



מערכת רחיפה אלקטרו מגנטית לפרסום

מגישות:
שרה צדוק
ורחל סטון

מנחה:
מר יוסף גולובוצ'וב

שנה: תשע"ז - 2017

תוכן עינים

1	מבוא
8	תקציר הפרויקט
10	סכמת בלוקים
11	הסבר הרכיבים בסכמת המלבנים
11	ארדואינו און
14	חישן מיקום
15	מאפיין לך IR
16	מאפיין פוטו טרנזיסטור
18	ממשק שליטה ובקרה
21	רמקול
23	מערך דפ"א R G B
24	אלקטרומוגנט
24	הסבר
24	עיקרון פעולה
26	טרנזיסטור F E T
28	ספק מתח
30	שרטוט חשמלי
31	הסבר המערכת
31	תרשים זרימת המערכת
32	פירוט הרעיונית של התרשים
50	סיכום ומסקנות

מבוא

במהלך המאה העשרים, טכנולוגיית הרחיפה האלקטרומגנטית במגמת התפתחות אדירה. טכנולוגיה זו כשמה כן היא: תליה באוויר של חפצים ללא מגע מכני.

באסיה ובאירופה הגיע הפיתוח עד לרמה כזו שישנן רכבות העובדות בטכנולוגיה זו. רכבות אלו הן הרכבות המהירות בעולם כיוון שיש להן כמעט חיכוך שמתנגד לתנועה למעט החיכוך עם האוויר. רכבות אלו הן אמנם היישום הכי מרשים לטכנולוגיה זו, אולם קיימים עוד המון יישומים בתחום. מייסבים שלא נשחקים, מתקני תצוגה מושכי עין, ועוד. בפרויקט שלנו התמקדנו במערכת תלייה נקודתית, המבוססת על טכנולוגיית הרחיפה האלקטרומגנטית.

מטרת הפרויקט :

תכנון, פיתוח ובניית מעגל תליה אלקטרומגנטית עם מערכת בקרה אנלוגית.

במהלך עבודתנו על הפרויקט, פיתחנו את מתקן הרחיפה האלקטרומגנטי לאחר חשיבה מרובה. לאחר מכן עבדנו על פיתוח ממשק שליטה ובקרה המאפשר אפקטים קוליים ואורות. בנינו את המעגל החשמלי והתמודדנו עם לא מעט בעיות, הן בתחום המעגלים החשמליים והן בתחום הבקרה.

ב"ה עמדנו במטרות שהצבנו לעצמנו, והתוצאות שניתן לראותן בעין היו מרשימות ביותר. אובייקטים במשקלים ובצורות שונות ריחפו לנגד עינינו באוויר.

לסיכום נאמר שהעבודה על פרויקט כזה, הכולל בתוכו מגוון תחומים, הייתה מלאת אתגרים, מהמורות, ולא מעט מכשולים. אך עם זאת העבודה מלאת סיפוקים, מעשירה את הידע ומהנה מאוד!

בפרויקט שלנו הבאנו חשיבה צעירה ודינאמית ועתידית תוך ייעול המערכת האנלוגית ושימוש ברכיבים שונים.

יישומים של הטכנולוגיה

פיתוח המוצר נעשה לאחר העמקה וגילוי נדיר.

פיתוח שימושים אלו יהוו פריצת דרך וקידום הטכנולוגיה על ידי רחיפה מגנטית.

להלן תחומי השימוש הנעשים באלקטרומגנט במגוון רחב של תחומים:

- תחבורה ציבורית

בעשרות שנים האחרונות נוצר צורך להעברת אנשים רבים למרחקים גדולים תוך זמן קצר. בערים גדולות בכל העולם נוצרים עומסי תנועה ופקקים שיכולים להשבית את כל המדינה לכמה שעות. השימוש בטכנולוגיה רחיפה מגנטית בתחבורה ציבורית יבשתית (רכבות) נותן מענה לבעיה. בעזרת טכנולוגיה זו רכבות יכולות להגיע למהירויות עד 580 קמ"ש.

- תעשייה

תעשיית המחצבות היא תעשייה ענקית הכוללת אלפי מכרות ופירים מסביב לעולם. בתעשייה זו נדרשת כל הזמן העברה של מחצבים מתחת לאדמה אל פני השטח ומאתר החציבה החוצה. בכל יום מוציאים במכרות ברחבי העולם מיליוני שקלים על דלק ועל אחזקת משאיות. לכן מפתחת חברת (U S A) M A G L E V 2000, רכבות רחיפה מגנטית ייעודיות למכרות. לטענת החברה שימוש ברכבות אלו לא רק שיחסוך הוצאות על תחבורה, אלא גם יקצר את הזמן והמסלול להעברת המחצבים. בעוד שמשאיות לא יכולות לצאת ממחצב תלול, בכביש ישר אלא צריכות להתפתל, תצא הרכבת בקו ישר. כמו כן בהעברה מתחת לאדמה, במקום להשתמש ברשת סבוכה של פירים, מחילות וקרונויות, ניתן יהיה לחצוב מנהרה בקו ישר כמעט, לקרונות הרחיפה המגנטית. בהעברת מחצבים, מתבזבזת המון אנרגיה על חיכוך, בעקבות נפילת מחצבים על המסילות והכבישים. העובדה שלרכבת רחיפה מגנטית חיכוך זניח חוסכת את האנרגיה הזאת, וחוסכת כסף.

- מעבדות טכנולוגיות

בחלק רב של המעבדות העוסקות בנוטכנולוגיות (כגון חדר נקי c l e a n r o o m) –רמת איכות של הבדיקות או של המוצרים תלויות הרבה בניקיון של המעבדה. במעבדות מסוג זה רמת ניקיון נמדדת בכמות חלקיקי לכלוך למ"ק! שימוש בטכנולוגיה רחיפה מגנטית מאפשר העברת הגוף ללא מגע מכאני עם מישור התנועה. הדבר מונע את יצירת הכללוך כתוצאה מחיכוך בין שני גופים. כתוצאה מזה רמת ניקיון תעלה וגם איכות המוצרים תשתפר בהתאם.

- שיגור לחלל

שיגור לחלל הוא עסק יקר מאוד. בשביל להתגבר על כוח המשיכה של כדור הארץ יש צורך בהאצה חזקה מאוד. חברת 2000 M A G L E V (U S A) עובדת על הפרויקט M a g L i f t e r שיאפשר להאיץ את טיל השיגור בעזרת רכבת רחיפה מגנטית, עד למהירות של 960קמ"ש. במהירות זו להגיע לשיפוע אנכי, ולבלום את הרכבת בעוצמה. כתוצאה מכוח האינרטי חזק טיל השיגור ימריא במהירות.

אַהֲלָה שֵׁם אֱלֹקִים בְּשִׁיר וְאַנְדָּלָנוּ בְּתוֹדָה". (תהילים פ"ט, י"א)

ראשית, נודה לבורא עולם על כל הסיעתא דשמיא שליוותה אותנו לכל אורך הפרויקט, שהכל בעזרתו ובזכותו .

תודה רבה! למנחה מר יוסף גולובצ'וב על העידוד הרב והענקת רעיונות לפיתוח הפרויקט.

וכמובן, לגב' שרה גנוט שמלווה אותנו ולא נותנת לנו להרפות ותמיד עם חיוך.

ולמנהלת חיה צ'סרק על כל הדאגה והמסירות במאור פנים!

למר יוני צדוק שהקדיש מזמנו ובלעדיו הפרויקט לא היה מגיע לסיומו.

לחברותינו המדהימות! שהחוויה איתם תרמה את הכוח להמשיך, ולהתגבר על האתגרים למרות שהיו נראים לא מציאותיים.

ומעל הכל חיבתנו ותודתנו נתונה להורינו היקרים שנתנו לנו את כל הזמן ללמידה על מנת שנוכל להצליח ולהפיק את המרב מכוחותנו.

יישר כוח!

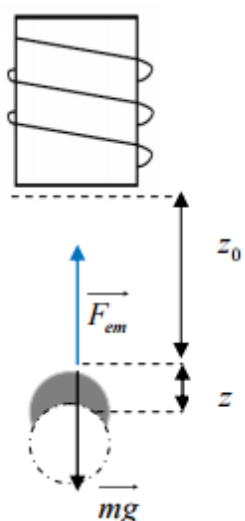
מבוא פיסיקלי

על פי החוק הראשון של ניוטון "גוף ישאף להתמיד במהירותו, כל עוד סכום כל הכוחות הפועלים עליו הינו אפס" במקרה שלנו הכוחות פועלים על האובייקט הם:

כוח הכבידה של כדור הארץ התלוי במסת האובייקט m ובקבוע g שערכו 9.8. כיוון הכוח כלפי מרכז כדור"א, גודל הכוח נתון במשוואה $F = m \cdot g$

כוח מגנטי שנוצר כתוצאה מאלקטרומגנט m ו F_e , התלוי בעוצמת הזרם הזורם בסליל של האלקטרו-מגנט, ובמרחק ממנו.

באיור 1 ניתן ליראות את תרשים הכוחות הפועלים על הגוף המרחף.



לפיכך, באופן תיאורטי, אם נצליח למצוא נקודת עבודה מדויקת, שבה הכוח של F_e מ F_m האלקטרומגנט שווה בדיוק מושלם ל- mg , ניתן לגרום לאובייקט להתמיד במנוחתו- להישאר במקום. כמובן שכל זה נכון רק באופן תיאורטי ולא ניתן למימוש במציאות. מכיוון שהכוח הפועל כלפי מעלה תלוי במיקום הגוף.

וכל שינוי אנכי במיקום הגוף יגרום לשינוי הכוח של האלקטרומגנט. לכן בלתי אפשרי למצוא את הנקודה שבה הכוח המגנטי יהיה בדיוק בגודל של כוח המשיכה משום שזה תלוי בדיוק גבוה מאוד במרחק מהאלקטרו-מגנט ולכן כתוצאה מכך סכום הכוחות הפועלים על הגוף יהיה שונה מאפס, והאובייקט יעבור ממצב של שיווי משקל למצב של תאוצה למעלה או למטה.

על מנת לייצב את האובייקט במצב מנוחה, בציר האנכי, עלינו לפתח מערכת בקרה שמטרתה, לזהות את מיקום הגוף, ולשנות את עוצמת הזרם באלקטרומגנט כפונקציה של המיקום. באופן כזה הכוח F_e מהאלקטרומגנט מפעיל יהיה תלוי במיקום של הגוף. בהנחה והגוף רחוק מידי שאז עצמת הכוח של האלקטרו מגנט קטנה mg אז נגדיל את הזרם על מנת שהכוח F_e יגבר וימשוך כלפי מעלה. וכאשר הגוף קרוב מידי לאלקטרו מגנט שאז עוצמת הכוח של האלקטרו מגנט גדולה mg אז נקטין את הזרם על מנת ש mg יגבר וימשוך כלפי מטה. כתוצאה מכך הגוף יתנדנד סביב נקודת עבודה עד שיתייצב. לאחר התייצבות בנקודת העבודה שינויי הזרם והמיקום יהיו כל כך קטנים ומהירים, כך שללא מדידה לא ניתן יהיה לראותם. כאשר נתכנן את מערכת הבקרה הזו, יהיה עלינו לוודא שזמן התגובה של המערכת לשינוי במיקום לא יהיה גדול מידי, והמערכת כבר תצא מאיזון. כמו כן יהיה עלינו לוודא שהשינוי בעוצמת הזרם לא יהיה גדול מידי, והמערכת תצא מאיזון ותתבדר.

אישור משרד החינוך

תקציר הפרויקט

מערכת הרחיפה האלקטרומגנטית הינה מערכת המכילה אפקטים רבים ומעניינים אשר ניתנים לרחיפה באמצעות בקרה.

למערכת זו יש שימושים רבים הגורמים לקהל להתעניין בה במיוחד, כיון שבאמצעותה ניתן לפרסם באופן חדשני וטכנולוגי דבר הגורם להתפעלות רבה בעיני הקהל ובכך הצלחת השיווק מתעצמת.

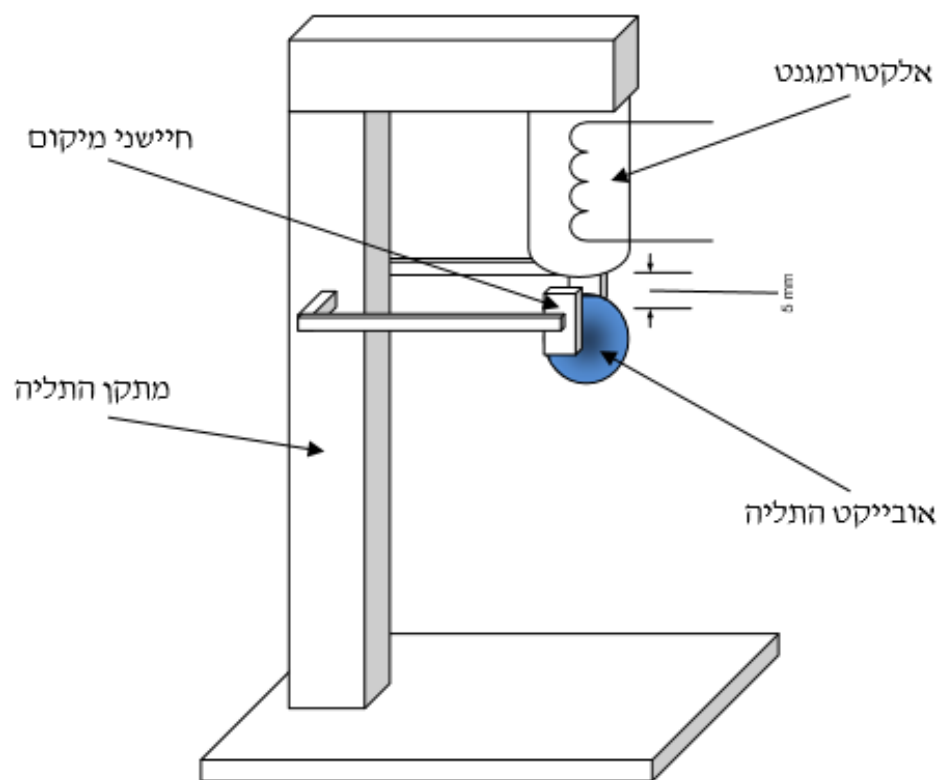
רחיפת הגוף מתבצעת על ידי אלקטרומגנט באמצעות ויסות זרם המהווה חשיבות רבה וזאת בכדי לגרום לגוף לרחף ולא להיצמד אל האלקטרומגנט.

תפקידו של האלקטרומגנט למשוך אליו את הגוף. התקנת האלקטרומגנט היא לא רק לחבר את הסליל למקור מתח כדי שימשוך אליו את המגנט, כיון שאז הגוף המרחף ישנה את מיקומו וימשך אל הסליל עד שייצמד אליו. אלא צריך לווסת את הזרם כך שכאשר הגוף נמשך אל הסליל – הזרם בו יפחת ובעצם תהיה פחות משיכה, ולהיפך כשהגוף מתרחק מהסליל – הזרם בו יגדל כדי שהגוף ימשך יותר. כמובן שוויסות זה צריך להתבצע מהר ככל האפשר כך שהעין שלנו לא תבחין בשינוי מיקומו של הגוף.

לשם כך השתמשנו בכמה מערכות שעובדות בו זמנית:

- מערכת לגילוי המיקום של הגוף, שמאתרת את מיקומו בדיוקנות ובמהירות על ידי $I R$ ופוטו טרנזיסטור $I R$. שהם יחד משמשים כחיישן מיקום.
- אלגוריתם הקולט את מיקום הגוף על מנת יוכל למצוא את מרחק הגוף מהנקודה הרצויה ולהחזיר את הגוף למקומו.
- מערכת המשנה את הזרם בסליל של האלקטרו מגנט על ידי טרנזיסטור, במהירות ע"פ תוצאות האלגוריתם.

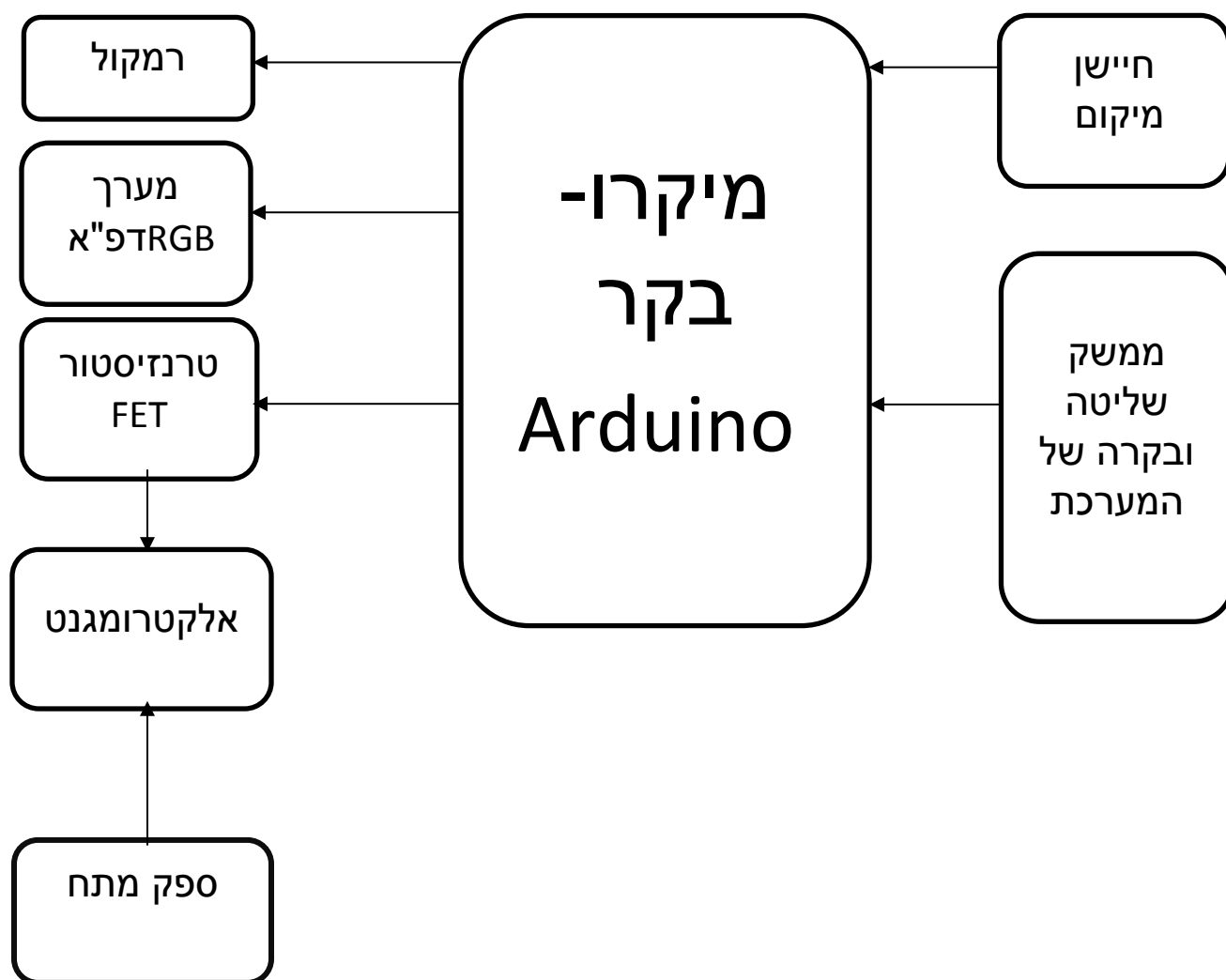
השתמשנו בלוח ארדואינו אנוני כדי לחבר את שלושת המערכות הללו.



מעל המתקן יש סטרפים של לדים שיוסיפו אור בצבעים חיים ומקצבים שנבחר. וכן רמקולים שישמיעו גם מגנינות - לתוספת משיכה.

את האפקטים הנ"ל ניתן לבקר באמצעות לוח מקשים 4x4 שמחובר למערכת.

סכמת בלוקים



הסבר הרכיבים בסכמת המלבנים

ארדואינו אונו

ארדואינו (a r d u i n o) הוא:

כרטיס - המכיל 'מיקרו בקר' מסדרת AVR של חברת ATME L (למעלה מ-20 כרטיסים שונים).
אנחנו השתמשנו במיקרו בקר ATME G A 328

מפרט המכשיר:

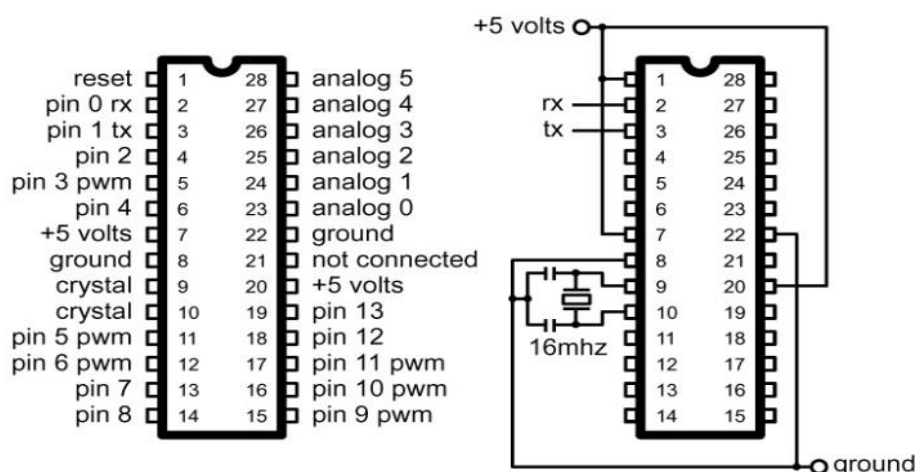
א. המאפיינים העיקריים של ערכת ארדואינו אונו - Ar d u i n o U n o

- תדר שעון 16MHz.
 - מתח עבודה -5V אם מחברים ליציאת US B במחשב או אספקת מתח מומלך מספק/מטען בין 7 ל 9 וולט. (הגבולות בין 6 ל 20 וולט).
 - כל הדק I / O יכול לספק או לקבל זרם של עד 40mA.
 - זיכרון תכנית (f l a s h) בגודל 32K בתים.
 - זיכרון נתונים (r a m) בגודל 2K בתים.
 - זיכרון נתונים נוסף מסוג E E P R O M בגודל 1K בתים
 - 14 כניסות ויציאות דיגיטליות מתוכן 6 יציאות שיכולות לתת P W M (אפנון רוחב דופק).
 - 6 כניסות אנאלוגיות ברזולוציה של 10 סיביות.
 - תקשורת טורית (r s 232 , i 2 c , s p i)
 - 2 פסיקות חיצוניות.
- מאפיינים חשמליים מסוכמים בטבלה:

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-9V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) (0.5 KB used by bootloader)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

ב. הדקי המיקרו בקר :

בשרטוט רואים את הדקי המיקרו בקר ATMEGA328 במבנה Dual In Line - DIP
P a c k a g e



בשרטוט ההדקים רואים שמתח ההפעלה - מתח ספק - של 5 וולט מתחבר בין ההדקים 7 ו 20 שהם הדקי הפלוס (+) וההדקים 8 ו 22 הם הדקי המינוס (- האדמה). מתח ספק מותר הוא מ 1.8 ועד 6 וולט.

בין ההדקים 9 ו 10 מתחבר גביש של 16MHz. הגביש משמש כמעגל תהודה ויחד עם המגבר הנמצא בתוך המיקרו בקר יוצרים מעגל שנקרא מתנד שנותן את פולסי השעון (c l o c k p u l s e s) המפעילים את המיקרו בקר וקובעים את תדר העבודה של המיקרו (ובעצם את מהירות העבודה). ניתן לחבר גביש חיצוני עד 20MHz.

הדק 1 הוא הדק האתחול - R E S E T - של המיקרו. 'ס' בהדק הזה גורם לאתחול של כל הרגיסטרים הפנימיים ומעגלי האלקטרוניקה שבתוך המיקרו למצב ידוע ומוגדר.

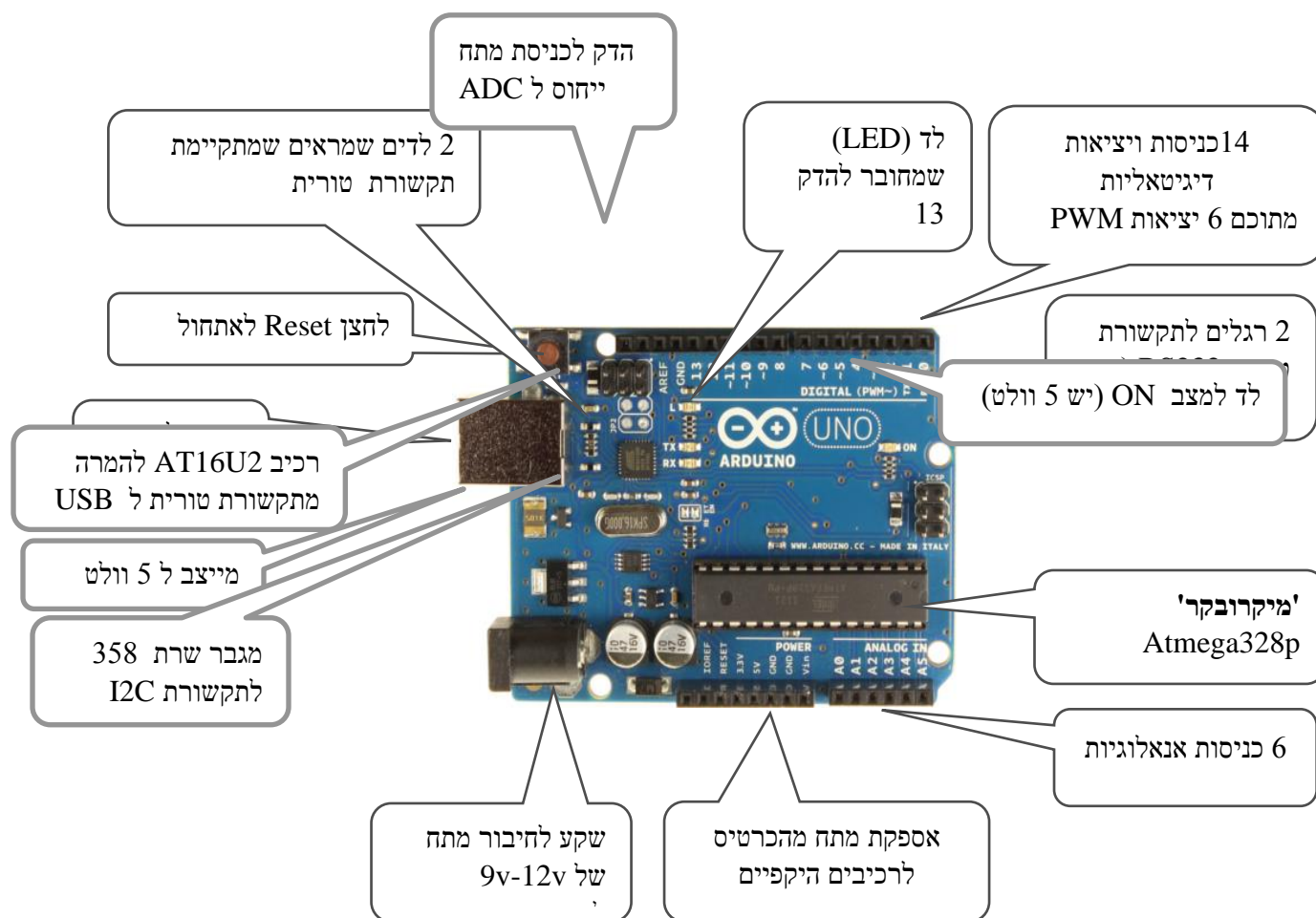
הדק 21 איננו מחובר.

ההדקים 23 עד 28 הם 6 הדקי כניסה אנלוגיים.

ההדקים 2 עד 6 ו 11 עד 19 הם 14 הדקים שיכולים לשמש כקלט או פלט דיגיטאליים. מתוך ההדקים האלו יכולים ההדקים 2 ו 3 לשמש כהדקי התקשורת הטורית של המיקרו ואילו ההדקים 5, 11, 12 ו 15 עד 17 (סה"כ 6 הדקים), לשמש ל PWM - P u l s e W i d t h M o d u l a t o r - אופן רוחב דופק (לקביעת עצמת מהירות מנוע או עצמת תאורה של לד - יוסבר במהלך הניסויים). מספרי הפינים משמשים גם בהוראות התכנה.

ג. ערכת הארדואינו אונו

שרטוט כרטיס הארדואינו אונו.



חיישן מיקום

עבור חיישן המיקום נשתמש בלד אינפרא אדום ומולו פוטו טרנזיסטור, כאשר הפוטו טרנזיסטור קולט את האינפרא אדום הוא ממיר זאת למתח. ככול שהפוטו טרנזיסטור קולט יותר אור הוא מפיק יותר מתח. תפקידו לזהות את מיקום הגוף בהתאם לעוצמת האור שקולט וכך לדעת כמה זרם דרוש לאלקטרומגנט.

כפי שידוע בספרות של השנים האחרונות, אור הינו למעשה גל אלקטרו מגנטי. שינוי הצבע של האור תלוי באורך הגל של הגל האלקטרו מגנטי. בטבלה ניתן לראות את ספקטרום האור הנראה

		
צבע	תדירות	אורך גל
סגול	THz 789–668	nm 450–380
כחול	THz 668–606	nm 495–450
ירוק	THz 606–526	nm 570–495
צהוב	THz 526–508	nm 590–570
כתום	THz 508–484	nm 620–590
אדום	THz 484–400	nm 750–620

אנו בפרויקט עוסקות באור שאינו נראה שניקרא אינפרא רד (I n f r a R e d) שמקבל את שמו משום שבספקטרום הוא נימצא באורכי גל הגדולים מן אורכי הגל של האור האדום שנימצא בקצה של ספקטרום האור הנראה.

מאפייניי לד IR

הלד שאנו עוסקות בו הוא לד אינפרה-אדום בסיסי הפועל באורך גל של 850nm ואלומת הפיזור שלו היא כ-60 מעלות. הוא מצוין לזיהוי עצמים ללא מגע. נצרף אליו חישן אינפרה-אדום ונקבל מערכת זיהוי עצמים פשוטה.

**מאפיינים:**

- צבע: אינפרה אדום
- עדשה: שקופה
- זווית ראיה: 60 deg
- אורך גל: 850 nm
- מפל מתח: 1.4-1.6 V
- זרם רציף מקסימלי: 50mA
- זרם רגעי מקסימלי: 80mA

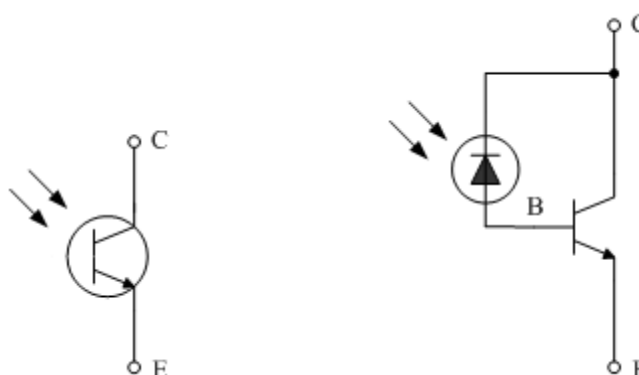
הלד מורכב משני הדקי דיודה הנקראים אנודה וקטודה כאשר כיוון הזרם החשמלי הוא מהאנודה לקטודה, ועל כן בחיבור הלד למקור מתח יש צורך לתת באנודה את הפוטנציאל החיובי ובקטודה את הפוטנציאל השלילי. חיברנו את האנודה לרגל דיגיטאלית של הארדוואנו שמספק לנו 5V על מנת שיהיה לנו שליטה עליו ואת האנודה חיברנו לנגד של $70\ \Omega$ בטור. לפי החישוב: המתח שנופל על הלד והוא בממוצע 1.5V והזרם הוא 50mA, לכן לפי חוק אום $R=U/I$ (התנגדות שווה למתח חלקי הזרם).

$R=3.5/0.05$ לכן הנגד שאנו צריכים הוא $70\ \Omega$.

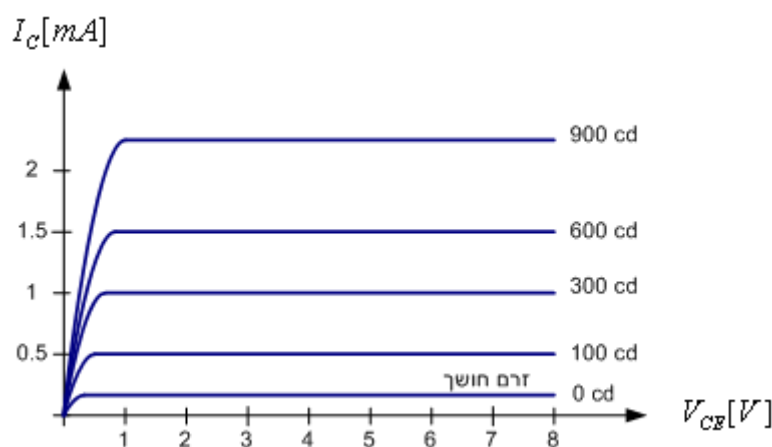
מאפייני פוטו טרנזיסטור

הפוטו-טרנזיסטור דומה במבנהו לטרנזיסטור רגיל, אך הוא בעל מעטפת שקופה, הפועלת כעדשה המרכזת את הקרינה אל הצומת בסיס - קולט.

את הפוטו-טרנזיסטור, אפשר לתאר כטרנזיסטור רגיל ופוטו-דיודה המחוברת אליו בצומת בסיס קולט, המתואר באיור.



אחד השימושים העיקריים של מעגל הכולל פוטו טרנזיסטור הוא זיהוי מקור אור. באיור מתואר הזרם I_C בתלות בעצמת ההארה על פני הפוטו-טרנזיסטור. אפשר לראות כי האופייניים זהים בצורתם לצורת האופייניים של טרנזיסטור דו-נושאי, ובמקום שכל אופיין מתאר זרם I_B מסוים, כאן כל אופיין מתאר עצמת הארה שונה.



אנו חיברנו את האמיטר של הפוטו טרנזיסטור דרך נגד $10K$ לאדמה, וכך ככל שעוצמת האור בבסיס הטרנזיסטור גדלה הזרם יגבר ובכך מתח v_{out} יגדל. על מנת להמיר את הזרם שלו למתח, את מוצא המתח חיברנו לפין אנלוגי שהוא ממיר את האות האנלוגי למספר דיגיטלי בין 10 ביטים (כלומר ערכים בין 0-1023).

ממשק שליטה ובקרה

זהו התקן קלט, המקשר בין המשתמש למערכת מיקרו. התקן זה כולל 16 לחצנים המסודרים ב-4 שורות ו-4 עמודות. את ה ROWS מסמנים ב R 1-R 4 , את ה C O L O U M S (עמודות) מסמנים ב C 4-C 1. כל לחיצה על מקש מקצרת בין שורה לעמודה בהתאם.

הלוח כולל ספרות מ-0 עד 9 ובנוסף את המפסקים המסומנים ב * - ו # 41 אותיות.



קיימים מספר סוגי לוחות מקשים.אנו השתמשנו בנפוץ ביותר הוא מסוג מטריצה שורות עמודות. בכל מפגש של שורה עם עמודה מחובר לחצן, לחיצה על מקש מסוים מקצרת בין עמודה ושורה מסוימים. היתרון בצורת מטריצה זו היא מס' קווים קטן לעומת לוח מקשים שבו יש 17 קווים. אחד משותף ואחד עבור כל אחד מ 16 המקשים.

ללוח מקשים מסוג מטריצה יש קונקטור (מחבר) בן 8 הדקים.

בפרויקט שלנו השתמשנו בלוח המקשים על מנת שהמשתמש יוכל לבחור אפקטי אור ושמע.

טבלת הצטלבות השורות והעמודות בלחיצה על מקש:

המקש	עמודה (קו אנכי)	שורה (קו אופקי)
1	C 1	R 1
2	C 2	R 1
3	C 3	R 1
A	C 4	R 1
4	C 1	R 2
5	C 2	R 2
6	C 3	R 2
B	C 4	R 2
7	C 1	R 3
8	C 2	R 3
9	C 3	R 3
C	C 4	R 3
*	C 1	R 4
0	C 2	R 4
#	C 3	R 4
D	C 4	R 4

עיקרון גילוי מקש לחוץ: שיטת 'ס' רץ

מגדירים את העמודות כפלט ואת השורות כקלט.

נשים 'ס' באחת העמודות ו'1' בשלושת העמודות האחרות ($C_1=0, C_2=C_3=C_4=1$) ואז בודקים את מצב השורות. אם 4 השורות נמצאות בגובה '1' ($R_1=R_2=R_3=R_4=HI\ GH$) , אז אף מקש בעמודה זו איננו לחוץ ואז מעבירים את האפס לעמודה הבאה ($C_1=C_3=C_4=1, C_2=0$) ושוב מבצעים את אותה הבדיקה על השורות. כך עושים גם לגבי העמודה השלישית ($C_1=C_2=C_4=1, C_3=0$) וכן ברביעית. במידה ובאחת השורות מגלים שאין $HI\ GH$ '1' , כלומר יש LOW 'ס' זה אומר שאחד המקשים לחוץ ואז נמצא בעזרת תוכנה באיזו שורה נמצא ה LOW 'ס'. המפגש של העמודה אליה הוצאנו 'ס' עם השורה שבה קיבלנו את ה 'ס' נותן לנו את מספר המקש..

למשל, נניח שלחצנו על מקש '5', מקש זה נמצא בעמודה 2 ושורה 2. אנו נתחיל לסרוק את עמודות המקלדת, לשם כך נקבע 'ס' לוגי בעמודה מספר 1 ובשאר העמודות '1' לוגי. כעת נקרא את פורט 1 ונשים ב 4 הביטים הגבוהים שלו '1'. מכיוון שהמקש שנלחץ הוא לא מעמודה מס' 1 הערך שיקרא הוא $R_1=R_2=R_3=R_4=HI$ (כלומר אין מקש לחץ). אנו נמשיך בסריקה וכעת נקבע 'ס' לוגי בעמודה 2 ובשאר העמודות '1' לוגי. כעת נקבל $R_2=0, R_1=R_3=R_4=HI$. מכאן שהמקש הנלחץ הוא מעמודה זו. כעת נמצא את הסיבית שערכה 'ס' מעמודה זו וניתן לדעת שזה 5.

רמקול

רמקול (הלחם של המילים "רם" ו"קול")

הוא מתמר המשמש להפיכת אותות חשמליים לצלילים שניתן לשמוע להשמעת האפקטים הקוליים.

מבנה הרמקול:

רמקול בסיסי בנוי ממגנט קבוע ומסליל של מוליך חשמלי החופשי לנוע בתוך השדה המגנטי הקבוע של המגנט. אל הסליל מחוברת דיאפראגמה (- ממברנה דקה, צפידה למחצה) בצורה המזכירה חרוט רחב בסיס. שולי הממברנה מחוברים אל מסגרת מתכתית בחיבור גמיש שאיננו מונע את תנועתה. המגנט הקבוע מחובר אל המסגרת המתכתית בחיבור קשיח. כאשר זרם חשמלי עובר בסליל מושרה מתוך הסליל שדה אלקטרומגנטי שעוצמתו וכיוונו יחסיים לעוצמת הזרם החשמלי ולכיוונו. שדה אלקטרומגנטי זה גורם לתנועה של הסליל ביחס למגנט הקבוע הנגרמת מהכוחות הפועלים בין השדה המגנטי הקבוע והשדה האלקטרומגנטי המושרה מתוך הסליל. תנועת הסליל גורמת לתנועה של הממברנה המחוברת אליו, וזו דוחפת את האוויר שמסביבה בכיוון ובעוצמה יחסיים לכיוונו ולעוצמתו של הזרם החשמלי העובר בסליל. מכאן שכאשר הזרם החשמלי העובר בסליל מתנדנד, הוא יגרום לתנודה של הממברנה בקצב ובעוצמה התואמים לקצב ועוצמת תנודות הזרם, ולהרעדת האוויר סביב הממברנה. תנודות האוויר הנוצרות הן גלי קול - הצלילים המופקים מהרמקול.

קיימים גם רמקולים הפועלים על עקרון הפיאזואלקטריות ובנויים ללא סליל או מגנט. רמקולים אלו נפוצים מאוד במכשירים אלקטרוניים זעירים או בהתקנים המיועדים להשמעת תדר גבוה.

בדרך כלל הרמקול נתון בתיבת תהודה שאליה מקובעת המסגרת המתכתית שלו. לתיבה חשיבות פונקציונלית לפעולת הרמקול - תנועת הממברנה יוצרת גלי קול ישירים קדימה וגלי קול עקיפים בצידה השני שהם בעלי מופע הפוך ובתחום תדרים מסוים מבטלים את הגלים הישירים. נוצר הצורך אם כך בבידוד של הגלים העקיפים או הפיכת המופע והחזרה קדימה (שיטת "בס רפלקס") וכאן נכנסת לפעולה תיבת הרמקול. בנוסף, תיבת הרמקול יוצרת עומס על הממברנה שמתנהג כמו קפיץ התורם לריסונה ומונע תהודה בלתי רצויה של הממברנה. קיימת חשיבות גדולה לנפח התיבה ולצורתה כמו גם לחומר שממנו היא עשויה - תיבות איכותיות לרוב בנויות משבבי עץ דחוסים המקנים בידוד אקוסטי טוב. בנוסף, התיבה מגנה על הרמקול מפני פגיעות ומסתירה אותו ובכך משפרת את המראה העיצובי החיצוני שלו.

הרמקול שאנו משתמשות בו הוא רמקול פשוט.



מאפיינים:

- התנגדות: 8Ω .
- הספק: $0.5W$.

חיברנו את הרמקול ישירות לרגל דיגיטלית של הארדואינו וזאת על מנת שיופק קול גבוה.

מערך דפ"א RGB

סרט לד הוא סרט דק וגמיש שעליו מחוברים דיודות פולטות אור לאורכו. הסרט מופיע בגליל ארוך וניתן לגזור בהתאם לצורך. לרוב הסרט לד פועל על מתח חשמלי של 12V או 24V וזרם ישר, (DC) לכן על מנת לחברו למתח ביתי דרוש ספק כוח.

ישנם הספקים שונים של סרטי לד; ההספק משתנה בהתאם לצפיפות הדיודות ובהתאם לגודל הדיודות; לדוגמה, סרט לד בהספק של 4.8W למטר מכיל 60 דיודות של גודל 3528 [35 מ"מ × 28 מ"מ].

סרט לד משמש למגוון רחב שימושים. לתאורה נסתרת, לתאורת תקרה [לרוב בתוך פרופיל אלומיניום] לתאורה תחת ארונות מטבח, לארונות תצוגה, להארת אובייקטים שונים, ולעיצובים שונים.

אנו משתמשות בלדים על מנת ליפות את הפרויקט.



אלקטרומגנט

הסבר

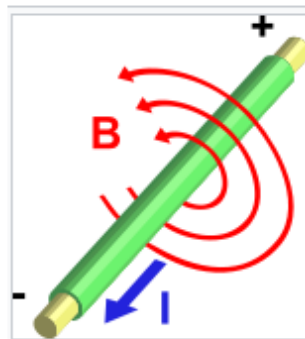
אלקטרומגנט הוא סוג של מגנט שבו השדה המגנטי מופק באמצעות זרם חשמלי המועבר מסביב לליבת מתכת, ובו השדה המגנטי מתפוגג כאשר הזרם החשמלי נפסק. האלקטרומגנט משתמש בחשמל כדי להפיק כוח מגנטי. המבנה הבסיסי של אלקטרומגנט הוא ליבה של חומר (פרומגנטי) לרוב ברזל סביבה מלופף סליל מחומר מוליך, לרוב נחושת. עם העברת זרם חשמלי בסליל נוצר שדה מגנטי בתוך הליבה והופך אותה למגנט חזק.

יתרון האלקטרומגנט על פני מגנט רגיל הוא שניתן ליצור שדה מגנטי חזק, וניתן לשלוט על עוצמתו; החיסרון הוא שנדרש זרם חשמלי כדי לקיים את השדה המגנטי.

לאלקטרומגנט שימושים רבים בטכנולוגיה, במנועים חשמליים, גנרטורים, שנאים ועוד.

עיקרון פעולה

הצורה הבסיסית ביותר של אלקטרומגנט היא תיל שדרכו עובר זרם חשמלי, היוצר שדה מגנטי. שדה מגנטי הנוצר כתוצאה מזרימת זרם דרך חוט מוליך מתנהג לפי כלל יד ימין: כאשר היד סגורה בצורה של אגרוף והאגודל ישר, אזי האגודל מצביע לכיוון הזרם, השדה המגנטי יתעטף מסביב לחוט בכיוון המצוין על ידי האצבעות של יד ימין (ראו איור). עוצמת השדה המגנטי פרופורציונית לעוצמת הזרם החשמלי העובר דרך החוט.

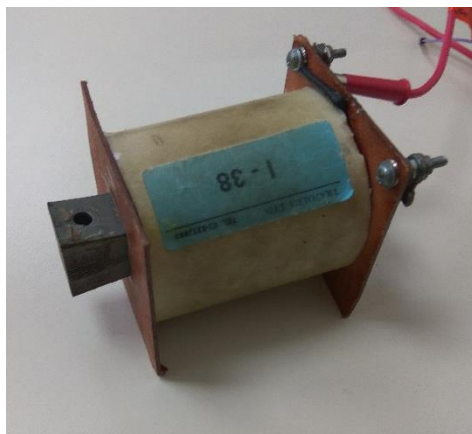


כדי לרכז את השדה המגנטי, מעצבים את התיל בצורה של סליל שבו מקטעים רבים של התיל נמצאים זה לצד זה. הודות למבנה הזה כל התרומות של התיל לשדה המגנטי מתחברות לאורך הציר של הסליל לשדה חזק יותר מזה של תיל ישר. סליל ישר (מעוצב בצורת בורג) נקרא סולנואיד; סולנואיד מכופף לצורת כעך נקרא טורואיד. שדה מגנטי חזק יותר יכול להיווצר אם ליבה מחומר בעל מקדם מגנטיות גבוה מונחת בתוך הסליל, כלומר

חומר (פאראמגנטי או פרומגנטי) בדרך כלל ברזל רך. הליבה מחזקת את השדה המגנטי באופן משמעותי לעומת השדה הנוצר מהסליל לבדו.

כפי שמתואר לעיל, עוצמת הזרם שנכניס לסליל של האלקטרו מגנט תשלוט בסופו של דבר על עוצמת המשיכה שהאלקטרו מגנט ימשך את הגוף שלנו.

באיור ניתן לראות את האלקטרו מגנט שלנו, ואת הליבה הפרומגנטית.



טרנזיסטור FET

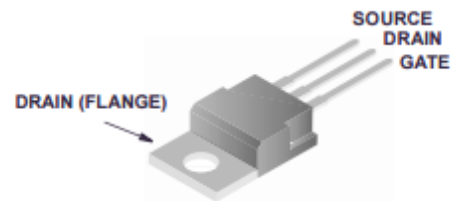
כפי שניתן לראות מתוך הנתונים על כרטיס הארדאיון, הזרם המקסימלי שהוא יכול לתת הוא 50 mA בעוד שבשכיל האלקטרו מגנט יש צורך בזרם גדול בהרבה. על כן הפתרון האלגנטי ביותר הוא להשתמש בספק מתח חיצוני, שיוכל לספק כמות גדולה של זרם הרבה יותר ממה שהארדאיון יכול לספק.

על מנת שנוכל להשתמש בספק כוח החיצוני, יש צורך לבנות מערכת שתוכל לשלוט על כמות הזרם שהספק ייתן. מערכת זו נעשית על ידי פעולת המיתוג. פעולת המיתוג מתבצעת על ידי טרנזיסטור מסוג MOS FET.

לטרנזיסטור MOS FET יש 3 רגליים:

- (שער) Gate – כניסת הטרנזיסטור
- (שפך) Drain – מחובר לפוטנציאל החיובי של הספק
- (מקור) Source – מחובר לפוטנציאל השלילי של הספק

באזור ניתן לראות תמונה של טרנזיסטור MOS FET



ניתן לחלק את התנהגותו של טרנזיסטור MOS FET ל-3 מצבי פעולה עיקריים, התלויים במתחים המופעלים על הדקוי, אשר הם V_{gs} הוא המתח של השער ביחס למקור V_{ds} , הוא המתח של השפך ביחס למקור, ו V_{t} הוא מתח הסף שמתחתיו אין זרם בטרנזיסטור.

- (קטעון) או תת-הולכה – כאשר המתח על השער נמוך ממתח הסף, אין כמעט שכבת אינוורסיה, ולכן לא יכול לזרום זרם מהמקור לשפך. במצב זה, הטרנזיסטור מעביר זרם חלש (זרמי זליגה) על ידי דיפוזיה כתלות במתחים V_{ds} , V_{gs} .
- לינארי – כאשר המתח על השער גבוה ממתח הסף, נוצרת שכבת אינוורסיה, והטרנזיסטור מעביר זרם (על ידי סחיפה שנוצרת מן השדה החשמלי) בתלות במתח V_{ds} אך גם במידת האינוורסיה שתלויה במתח V_{gs} (מתח השער). ככל שמתח השער עולה, יותר נושאי מטען מוזרקים מה Source אל התעלה, האינוורסיה גדלה, ההתנגדות קטנה ויכולה לאפשר זרם גדול יותר. במצב פעולה זה הטרנזיסטור מתנהג בקירוב כנגד בין המקור לשפך, $Drain$ to $Source$, והוא שימושי בעיקר למיתוג וניתוב של אותות חשמליים.

- רוויה - כאשר V_{ds} גדול מ, $V_{gs} - V_t$ הטרנזיסטור מפסיק להתנהג כנגד. מהירות תנועת נושאי המטען בטרנזיסטור הגיעה לרוויה. הזרם לא יגדל כמעט עם הגדלת V_{ds} . כדי להגדיל את הזרם יש לחזק את האינזורסיה על ידי הגדלת V_{gs} , במצב זה ההתקן משמש מקור זרם מבוקר מתח-שער למגבר. הקשר בין

$$I_{ds} \propto (V_{gs} - V_t)^2$$

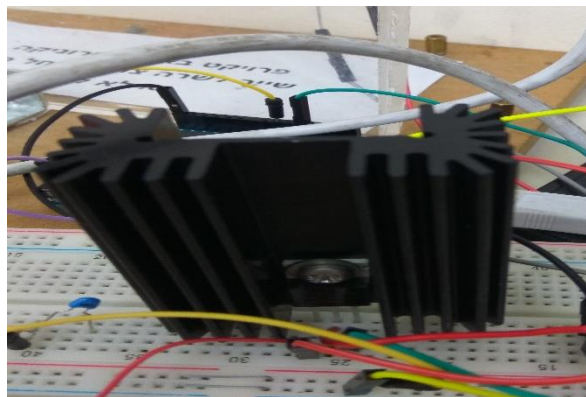
הזרם I_{ds} למתח $V_{gs} - V_t$ הוא ריבועי

כאשר יש לנו עניין בהגברת אותות חשמליים וצורות גל, אנו נשתמש במצב של לינאריות, אך במצבים כמו המקרה שלנו, יש צורך להשתמש במצבים של רוויה וקיטעון. הרעיון הוא לעבוד כמתג. כאשר נשים מתח של אדמה ב $gate$ כאשר ה $source$ מחובר לאדמה, נהיה במצב של קיטעון, ולא יעבור זרם בין ה $drain$ ל $source$. וכאשר נשים $gate$ 5V כאשר ה $source$ מחובר לאדמה, אז יזרום זרם מירבי בטרנזיסטור וזה מצב של רוויה.

כך בעצם למעשה אנו נשלט על הזרם של הספק ללא צורך בחיבור לכרטיס הארדואינו. אנו נוציא אות מאחד הפינים של הארדואינו, ונחבר אותו ל $gate$ של ה MOSFET ואת האלקטרו מגנט לבין ה $drain$ לפוטנציאל החיובי של הטרנזיסטור. וכך נוכל לשלוט על הזרם שיעבור בטרנזיסטור ובאלקטרו מגנט.

הואיל ויש זרם מסיבי שזורם דרך הטרנזיסטור, אנו לא מעוניינות שהוא ישרף, על כן אנו שמנו לו רכיב שניקרא צלעות קירור. צלעות אלו עשויות ממתכת, והן עוזרות לפזר את החום שנוצר. הרעיון בהן הוא שהן מגדילות את שטח הפנים שיש לטרנזיסטור עם האוויר וכך יותר קל לטרנזיסטור להתקרר.

תמונה של צלעות הקירור:



ספק מתח

ספק כוח הוא יחידה אלקטרונית שתפקידה לספק למעגלים אלקטרוניים את המתח והזרם החשמלי הדרושים להפעלתם.

במעגל זרם ישר, יכול ספק הכוח לשמש כמקור מתח או מקור זרם, לפי הצורך. בדרך כלל מאופיין ספק הכוח על ידי מתח מסוים וכן זרם מרבי אותו הוא מסוגל לספק ללא ירידה במתח, או לחלופין את ההספק שהוא מסוגל לתת. ההזנה לספקי כוח יכולה להיות למשל מרשת החשמל הביתית, מצבר או סוללות.



יחידה אלקטרונית זו יכולה להשתלב:

כחלק ממעגל אלקטרוני גדול יותר.

מזוודת במארז לשימושים חיצוניים. לדוגמה:

- מזווד במארז מתכת עם מאוורר לשימוש במחשבים.
- מזווד במארז פלסטיק לשימוש במטענים (לדוגמה לטלפון סלולרי).
- מזווד במארז פלסטיק כמקור למכשירים אלקטרוניים להפעלה עצמית במקום סוללות.

רוב הציווד האלקטרוני כיום מופעל בזרם ישר (DC), כאשר המתח הנדרש והזרם המקסימלי שעליו לספק מותנה ביישום אליו נדרש. מטרות ספק הכוח הן:

- ליישר את זרם החילופין המזין את הספק
- לספק את המתח הנומינלי מיוצב (ללא שינוי) עבור שינויים בצריכת הזרם.

לתת הגנה במקרה של:

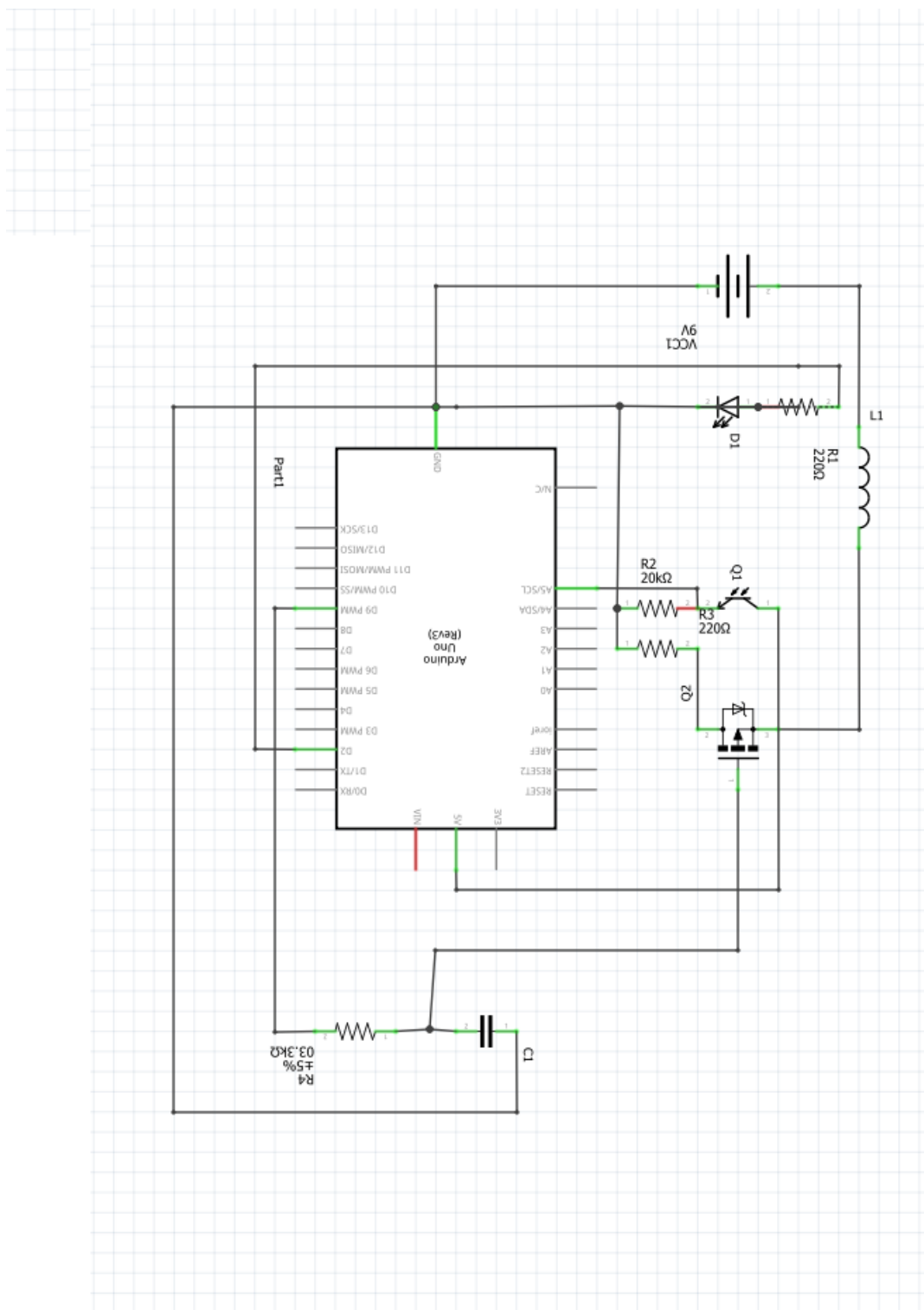
- זרם יתר (כמו קצר)
- היפוך בהדקי המוצא.
- היפוך בהדקי הכניסה אם המקור הוא גם DC.
- מתח יתר בכניסה.

בחלק מהספקים נדרש:

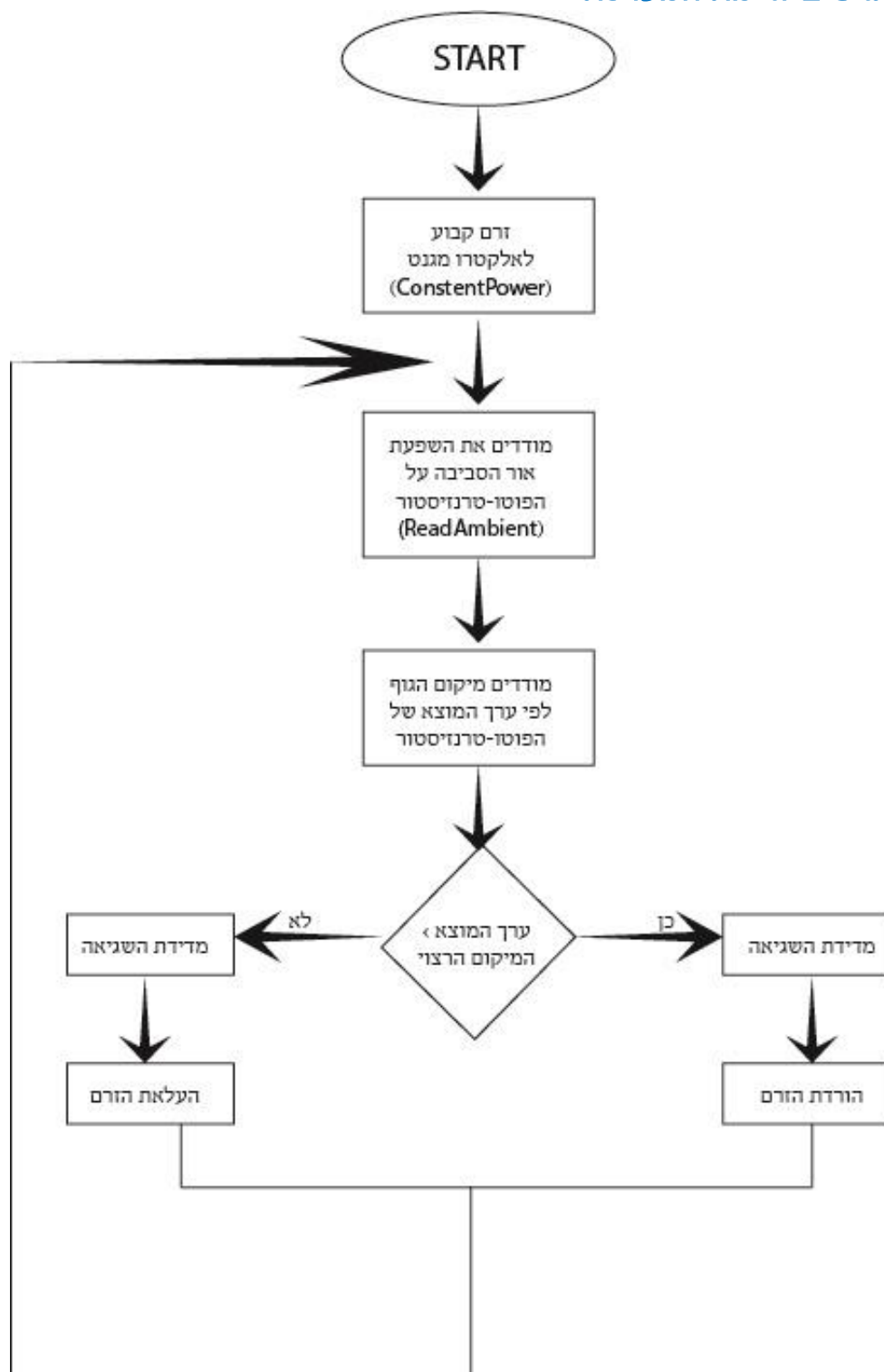
- יכולת לספוג מכת אנרגיה רגעית גבוהה. (לדוגמה ברקים)
- מניעת קרינת רעש). R F I פליטת קרינת רדיו.
- עמידה בהפרעות E M I הפרעות אלקטרומגנטיות).
- $V - 15$ ו $V + 15$ משמשים בעיקר במעגלים אנלוגיים.
- $12V +$ משמש כיום בעיקר במעגלים אלקטרומכנים כמו כונני דיסקים להפעלת המנועים.
- $5V +$ משמש בעיקר למעגלים דיגטליים כמקור הזנה ראשי.
- $3.3V +$ המתח הנפוץ כיום כמקור זרם למעגלים דיגטליים.
- כמו כן קיימים ערכים נוספים בהתאם למעגל (מעבדים לדוגמה מקבלים גם $2.7V +$)

אנו השתמשנו בספק מתח G p s 2320 על מנת לספק מתח לאלקטרומגנט.

שרטוט חשמלי



תרשים זרימת המערכת



פירוט הרעיונית של התרשים

• צורת הזרם לאלקטרו מגנט

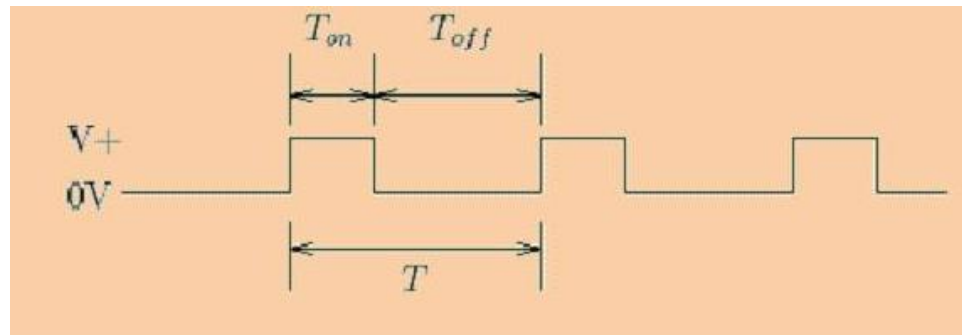
הואיל והאלקטרו מגנט צריך לקבל ערך DC על מנת לתפעל את מערכת המיגנוט שלו, יש לנו צורך לספק לו את ערך ה DC כשהוא משתנה לפי הצרכים שלנו (כמות המיגנוט שאנו צריכים). הבעיה מתחילה בזה שלכרטיס ה ARDUINO יש רק פינים בעלי יציאות דיגיטליות, כלומר אין יכולות לתת ערכי DC משתנים.

הפתרון לבעיה זו מתקבלת על ידי פניי ייחודיים של הכרטיס הנקראים PWM. פינים אלו נותנים גל ריבועי בתדר של 490 Hz. פתרון זה ניקרא בשפה הספרותית בקרת PWM.

בקרת PWM

PWM - Pulse Width Modulation כלומר שינוי רוחב הפולס. ה PWM עובד על אות ריבועי מחזורי. נסמן ב- T את זמן המחזור. כל מחזור מחולק לשניים (ראו תרשים להלן), כאשר בחלק אחד המתמשך T_{on} שניות - המתח המסופק הוא 0 (אפס), ואילו ביתרת המחזור, במשך $T_{off} = T - T_{on}$ - המתח הוא $V+$.

זמן המחזור של כל גל מסומן ב- T ; משך הזמן בו נמצא הגל במצב מתח 0 מסומן ב- T_{on} ; משך הזמן בו נמצא הגל במצב מתח $V+$ מסומן ב- T_{off} .



הספק בבקרת PWM

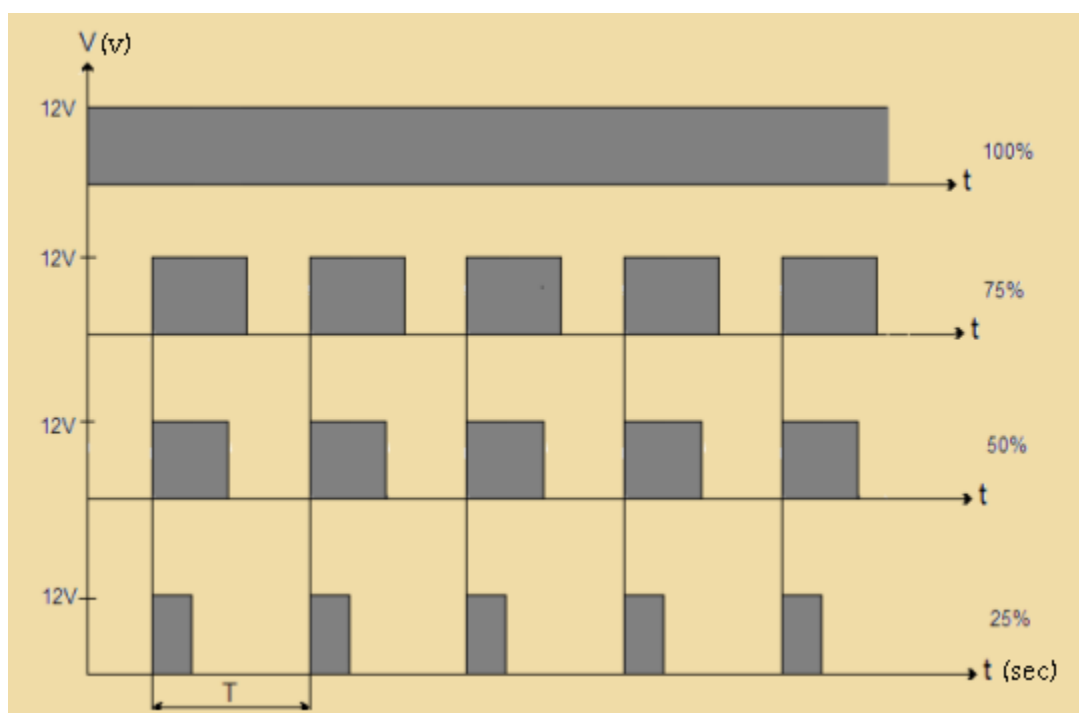
ככלל, הגודל הפיסיקלי הקרוי הספק הוא גודל המתאר קצב (קצב עבודה או קצב של מעבר אנרגיה), ולפיכך זהו גודל רגעי, תלוי בזמן. במערכת חשמלית ניתן לחשב את ההספק הרגעי $p(t)$ בזמן t ע"י הכפלת המתח $v(t)$ על הצרכן בזמן t בזרם $i(t)$ העובר דרך הצרכן באותו זמן t .

בצורה מתמטית ההספק יירשם כך: $p(t) = v(t) \cdot i(t)$.

הגודל הפיסיקלי הנקרא "הספק ממוצע" הוא תוצר של תהליך הנמשך פרק זמן נתון. "הספק ממוצע" מתאר את היחס שבין האנרגיה שנמסרה לצרכן, לבין פרק הזמן שבמהלכו נמשך התהליך. ע"י שינוי יחס הזמנים בין זמן ההפעלה T_{on} לזמן המחזור T , על אלקטרו מגנט אנו משנות את כמות האנרגיה המועברת לאלקטרו מגנט. בנוסף ניתן להתייחס למתח שמגיע לאלקטרו מגנט כממוצע המתח. וככול שה DC יהיה גבוה יותר אזי הממוצע יהיה גבוה יותר וכן להיפך.

ה DC הוא המייצג את היחס בין משך הזמן T_{on} בו מסופקת אנרגיה לצרכן (במקרה זה המנוע) לבין זמן המחזור

$$DC = \frac{T_{on}}{T} : T$$



על מנת לשנות את ה DC במוצא הפין, אנו משתמשות בפונקציית `analogWrite(numOfPin, ValueOfDC [0-255])`

• זרם קבוע לאלקטרו מגנט

בתליה אלקטרו מגנטית, אנו מסתמכים על האלקטרו מגנט שימשוך את המגנט אליו. כפי שרינו בפרקיי המבוא, עוצמת המשיכה של האלקטרו מגנט תלויה בכמות הזרם שעובר דרכו. כפי שהסברנו שאין באמת אפשרות מעשית למצוא את הנקודה וכמות הזרם הרצויים מבחינה פיזיקלית, על מנת לבצע את התלייה. על כן כדי לבצע תליה אלקטרו מגנטית באוויר, יש צורך "לתקן" כל פעם את כמות הזרם באלקטרו מגנט לפי מיקום האובייקט.

הואיל ואנו צריכים לבצע תיקון, ניתן להבין שיש צורך בכמות זרם קבועה, שאותה יש לשנות לפי השגיאה במיקום (המרחק של האובייקט מהמיקום הרצוי שלו).

תהליך מדידת הזרם הקבוע

על מנת למצוא את הזרם הקבוע ערכנו סידרה של מדידות. אנו מניחים כי המיקום הרצוי של האובייקט הוא כאשר הוא מכסה חצי מאלומת האור ה I_R שהלד פולט. ובמיקום זה אנו שינינו את כמות הזרם הנצרכת לאלקטרו מגנט, עד לתחושה שבה מורגש כוח המשיכה של האלקטרו מגנט, אך הגוף אינו נמשך אל האלקטרו מגנט.

על מנת למצוא את המיקום שבא האובייקט מכסה חצי מאלומת האור, אנו בדקנו את כמות האור שמקבל הפוטו טרנזיסטור ללא הפרעה, ואת כמות האור שמקבל הפוטו טרנזיסטור כאשר האובייקט מכסה את האור לחלוטין. ואת הפרש הערכים חילקנו בשתיים וזה המיקום הרצוי.

החיישן (פוטו טרנזיסטור) נותן ערכים בטווח 0-1023

ללא אובייקט המפריע לאלומה התקבל במוצא החיישן ערך - 970

כאשר האובייקט עומד במיקום המפריע לאלומה בצורה מוחלטת התקבל במוצא החיישן - 17

על כן לפי החישוב התיאורטי המוצג לעיל, המיקום הרצוי של האובייקט מתקבל כאשר בוצע החיישן קיים ערך של 471. שאותו נכניס כקבוע לפונקציית $(\log Write a n a)$ בנוסף לתיקונים.

• תיקון רעש המגיע ממקור אור סביבתי

הואיל והטכנולוגיה נפוצה כיום ובהישג יד, ישנם המון מכשירים הפולטים קרינת I_R . פליטות אלו יכולות להשפיע על מוצא החיישן (פוטו טרנזיסטור). אנו מצפים לקבל במוצא החיישן אך ורק את השפעת אור הלד, אך בפועל אנו מקבלים את השפעת הלד מעורבת עם קרינה שמקורה אינו בלד. בעיה זו מפיעה על מדידת המיקום ויוצרת סטייה בין המדידה למציאות.

על מנת להתגבר על בעיה זו אנו מדי פעם בפעם מודדים את השפעת הסביבה ללא השפעת הלד, ומחסרים את ההשפעה הזאת מן המדידה.

תהליך המדידה מתבצע על ידי כיבוי הלד, על מנת שלא תהייה שיורי קרינת I R מהלד וישפיע על מדידת תוצאת החישוב. תוצאה זו מהווה את השפעת הסביבה. לאחר המדידה אנו מדליקות את הלד בחזרה וממשיכות את בקרת

הריחוף. כל תהליך המדידה הנ"ל מתבצע על ידי פונקציית יחידות שכתבנו $readmb()$

על מנת שלא להפריע לבקרת הריחוף אנו מבצעות את הבדיקה הזאת פעם ב 100 תיקונים של מערכת הבקרה.

• בדיקה ותיקון משוואת השגיאה

הואיל ואנו מודעות לכך שמבחינה מציאותית אין אפשרות שהאובייקט יישאר תלוי באוויר במיקום שבו כוח המשיכה וכוח המגנטי מתקזזים משום שסטייה מנקודה זו במילימטרים בודדים תגרום להתבדרות המערכת. על כן נקטנו שיטה של תיקון כוח האלקטרו מגנט לפי "השגיאה", מרחק מיקום הגוף מהמיקום הרצוי (פירוט מדידת המיקום הרצוי לעיל).

משוואת גילוי השגיאה

$$err = current\ position - wanted\ position$$

משוואת תיקון השגיאה

$$correction = constantPower + K * err$$

על מנת לתקן את השגיאה אנו מעוניינים להוריד או להעלות את הזרם שמגיע לאלקטרו מגנט על מנת לשנות את הכוח שהוא מפעיל. כמו שהוסבר לעיל פעולה זו מבצעים על ידי שינוי PWM. וכמו שהוסבר לעיל הפקודה שמבצעת את שינוי PWM נקראת $analogWrite()$ קלטי הפונקציה הן ערך הפין שבו רוצים לשנות את PWM ומספר num בטווח 0-255, מספר זה מיצג את גודל PWM לפי המשוואה

$$PWM\% = \frac{num}{255} * 100$$

על כן בבואנו לשנות את PWM אנו צריכים למעשה לשנות את ערך num.

על מנת למצוא את הערך num המתאים בכל רגע אנו משתמשים במשוואת תיקון השגיאה כאשר ערך ה $correction$ הוא הערך שנוציב ב num.

בעיה שהתעוררה לנו במהלך יישום משוואת התיקון:

אנו ערכנו מספר ניסויים ולא קיבלנו תוצאות תיקון שגיאה המתאימות למשוואות שפתחו לעיל.

לדוגמא כאשר כיסינו את החישן גורם אשר אמור להשפיע על ירידת הזרם גרם למעשה להעלאת הזרם וכן להפך. לאחר מספר ניסויים בדקנו את הערכים המרכיבים את משוואת התיקון וגילינו כי הערכי מרכיבי השגיאה נעים בטווח 0-1023 בעוד והערך ה $correction$ שנכנס כערך כמשתנה num לפונקציה $analogWrite()$ נע בטווח 0-255 ועל כן קימת בעיה שערך ה err אינו תואם את הטווח של ה $correction$.

הפיתרון שבחנו וישמנו הוא למצוא את המיקום היחסי של גודל ערך err בטווח 0-1023 ולהעתיק אותו ביחס זהה לטווח 0-255. פעולה זו נעשת על ידי המשוואה

$$correctErr = \frac{err}{1024} * 255$$

ניתן לראות מתוך הנוסחה של מציאת $e r r$ כי כאשר האובייקט נמצא מעל המיקום הרצוי הוא חוסם יותר אור $I R$ מהאלומה שיוצאת מהלד אל הפוטו טרנזיסטור ולכן קריאת החיישן (פוטו טרנזיסטור) שהיא מהווה את ערך *current position* תהיה נמוכה יותר מה שיגרום לערך $e r r$ שלילי ויגרום לירידה בעוצמת הזרם וכן להפך.

מציאת קבוע K:

כפי שראינו במשוואת תיקון השגיאה אנו מתייחסים לגודל השגיאה בחישוב התיקון אולם הערך המספרי של גודל השגיאה כשלעצמו אינו מתאים להיות מוצב במשוואת התיקון, אם כן על מנת להשתמש בערך זה אנו לוקחים ערך פרופורציונאלי לערך השגיאה על כן במשוואת תיקון השגיאה מופיע ערך השגיאה כפול קבוע K .

קבוע K למעשה מהווה את מהירות הגבת המערכת, כלומר ככל ש K יהיה גבוה יותר המערכת תגיב לשגיאה במהירות גבוהה יותר ובצורה חזקה יותר וכן להפך. הסיבה שבה לא ניקח קבוע K גבוה מידי היא משום שהמערכת עלולה להתבדר כלומר לצאת ממצב שיווי משקל.

לדוגמא כאשר אנו מתקרבות למצב שיווי משקל ערך השגיאה הולך וקטן אך אם קבוע K עדיין גדול מידי קימת סכנה שכוח האלקטרו מגנט יהיה גדול מידי הודות לתיקון השגיאה $K * e r r$.

כעקרון תהלך מציאת קבוע K נעשה על ידי השיטה של 'ניסוי וטעייה', כלומר אנו מציבים ערך K מסוים ומפעילים את המערכת ובודקים את ההשפעה של קבוע K . כפי שראינו לעיל K משפיע על מהירות תגובת המערכת.

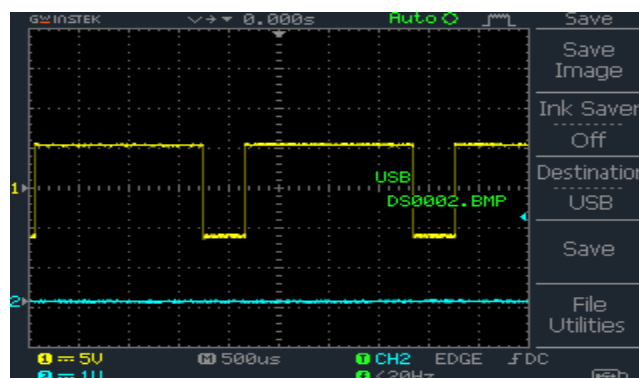
בתחילה קבענו $K=0.5$ ובדקנו את המערכת ניסינו להציב את האובייקט במיקום הרצוי מספר פעמים והרגשנו שאכן מערכת הבקרה עובדת אך עדיין האובייקט נופל. אנו תולים זאת בכך שמערכת אינה מגיבה מספיק מהר על כן הגדלנו את קבוע K להיות $K=3$ וערכנו את אותו ניסוי מספר פעמים. וגם כן ראינו שהמערכת באמת מבצעת תיקון שגיאה אך האובייקט אינו נשאר תלוי באוויר אלא נדבק לגוף האלקטרו מגנט, זאת אנו תולים בכך שהמערכת מגיבה מהר מידי ולכן האובייקט לא נשאר קבוע במקום אלא יצא מכלל איזון.

אם כן כעת אנו יודעות את גבולו הגירה של קבוע K וכל מה שנותר זה חפש את ערכו בין ערכים קבועים אלו.

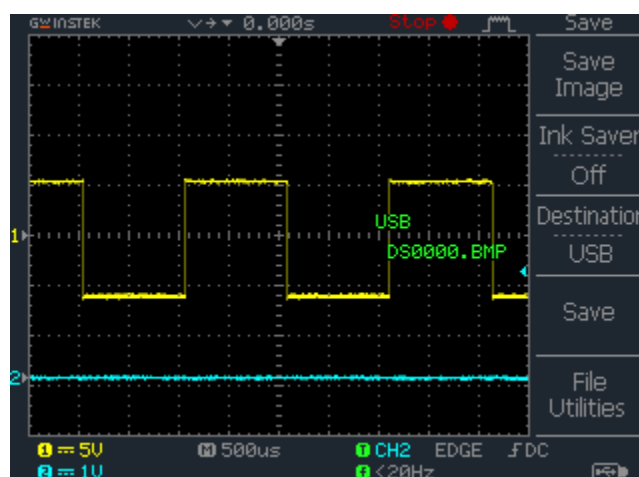
לאחר מאמצים מרובים הגענו לערך קבוע K שנותן לנו ריחוף מגנטי.

זרימת זרם לאלקטרו מגנט במצבים שונים:

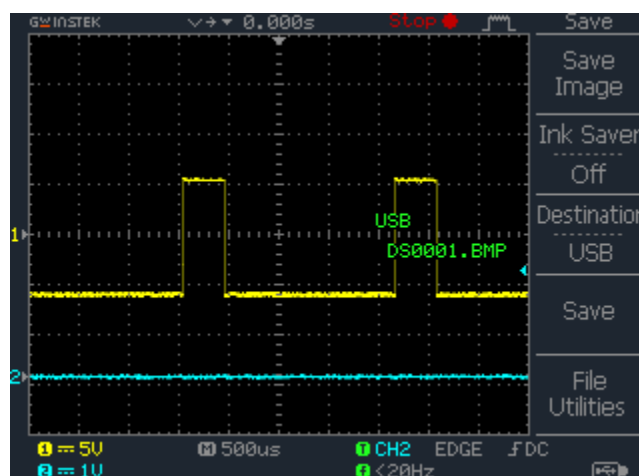
אלומה פתוחה:



אלומה במיקום הרצוי:



אלומה חסומה:



הסבר התוכנה

בתוכנית זו אנו מפעילים את הLED על מנת שיקרין אור אינפרא אדום אל הפוטו טרנזיסטור ובהתאם לעוצמת האור נדע את מיקום הגוף על ידי קריאה מכניסה אנלוגית A5.

אנו מחסרים מהערך שהתקבל את רעשי הסביבה על ידי פונקציה `int readAmb()` שמכבה את הLED, קוראת את מוצא הפוטו טרנזיסטור מ A5, מדליקה בחזרה את הLED ומחזירה את הערך שנקרא. פונקציה זו מתבצעת אחת ל 100 פעמים על מנת לא לשבש את התוכנית.

ובנוסף אנו מחסרים מהערך המצוי את הערך הרצוי ובכך אנו יודעים את השגיאה.

בהתאם לערך הנ"ל התוכנה תכתוב למוספט המחובר לאלקטרוֹמגנט על ידי רגל דיגיטלית שמסוגלת להפוך אותות דיגיטליים לאותות אנלוגיים (PWM), את המתח המחושב.

אלגוריתם התוכנה

```
void setup(){
  pinMode(9,OUTPUT);//pwm to the transistor for the
  electromagnet
  pinMode(A5,INPUT);//the output of the phototransistor
  pinMode(2,OUTPUT);//to control the light of the led
  integral = 0
}
void loop(){
  int ir;//input from sensor
  int setpoint = 450;//the expected location - from experiment
  int constantPwr = 165;//the basic power for pwm
  double err;//the error from the position
  int K=2.5;//constant to double the error
  float power;//the input for the PWM in pin 9
  int count = 0;//when to read the ambient
```



```
int ambient;//the noise from the ambient
while(true)
{
    if(count == 100) {
        count =0;
        ambient =readamb();
    }
    count ++;
    digitalWrite(2,HIGH);//turn on the led
    ir=analogRead(A5);//read the value from the sensor
    err =255*(float((ir -setpoint))/1024);//calculate the error
    power =constantPwr +K*o;//calculating the input for pwm
    if(power >255) power =255;
    analogWrite(9,power);
    delay(100);
}
int readamb();//check the noise of the light
{
    digitalWrite(2,LOW);
    delayMicroseconds(100);
    int irc=analogRead(A5);
    digitalWrite(2,HIGH);
    return irc;
}
```

לאחר שהרחבנו על מתקן הרחיפה נעבור להעמיק על לוח המקשים, רמקול וסטרפים של לדים.
 בלוח המקשים אנו בוחרים את אפקטי הקולות והאורות, לחיצה על כפתור בלוח המקשים תגרום להיווצרות אפקט האור או אפקט השמע לפי בחירת הצרכן.
 הסבר האלגוריתם:
 בכתיבת התוכנה השתמשנו בספריית Keypad.h. בספריה זו נמצאות פונקציות מוכנות המובאות כדלהלן:

נסביר מספר מושגים הקשורים לפונקציות אלו:

א. יצירת constructor (אתחול עצמים) למחלקה (class) בשם Keypad.

```
Keypad (makeKeymap (userKeymap), row[], col [], rows, cols)
```

הגדרת קבוע מטיפוס byte בשם rows ואתחולו ל 4 // 4

```
const byte rows = 4; // 4
```

הגדרת קבוע מטיפוס byte בשם cols ואתחולו ל 3 // 3

```
const byte cols = 3; // 3
```

הגדרת מערך דו ממדי char שבו יש 4 שורות ו 3 עמודות // 3

```
char keys[rows][cols] = {
```

```
{'1','2','3'},
```

```
{'4','5','6'},
```

```
{'7','8','9'},
```

```
{'*','0','#'}
```

```
};
```

הגדרת מערך מטיפוס byte בשם rowPins שבו 4 שורות לקשר בין 4 השורות של לוח המקשים //

ולאילו הדקים דיגיטאליים הם מחוברים בכרטיס הארדואינו. כאן שורה ראשונה להדק D3 שורה //

שנייה להדק D4 וכך הלאה לפי שרטוט 4 //

```
byte rowPins[rows] = {3, 8, 7, 5}; //connect to the row pinouts of
the keypad
```

// קישור בין הדקי העמודות בלוח המקשים ובין ההדקים הדיגיטאליים של הארדואינו.

```
byte colPins[cols] = {4, 2, 6}; //connect to the column pinouts of
the keypad
```

// חיבור כל ההגדרות לאובייקט.

```
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins,
colPins, rows, cols );
```

ב. פונקציות המטפלות בלוח

1.ב

```
void begin(makeKeymap(userKeymap))
```

מאתחלת את מפת לוח המקשים שקיימת בתכנה שתהיה שווה למפת לוח המקשים של המשתמש.

2.ב

```
char waitForKey()
```

הפונקציה ממתינה עד ללחיצה על מקש (חוסמת תכניות אחרות).

3.ב

```
char getKey()
```

הפונקציה מחזירה את ערך המקש שנלחץ (אם נלחץ).

4.ב

```
KeyState getState()
```

- סרק (לא נלחץ), **IDLE** מחזירה את מצבו של הנוכחי של כל מקש. ארבעת המצבים האפשריים הם :
- במצב של לחיצה. **HOLD** - שוחרר ו **RELEASED** (נלחץ), **PRESSED**

5.ב

נותן אפשרות לדעת מתי המקש שינה את מצבו ממצב אחד לאחר. לדוגמה : במקום .קיים החל מגרסה 2.0 לבדוק ערך מקש ניתן לבדוק מתי מקש נלחץ.

```
#include <Keypad.h> //Keyboard Library
#define DO 262 //when written DO we mean 262
#define RE 294
#define ME 330
#define FA 349
○○○○○#define SOL 392
#define LA 440
#define Se 494
○○○○○○○○○○○○○○○○#define DO2 523
int green=13;
int red=11;
```

```

i n t b l u e = 10;
b o o l

g = 0;

b o o l r = 0;
b o o l b = 0;
l o n g t i m e = 600; // t h e b a s i c u n i t o f t i m e t o h e a r
s o u n d i s 0.6
v o i d s t () { // s t o p t h e s o u n d f o r 0.03 s e c o n d
n o T o n e (12); // s t o p t h e f r i q u e n c y i n p i n 12
d e l a y (30); // w a i t 0.03 s e c o n d
}

v o i d d o _ f a _ m e () {
" t o n e (12, D O); // g i v e t h e s p e a k e r t h e f r i q u e n c y " D O
d e l a y (t i m e); // p l a y t h e s o u n d f o r 0.6 s e c o n d
" t o n e (12, F A); // g i v e t h e s p e a k e r t h e f r i q u e n c y " F A
d e l a y (t i m e); // p l a y t h e s o u n d f o r 0.6 s e c o n d
t o n e (12, M E);
d e l a y (t i m e / 2); // p l a y t h e s o u n d f o r 0.3 s e c o n d
t o n e (12, R E );
d e l a y (t i m e);
}

v o i d d o _ d o _ r e () {
f o r (i n t i = 0; i < 2; i ++ ) { // p l a y t h e s o u n d D O f o r 0.3 s e c o n d
- t w i c e
t o n e (12, D O);
d e l a y (t i m e / 2);
S t ();
}
}

```

```
f o r (i n t i =0;i <2;i ++){ //p l a y t h e s o u n d R E f o r 0.3
s e c o n d - t w i c e )
t o n e (12,RE);
d e l a y (t i m e /2);
S t ();
}
f o r (i n t i =0;i <2;i ++){
t o n e (12,DO);
d e l a y (t i m e /2);
s t ();
}
t o n e (12,RE);
d e l a y (t i m e );
}

v o i d d a v i d (){
t o n e (12,S O L);
d e l a y (t i m e );
t o n e (12,M E);
d e l a y (t i m e );
f o r (i n t i =0;i <4;i ++){
t o n e (12,S O L);
d e l a y (t i m e /4);
s t ();
}
t o n e (12,M E);
d e l a y (t i m e );
t o n e (12,S O L);
d e l a y (t i m e );
```

```
t o n e (12,L A);  
d e l a y (t i m e );  
t o n e (12,S O L);  
d e l a y (t i m e /2);  
t o n e (12,F A);  
d e l a y (t i m e /2);  
t o n e (12,M E);  
d e l a y (t i m e /2);  
t o n e (12,R E);  
d e l a y (t i m e /2);  
s t ();  
d o _d o _r e ();  
d o _f a _m e ();  
t o n e (12,M E);  
d e l a y (t i m e );  
s t ();  
d o _d o _r e ();  
d o _f a _m e ();  
t o n e (12,D O);  
d e l a y (t i m e );  
s t ();  
d e l a y (2000);  
}  
(v o i d d o o o () {  
t o n e (12,D O);  
d e l a y (t i m e );  
t o n e (12,R E);  
d e l a y (t i m e );
```

```

t o n e (12,ME);
d e l a y (t i m e );
t o n e (12,FA);
d e l a y (t i m e );
t o n e (12,SOL);
d e l a y (t i m e );
(t o n e (12,LA);
d e l a y (t i m e );
t o n e (12,Se);
d e l a y (t i m e );
t o n e (12,DO2);
d e l a y (t i m e );
n o T o n e (12);
}

```

```

c o n s t b y t e R O W S = 4;
c o n s t b y t e C O L S = 4;
c h a r k e y s [R O W S ][C O L S ]={
{'A','3','2','1'}
{'B','6','5','4'}
{'C','9','8','7'}
{'D','#','0','*'}
}

//connect the rows and cols to the digital pins of

b y t e r o w P i n s [R O W S ] = {6, 7, 8, 9};
b y t e c o l P i n s [C O L S ] = {2, 3, 4, 5};

```



```
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys),  
rowPins,colPins,ROWS,COLS);
```

```
void setup(){  
    }  
(pinMode(12,OUTPUT);  
void loop(){  
    char key=keypad.getKey();  
    //  
    if (key != NO_KEY)  
        switch (key){  
            case '1':david();  
            break;  
            case '2':dooo();  
            break;  
            case '4':  
            if (g==0){  
  
            g=1;  
            digitalWrite(green,HIGH);}  
            else {  
            g=0;  
            digitalWrite(green,LOW); }  
            Break;  
            (case '5':if (r==0){  
            r=1;  
  
            }  
            digitalWrite(red,HIGH);  
            else {  
            r=0;
```

```

digital Write(red,LOW); }
Break;
case '6':if (b=0){
b=1;

digital Write(blue,HIGH);
else {
b=0;
digital Write(blue,LOW); }
Break; }
}
}

```

האלגוריתם מהווים שליטה על הממשק.

בעיה שהתעוררה לנו במהלך עבודתנו על לוח המקשים.

פרוט הבעיה:

בלוח המקשים כתבנו תכנית פשוטה לכאורה שתראה את המספר כאשר לוחצים על המוניטור הטורי, אבל כשלחנו על מספר מסוים נכתב במוניטור של הארדווינו את המספר הסימטרי (ביחס לאלכסון) למקש שלחנו עליו.

פתרון:

הפכנו את השורות והעמודות כך שבמקום הסדר: C 1 C 2 C 3 C 4 R 1 R 2 R 3 R 4 שעל פיו כתבנו את האלגוריתם - הפכנו ל: C 1 C 2 C 3 C 4 R 1 R 2 R 3 R 4.

סיכום ומסקנות:

זכינו לחוויה מדהימה, הפרויקט אפשר לנו ליישם את מה שלמדנו, היכרנו רכיבים, למדנו לסרטט למדנו תכנות ועוד.. במקביל גם הרחבנו את הידע בתחומים אלו וגם בתחומים נוספים, הפרויקט כולו הוא חוויה גדולה ועצומה. במהלך הפרויקט עבדנו תחת לחץ ונתקלנו במכשולים ובקשיים, יחד עם זאת ידענו להמשיך ולשאוף אל המטרה. גם כשדברים לא עבדו ולא איבדנו תקווה, הרגשנו שיש לנו את היכולת להצליח בפרויקט. אין אנו מצטערות על העבודה הקשה, כי מהתקלות והבעיות למדנו המון, בתחום האלקטרוניקה ובכלל..