|                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 26 x 27 x 11.3 mm       | <b>מידות:</b>           |
| 7 g                     | <b>משקל:</b>            |
| 4.8 – 6 Volts           | <b>מתח הזנה:</b>        |
| 10mA @ 4.8V             | <b>משיכת זרם:</b>       |
| Single rate, non-remote | <b>התאמת הגבר:</b>      |
| -5 – 60° C              | <b>טמפרטורות עבודה:</b> |

טבלה 6.1 – מפרט חיישן הגייירו של חברת Acroname

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישרין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר





## עקרון הפעולה:

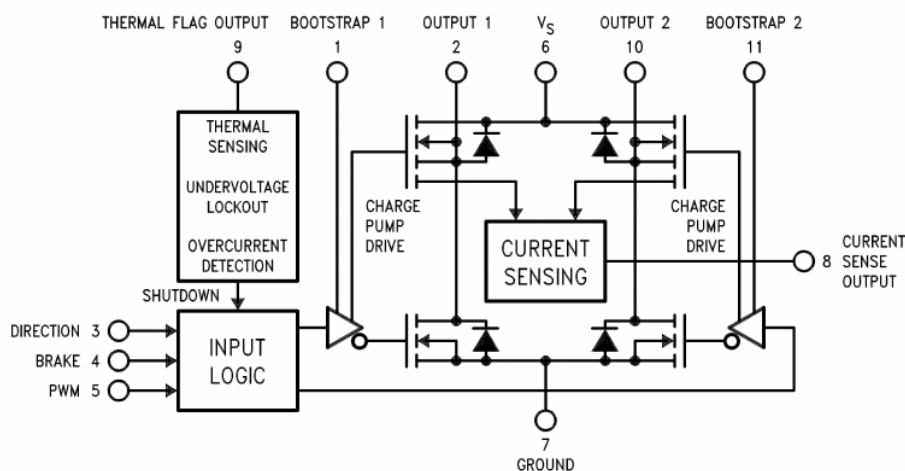
על מנת לקבל קריאות מהחיישן יש לשלוח אליו אות  $PWM^1$  עם Duty Cycle<sup>2</sup> מסוים. כתוצאה משינוי במהירות הזוויתית ה-Duty Cycle שיתקבל ביציאה יהיה קטן יותר או גדול יותר בהתאם לכיוון הסיבוב. שינוי זה מתבצע ביחס ישר למהירות הזוויתית שבה נע החיישן, כך ניתן למדוד מהירות זו ע"י מדידת רוחב השינוי ביחס לאות הכניסה (הידוע).

## מדידת זרם:

דרך פשוטה יחסית למדידת העומס המופעל על המנוע היא מדידת הזרם שהוא מושך ממקור המתח. ככל שהעומס על המנוע גדל, הוא צורך יותר אנרגיה בכדי להתגבר עליו ולכן נדרשת מדידה של הזרם על מנת לבצע את הבקרה על יחס התמסורת בשנאי המכני.

## פירוט רכיב המדידה:

את המדידה ניתן לבצע בעזרת בקר המנוע אשר אחראי על הפעלת המנוע. רכיב המתאים למשימת השליטה במנוע ובעל היכולת לבצע חישת זרם הוא הרכיב LMD18200 של חברת National Semiconductor. לרכיב זה יש רגל אחת אשר בעזרתה ניתן לקבל מידע על הזרם העובר במנוע.



איור 6.15 – סכמה פונקציונלית של רכיב LMD18200

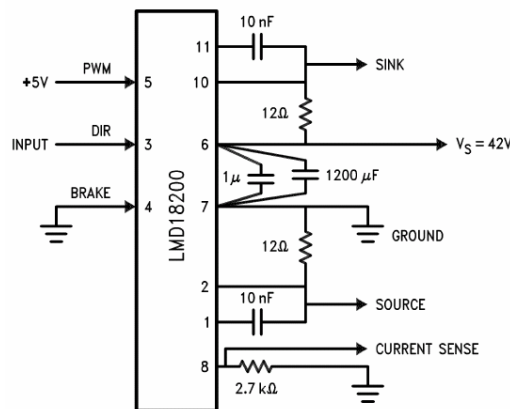
כפי שניתן לראות במרכז איור 6.13 לרכיב זה יש אלמנט חישת זרם. על מנת לקבל מידע המתאים ברמת המתח שלו לרכיב A/D יש להציב ביציאה של אלמנט החישה נגד של  $2.7k\Omega$ , כמתואר באיור הבא:

<sup>1</sup> PWM (Pulse Width Modulation) – בשיטה זו אנו שולחים פעימות (pulses) מהירות במתח קבוע, בכדי לקבל ערך נמוך יותר של מתח התלוי בתדירות הפעימות הנשלחות. לדוגמא, אם שולחים פעימות ב-50% מהזמן נקבל 50% מהמתח ההתחלתי ביציאה.

<sup>2</sup> Duty Cycle - אחוז הזמן אשר בו נשלחת הפעימה ב-PWM, כלומר אחוז זה יהווה את אחוז המתח שיתקבל ביציאה.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

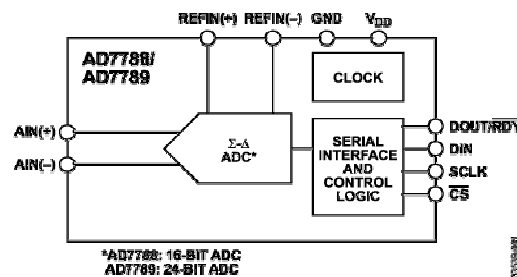
© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר



איור 6.16 – סכמת החיבורים החשמלית של רכיב LMD18200

### עקרון הפעולה:

כידוע, מחוק אוהם ניתן לקבל את הקשר בין המתח לזרם. כלומר, במידה ונחבר נגד עם ערך ידוע בטור לחיבור המנוע ונמדוד עליו את המתח נקבל בדיוק את הזרם שעובר דרכו וכך הזרם שהמנוע מושך ממקור המתח. את מדידת המתח יש לבצע באמצעות רכיב  $A/D^3$  אשר ממיר את המתח בכניסה שלו לערך דיגיטלי שניתן לעבדו במיקרו-בקר. את רכיב ה- $A/D$  יש לחבר באופן מקביל לנגד המוצב ביציאה מרגל 8 של הרכיב. דוגמא לרכיב  $A/D$  של חברת Analog Devices  $^4$ :



איור 6.13 – סכמה של רכיב  $A/D$

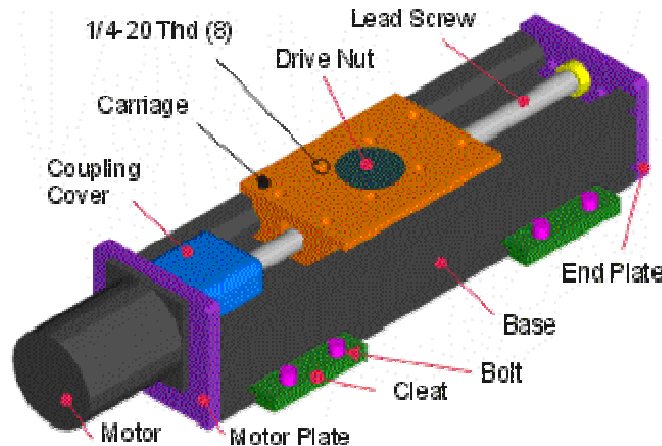
דגם הרכיב הוא AD7788. רזולוציית הרכיב היא 16Bit, והוא בעל כניסה אחת בלבד.

<sup>3</sup> Analog to Digital  
<sup>4</sup> <http://www.analog.com>



## כוח הבקרה:

שינוי המומנט ביציאה מהתמסורת מתבצע ע"י שינוי יחס הרדיוסים בשנאי המכני. שינוי זה מתבצע ע"י הזזת גלגל מספר 2 (אשר אליה מחובר המנוע) ביחס לגלגל מספר 1 בעזרת מסוע ליניארי. מסוע זה מקבל פקודה מהבקר את כיוון התנועה וכמה לנוע, כאשר התנועה מתבצעת כתוצאה מסיבוב המנוע הנמצא בראש הבורג אשר מניע את המסוע.



איור 6.17 – סכמה של המסוע אשר תפקידו להזיז את דסקה מספר 2 יחד עם מנוע המערכת

המנוע הנמצא בראש המסוע הוא מנוע צעד שניתן לשלוט עליו באופן פשוט ולקבל משוב על מיקומו בכל רגע ורגע. בכדי להבטיח עמידות של המערכת יוצבו שני מסועים כאלה, אחד מכל צד של המנוע הראשי של המערכת. שניהם יקבלו בדיוק את אותן הפקודות מהבקר על מנת שהן ינועו בסנכרון. פירוט מפרט המסוע הליניארי קיים בנספח 3 עמודים 79-81.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישורין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף מוניס ולגיא יונה  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר





## 6.4. תכן קונספטואלי של הפלטפורמה

התכן הקונספטואלי של הפלטפורמה בפרויקט זה מתייחס לתחומים הבאים:

- מיקום המערכת המכנית שפותחה בפרויקט זה על הפלטפורמה – המערכת המכנית תמוקם באחורי הפלטפורמה, צורת הנעה אחורית. הסיבה העיקרית לכך היא שבמידה ונמקם את המערכת המכנית בקדמה והפלטפורמה תבלום, היא תתהפך קדימה.
- לפלטפורמה יש ארבעה גלגלים – שניים אחוריים מניעים ושניים קדמיים הקובעים את ההיגוי.
- היגוי המערכת – מכיוון שהפלטפורמה מונעת באמצעות מנוע אחד יש צורך בהוספת מערכת שליטת כיוון בגלגלים הקדמיים. ישנן שתי אפשרויות לכך:
  - א. שימוש במנוע צעד ובניית למעשה הגה. השליטה נעשית באמצעות שינוי כיוון הגלגלים ע"י מנוע הצעד.
  - ב. שימוש בשני מנועים קדמיים כל אחד על גלגל קדמי אחד כתוספת כוח וקביעת כיוון התנועה.
- פרישת כבל הנתונים – פרישת כבל הנתונים מתוך הפלטפורמה יכול להתבצע ע"י שימוש בתוף המגלגל את הכבל ביחס ישר למהירות ההתקדמות שלה.
- מיקום חיישני המרחק – חיישני המרחק צריכים לפנות לאזורים בהם המצלמה אינה מכוונת. אזורים אלה הם "אזורים מתים" שלמפעיל אין מידע על המתרחש בהם ולכן יש צורך בשליחת מידע נוסף על הנעשה בהם.

בעלי אתר הרובוטיקה הישראלי לא ישאו באחריות כלשהי לכל נזק, כספי או אחר שייגרם במישרין או בעקיפין משימוש במידע המצוי באתר זה

© כל הזכויות שמורות לאסף פוניס ולגיא יונה  
אין להעתיק תכנים מאתר זה ללא רשות בכתב ממנהלי האתר