



פרויקט תחרותי

שם הסטודנט, תעודת זהות, מייל: סער גוזלן , 204188403 , saar.gozlan@e.braude.ac.il

שם הסטודנט, תעודת זהות, מייל: אורן דנילוב , 203824545 , oren14dani@gmail.com

שם הסטודנט, תעודת זהות, מייל: שמעון קריכלי , 212141428 , shimon.kricheli@e.braude.ac.il

מנחה: ד"ר בטו כץ

תאריך: 24.8.22

מחלקה: הנדסת חשמל ואלקטרוניקה

תוכן עניינים

1	פרויקט תחרותי.....
2	תוכן עניינים.....
3	מפתח איורים.....
4	מבוא:.....
4	תיאור המערכת:.....
4	מערכת השידור.....
4	מערכת הקליטה ובקרה.....
5	דרישות המערכת.....
5	מפרט פונקציונלי.....
6	מפרט טכני.....
7	תרשים מלבנים.....
7	מערכת השידור.....
7	מערכת הקליטה ובקרה.....
8	פירוט מכלולי המערכת.....
8	מערכת השידור:.....
8	שרטוט חשמלי.....
8	רכיבי המכלולים:.....
9	מערכת קליטה ובקרה.....
9	שרטוט חשמלי:.....
9	רכיבי המכלולים.....
12	פעולת משדר-מקלט:.....
13	תרשים זרימה.....
14	מכונת מצבים.....
15	שיקולי תכנון.....
16	מאפיינים חשמליים.....
16	מכלול שידור.....
17	מכלול קליטה.....
17	אתגרים הנדסיים.....
17	כלי פיתוח.....
18	מקורות:.....

מפתח איורים

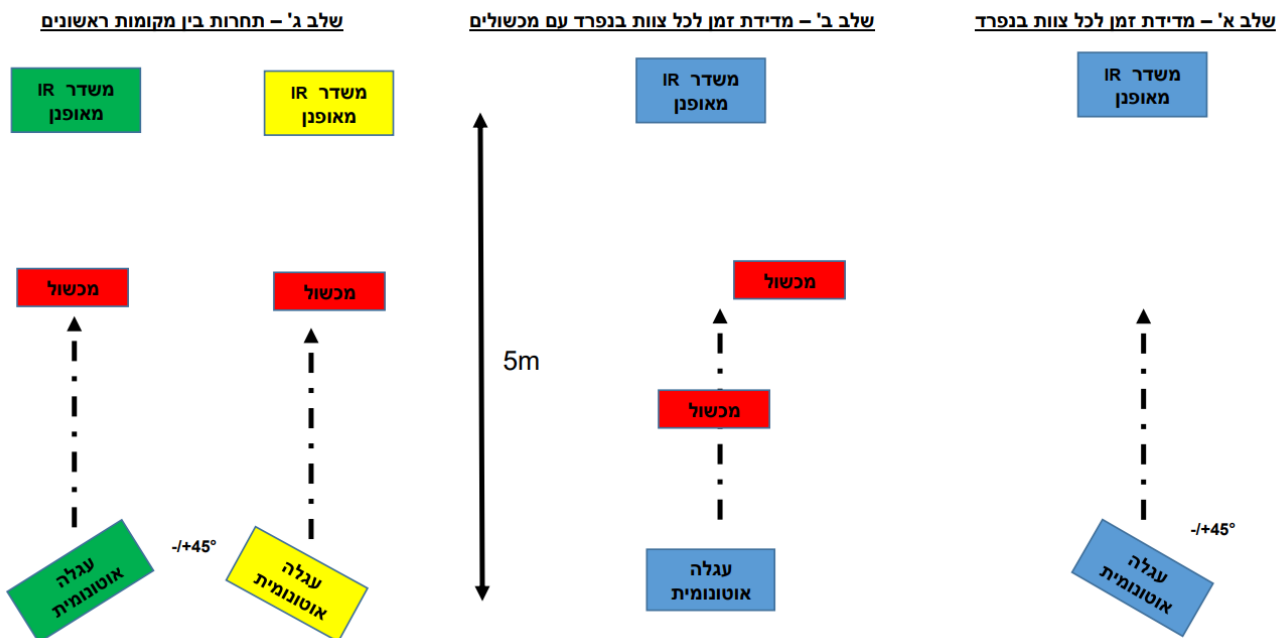
4	1 Figure
5	2 Figure
7	3 Figure
7	4 Figure
8	5 Figure
8	6 Figure
8	7 Figure
8	8 Figure
9	9 Figure
9	10 Figure
10	11 Figure
10	12 Figure
10	13 Figure
10	14 Figure
10	15 Figure
11	16 Figure
11	17 Figure
12	18 Figure
12	19 Figure
12	20 Figure
13	21 Figure
14	22 Figure
16	23 Figure
17	24 Figure

מבוא:

פרויקט זה עוסק בבנייה ותכנון של מערכת רכב אוטונומי תחרותי. מטרת הפרויקט הינה ניצחון בתחרות שבה מערכת הרכב, שעליו נמצא מקלט IR, צריך למצוא ולהגיע למקור של אות IR שמשודר במרחב על ידי משדר שנמצא בצידו האחר של המסדרון. כלומר, הרכב צריך לחפש ולהתבית על אות המשדר ולהגיע אליו.

הסטודנטים בתחרות מחולקים לצוותים, ומכל צוות נדרש לבנות רכב אוטונומי תחרותי אשר תבצע 3 מסלולים שונים

1. העגלה מוסטת בזווית של כ-45 מעלות ביחס למשדר ללא מכשולים.
 2. העגלה מיושרת עם המקור, אך ישנם שני מכשולים בדרך שמונעים קו ראייה בין המשדר למקלט, על הרכב למצוא את האות תוך התחמקות מהמכשולים ולהגיע אליו.
 3. העגלה מוסטת בזווית של כ-45 מעלות ביחס למשדר, אך הפעם עם מכשול בדרך. בנוסף, ישנו רכב נוסף במסלול שמתחרה איתנו.
- את המסלולים הרכב צריך לבצע בזמן הקצר ביותר.



1 Figure

תיאור המערכת:

המערכת בנויה מ-2 מערכות עיקריות: מערכת שידור ומערכת קליטה ובקרה.

מערכת השידור

מורכב מבקר *Arduino Nano* המחובר ל-3 משדרי IR333, אשר משדרים לחלל אות בתדר 38kHz מאופנ *PWM* כך שאות המידע הוא גל ריבועי בתדרים 100Hz או 200Hz בהתאם למצב מתג ברירת התדרים.

מערכת הקליטה ובקרה

זה בעצם חלק מהמערכת הכוללת של הרכב.

חזור לתוכן עניינים

מכיל 3 מקלטי TSOP4838 אשר אמונים על קליטת האות ופעולת דה-מודולציה על מנת לקבל את אות המידע ללא האות הנושא, כלומר, האות שהארדואינו קולט הוא אות המידע בלבד בתדרים 100Hz או 200Hz. המקלטים עצמם מבצעים דה-מודולציה.

את המקלטים הנחנו על גובה על מנת שיוכלו לקלוט יותר טוב וללא הפרעות וחסיונות שיכולות להיווצר על ידי הרכיבים השונים שנמצאים על הרכב ובנוסף לכך עטפנו גליל קטן מסביב למקלט הראשי באיזולירבנד שחור על מנת שלא ייקלטו הפרעות כיוון שבשונה משני מהקלטים האחרים אין לו הגנה מהחזרים.



לרכב חיברנו גם 4 חישני מרחק HCSR-04 על מנת שנוכל להתחמק ממכשולים ולכלל חיישן מרחק כזה הוספנו נורת חיווי על מנת שנוכל לראות ויזואלית מתי המרחק שקולטים החיישנים קטן ממרחק הסף שהגדרנו למערכת.

את הגלגלים של הרכב אנו מניעים בעזרת 4 מנועי DC פשוטים המחוברים ל L293D

2 Figure

Motor Shield – רכיב הייעודי לארדואינו מגה/ אנו. רכיב זה מכיל 2 דרייברים למנועים שבעזרתם ניתן לחבר את המנועים לארדואינו. לא ניתן לחבר את המנועים ישירות לארדואינו מכיוון שייתכן מצב שבו המנועים ייצרכו יותר זרם ממה שהפינים של הארדואינו מסוגלים לתת.

את כל המערכת שמחוברת לרכב מפעילות 3 סוללות 3.7V מסוג 18650 שמחוברות לכניסת המתח של *L293D Shield* ה

דרישות המערכת

- המערכת תדע לזהות מקור IR בודד אשר נמצא בסוף המסלול, להתמקד עליו ולדעת לכוון את העגלה האוטונומית לכיוונו, תוך הימנעות ממכשולים ועצמים קיימים לאורך המסלול.
- המערכת תהיה מבוססת על בקר מסוג *Arduino* מקליטי IR ומשדרי IR, אשר ישמשו למציאת מקור השידור.
- המערכת תדע לנוע במרחב על גבי מרכב וגלגלים כפי שהוגדרו במשימה.
- הרכב יגיע ליעד לפחות באחד מהמסלולים - העגלה צריכה להגיע אל קרבת המשדר (רדיוס של 20 ס"מ) בזמן הקצר ביותר.

מפרט פונקציונלי

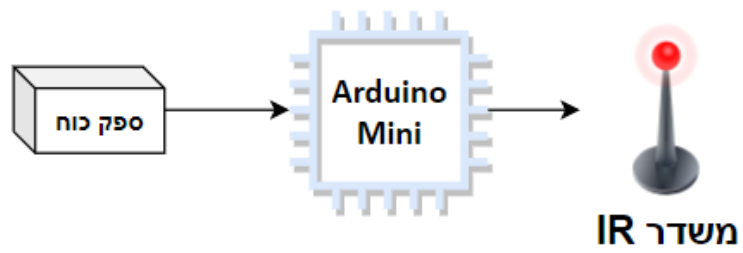
- יכולת קליטה והתביינות על מקור IR ונסיעה אליו.
- יכולת זיהוי מכשולים ועצמים שונים בדרך והימנעות מפגיעה.
- יכולת נסיעה אוטונומית במסלול ללא התערבות אדם.
- יכולת סינון החזרי אור אשר מתחזים לשידור IR.

מפרט טכני

מכלול	תפקיד	רכיבים
מכלול שידור <i>Tramission module</i>	<ul style="list-style-type: none"> יצירת ושידור אות המידע בתדרים 100/200Hz 	<ul style="list-style-type: none"> בקר <i>Arduino Nano</i> מתג בחירת תדר 3 משדרי <i>IR-333</i> עם תדר גל נושא 38kHz 20mA מסופק על ידי שנאי 5V מרשת החשמל
מכלול קליטה <i>Receiver module</i>	<ul style="list-style-type: none"> קליטת אות ה-<i>IR</i> המאופנן דה-מודולציה 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Arduino Mega</i> 3 <i>TSOP4838 receiver (de-modulator included)</i>
מכלול הנעה	<ul style="list-style-type: none"> אחראי על נסיעת הרכב – מקבל פקודות מהארדואינו 	<ul style="list-style-type: none"> <i>L293D motor driver shield</i> 4 מנועי <i>DC</i>
מכלול בלימה	<ul style="list-style-type: none"> זיהוי מכשולים מניעת התנגשות 	<ul style="list-style-type: none"> 4 חיישני מרחק <i>HCSR-04</i> נורות חיווי לכל חיישן מרחק מקסימלי: 4m מרחק מינימלי: 2cm
מכלול שליטה ובקרה	<ul style="list-style-type: none"> עיבוד הנתונים מתן פקודות לרכיבים שונים על פי התכנון 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Arduino Mega</i> מסופק על ידי 3 סוללות v1.1 18650

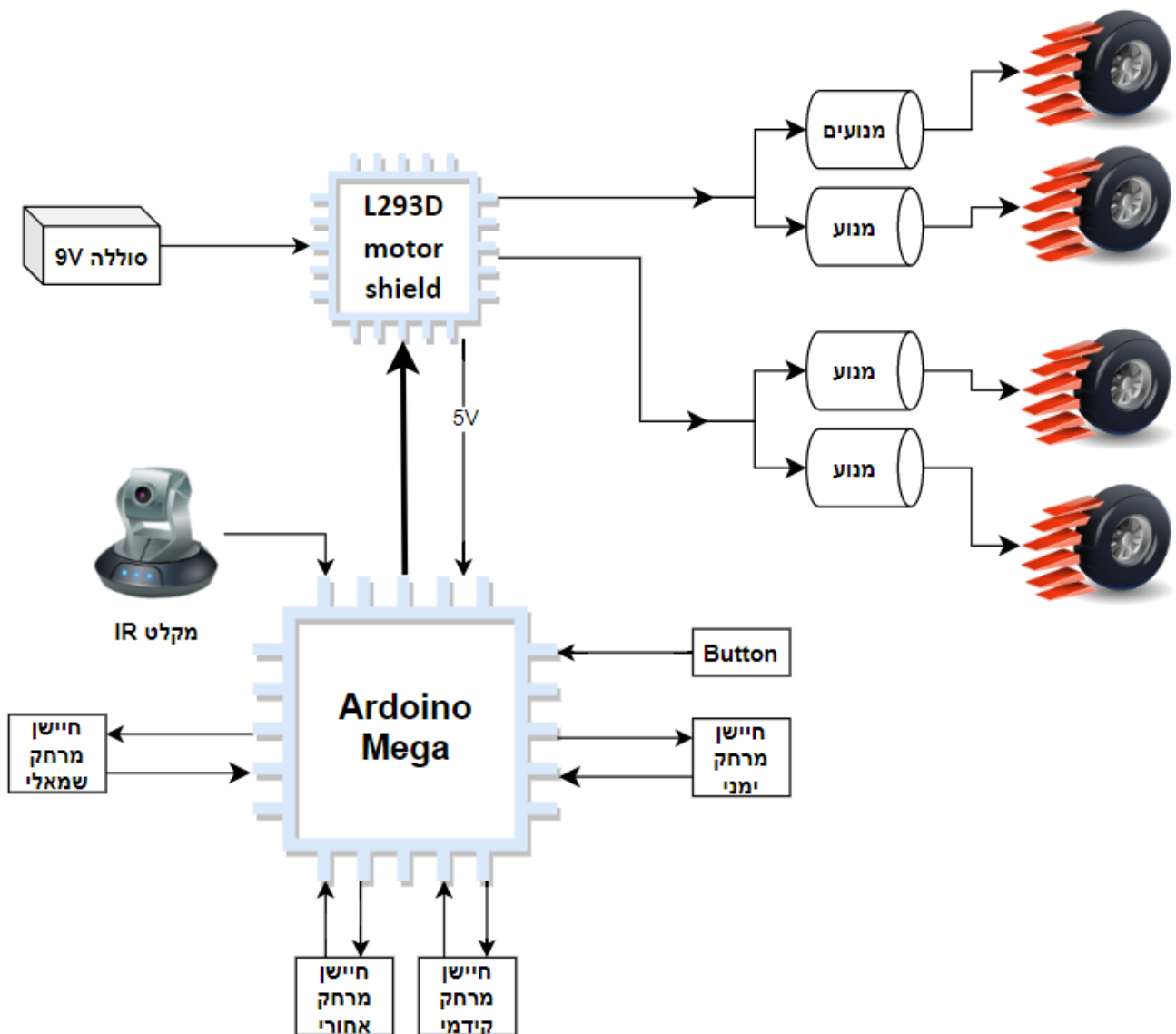
תרשים מלבנים

מערכת השידור



3 Figure

מערכת הקליטה ובקרה

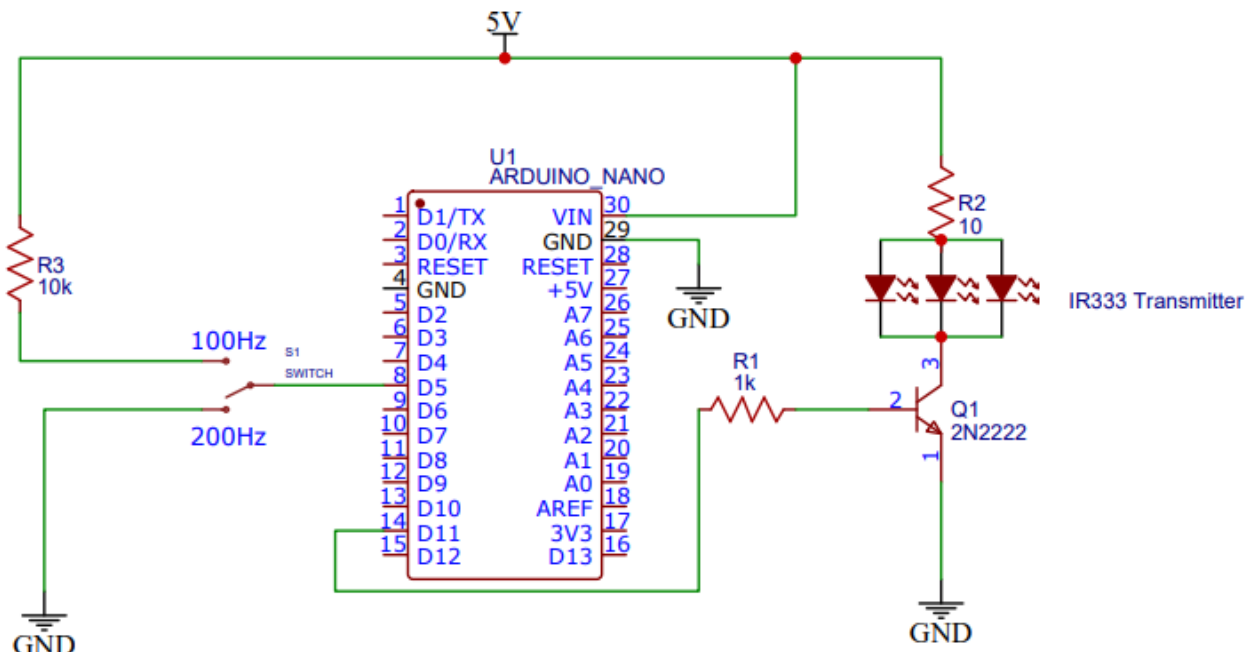


4 Figure

פירוט מכלולי המערכת

מערכת השידור:

שרטוט חשמלי



5 Figure

אל מכלול השידור הוספנו מתג שבורר בין 100Hz/200Hz על פי הדרישות.

רכיבי המכלולים:

Arduino Nano

מתח כניסה נומינלי: 7-12V

מתחי input output: 5V

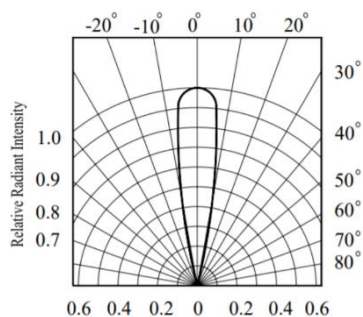


6 Figure

מעבד: ATmega328 16MHz

משדר IR333

המשדר משתמש באפנון PWM עם גל נושא בתדר 38kHz ומשדר לחלל את אות ה-IR על פי הגרף הבא:



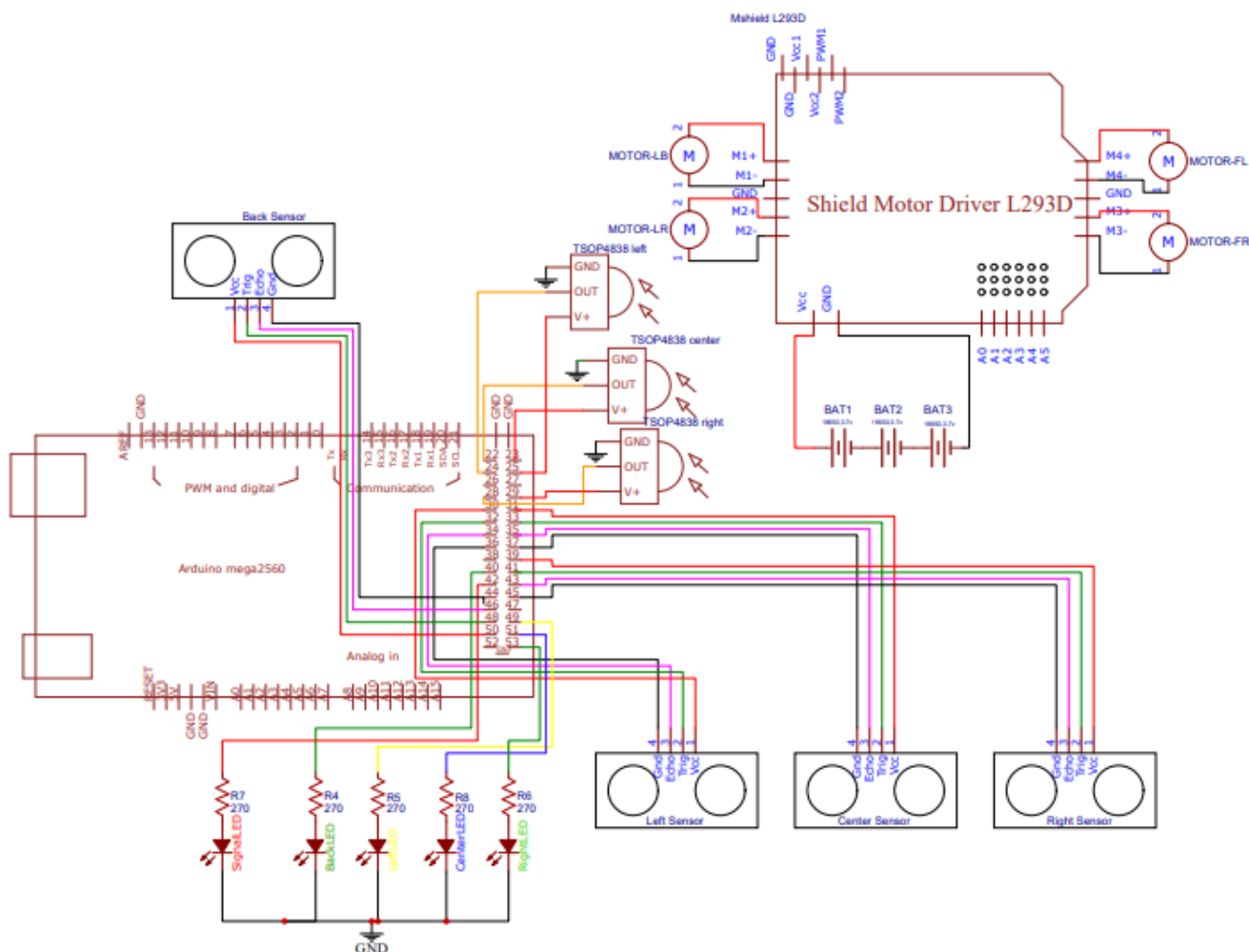
7 Figure



8 Figure

האות אופן על ידי שימוש בפונקציית

tone



9 Figure

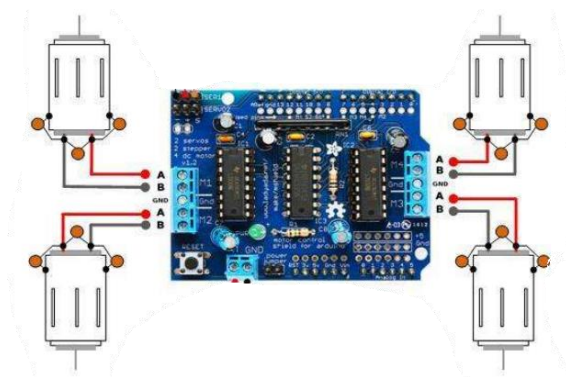
רכיבי המכלולים

Arduino Mega



10 Figure

מתח כניסה: 6-20V
 22/54 פינים דיגיטליים בשימוש + L293D shield
 מתחי input output: 5V
 מעבד ATmega2560 16MHz



11 Figure

L293D Motor Driver Shield

מחובר ל- 4 מנועי DC

מתחים: 6-15V

זרם למנוע: 1.2A



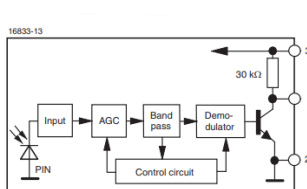
12 Figure

DC motor

4 מנועי DC

מתחים: 4.5-9V

זרם תחת עומס ~250mA



14 Figure



13 Figure

TSOP4838 IR receiver

Included de-modulator

מתחים: 2.5-5.5V

טווח קליטה: 30-56kHz



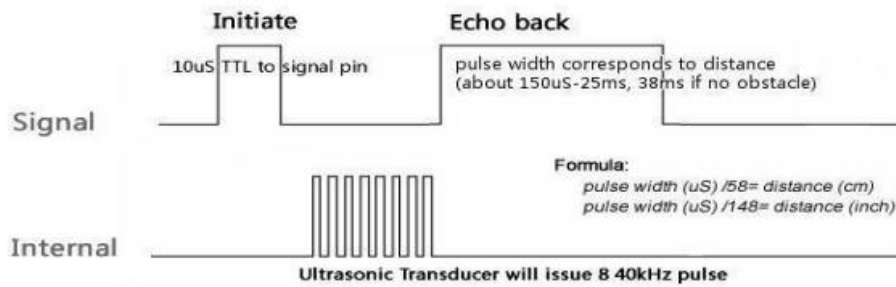
15 Figure

HCST-04

4 חיישני מרחק אולטרא סוני HCSR-04

מתח וזרם עבודה: 5V, 15mA

טווח מרחקים: m [0.02, 4]



16 Figure

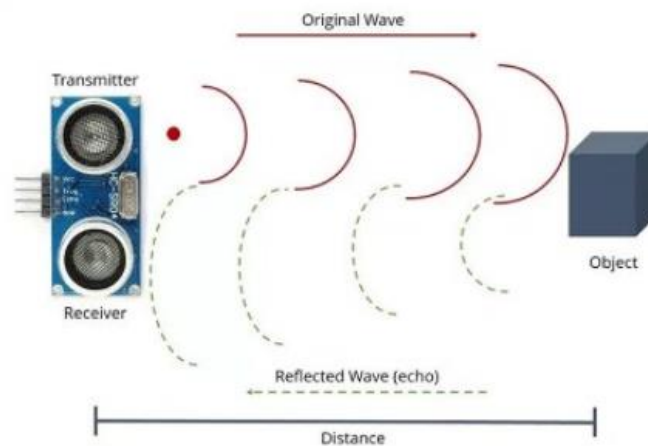
אופן מדידת אורך זמן פולס *ECHO* על ידי המערכת:
החיישן מקבל מהארדואינו *Trigger* למשך 10 מיקרו שניות ולאחר מכן שולח אות בתדר 40kHz ומרים את *Echo*. האות עובר בחלל ולאחר מכן מוחזר אל הרכיב וכשזה קורה *Echo* יורד.
הרכיב מודד את הזמן שפין *Echo* היה גבוהה.

חישוב המרחק

ע"י שימוש בנוסחה הפיזיקלית:

$$\text{Distance} = \text{time} \cdot \text{velocity}$$

נבצע חישוב למרחק שעבר אות *ECHO* מרגע שעזב את החיישן, פגע בעצם במרחב הוחזר בחזרה אל החיישן, כתלות במהירות האות שהיא מהירות הקול.



17 Figure

נשים לב שהאות במסעו הלך וחזר למעשה עבר את המרחק *distance* פעמיים, לכן נחלק את התוצאה פי 2.

$$\text{Distance} = \frac{\text{time} \cdot \text{velocity}}{2}$$

$$\begin{aligned} \text{Distance [m]} &= \frac{ECHO_{time}[\mu \text{ sec}] \cdot \text{Speed of Sound in air} \left[\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right]}{2} \\ &= \frac{ECHO_{time}[\mu \text{ sec}] \cdot 343 \left[\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right]}{2} = ECHO_{time}[\mu \text{ sec}] \cdot \frac{343}{2} \left[\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right] \end{aligned}$$

נעבור ליחידות מרחק ב *cm*:

חזר לתוכן עניינים

$$\begin{aligned} distance[cm] &= ECHO_{time}[\mu sec] \cdot \frac{343}{2} \left[\frac{cm}{c sec} \right] = ECHO_{time}[\mu sec] \cdot \frac{343}{2} \frac{1}{c} \left[\frac{cm}{sec} \right] \\ &= ECHO_{time}[\mu sec] \cdot \frac{343}{2} \frac{\mu}{c} \left[\frac{cm}{\mu sec} \right] \approx ECHO_{time}[\mu sec] \cdot \frac{1}{58} \left[\frac{cm}{\mu sec} \right] \end{aligned}$$

קיבלנו נוסחא לחישוב המרחק בעזרת מהירות הקול:

$$distance \approx \frac{ECHO_{time}}{58} [cm]$$

לפי הנוסחה שקיבלנו - נקבל את המרחק שנמדד בסנטימטר כאשר נחלק מדידת הזמן של האות פי 58 .
לכן גם נוודא לקחת את זמן המחזור במיקרו שניות.

הערה: הרגישות שלנו תהיה לפי ס"מ, ויהיה עיגול מטה למספרים שלמים (משתמשים במשתנה int). כלומר, עבור מרחק של 45.8 ס"מ נראה פשוט 45 ס"מ.

מקורות מתח

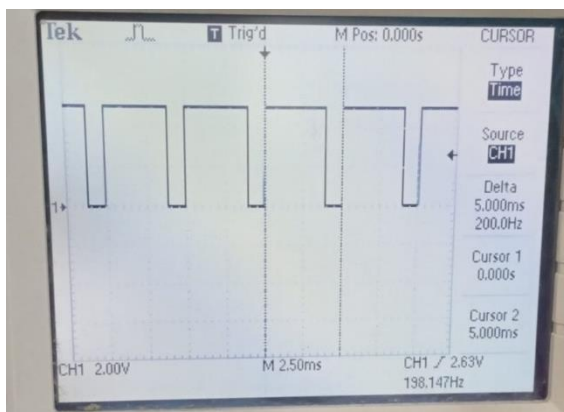
כל המערכת מסופקת על ידי 3 סוללות מסוג 18650 בעלות מתח 3.7V כל אחת.



18 Figure

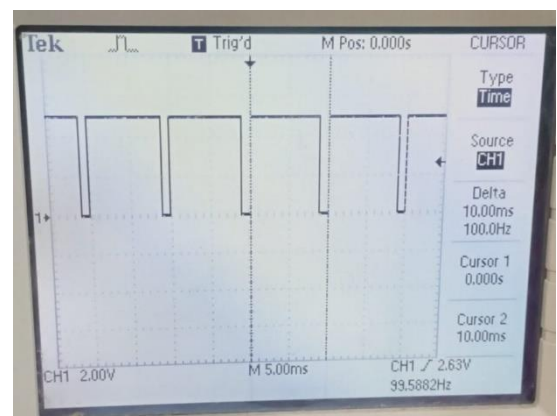
פעולת משדר-מקלט:

אחרי דמודולציה (מקלט) 200Hz:



20 Figure

אחרי דמודולציה (מקלט) 100Hz:



19 Figure

כפי שניתן לראות קיבלנו אותות נקיים לשני התדרים.
ניתן לראות שכיוונו את המשדר כך שישדר 1ms של LOW בשני התדרים וכך כיילנו אותו עם המקלט ובדקנו אם האות המתקבל הוא יציב.

תרשים זרימה

תרשים הזרימה ממחיש את הלוגיקה העומדת מאחור הקוד.

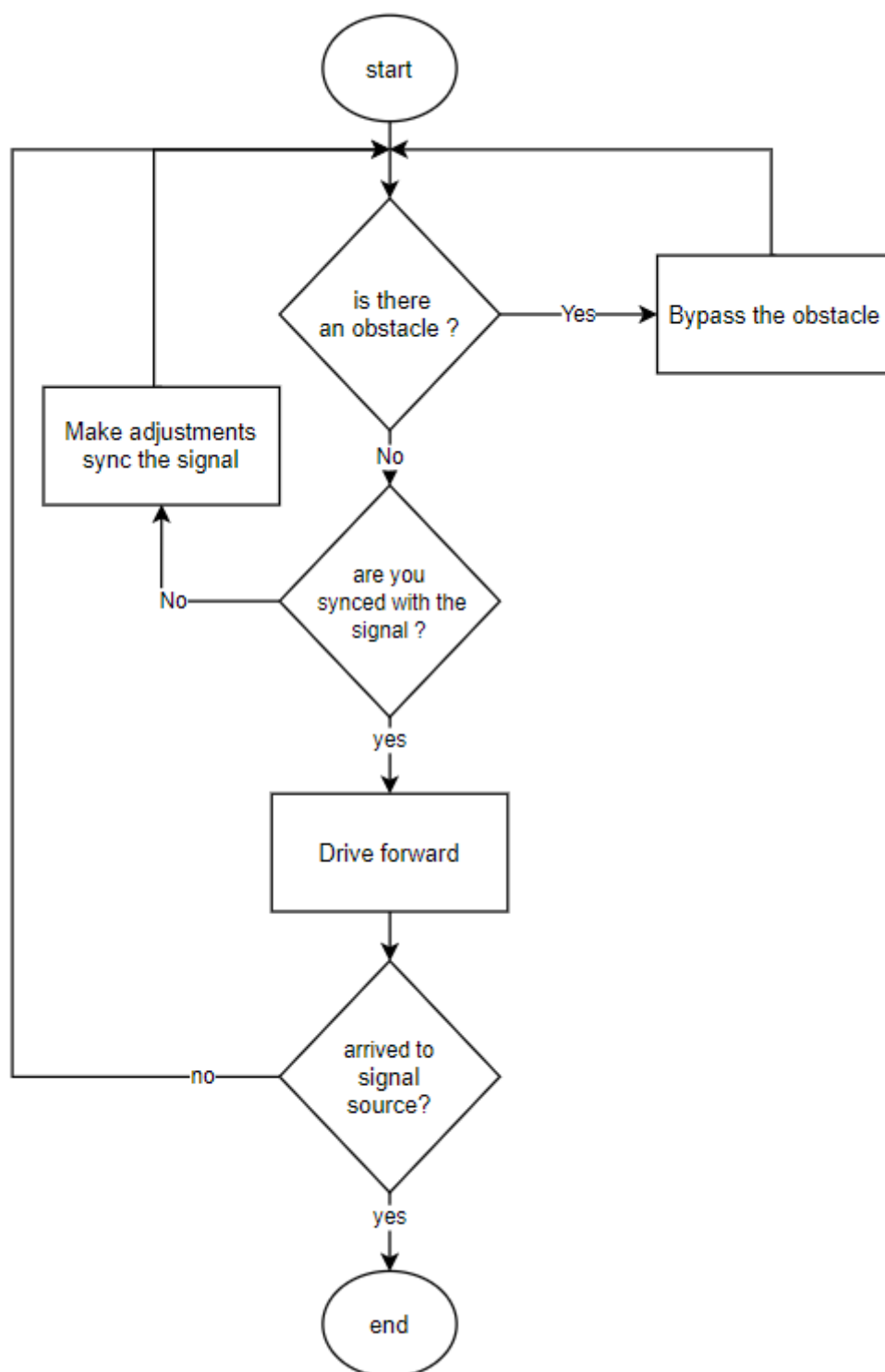
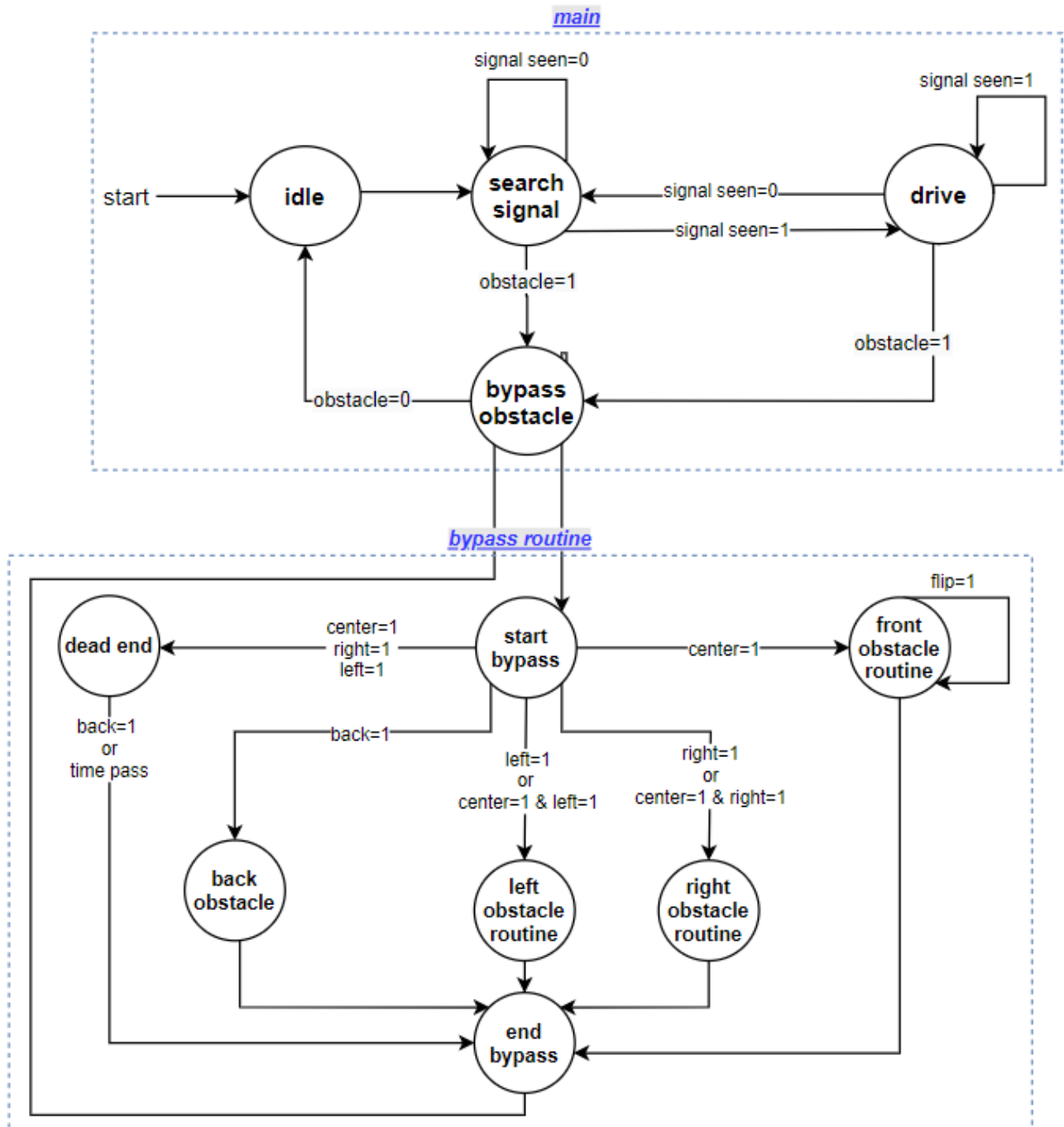


Figure 21

מכונת מצבים

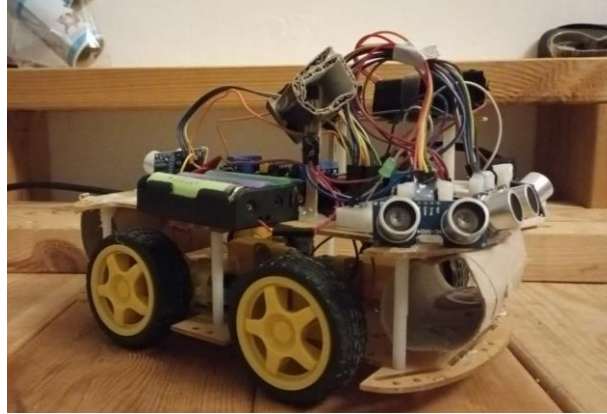
מכונת המצבים ממחישה את אופן מימוש הקוד.



22 Figure

שיקולי תכנון

1. החלטנו לבנות את הרכב עם 3 מקלטים ושלושה חיישני מרחק בזוויות 0, +45, -45, על מנת שנוכל לזהות מכשולים שנמצאים מלפני הרכב ושנדע מאיזה צד לעקוף אותם.
2. בחרנו לבנות את המשדר עם 3 נורות IR כדי הגדיל את המפתח ("הקונס") ליותר מ 20 מעלות.
3. בחרנו לעבוד עם סוללות נטענות מסוג 18650 בעלי 3.7 וולט מכיוון שהם נחשבות אמינות ויעילות לאורך זמן ובנוסף המתח מתאים לדרישות המערכת שהם עד 12 וולט עבור הארדואינו והשילד
4. הבעיה - המקלט קלט יותר מידי החזרות של האות.
הפתרון - צמצמנו את שדה הראיה שלו על ידי ליפוף של גליל סביבו והקטנת המפתח של הגליל בהתאם לתוצאות שראינו בסקופ.
5. הבעיה - היה קושי באינטגרציה של המערכת - המערכת לא עבדה כמו שציפינו בכך שלא התחמקה ממכשולים.
הפתרון - חילקנו את הקוד בצורה מסודרת לפונקציות כך שניתן לדבג את הקוד בצורה יעילה וכך מצאנו את הבעיות.
6. הבעיה - ריבוי חוטים הקשה על חיבור כלל המערכת.
הפתרון - על מנת להתמודד עם הבעיה ביצענו חיבור קודם בתוך כל תת מערכת, ולבסוף חיבור בין תתי מערכות.
7. הבעיה - הרכיבים והחיבורים היו רופפים, ולפעמים התנתקו במהלך הנסיעה.
הפתרון - בחיברנו את הרכיבים למרכב באמצעות ברגים ודבק חזק, ובנוסף למדנו גם כיצד להלחים וביצענו הלחמה של החוטים.
8. הבעיה - הרכב היה נראה עמוס ולא מסודר, ולא היה מקום לכל הסוללות.
הפתרון - הרכבנו וחיווטנו מחדש את הרכיבים (את מכלול השידור חיווטנו בשיטת *wire-up*).
הורדנו מקור מתח אחד והגדלנו את המתח במקור הנותר.
9. הרכבנו את פלטפורמת הרכב כך שהמנועים נמצאים בין הקומות, על מנת שהחוטים לא יסתבכו בגלגלים או רכיבים אחרים.
10. התלבטות האם לעשות שימוש בדרייבר המנוע בצורתו המקורית או בצורת שילד המובנה לארדואינו (*L293D Motor Shield*) בחרנו בשילד כדי לחסוך חיוטים ולקבל צורה יותר אסתטית. זה אמנם תופס את הפנים בבקר, אך מאחר ויש עוד כ-20 פנים פנויים בבקר זה מספיק לנו.
11. ניסינו בהתחלה להסתפק רק במקלט אחד בלבד ולעשות הפרדה בין קודים – קוד אחד למסלול הראשון וקוד אחד למסלול השני. פתרון זה לא היה אידיאלי כי נתקלנו בקשיים במציאת האות עם מקלט אחד בלבד ולכן הגענו להחלטה להוסיף עוד 2 מקלטים מקדימה בזווית של 45 מעלות לכל צד על מנת למצוא מיידית את האות במסלול הראשון.



23 Figure

מאפיינים חשמליים

מכלול שידור

200Hz

100Hz

$$V_B = 0.7V, V_C = 4V$$

$$V_B = 0.7V, V_C = 3.7V$$

$$V_C > V_B > V_E \rightarrow \text{transistor ACTIVE}$$

אנחנו מצפים שהגבר הזרם יהיה פי 100 לפי דף הנתונים של הטרנזיסטור

$$I_{base_{200Hz}} = \frac{0.51}{1k} \left[\frac{V}{\Omega} \right] = 0.51mA$$

$$I_{base_{100Hz}} = \frac{0.62}{1k} \left[\frac{V}{\Omega} \right] = 0.62mA$$

$$I_{Collector_{200Hz}} = \frac{0.52}{10} \left[\frac{V}{\Omega} \right] = 52mA$$

$$I_{Collector_{100Hz}} = \frac{0.65}{10} \left[\frac{V}{\Omega} \right] = 65mA$$

לאחר חישובים הוכחנו שאכן הציפייה שלנו התקיימה.

לפי דף הנתונים של משדר ה-IR ניתן לספק זרם ממושך עד $100mA$ ולכן יש באפשרותינו לספק קצת יותר זרם, נעשה זאת על ידי הקטנת גודל R2 מ-10 ל-7 אוהם. (על ידי חיבור במקביל עם גודל 22 אוהם)

$$R_{theory} = \frac{10 * 22}{10 + 22} = 6.875\Omega, \quad R_{practically} = 7\Omega$$

לאחר הקטנת גודל R2 ל-7 אוהם מדדנו וקיבלנו את הערכים הבאים:

$$I_{base_{200Hz}} = \frac{0.51}{1k} \left[\frac{V}{\Omega} \right] = 0.51mA$$

$$I_{base_{100Hz}} = \frac{0.62}{1k} \left[\frac{V}{\Omega} \right] = 0.62mA$$

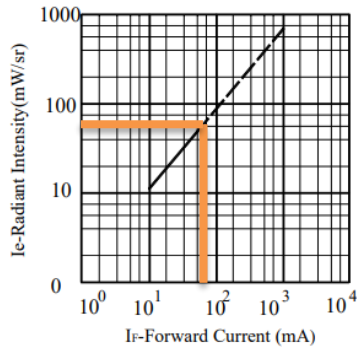
$$I_{Collector_{200Hz}} = \frac{0.44}{7} \left[\frac{V}{\Omega} \right] = 63mA$$

$$I_{Collector_{100Hz}} = \frac{0.65}{10} \left[\frac{V}{\Omega} \right] = 65mA$$

כפי שציפינו קיבלנו עליה בזרם -> שיפור בהספק השידור

חזור לתוכן עניינים

Fig.5 Relative Intensity vs.
Forward Current



24 Figure

מכלול קליטה

מכלול הקליטה מחובר ל 3 סוללות בעלות 3.7 וולט כל אחת לכם על סך 11.1 וולט. מנועי ה-DC צורכים במקסימום 1 אמפר על פי מדידות.

אתגרים הנדסיים

- התגברות על הספק חלש מידי שמוציא המשדר על פי המפורט לעיל.
- למידה וחקר על רכיבים שלא השתמשנו בהם בעבר כמו L293D ומשדר ומקלט IR.
- קליטת האות והתבייתות עליו.
- קליטה והתחמקות ממכשולים ומניעת התנגשויות בהם.
- תכנון פניות בלימות ונסיעות ומניעת סטיות של הרכב.
- אינטגרציה בין כל חלקי המערכת.
- ליטוש פרמטרים ואופטימיזציה סופית.

כלי פיתוח

1. Visual Studio
2. Arduino IDE
3. draw.IO
4. easyEDA

מקורות:

<https://github.com/CuriosityGym/MotorDriver/blob/master/src/MotorDriver.cpp>

[/https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/advanced-io/pulsein](https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/advanced-io/pulsein)

<https://www.aliexpress.com/item/32898809340.html>

<https://www.aliexpress.com/item/33027121452.html>

<https://www.aliexpress.com/item/32829319427.html>

<https://www.aliexpress.com/item/1005001334158037.html>

<https://www.aliexpress.com/item/32879064116.html>

<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>

<http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>