



**פרויקט גמר הנדסי לתואר B.Sc
הנדסת חשמל ואלקטרוניקה**

מערכת שליטה במהירות מנוע בהתאם לאורות בלמים

Engine speed control system based on brake lights

מגישים:

אפי חכם ת"ז:
אוריאל הללי ת"ז:

מנחה: דרור רוצ'ס

תאריך: 08/09/2026

תוכן עניינים:

סעיף	נושא	עמוד
-	רשימת סימונים וקיצורים	4
-	רשימת איורים	5
-	רשימת טבלאות	7
-	תקציר	8
-	Abstract	9
-	תקציר מנהלים - Executive Summary	11
1	מבוא	13
1.1	רקע	13
1.2	מטרות הפרויקט	14
2	הרכיבים	15
2.1	DAQ Q4	15
2.2	חיישן מרחק אופטי TCRT5000	17
2.3	LED-לד	18
2.4	לד אופטי	18
2.5	מנוע DC SRV02	18
2.6	נגדים	19
2.7	נגד פוטנציומטר	19
2.8	מיקרו סוויץ	19
3	סכמת בלוקים של המערכת	20
3.1	תמונות של רכיבי המערכת	21
4	טבלת מצבים	22
4.1	תנאים למהירות מנוע	22

סעיף	נושא	עמוד
4.2	תנאים של חיישן מרחק	22
4.3	תרשים תזמון הפעלת המערכת	23
5	תמונות התדירויות עבור מערכת התרעה	24
6	סימולינק - Simulink	26
6.1	דיאגרמת בלוקים	26
6.2	הסבר בלוקים	27
6.3	מסלולי התניה לרכיבי היציאה	56
6.4	מסלולי חיישנים	60
7	מודל המערכת	62
8	מסקנות	67
9	דפי נתונים	68
9.1	מנוע DC SRV02	68
9.2	דאק - DAQ Q4	73
9.3	חיישן מרחק אופטי TCRT5000	76
10	ביבליוגרפיה	78

רשימת סימונים וקיצורים:

FBS - Forgotten Baby Syndrome

DAQ - Data Acquisition

AI – Analog Input

AO – Analog Output

LED – Light Emitting Diode

VCC – Voltage common collector

GND – Ground

IR – Infrared

רשימת איורים:

מספר איור	תיאור האיור	עמוד
1	ארכיטקטורת רכיב עבור DAQ Q4	16
2	חיישן TCRT5000 ומודל חיבורים	17
3	מודל סכמתי של המנוע	18
4	תרשים זרימת לוגיקת המערכת	20
5	תרשים תזמון הפעלת המערכת	23
6	תדר 1Hz למרחק 10-15 מטר	24
7	תדר 2Hz למרחק 5-10 מטר	25
8	תדר 3Hz למרחק קטן מ-5 מטר	25
9	דיאגרמת הבלוקים של המערכת	26
10	מסלול מדידת מהירות המנוע	56
11	מסלול בקרת והגבלת המהירות	57
12	מסלול חיישן המרחק וחיווי ה-LED	60
13	מודל המערכת	62
14	ידית הגז במודל המערכת	63
15	מנגנון הבלם במודל המערכת	64
16	מכלול תאורת הבלמים וחיישן המרחק	65

רשימת טבלאות:

מספר טבלה	תיאור הטבלה	עמוד
1	מספר תאונות הדרכים במעורבות כלי חשמלי (2018-2025)	14
2	רזולוציית PWM של רכיב ה-DAQ Q4	16
3	פרמטרים של רכיב TCRT5000	17
4.1	תנאים למהירות מנוע	22
4.2	תנאים חיישן מרחק	22
5	טבלת מתח תאורה שנדגם מול פקודת מנוע מרבית	36
6	טבלת פעולת רכיבי הכניסה במסלול	58
7	טבלת מצבי חיישן המרחק	60
8	טבלת מעבר האות במסלול המרחק	61

תקציר:

בשנים האחרונות חלה עלייה משמעותית בשימוש בכלי תחבורה חשמליים זעירים (מיקרו-מוביליטי), כגון אופניים וקורקינטים חשמליים. מגמה זו מציבה אתגרי בטיחות ובקרה מורכבים, הדורשים פתרונות טכנולוגיים מתקדמים למניעת תאונות ולהגברת השליטה בכלי בזמן אמת. במטרה לצמצם את הסיכונים בכבישים ובמדרכות, פותחה מערכת בקרה ובטיחות חכמה המבוססת על בקרת מהירות מנוע דינמית ומנגנון התרעה אקטיבי לסביבה.

המערכת משלבת חיישן מרחק אופטי (TCRT5000), מנוע סרוו DC (דגם SRV02) ונורת לד (LED) המדמה את מערכת אורות הבלמים, אשר מחוברים כולם לבקר רכישת נתונים (DAQ). כחלק ממנגנון הבטיחות, הוטמעה דרישה ללחיצה על דוושת הבלם לצורך הפעלת המנוע, פעולה המבטיחה שליטה יזומה ומניעת הפעלה לא מכוונת של הכלי. בהמשך, באמצעות עיבוד הנתונים, המערכת מבצעת שליטה רציפה ומדויקת במהירות המנוע בהתאם לעוצמת ההארה של לד: בעוצמת הארה נמוכה המנוע פועל בהספק חלקי, ואילו בעוצמת הארה גבוהה מאוד המנוע מגיע לעוצמתו המרבית. בנוסף, תשולב במערכת רכיב בטיחותי קריטי; במידה חיישן המרחק מזהה עצם או הולך רגל המתקרב אל הכלי הממונע, המערכת מעבירה את הנורות למצב הבהוב בתדירות מסוימת, במטרה להזהיר את הגורם המתקרב ולמנוע תאונה.

תהליך הפיתוח כלל תכנון הנדסי, חיבור ובדיקת הרכיבים השונים, וכן יישום וסימולציה מקיפה של כלל המצבים ואלגוריתם הבקרה באמצעות ממשקי MATLAB/Simulink. הסימולציות בסביבת הסימולינק אפשרו לבחון את תגובת המערכת במצבי עבודה משתנים ולהבטיח יציבות ובטיחות מרבית עוד בשלבי הפיתוח.

המוצר מדגים פתרון אפקטיבי, אמין ונגיש להגנה על חיי אדם ושיפור הבקרה בכלי רכב חשמליים באמצעות טכנולוגיה פשוטה ליישום. מערכת זו נועדה לשמש כקו בקרה והגנה אקטיבי, כחלק מהמאמץ הכללי להגברת הבטיחות בדרכים וצמצום תאונות המעורבות כלי רכב זעירים.

Abstract

The increasing use of micro-mobility vehicles, such as electric scooters and e-bikes, introduces significant safety and control challenges. To mitigate these risks, we developed a smart control and safety system designed to dynamically regulate motor speed and provide active, real-time alerts to the surrounding environment.

The system integrates a DC Servo Motor (SRV02), an optical proximity sensor (TCRT5000), and an LED that simulates a brake light system, all interfaced with a DAQ controller. Through continuous data processing, the system governs the motor's speed based on the LED's illumination intensity: low illumination drives the motor at partial capacity (e.g., **50%**), whereas high illumination commands full motor power. Furthermore, to enhance pedestrian safety, the system utilizes the optical proximity sensor to detect individuals approaching the vehicle. Upon detection, the LED transitions into a flashing mode at a specific frequency to actively warn the approaching party.

The development process included hardware integration, component calibration, system testing, and the comprehensive simulation of various operational scenarios and control algorithms via MATLAB/Simulink interfaces.

This project presents an efficient, affordable, and accessible technological solution to improve vehicle control and protect human life. It is designed to serve as an active safety layer in the broader effort to prevent accidents involving micro-mobility vehicles.

EXECUTIVE SUMMARY

1.1 Background and Rationale

In modern urban transportation environments, the rapid proliferation of electric micro-mobility vehicles, such as e-scooters and e-bikes, has fundamentally revolutionized personal transit. However, this shift has introduced severe safety challenges. The physical operational environments of these vehicles are highly complex, involving mixed-use areas with pedestrians, cyclists, and heavy vehicles.

The safety of pedestrians and the riders themselves is directly affected by the vehicle's acoustic signature and speed control. Operating in near-silence while possessing high acceleration capabilities creates critical hazards, leading to a high rate of accidents, especially involving vulnerable populations who are unaware of the approaching vehicle until a collision is imminent.

Beyond the aspect of basic mechanical safety, there are two primary motivations for this project:

1. **Accident Prevention and Pedestrian Safety:** Operating high-torque electric motors without automated hazard mitigation leads to severe collision risks. This issue is exacerbated by the lack of active warning systems. By introducing an escalating proximity alert, the system actively warns pedestrians, replacing reliance on slow human reaction times.
2. **Operational Safety Interlocks:** Classic micro-mobility systems often allow motor engagement from a static state without physical authorization (leading to "whiskey throttle" accidents). This project applies a modern "Safety Interlock" approach, ensuring the vehicle cannot accelerate unintentionally, thereby drastically reducing the risk of sudden loss of control.

1.2 Project Objectives

The main goal of this final project is to design, develop, simulate, and implement a practical prototype of an automatic, smart, closed-loop control system for regulating speed and proximity warnings on an electric micro-mobility vehicle.

The system aims to replace the passive, manual control methods commonly used today. Instead, it provides a software-and-hardware-based solution that reacts in real time to external dynamic conditions, such as the sudden appearance of obstacles, the distance to pedestrians, and the operational state of the vehicle's braking system.

1.3 Operational Targets:

- **Accurate Closed-Loop Control:** Implementing a feedback system that continuously measures the distance to external objects using optical sensing, compares it to safety thresholds, and dynamically updates both the motor speed limit and the frequency of the visual warning alerts.
- **Hardware-Software Synergy:** Using a professional Data Acquisition unit

- (DAQ Q4) that is programmed and controlled directly from MATLAB & Simulink in real time via Hardware-in-the-Loop (HIL) methodology.
- **Dynamic Speed Modulation:** Applying intelligent logic to restrict maximum motor power based on brake light illumination cues (e.g., 100% capacity for normal operation, restricted to 70% or 25% during cautionary states) to ensure safe, natural deceleration.

1.4 System Architecture and Hardware Components

The system is based on a classic Feedback Loop structure composed of four main stages: sensor, controller, actuator, and plant (HMI and propulsion).

1.5 Main Hardware Components

1. **The Controller (DAQ Q4):** The central data acquisition and processing bridge of the system. It was selected because of its high-resolution Analog-to-Digital Converter (ADC) and full real-time compatibility with Simulink, allowing precise execution of complex state-machine algorithms.
2. **Optical Proximity Sensor (TCRT5000):** An infrared reflective sensor that acts as the primary environmental eye of the system. It continuously polls the immediate forward trajectory, converting physical distance into a stable voltage read by the DAQ's analog channels.
3. **The Actuator (SRV02 DC Servo Motor):** Acts as the physical propulsion simulator of the system. Its response characteristics provide a highly accurate mechanical analog to the larger Brushless DC (BLDC) motors used in actual e-scooters.
4. **HMI Interface (LED Array):** The visual output load of the system. Red LEDs function as the proximity warning system (flashing at variable frequencies), while Blue LEDs indicate the current speed restriction tier.

1.6 Engineering Methodology and Software Design

During the project, several critical design, testing, and integration stages were performed, ensuring a safe step-by-step transition from theory to practice:

1.7 Integration and Preliminary Verification (Hardware-in-the-Loop)

Before building the complex control logic, the DAQ environment was configured, and the I/O channels were verified. The Simulink Desktop Real-Time package was installed, allowing direct graphical deployment. Preliminary tests were developed to verify the generation of stable analog outputs and the control over the visual HMI indicators.

1.8 Control Architecture Selection and Analysis

In this project, a "Sample & Hold" architecture combined with robust filtering was selected to govern the signal processing instead of direct raw analog passthrough. The engineering analysis justifies this choice:

- **Signal Integrity and Noise Rejection:** DC motors and switching power supplies generate high-frequency electromagnetic interference (EMI). The Sample & Hold logic, alongside physical RC low-pass filters,

prevents this transient noise from triggering false proximity alerts or erratic motor behavior.

- **Deterministic Execution:** Utilizing a fixed-step solver within Simulink ensures that the system evaluates hazards and updates the motor control lines at strictly defined intervals, guaranteeing a low-latency, real-time response to sudden obstacles.

1.9 System Calibration and State Machine Development

A dedicated calibration process was performed to map the behavior of the TCRT5000 sensor under varying distances and ambient light conditions. The empirical results allowed us to correlate specific voltage thresholds with critical collision distances.

Based on this calibration process, we designed and built a structured State Machine within Simulink (using Stateflow principles). The system evaluates the filtered sensor inputs and the mechanical brake interlock status, assigning the vehicle to one of several predefined operating states (Idle, Drive, Proximity Warning, Interlock Engaged). Each state outputs the exact motor power limit and HMI flashing frequency required for that specific scenario.

1.10 Signal Flow in the Simulink Model

1. **Analog Input Block:** Samples the voltage from the TCRT5000 sensor and the throttle potentiometer at a high rate.
2. **Signal Filtering (Sample & Hold):** Cleans the raw data to provide a smooth, stable, and noise-free signal for the logic controller.
3. **State Machine Logic (Stateflow):** Receives the filtered data and the brake interlock status, routing the system in real time to the appropriate operational subsystem.
4. **Merge & Command Block:** Combines the algorithmic decisions into single control lines for speed and alerts.
5. **Analog/Digital Output Blocks:** Sends the selected voltage to the SRV02 motor driver for speed control, and to the digital pins to generate the variable-frequency square-wave for the Red LED alerts.

1.11 Key Results and Discussion

The project successfully passed all validation stages, showing an excellent match between theoretical design requirements and practical performance:

1. **Digital Proof of Concept (HIL Simulation):** The Hardware-in-the-Loop tests proved that the state machine logic is fully stable and that critical safety architecture occurs instantly without software delays.
2. **Proximity Alert Efficiency:** Practical experiments showed a clear, inverse relationship between obstacle distance and the warning flash rate. As the distance closed, the visual alert escalated dynamically, successfully replacing the missing acoustic warning of the electric motor.

3. **Closed-Loop Stability:** When the safety interlock (simulated brake switch) was disengaged, the system immediately overrode the throttle input and grounded the motor, proving the mechanical authorization concept is fault-tolerant.
4. **Dynamic Speed Restriction:** The system demonstrated reliable speed modulation, cleanly dropping motor output to 70% or 25% based on the predefined cautionary lighting states.

1.12 Future Work and Conclusion

The project successfully met all the goals defined at its beginning, creating a solid engineering foundation for active safety systems in micro-mobility. The final outcome presents a complete working methodology that combines closed-loop control theory, automated hazard mitigation, and human-machine interface design.

1.13 Proposed Future Improvements:

- **Cellular Connectivity (V2X):** Integrating an LTE-M or NB-IoT communication module to broadcast the vehicle's telemetry (speed, hard braking events) to a centralized smart-city grid or surrounding connected vehicles.
- **Advanced Sensor Fusion:** Upgrading the optical sensing layer with miniature LiDAR or mmWave Radar modules to provide a higher-resolution spatial map, allowing the system to operate effectively in harsh weather conditions or complete darkness.

1. מבוא:

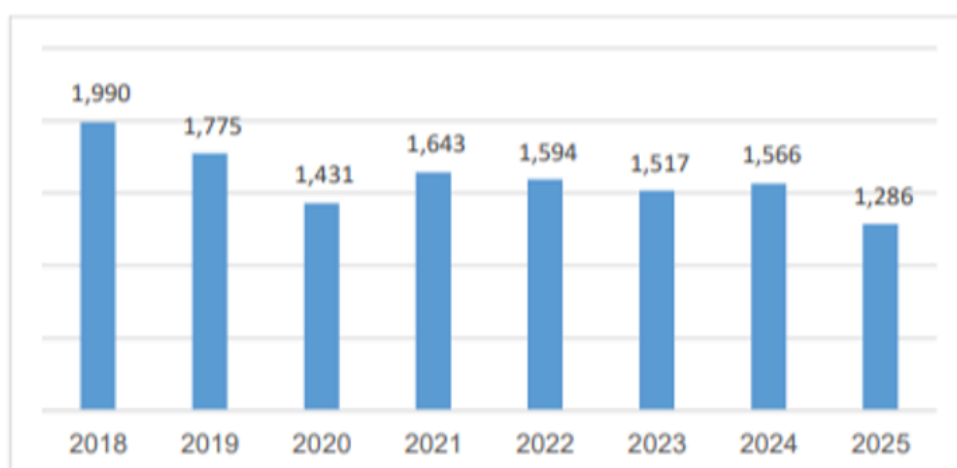
1.1. רקע:

בשנים האחרונות, אנו עדים למהפכה של ממש בתחום התחבורה העירונית עם כניסתם המסיבית של כלי רכב חשמליים זעירים, ובראשם קורקינטים ואופניים חשמליים. כלים אלו מספקים פתרון תחבורתי ירוק, מהיר ויעיל לעומסי התנועה בערים. עם זאת, התפשטותם המהירה במרחב הציבורי יצרה סוגיה בטיחותית חמורה בעלת השלכות קטלניות. במצבים רבים, הרכיבה מתבצעת בסביבה מעורבת הכוללת כבישים, שבילי אופניים ומדרכות, מה שמוביל לחיכוך מתמיד ומסוכן בין הרוכבים לבין הולכי הרגל והרכבים האחרים.

אחד הגורמים המרכזיים לריבוי התאונות הוא אופיים ההנדסי של כלים אלו: מנועיהם החשמליים פועלים בשקט כמעט מוחלט, והם מסוגלים להגיע למהירויות גבוהות בזמן תאוצה קצר. לעיתים קרובות, הולכי רגל – ובמיוחד אוכלוסיות בסיכון כגון קשישים, ילדים ובעלי לקויות ראייה או שמיעה – אינם מודעים לכלי המתקרב אליהם עד לשבריר השנייה שלפני הפגיעה. היעדר מערכות התרעה אקטיביות ובקרת מהירות חכמה בכלים אלו, מחריף את סכנת הפגיעה והופך כל חוסר תשומת לב של הרוכב או הולך הרגל לפוטנציאל לאסון.

היקף ההיפגעות כתוצאה משימוש בכלים אלו נותר גבוה, והסכנה לחיי אדם במרחב האורבני משמעותית. מנתונים על תאונות במעורבות אופניים חשמליים שדווחו למשטרה, עולה כי בשנת 2025 לבדה נפגעו 1,286 בני אדם. אף על פי שמספר הנפגעים הכולל חווה תנודתיות בשנים האחרונות, בחינה מעמיקה של חומרת הפגיעות חושפת מגמה מסוכנת של החמרה בשיעור הפציעות הקשות. על פי הנתונים, בשנים 2022-2024 עלה שיעורם של הפצועים קשה מתוך כלל הנפגעים בתאונות שדווחו למשטרה מכ-8.7% לכ-11.5%, המהווה עלייה של כ-2.8 נקודות אחוז.

בנוסף, לאורך השנים 2018-2025, שיעור ההרוגים נע בין 0.8% ל-1.8% מכלל הנפגעים, כאשר בשנים 2020 ו-2023 שיעור ההרוגים היה גבוה לעומת יתר השנים. למרות שמרבית הנפגעים (לפחות 88% בכל השנים הנסקרות) מוגדרים כפצועים קל, העלייה העקבית בחלקן היחסי של הפציעות הקשות בשנים האחרונות מעידה על רמת קטלניות גוברת של התאונות עצמן, גם כאשר הן נמנעות מלהסתיים במוות.



טבלה 1- מספר תאונות הדרכים אשר מעורב כלי חשמלי משנים 2018-2025

1.2 מטרת הפרויקט:

כדי להתמודד עם אתגרים אלו ולצמצם את היקף התאונות, נדרשות מערכות טכנולוגיות חדשניות המיועדות לשפר את השליטה והבטיחות בכלי רכב חשמליים זעירים. מערכות אלו, המבוססות על מגוון טכנולוגיות מתקדמות ובקרת חומרה, נועדו לשמש כקו הגנה אקטיבי המונע התנגשויות ומתריע בזמן אמת.

מדוע מערכות אלו חשובות?

- **הגורם האנושי והיסח הדעת:** גם הרוכבים הזהירים והמיומנים ביותר, כמו גם הולכי הרגל, עלולים לסבול מרגעי חוסר תשומת לב. בסביבה אורבנית עמוסה, זמן התגובה האנושי לא תמיד מספיק כדי למנוע תאונה.
- **סכנת פגיעה חמורה:** פגיעה של כלי רכב חשמלי הנע במהירות גבוהה בהולך רגל, או איבוד שליטה של הרוכב עצמו, עלולים להוביל לפציעות גופניות קשות ואף לסכנת חיים, במיוחד לאור היעדר מעטפת הגנה פיזית סביב הרוכב.
- **טכנולוגיה מונעת ומצילת חיים:** מערכות בקרה אקטיביות, המסוגלות להתערב בפעולת הכלי (כגון האטת המנוע והפעלת התרעות ויזואליות בולטות), מספקות שכבת הגנה נוספת ואוטומטית, מעבר לחוקי התנועה וזמן התגובה של הרוכב.

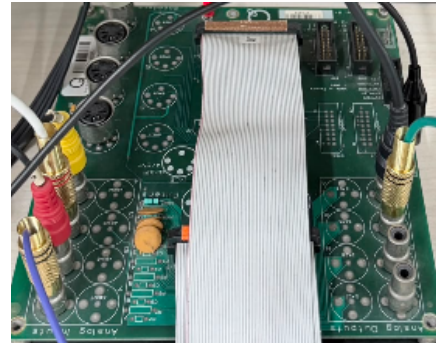
הפרויקט שלנו נועד לתכנן ולהציג מערכת בקרה ובטיחות אקטיבית לקורקינטים ואופניים חשמליים, תוך שילוב טכנולוגיה חכמה ובקרת חיישנים מתקדמת. המערכת מדגימה יכולות של זיהוי קרבה בזמן אמת, ויסות אוטומטי של מהירות המנוע, וניהול תגובות והתרעות מיידיות, במטרה למנוע סכנות פוטנציאליות ולהבטיח את בטיחותם של הרוכבים ושל משתמשי הדרך בסביבתם.

2.רכיבי המערכת:

2.1

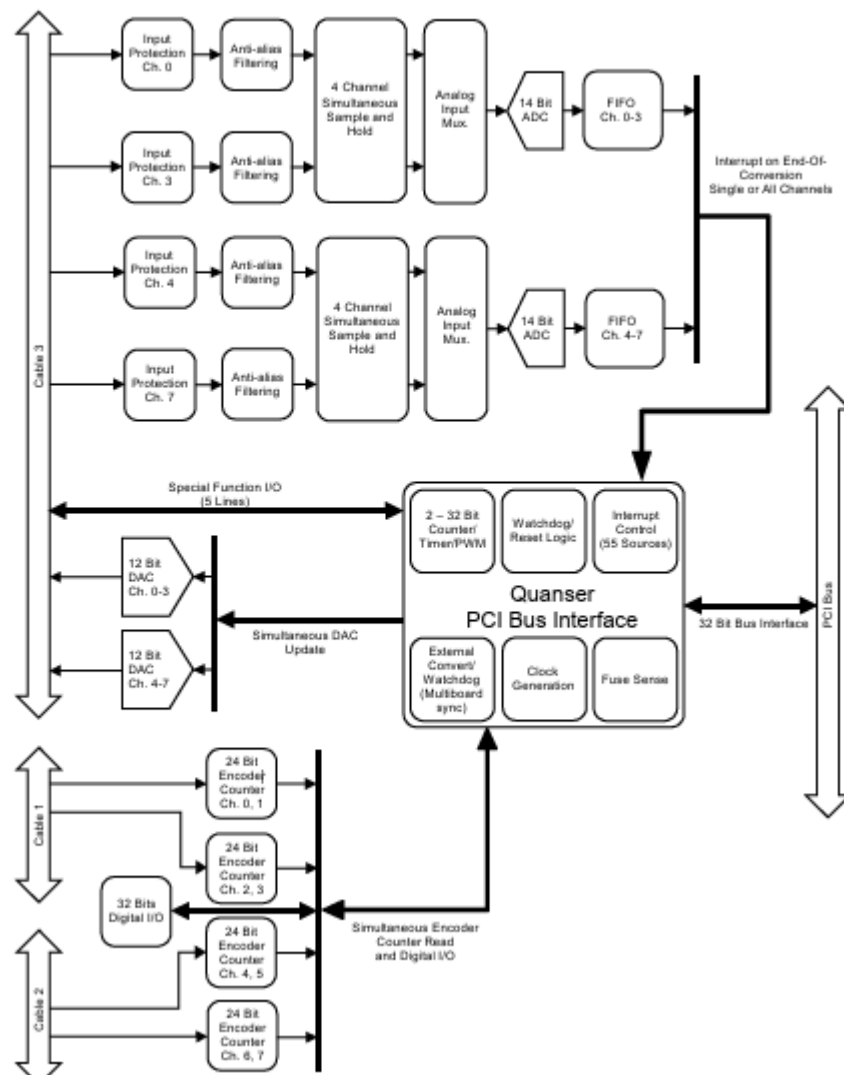
מערכת רכישת נתונים - DAQ Q4

מערכת רכישת נתונים (DAQ - Data Acquisition) מהווה תשתית אינטגרטיבית למדידה, דגימה והמרה של תופעות פיזיקליות וחשמליות לכדי אותות ספרתיים ברי-עיבוד. המערכת משלבת חיישנים, חומרת עיבוד אותות מקדימה ורכיבי המרה, הנתמכים על ידי ממשק ממוחשב המאפשר רישום, אגירה ובקרה מתוכנתת של הנתונים בזמן אמת.



כרטיס ה-Q4 מבית חברת Quanser הינו רכיב DAQ מתקדם המבוסס על אפיק ה-PCI ומתוכנן ליישומים הדורשים דגימה סימולטנית ובקרה ברמת דיוק גבוהה. הרכיב מצויד ב-4 כניסות אנלוגיות (AI) ברזולוציה של 14-bit עם מנגנון דגימה סימולטנית (Simultaneous sampling) מובנה. בנוסף, המערכת מספקת 4 יציאות אנלוגיות (AO) ברזולוציה של 12-bit הכוללות אפשרות לתכנות אינדיבידואלי של טווחי המתח ועדכון סימולטני של כלל היציאות.

בגזרת הבקרה הלוגיקה הספרתית, הכרטיס משלב 16 ערוצי קלט/פלט דיגיטלי (DIO) דו-כיווניים הניתנים לתכנות אינדיבידואלי, לצד 3 כניסות דיגיטליות ייעודיות. כמו כן, הרכיב מציע יכולות מנייה נרחבות הכוללות 4 כניסות אנקודר (Quadrature) בעלות מוני 24-bit, ושני שעוני חומרה/מונים רב-תכליתיים של 32-bit (היכולים לשמש גם כמחוללי PWM או כמערכת פיקוח Watchdog לבטיחות), המספקים רזולוציית תזמון גבוהה של 60ns.



איור 1-ארכיטקטורת רכיב עבור DAQ Q4

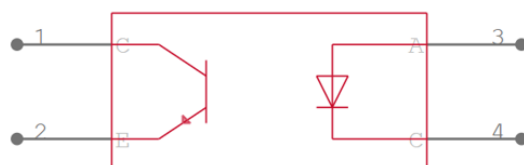
Resolution	PWM Frequency
8 bits	65 kHz
10 bits	16 kHz
12 bits	4 kHz

טבלה 2- רזולוציית PWM של הרכיב

2.2 חיישן מרחק אופטי TCRT5000: חיישן ה-TCRT5000 הינו חיישן אופטי רפלקטיבי הפועל באמצעות שידור קרן אינפרה-אדומה (IR) ומדידת עוצמת ההחזר מהאובייקט הנמצא מולו לצורך גילוי עצמים בקרבת הכלי. החיישן מתאפיין ביכולת עבודה בטווח טמפרטורות רחב שבין 25°C ל- 85°C , מה שהופך אותו למתאים לשימוש בכלי רכב בתנאי סביבה משתנים. האות המתקבל מהחיישן הינו קלט אנלוגי המועבר לבקר ה-DAQ, כאשר המתח במוצא משתנה באופן רציף בהתאם למרחק העצם, ובכך מאפשר זיהוי קרבה מדויק ודינמי בתוך אלגוריתם הבקרה.



החיישן מתאים לעבודה בטמפרטורה של 25°C עד 85°C טווח טמפרטורות זה מתאים למערכת העובדת בתוך כלי רכב ברוב העולם כולל במצבי קיצון בחורף קר במיוחד או בקיץ חם במיוחד. מתח כניסה הפוך מקסימלי 5V וזרם כניסה קדמי מקסימלי 60mA. זרם יציאה אופייני 1mA מרחק העבודה האופטימלי 2.5 מ"מ, כאשר טווח העבודה האפקטיבי 0.2-15 מ"מ. הרכיב מספק פלט אנלוגי, כלומר זרם משתנה בהתאם לעוצמת האור המוחזר מהאובייקט הנמצא מולו.



איור 2- חיישן TCR5000 ומודל חיבורים

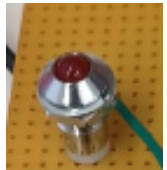
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
OUTPUT (DETECTOR)				
Collector emitter voltage		V_{CEO}	70	V
Emitter collector voltage		V_{ECO}	5	V
Collector current		I_C	100	mA
Power dissipation	$T_{amb} \leq 55^{\circ}\text{C}$	P_V	100	mW
Junction temperature		T_j	100	$^{\circ}\text{C}$
SENSOR				
Total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	200	mW
Ambient temperature range		T_{amb}	- 25 to + 85	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range		T_{stg}	- 25 to + 100	$^{\circ}\text{C}$
Soldering temperature	2 mm from case, $t \leq 10$ s	T_{sd}	260	$^{\circ}\text{C}$

טבלה 3- טבלת פרמטרים רכיב TCRT5000

2.3 נורת לד כחולה (בקרת מנוע): נורת הלד הכחולה משמשת במערכת כרכיב פלט המספק משוב ויזואלי מידי לעוצמת הפעולה הנדרשת מהמנוע. באמצעות שינוי מתח או אפנון רוחב פולס (PWM) דרך בקר ה-DAQ, המערכת מווסתת את עוצמת ההארה של הלד כך שתשקף את ההספק המועבר למנוע בזמן אמת. רכיב זה משולב במעגלי הבקרה לניטור מצבי עבודה, והוא מסוגל לפעול ביציבות בטווח טמפרטורות שבין 40°C ל- 85°C , תוך הבטחת אינדיקציה ברורה למשתמש על מצב המערכת.



2.4 נורת לד אדומה (התרעת קרבה): נורת הלד האדומה מתפקדת כרכיב התרעה בטיחותי קריטי בממשק אדם-מכונה (HMI) של המערכת. כאשר חיישן המרחק מזהה קרבה מסוכנת לעצם או להולך רגל, הבקר מעביר את הלד למצב הבהוב (Flashing) בתדירות מוגדרת מראש לצורך יצירת התרעה ויזואלית בולטת לסביבה. הלד מותאם לעבודה בתנאים קיצוניים של 40°C עד 85°C ומשולב ישירות באלגוריתם הבטיחות הממומש בסימולינק, ובכך מהווה שכבת הגנה אקטיבית למניעת התנגשויות.



2.5 מערכת ה-SRV02 מבית Quanser היא פלטפורמת סרוו

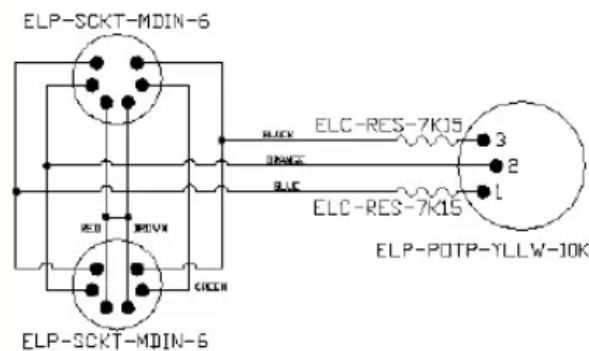
סיבובית המיועדת לתהליכי בקרה מתקדמים, המאפשרת מימוש ובדיקה של חוגי בקרה כגון בקרת PID בסביבת MATLAB/Simulink. הלב הפועם של המערכת מבוסס על מנוע Faulhaber Coreless DC (דגם 2338S006), אשר מאופיין בהשראות עוגן נמוכה של 0.18 mH ונצילות גבוהה של 0.69 . תכונות אלו מקנות למנוע תגובת מעבר (Transient response) מהירה משמעותית מזו של מנועי DC סטנדרטיים. מבחינה חשמלית, המנוע פועל תחת מתח נומינלי של 6.0V עם מגבלות כניסה של עד $\pm 15\text{V}$, מתוכנן לעמוד בזרם רציף של 1A ובזרמי שיא של 3A , ומסוגל להגיע למהירות זוויתית



מרבית של 628.3 rad/s . על מנת למנוע נזק מכני למברשות המנוע ולתמסורת כתוצאה מרעשים בתדר גבוה (הנובעים לרוב מהגבר נגזרת בבקר), נדרש לבצע סינון והגבלת רוחב פס (Band-limit) לאותות הפיקוד לתדר מקסימלי של 50 Hz .

לצורך סגירת חוג בקרה יציב ומדויק, המנוע משולב עם מערך חיישנים מתקדם המספק משוב מצב ומהירות בזמן אמת:

- משוב מהירות: מתבצע באמצעות טכומטר המחובר ישירות לציר המנוע. חיבור ישיר זה מונע עכבות (Latencies) תזמון במערכת ומבטיח מדידה מדויקת ופרופורציונלית למהירות הסיבוב.
- משוב מיקום יחסי: המערכת מצוידת במקודד אופטי מבית US Digital (דגם S1) הפועל בתצורת Quadrature, ומספק רזולוציה גבוהה של 4096 או 8192 ספירות לסיבוב (כתלות בדגם המדויק, SRV02-E או SRV02-EHR).
- משוב מיקום אבסולוטי: בניגוד למקודד המודד זווית יחסית, המערכת כוללת גם פוטנציומטר רציף של חברת Vishay Spectrol (דגם 132) בעל התנגדות של $10\text{ k}\Omega$, המספק מתח של 5 V על פני טווח חשמלי של 352 מעלות.



איור-3 מודל סכמתי של המנוע

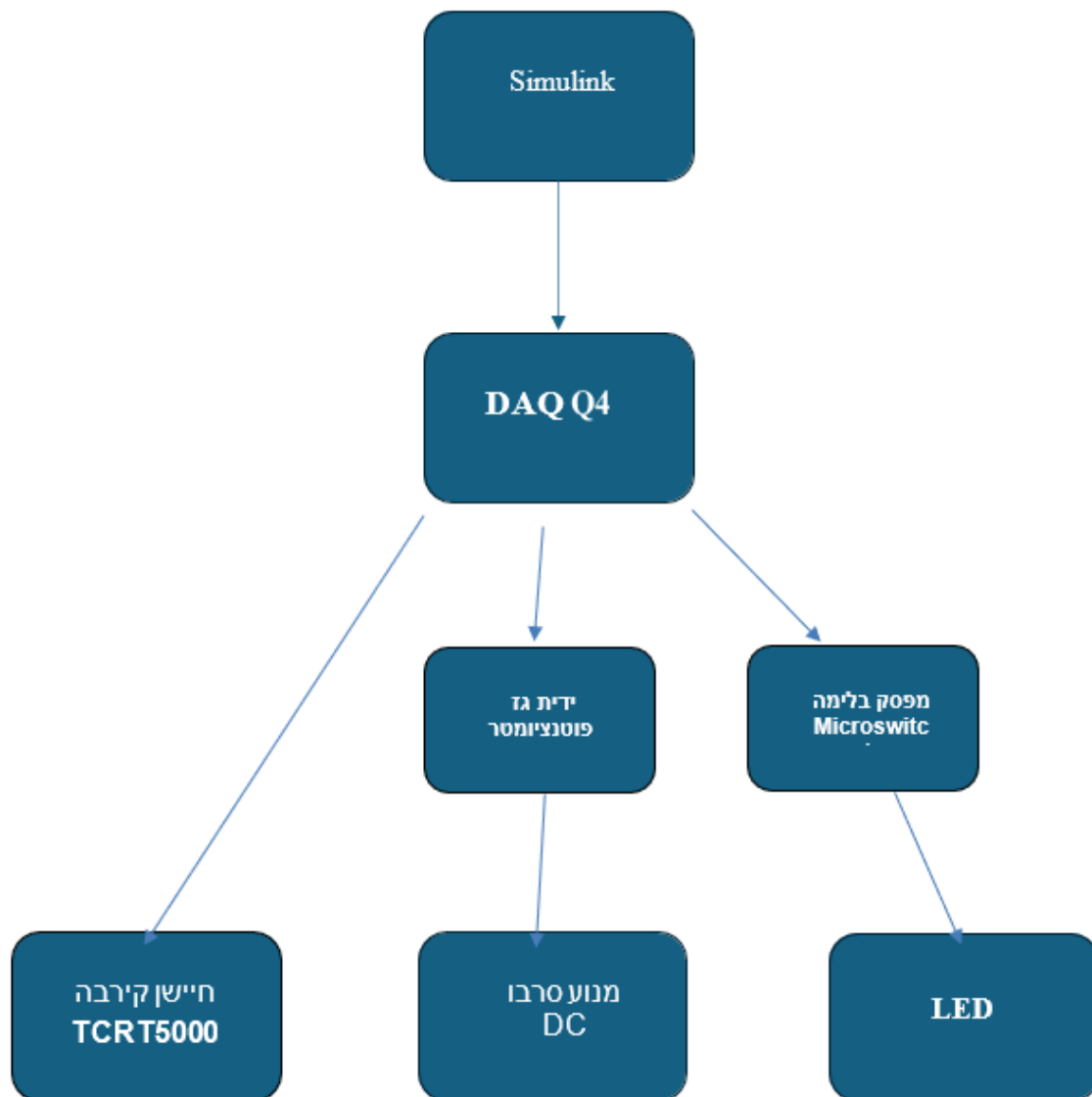
2.6 נגדים: נגדים במערכת הינם רכיבים פסיביים שתפקידם העיקרי הוא הגבלת זרם (Current Limiting) עבור נורות הLED והגנה על שאר רכיבי הקצה המחוברים לבקר ה-DAQ. המעגל עושה שימוש בנגדים בעלי הספק של 0.25W וסבילות (Tolerance) של 5%, המבטיחים את התאמת הרמות החשמליות ושמירה על יציבות המעגל לאורך זמן. רכיבים אלו חיוניים למניעת נזק לרכיבים רגישים כתוצאה מזרמי יתר ולשמירה על נקודת עבודה תקינה של המערכת כולה.

2.7 נגד פוטנציומטר WH148: נגד פוטנציומטר פועל כנגד משתנה סיבובי המשמש כאלמנט פיקוד (Throttle) לקביעת דרישת המהירות על ידי המשתמש. באמצעות שינוי המגע הנע, הרכיב יוצר מחלק מתח השולח אות קלט אנלוגי משתנה לבקר ה-DAQ, אשר מתורגם בתוך סביבת Simulink לפקודת מהירות למנוע. שילוב זה מאפשר דימוי אמין של ידית תאוצה בכלי חשמלי ומקנה למערכת יכולת תגובה רציפה ולינארית לשינויי הפיקוד הידניים.

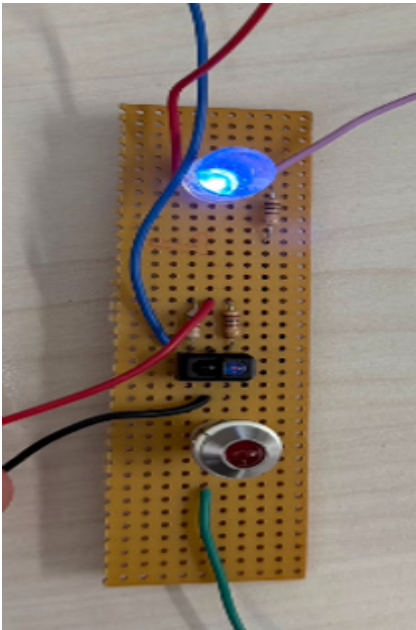
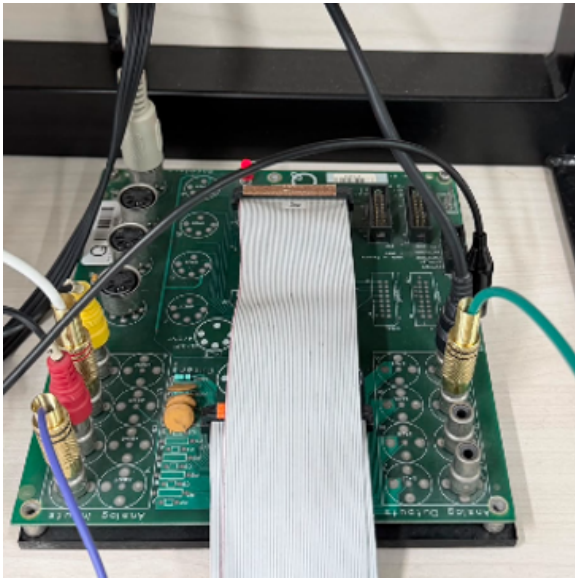
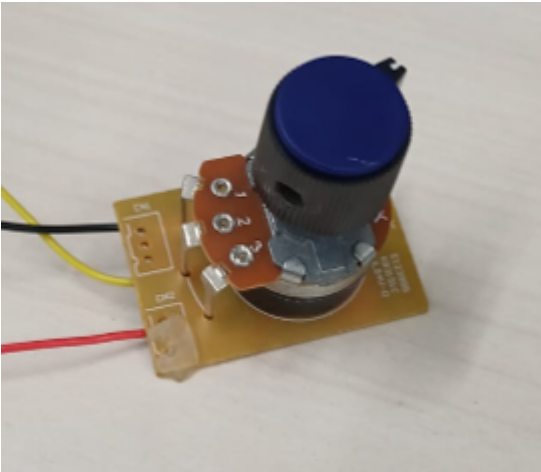
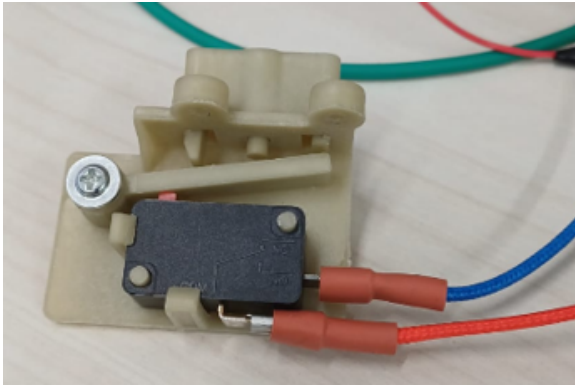
2.8 מיקרו-סוויץ' (מפסק בלימה): מפסק גבול מכני (Microswitch) המשמש להדמיית מערכת הבלימה של הכלי החשמלי. בעת הפעלתו, המפסק מעביר חיווי למערכת הבקרה אשר מווסתת את מהירות המנוע כתלות בעוצמת ההארה של אורות בלם.



3. Block Diagram:



3.1 תמונות של רכיבי המערכת:

מעגל חשמלי	DAQ Q4
	
פטנציומטר עבור דוושת הגז	סוואיץ-עבור ידית הברקס
	

4. טבלאות מצבים:

4.1

תנאים למהירות:

הסבר	מהירות אפשרית	מתח על פוטנציומטר (U1)
רוב המתח על המנורה (מנורה חזקה)	עד 100% (6V)	$U1 < 2.85V$
מצב בינוני (מנורה נחלשת)	עד 70% (4.2V)	$2.85V < U1 < 3.6V$
מצב חירום (מנורה חלשה מאוד או כבויה)	עד 25% (1.5V)	$U1 > 3.6V$

טבלה זו מתארת כיצד מהירות המנוע נגזרת עוצמת ההארה של הLED, מדמה את אורות הבלימה. עוצמת הארה חזקה מאפשרת למנוע לפעול ב-100% הספק, בעוד עוצמה נמוכה יותר מגבילה את המנוע ל-70% וכן הלאה, מה שמבטיח התאמה דינמית של עוצמת המנוע לתנאי הרכיבה.

4.2

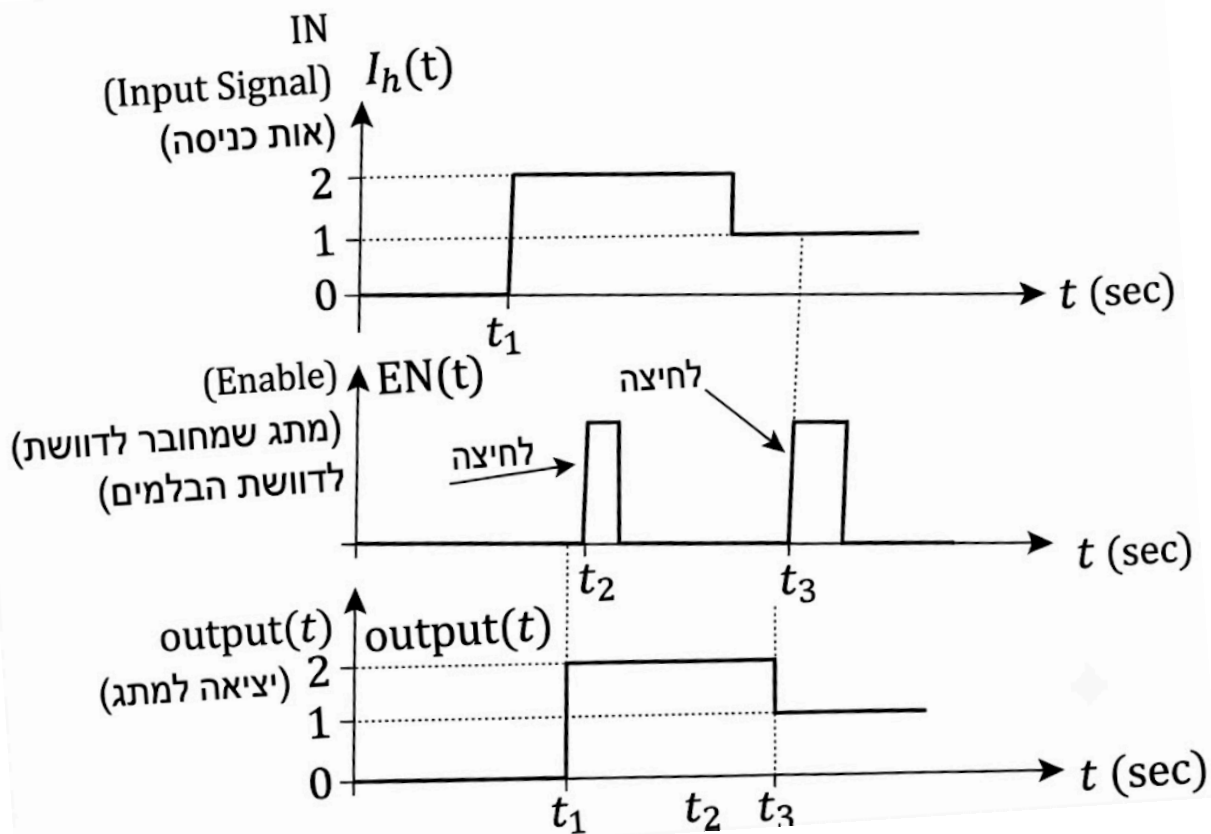
תנאים חיישן מרחק:

מרחק מורגש	מתח חיישן	מרחק אמיתי (1:100)	תדר נורית התרעה
$d > 15cm$	$U1 > 5V$	$d > 15m$	0 (אור קבוע)
$10cm < d < 15cm$	$4.75 < U1 < 5V$	$10 < d < 15m$	1 Hz
$5cm < d < 10cm$	$3.75 < U1 < 4.75V$	$5 < d < 10m$	2 Hz
$d < 5 cm$	$3.5V > U1$	$d < 5$	3Hz (הבהוב הכי מהיר)

טבלה זו מתארת את הלוגיקה של מערכת התרעת קרבה בהתבסס על חיישן מרחק. ככל שהמרחק הנמדד בין הכלי לבין עצם כלשהו מתקצר, מתח חיישן יורד, והמערכת מגיבה בהעלאת תדירות הבהוב של נורת ההתרעה (מ-0 הרץ לאור קבוע ועד 3 הרץ במצב הקרוב ביותר), ובכך מתריעה על סכנה מתקרבת בצורה דינמית וברורה לסביבה.

4.3

תרשים תזמון הפעלת המערכת

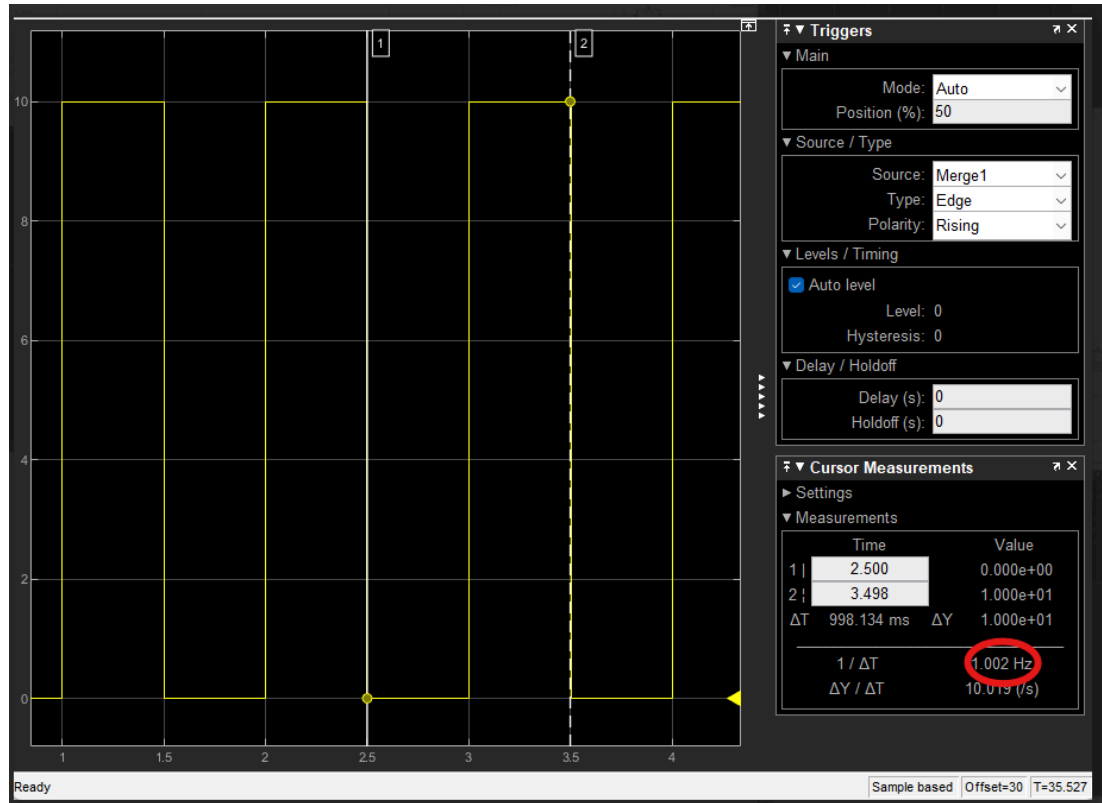


תרשים התזמון (4.3) מציג את מימוש הלוגיקה הדיגיטלית בסביבת Simulink, המתבססת על מעגל דגימה והחזקה (Sample & Hold). מעגל זה אחראי על שימור הערך האחרון שהתקבל, עד להגעת אות Enable חדש. אות ה-EN מופק כתוצאה לחיצה על מפסק הבלימה, המדמה את דוושת הבלם בכלי החשמלי.

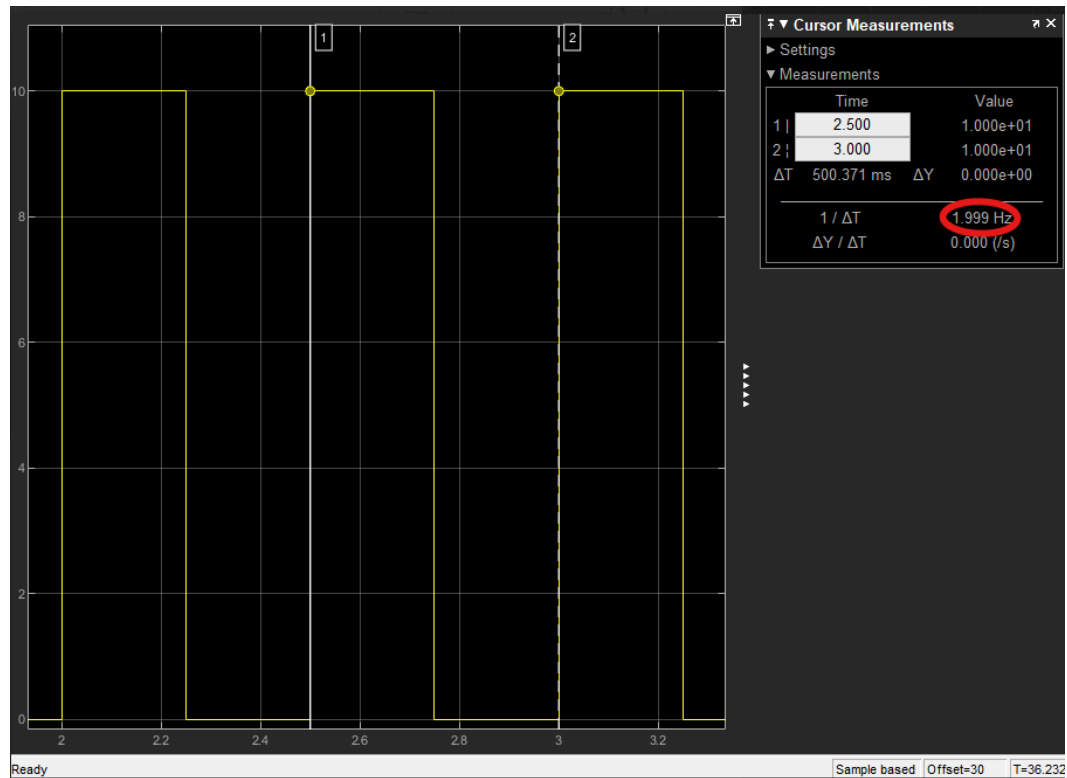
מנגנון זה משמש כנדבך בטיחותי קריטי: הפעלת המנוע מותנית בלחיצה אקטיבית על דוושת הבלם, פעולה המאשרת את מוכנות המערכת. בתרשים ניתן לראות כיצד השינויים במוצא (Output) מתעדכנים רק לאחר קבלת סיגנל מהמתג (בזמנים t_2 , t_3), ובכך מובטח כי המנוע יפעל רק בתנאים המוגדרים ולא באופן שרירותי, מה שמקנה שליטה מדויקת ובטוחה עבור המשתמש.

5. תמונות התדירויות עבור מערכת התרעה

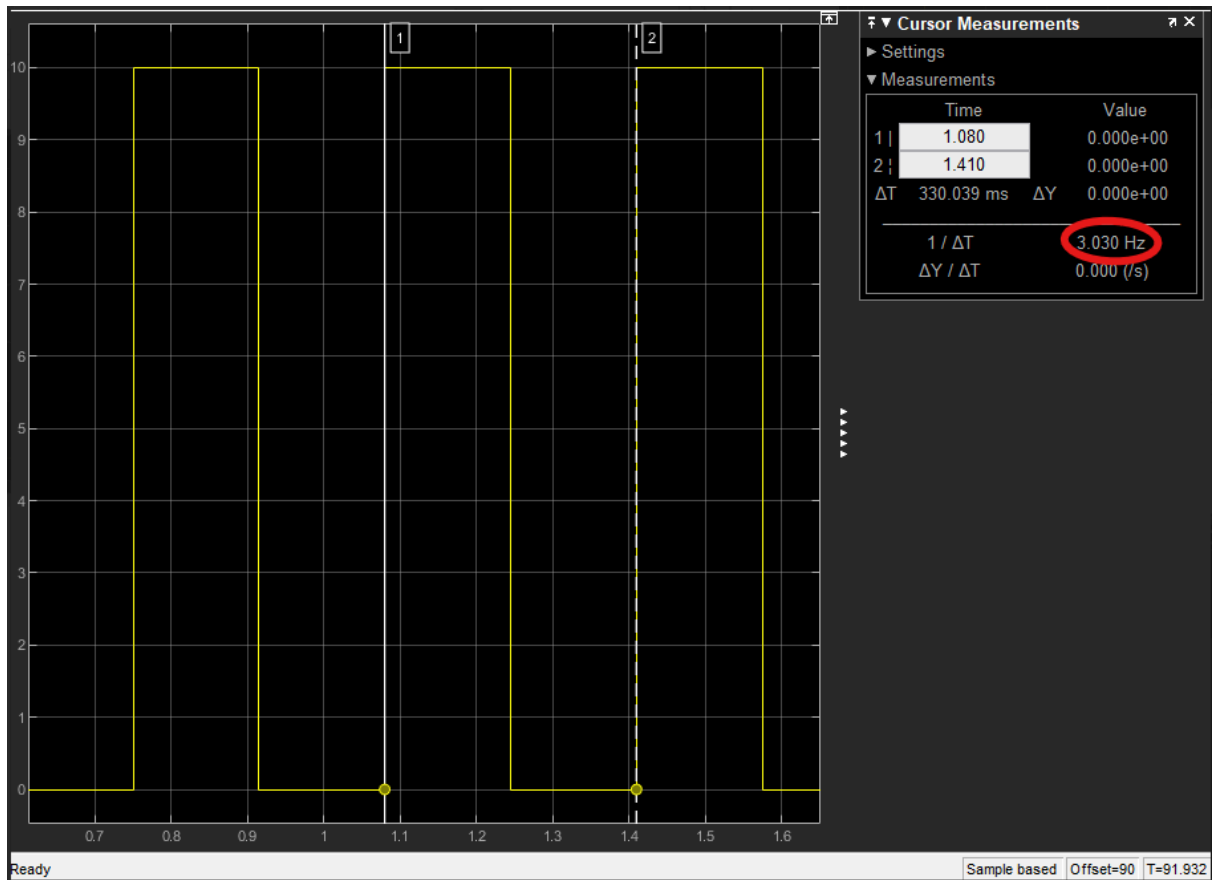
איור 6: תדירות של 1 Hz כאשר המרחק בין 10 ל-15m



איור 7: תדירות של 2 Hz כאשר המרחק בין 10 ל-5m

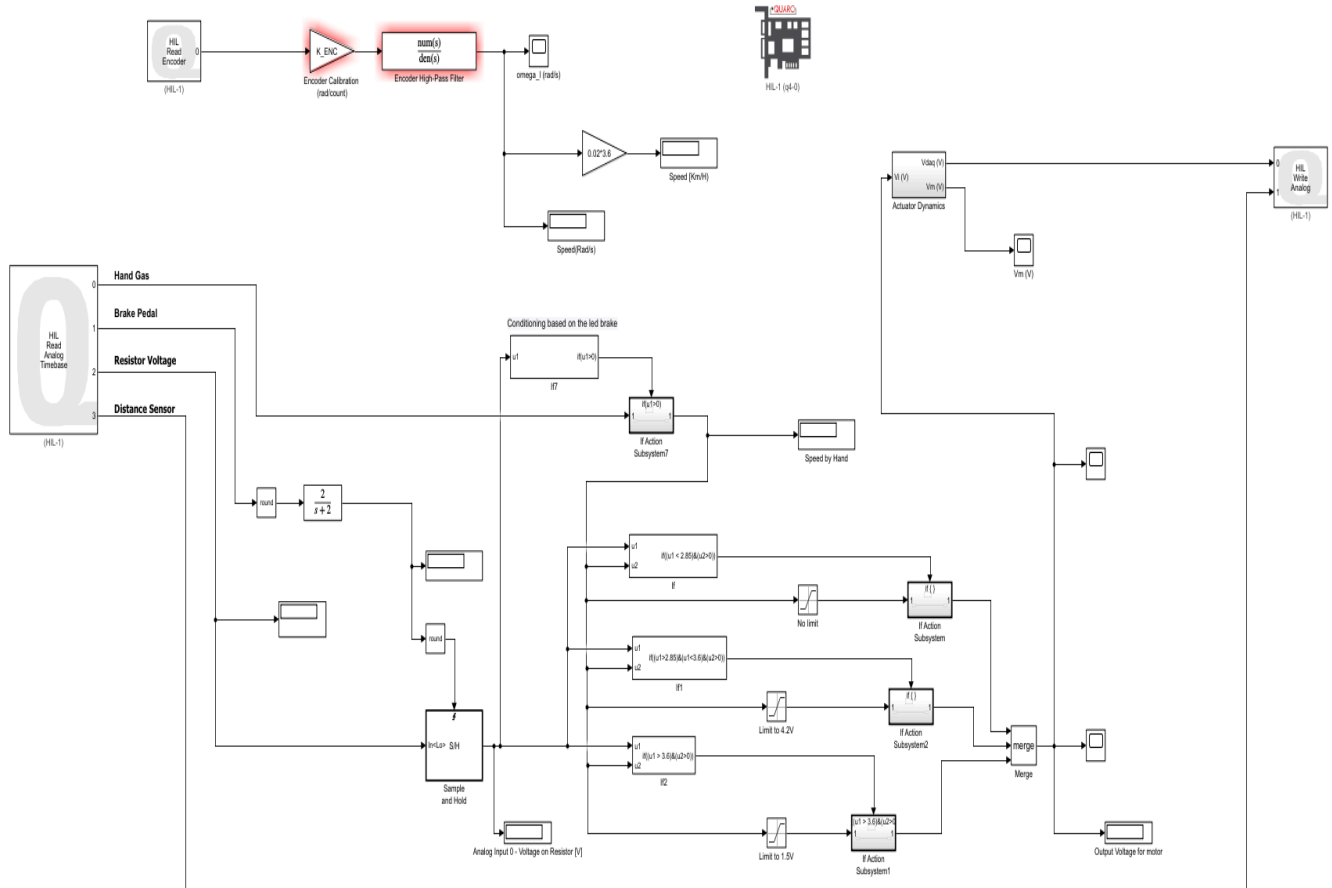


איור 8: תדירות של 3Hz כאשר המרחק קטן 5m



: Simulink .6

6.1 דיאגרמת בלוקים:



איור 9 – דיאגרמת הבלוקים של המערכת

6.2 הסבר בלוקים:

1. HIL Initialize:



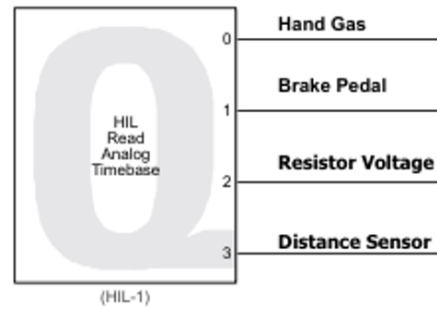
הבלוק מבצע את אתחול כרטיס הבקרה **Quanser Q4** ומגדיר את משאבי החומרה שבהם המודל משתמש. בקובץ שלכם הוא מוגדר עבור:

כניסות אנלוגיות 0:3
יציאות אנלוגיות 0:3
ערוצי Encoder 0:3
תחום כניסה אנלוגי של $\pm 10V$
תחום יציאה אנלוגי של $\pm 10V$
ערכי יציאה התחלתיים וסופיים של 0V

כלומר זהו למעשה בלוק הקונפיגורציה המקשר בין מודל ה-Simulink לבין כרטיס ה-Q4 לפני תחילת עבודת המערכת.

זה מקביל מבחינת תפקיד לדרך שבה מתן ואלמוג מסבירים תחילה את ממשק ה-DAQ לפני שעוברים למסלולי הבקרה.

6.3 HIL Read Analog Timebase — ארבע הכניסות:



יציאת הבלוק	ערוץ Q4	תפקיד בפרויקט
Output 1	AI0	Hand Gas – פקודת המהירות מהידית
Output 2	AI1	Brake Pedal – אות דוושת הבלם
Output 3	AI2	Resistor Voltage – המתח המייצג את עוצמת תאורת הבלם
Output 4	AI3	Distance Sensor – מתח חיישן המרחק

3. מסלול פקודת המהירות:

המסלול הוא:

מערכת בחירת → AI0 Hand Gas → If Action Subsystem7 → Saturation blocks המגבלה

אבל יש פרט חשוב:

ה-If לא מקבל את Hand Gas.

הוא מקבל דווקא את המתח שנשמר ב-Sample and Hold, כלומר מתח עוצמת ההארה.

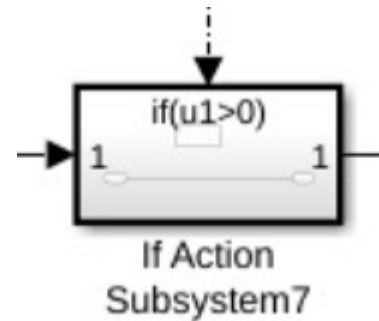
התנאי שלו הוא:

$$u_1 > 0$$

וה-Hand Gas מחובר לכניסת הנתונים של If Action Subsystem7.

אם מתח התאורה שנדגם גדול מאפס, ה-If Action Subsystem7 מופעל ומעביר את פקודת ה-Hand Gas להמשך מערכת הבקרה.

If Action Subsystem7



בתוך הבלוק קיימים:

- In1
- Action Port
- Out1

אין בו חישוב נוסף. כאשר If7 מפעיל אותו, הוא פשוט מעביר את אות ה-Hand Gas מהכניסה אל היציאה.

Speed by Hand



ה-Display בשם:

Speed by Hand

מחובר ליציאת If Action Subsystem7.

לכן הוא מציג את **פקודת המהירות הידנית לאחר תנאי ההפעלה**, ולא את המהירות הנמדדת של המנוע.

גם הבלוק הזה היה חסר בהסבר הקודם.

4. מסלול דוושת הבלם:

המסלול המדויק הוא:

Sample and של Brake Pedal → Round → Transfer Fcn → Round1 → Trigger Hold

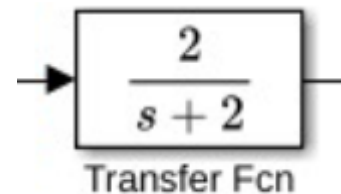
Round



הכניסה השנייה של ה-HIL Read Analog, כלומר Brake Pedal, עוברת תחילה דרך Round.

הבלוק מוגדר ל-round, כלומר עיגול לערך השלם הקרוב.

Transfer Fcn

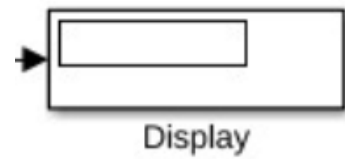


לאחר מכן האות עובר דרך:

$$G(s) = 2 / (s + 2)$$

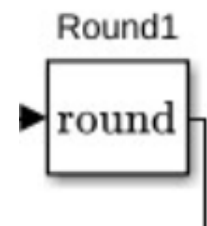
זהו מסנן מסדר ראשון המחליק את המעבר באות הבלימה.

Display



ה-Display שנקרא פשוט Display מחובר ל-**Transfer Fcn** **ליציאת** Transfer Fcn.
לכן הוא מציג את אות הבלם לאחר העיגול והסינון.
בתשובה הקודמת לא זיהיתי את ה-Display הזה בצורה מפורשת.

Round1



אחרי המסנן קיים Round1, שגם הוא מוגדר לעיגול לערך השלם הקרוב.
הפלט שלו מחובר לכניסת ה-Trigger של Sample and Hold.

5. Resistor Voltage ומנגנון Sample and Hold

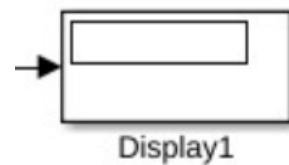
הכניסה השלישית, AI2, היא:

Resistor Voltage



כלומר המתח המייצג את עוצמת תאורת הבלמים.

Display1

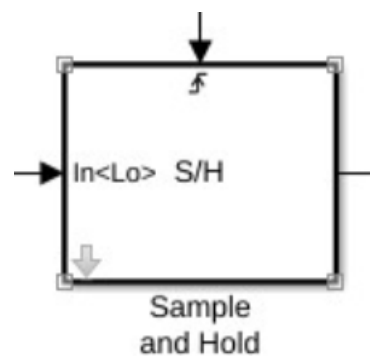


ה-Display בשם Display1 מחובר ישירות ל-AI2.

לקן:

Display1 מציג את המתח הגולמי של חיישן/מדידת עוצמת התאורה לפני Sample and Hold.

Sample and Hold



כאן נמצא אחד החלקים החשובים ביותר באלגוריתם.

Sample and Hold המשך-

כניסת הנתונים:

$$AI2 = V_{Light}$$

כניסת ה-Trigger מגיעה ממסלול דוושית הבלם:

$$Brake\ Pedal \rightarrow Round \rightarrow 2/(s+2) \rightarrow Round1 \rightarrow Trigger$$

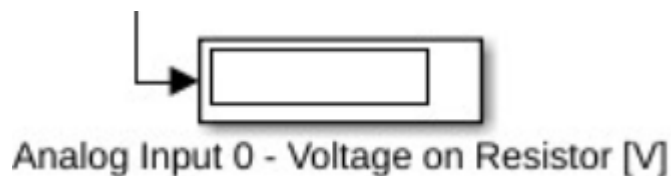
בנוסף בדקתי את הגדרות הבלוק:

- Trigger: **Rising edge**
- Initial Condition: **0**
- latchinput = on

כלומר כאשר מתקבלת חזית עולה באות הבלימה המעובד, המערכת **דוגמת את מתח התאורה באותו רגע ושומרת אותו** עד לאירוע הדגימה הבא.

זה ניסוח שכדאי מאוד לשים בספר, כי הוא מסביר למה יש בכלל Sample and Hold ולא רק חיבור ישיר לחיישן.

Analog Input 0 - Voltage on Resistor [V]



למרות השם Analog Input 0, הוא לא מחובר ישירות ל-AI0.

הוא מחובר ל-**מוצא ה-Sample and Hold**.

לכן השם מעט מטעה.

הוא מציג:

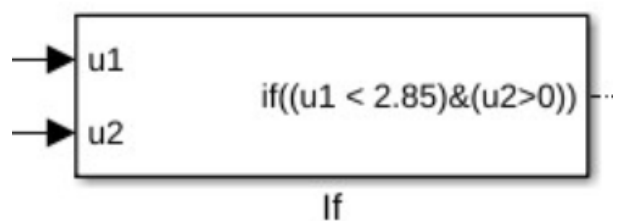
את מתח התאורה שנדגם ונשמר בזמן אירוע הבלימה.

6. שלוש רמות הגבלת המהירות

כאן הבדיקה הקודמת הייתה בעיקרה נכונה, אבל עכשיו אפשר לדייק גם מה הם u_1 ו- u_2 .
בכל שלושת בלוקי ה-If:

- u_1 = מתח התאורה שנשמר ב-Sample and Hold.
- u_2 = פקודת Hand Gas לאחר If Action Subsystem7.

If



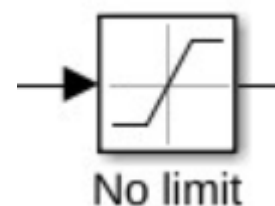
התנאי המדויק:

$$(u_1 < 2.85) \wedge (u_2 > 0)$$

אם הוא מתקיים, מופעל If Action Subsystem.

ה-Hand Gas עובר קודם דרך:

No limit



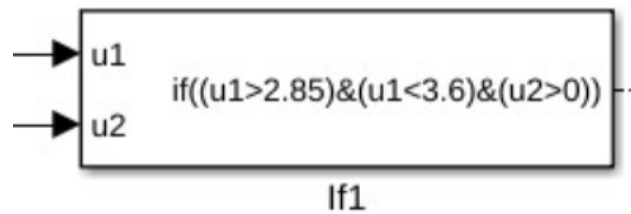
Saturation:

$$0 \leq V \leq 6V$$

ולכן פקודת המנוע המרבית היא 6V.

השם "No limit" אינו אומר שאין בכלל Saturation; בפועל יש מגבלה של 6V, אלא שזהו התחום הפחות מוגבל מבין שלושת מצבי העבודה.

If1

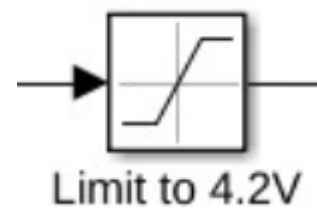


התנאי:

$$(u_1 > 2.85) \wedge (u_1 < 3.6) \wedge (u_2 > 0)$$

פקודת Hand Gas עוברת דרך:

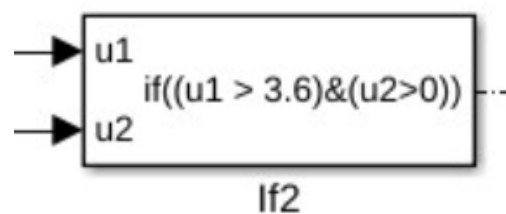
Limit to 4.2V



$$0 \leq V \leq 4.2 \text{ V}$$

ואז דרך If Action Subsystem2.

If2

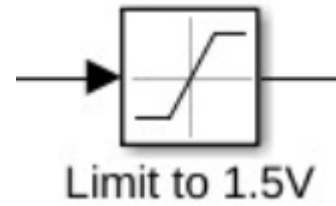


התנאי:

$$(u_1 > 3.6) \wedge (u_2 > 0)$$

האות עובר דרך:

Limit to 1.5V



$$0 \leq V \leq 1.5 V$$

ואז דרך If Action Subsystem1.

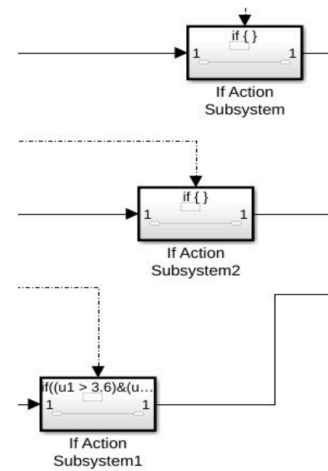
ממתח התאורה שנדגם	פקודת מנוע מרבית
$u_1 < 2.85 V$	6V
$2.85V < u_1 < 3.6V$	4.2V
$u_1 > 3.6 V$	1.5V

לכן טבלת הפעולה המדויקת היא: בהנחה ש-

זה אכן מיישם את העיקרון שלכם:

ככל שעוצמת ההארה עולה, מגבלת המתח למנוע יורדת ולכן המהירות המרבית מוגבלת לערך נמוך יותר.

If Action Subsystem / Subsystem1 / Subsystem2 .8



בכל אחד יש בדיוק:

In1 → Out1

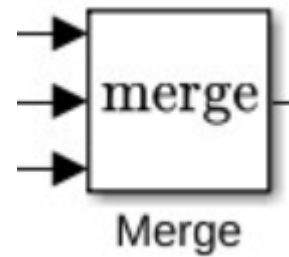
ובנוסף Action Port.

אין בהם Gain, Sum או חישוב נוסף.

כלומר הם משמשים למעשה כנתיב מותנה: כשה-If המתאים מפעיל את ה-Action Port, ערך הקלט עובר למוצא.

זה מתאים להסבר של מתן ואלמוג על שילוב If/Action Subsystem/Merge, שבו נתיב מסוים מופעל בהתאם לתנאי ולאחר מכן הפלטים מאוחדים.

9. Merge — בחירת פקודת המנוע



Merge כולל 3 כניסות:

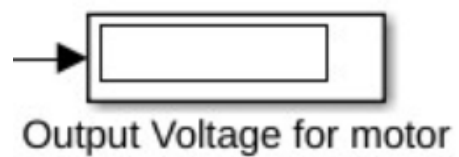
1. מסלול 6V
2. מסלול 4.2V
3. מסלול 1.5V

והוא מאחד את הפלט הפעיל לאות אחד.

המוצא שלו מתחבר במקביל אל ארבעה יעדים:

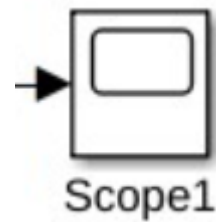
- Actuator Dynamics
- Output Voltage for motor
- Scope1
- Scope2

Output Voltage for motor



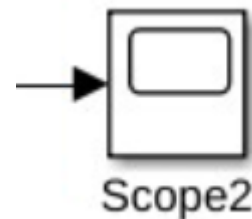
מציג מספרית את פקודת המתח שנבחרה.

Scope1



מציג את אותה פקודת מתח כפונקציה של הזמן.

Scope2



גם Scope2 מחובר לאותו מוצא של Merge.

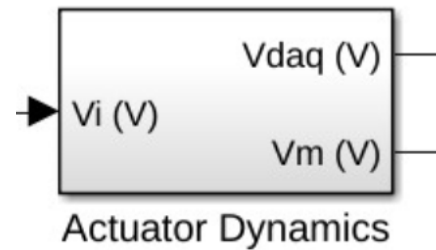
כלומר הוא אינו מודד חיישן אחר; הוא מציג שוב את פקודת המנוע.

ייתכן שהוגדר לצורך תצוגה/סקאלה אחרת. בקובץ אפילו נשאר לו שם Signal פנימי ישן (Sum1), אך לפי החיווט בפועל הוא מקבל את Merge.

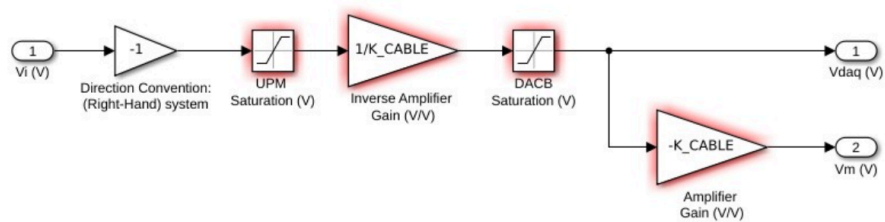
לכן בספר אפשר לכתוב:

שני בלוקי Scope משמשים לבחינת מתח הפיקוד למנוע לאורך זמן בתצורות תצוגה שונות.

Actuator Dynamics .10



הסדר המדויק בתוך ה-Subsystem הוא:



$V_i \rightarrow \text{Direction Convention} \rightarrow \text{UPM Saturation} \rightarrow \text{Inverse Amplifier Gain} \rightarrow \text{DACB Saturation}$

ואז האות מתפצל.

$(V_i (V$

כניסת הפקודה האידיאלית ממוצא ה-Merge.

Direction Convention: (Right-Hand) system

:Gain

$$\text{Gain} = -1$$

מתאים את סימן פקודת הבקרה לקונבנציה של מערכת ההנעה.

UPM Saturation

מגביל את מתח המנוע:

$$V_{MAX_UPM} \leq V \leq -V_{MAX_UPM}$$

Inverse Amplifier Gain

:Gain

$$Gain = 1 / K_CABLE$$

מחשב מה צריך להיות מתח ה-DAQ כדי לקבל את מתח המנוע הרצוי לאחר מגבר ההספק.

DACB Saturation

מגביל את פקודת ה-DAQ:

$$VMAX_DAC \leq V \leq VMAX_DAC-$$

מכאן האות מתפצל.

Vdaq (V)

זהו Output 1 של ה-Subsystem, והוא נשלח אל HIL Write Analog1.

Amplifier Gain

:Gain

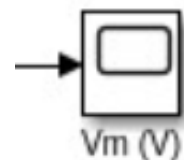
$$Gain = -K_CABLE$$

מקבל את מתח ה-DAQ לאחר ה-Saturation ומחשב את מתח המנוע בפועל לאחר הגבר המערכת.

Vm (V)

Output 2 — מתח המנוע המחושב לאחר מגבלות ה-DAQ וה-UPM.

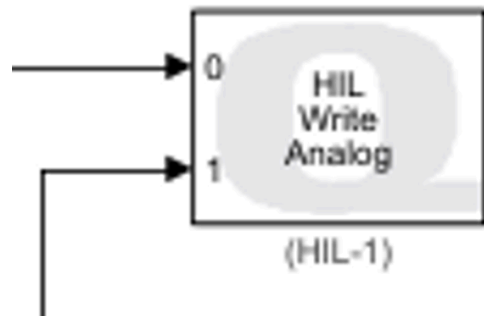
Vm (V) Scope



ה-Scope החיצוני בשם Vm (V) מחובר ל-Output 2 הזה.

כלומר הוא מציג את מתח המנוע לאחר מודל ה-Actuator, ולא את פקודת ה-Merge הגולמית.

HIL Write Analog1 .11



הבלוק מוגדר לשני ערוצי יציאה:

$[1,0]$

החיבור הוא:

- Actuator Dynamics של Input 1 $\leftarrow V_{daq}$
- Merge1 של מערכת חיישן המרחק $\leftarrow$ Input 2

כלומר:

AO0 = פיקוד מנוע

AO1 = אות LED/חיווי המרחק

אבל מצאתי כאן פרט שחשוב שתכיר:

בקובץ ששלחת הפרמטר:

active = off

מופיע בתוך HIL Write Analog1.

כלומר בלוק הכתיבה האנלוגי מסומן בקובץ כלא פעיל.

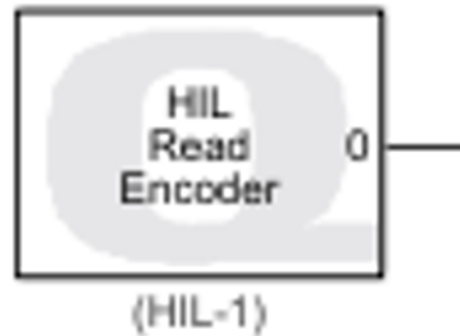
אם זה הקובץ שאמור להפעיל את החומרה בפועל, כדאי לבדוק אצלכם ב-Simulink אם זו אכן ההגדרה הרצויה או אם היא כובתה לצורך בדיקות/סימולציה.

12. מסלול Encoder

המסלול הוא:

→ HIL Read Encoder → Encoder Calibration → Encoder High-Pass Filter
תצוגות מהירות

HIL Read Encoder



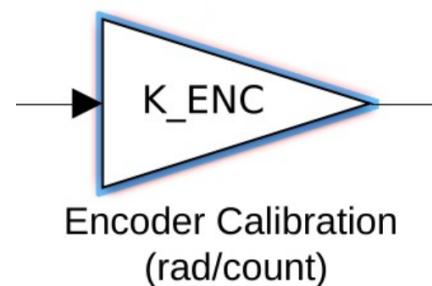
קורא את Encoder channel 0.

Sample time מוגדר:

`Qc_get_step_size`

Encoder Calibration (rad/count)

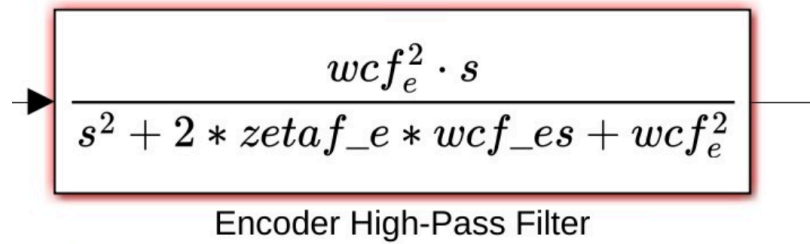
Gain



K_{ENC}

הופך את ספירת ה-Encoder לזווית ברדיאנים.

Encoder High-Pass Filter



פונקציית התמסורת היא:

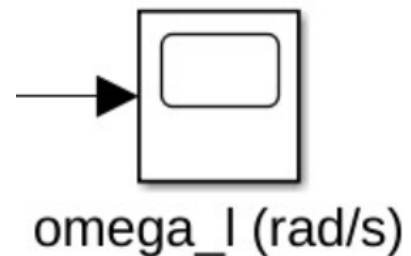
$$(G(s) = (\omega_{cf,e}^2 \cdot s) / (s^2 + 2\zeta_{f,e}\omega_{cf,e} \cdot s + \omega_{cf,e}^2)$$

יותר מדויק לתאר אותו כ-**נגזרת מסוננת**: הוא מקבל את זווית ה-Encoder ומפיק אומדן מסונן למהירות הזוויתית.

כלומר לא מדובר רק ב"ניקוי רעשים"; הוא חלק מתהליך המעבר:

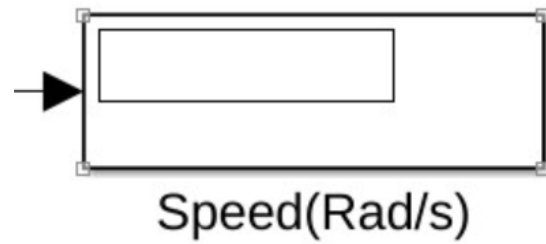
$$\theta \rightarrow \omega$$

omega_l (rad/s)



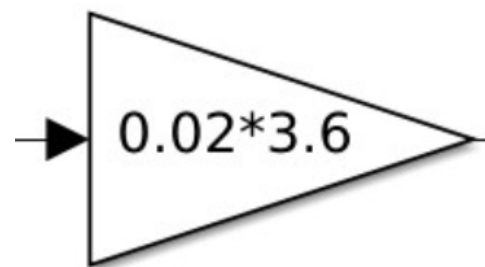
זה Scope שמחובר ישירות למוצא מסנן ה-Encoder ומציג את המהירות הזוויתית לאורך זמן.

Speed(Rad/s)



Display נוסף לאותו אות, המציג את המהירות הזוויתית מספרית.

13. Gain להמרה ל-km/h



ה-Gain הוא בדיוק:

$$3.6 \cdot 0.02$$

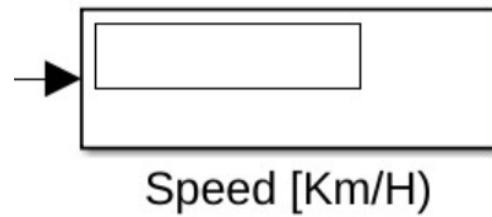
ולכן:

$$v = \omega \cdot 0.02 \cdot 3.6$$

ה-0.02 משמש במודל כגורם ההמרה ממהירות זוויתית למהירות קווית — כלומר הוא מתאים לרדיוס אפקטיבי של 0.02m — והכפלה ב-3.6 ממירה:

$$m/s \rightarrow km/h$$

Speed [Km/H)

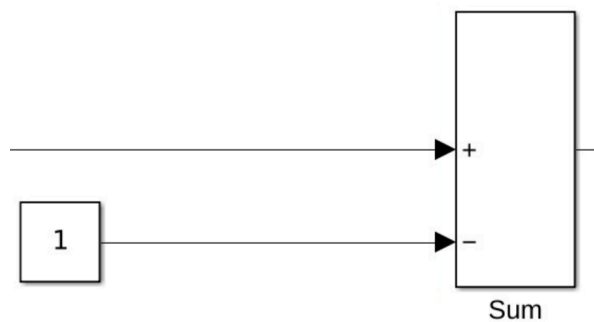


Display המציג את התוצאה בקמ"ש.

14. מסלול חיישן המרחק — המיפוי המדויק

AI3 נכנס אל:

Sum



ה-Sum מוגדר:

|-+|

כלומר:

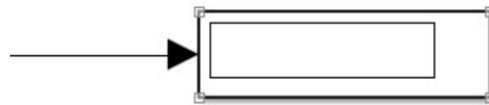
$$u = V_Distance - Constant$$

ל-Constant אין ערך מפורש שנשמר בקובץ, ולכן הוא משתמש בברירת המחדל של Simulink, שהיא 1.

כלומר בפועל:

$$u = V_Distance - 1$$

Analog input 1 - Distance Sensor



Analog input 1 -Distance Sensor

ה-Display הזה מחובר אחרי ה-Sum, ולכן הוא אינו מציג את המתח הגולמי של AI3.
הוא מציג:

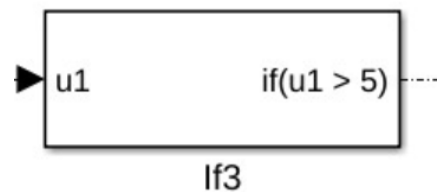
$$V_{Distance} - 1$$

גם כאן שם הבלוק מעט מטעה.

15. ארבעת מצבי חיישן המרחק

האות לאחר ה-Sum מוזן במקביל ל-If3–If6.

If3



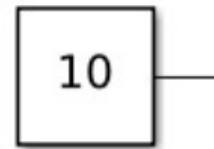
$$u_1 > 5$$

מפעיל:

If Action Subsystem3

והקלט שלו הוא:

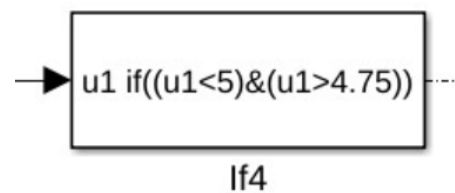
Constant6



10V

לכן במצב זה המוצא הוא **10V קבוע**, ולא הבהוב.

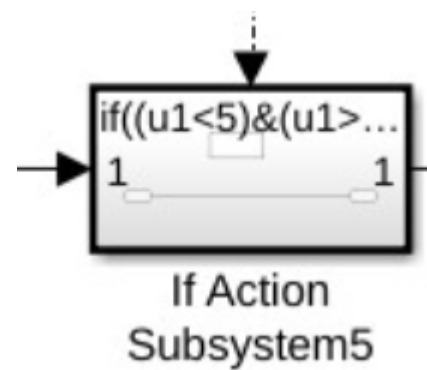
If4



$4.75 < u_1 < 5$

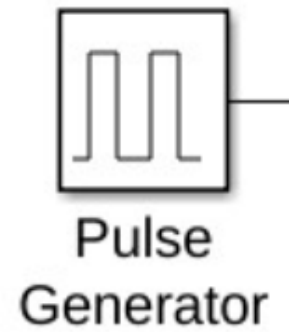
מפעיל:

If Action Subsystem5



הקלט אליו מגיע מ:

Pulse Generator

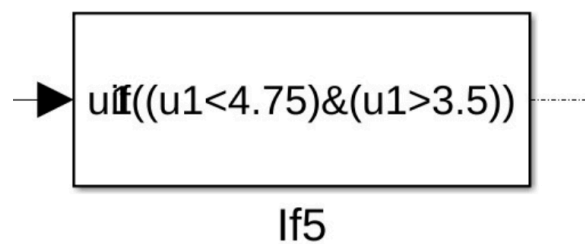


- Amplitude = 10
- Period = 1 s
- Pulse Width = 50%

ולכן:

$$f = 1 \text{ Hz}$$

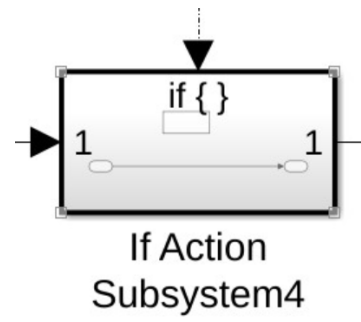
If5



$$3.5 < u_1 < 4.75$$

מפעיל:

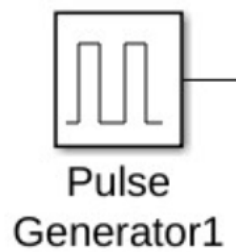
If Action Subsystem4



שוב, המספור הפוך יחסית לשמות.

הקלט הוא:

Pulse Generator1

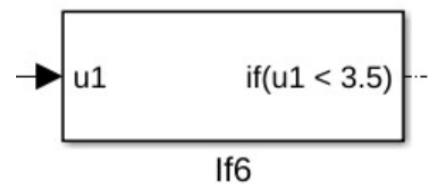


- Amplitude = 10
- Period = 0.5 s
- Pulse Width = 50%

לקן:

$$f = 2 \text{ Hz}$$

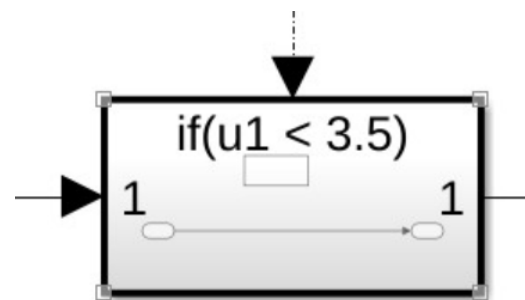
If6



$$u_1 < 3.5$$

מפעיל:

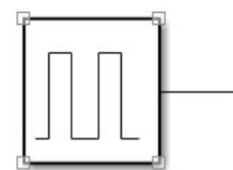
If Action Subsystem6



If Action Subsystem6

והקלט הוא:

Pulse Generator2



Pulse Generator2

- Amplitude = 10
- Period = 0.33 s
- Pulse Width = 50%

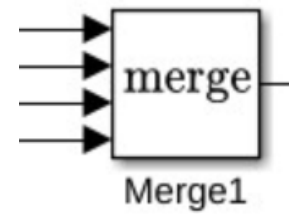
לכן:

$$f \approx 3.03 \text{ Hz}$$

יציאה	אות חיישן מעובד
V 10 רציף	$u > 5$
1Hz	$4.75 < u < 5$
2Hz	$3.5 < u < 4.75$

אות חיישן מעובד	יציאה
$u < 3.5$	$3.03 \approx$ Hz

Merge1.18



Merge1 כולל 4 כניסות:

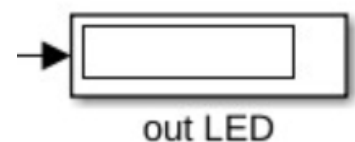
- 1. Constant 10
- 2. Pulse 1Hz
- 3. Pulse 2Hz
- 4. Pulse ≈ 3.03 Hz

ומוציא אות יחיד של חיווי המרחק.

המוצא מתחלק לשלושה:

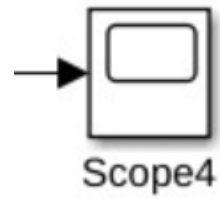
- out LED
- Scope4
- HIL Write Analog1 של Input 2

out LED



Display מספרי של פלט מערכת החיווי.

Scope4



מציג את צורת אות ה־LED לאורך הזמן ולכן מאפשר לראות את שינוי תדירות ההבהוב.:

סיכום טבלת בלוקים:

בלוק	#
HIL Initialize	1
HIL Read Analog Timebase2	2
HIL Read Encoder	3
HIL Write Analog1	4
(Encoder Calibration (rad/count	5
Encoder High-Pass Filter	6
(omega_I (rad/s	7
(Speed(Rad/s	8
Gain – 0.02×3.6	9
(Speed [Km/H	10
Round	11
Transfer Fcn	12
Display	13
Round1	14
Display1	15
Sample and Hold	16
Analog Input 0 - Voltage on [Resistor [V	17
If7	18
If Action Subsystem7	19
Speed by Hand	20
If	21
No limit	22
If Action Subsystem	23
If1	24
Limit to 4.2V	25
If Action Subsystem2	26
If2	27
Limit to 1.5V	28

#	בלוק
29	If Action Subsystem1
30	Merge
31	Output Voltage for motor
32	Scope1
33	Scope2
34	Actuator Dynamics
35	V _m (V) Scope
36	Constant
37	Sum
38	Analog input 1 - Distance Sensor
39	If3
40	Constant6
41	If Action Subsystem3
42	If4
43	Pulse Generator
44	If Action Subsystem5
45	If5
46	Pulse Generator1
47	If Action Subsystem4
48	If6
49	Pulse Generator2
50	If Action Subsystem6
51	Merge1
52	out LED
53	Scope4

ובתוך Actuator Dynamics יש את כל שמונת הבלוקים הבאים: Vi, Direction Convention, UPM Saturation, Inverse Amplifier Gain, DACB Saturation, Amplifier Gain, ו-V_m. V_{daq}

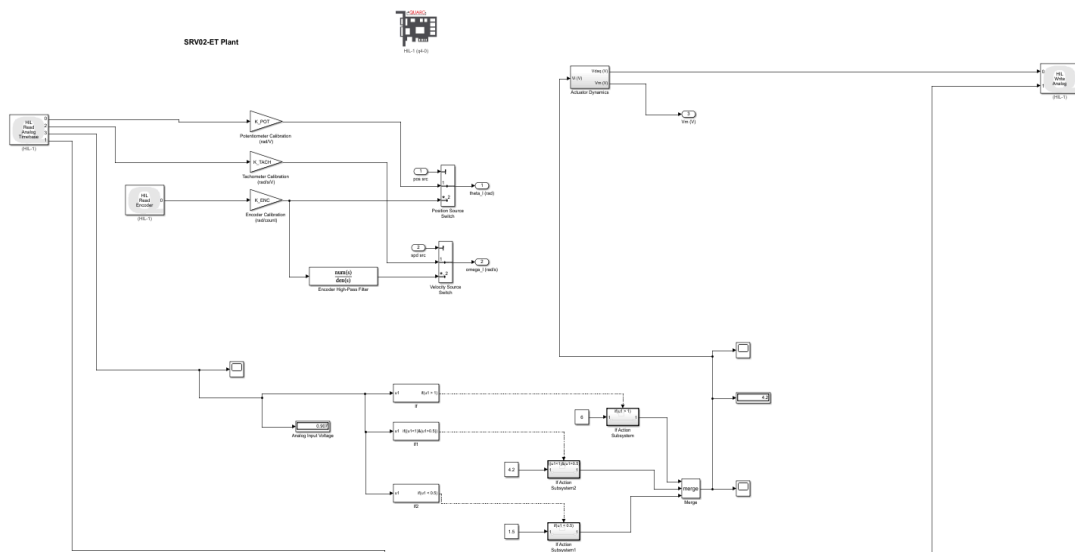
בנוסף, בכל אחד משמונת ה-If Action Subsystems קיימים Inport, Action Port ו-Output.

6.3 מסלולי המערכת:

מערכת הבקרה שבפרויקט מורכבת משלושה מסלולים עיקריים הפועלים במקביל. המסלול הראשון אחראי למדידת מהירות המנוע והמרתה ליחידות פיזיקליות נוחות להצגה. המסלול השני מהווה את ליבת מערכת הבקרה ואחראי להגבלת פקודת המהירות בהתאם לעוצמת ההארה של נורות הבלם. המסלול השלישי מקבל מידע מחיישן המרחק ומשנה בהתאם את קצב ההבהוב של נורת החיווי.

חלוקת המערכת למספר מסלולים מאפשרת לבצע בנפרד את פעולות המדידה, הבקרה והחיווי, ולבסוף להעביר את אותות הפיקוד המתאימים אל החומרה באמצעות כרטיס ה-Quanser Q4.

5.3.1 מסלול מדידת מהירות המנוע:



איור 10 – מסלול מדידת מהירות המנוע

במסלול מדידת המהירות אין חלוקה למצבי פעולה לוגיים, אלא רצף של שלבי עיבוד. לכן ניתן להציג את המסלול בטבלה הבאה:

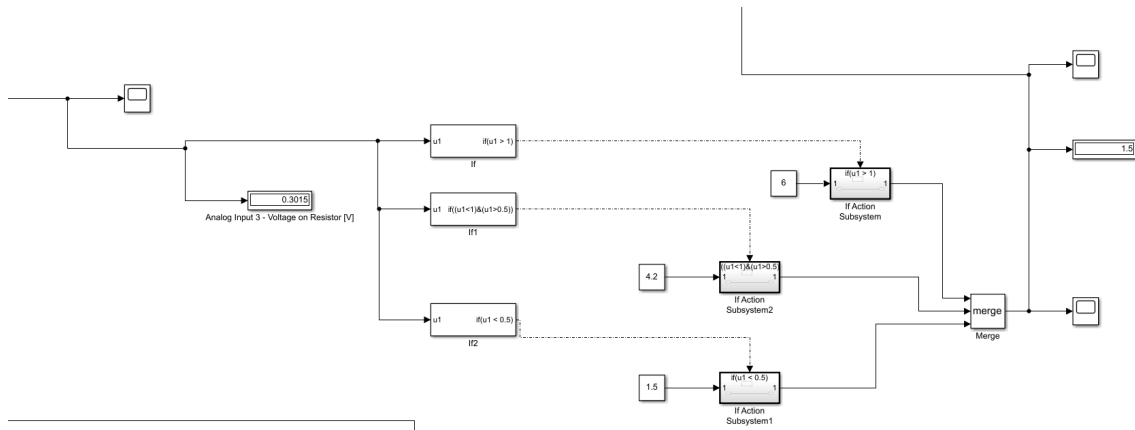
מס' שלב	רכיב / בלוק	ערך או פעולה	תפקיד במסלול
1	HIL Read Encoder	Encoder Channel 0	קריאת ספירות המקודד המחובר למנוע
2	Encoder Calibration	K_ENC	המרת ספירות המקודד לזווית ברדיאנים
3	Encoder High-Pass Filter	נגזרת מסוננת	חישוב המהירות הזוויתית והפחתת השפעת רעשים
4	Speed(Rad/s) / omega_l	rad/s	הצגת המהירות הזוויתית
5	Gain	$3.6 \cdot 0.02$	המרת המהירות הזוויתית למהירות קווית
6	[Speed [Km/H	km/h	הצגת מהירות המערכת בקמ"ש

המרת המהירות מתבצעת לפי:

$$v_{\text{km/h}} = \omega \cdot 0.02 \cdot 3.6$$

מסלול זה משמש למדידת תגובת המנוע בפועל ואינו קובע את פקודת המהירות.

5.3.2 מסלול בקרת והגבלת המהירות בהתאם לעוצמת תאורת הבלמים:



איור 11 – מסלול בקרת והגבלת המהירות

מסלול זה משלב את פקודת ידית הגז, את אות הבלם ואת עוצמת תאורת הבלמים. כאשר מזוזה אירוע בלימה, בלוק ה-Sample and Hold דוגם את מתח התאורה ושומר אותו. בהתאם לערך שנדגם נבחר אחד משלושת מצבי הבקרה.

טבלת מצבי בקרת המהירות

מס' מצב	עוצמת תאורת הבלמים V_{Light}	תנאי נוסף	בלוק if פעיל	מגבלת מתח למנוע	פעולת המערכת
1	$V_{\text{Light}} < 2.85 \text{ V}$	$V_{\text{Hand}} > 0$	If	0V–6 V	הגבלה מינימלית; מתאפשרת פקודת מהירות גבוהה יחסית
2	$2.85 \text{ V} < V_{\text{Light}} < 3.6 \text{ V}$	$V_{\text{Hand}} > 0$	If1	0V–4.2 V	המהירות המרבית מוגבלת לרמה בינונית
3	$V_{\text{Light}} > 3.6 \text{ V}$	$V_{\text{Hand}} > 0$	If2	0V–1.5 V	הגבלת המהירות החזקה ביותר

כאשר עוצמת ההארה נמוכה, המערכת מאפשרת מתח פיקוד של עד 6V. עם התחזקות תאורת הבלמים, מתח הפיקוד המרבי יורד תחילה ל-4.2V, ובעוצמת ההארה הגבוהה ביותר הוא מוגבל ל-1.5V.

מכאן מתקבל עקרון הבקרה המרכזי:

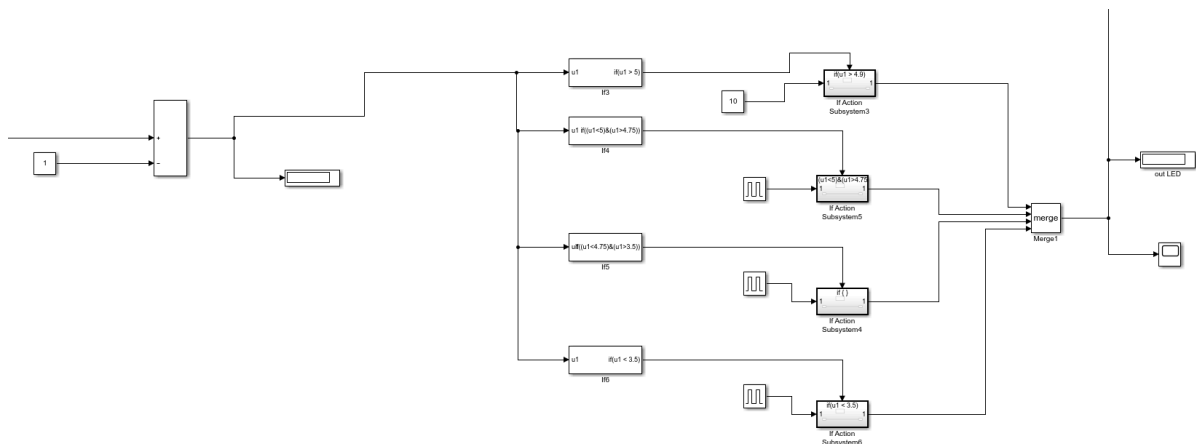
עוצמת הארה גבוהה יותר $\Rightarrow$ מגבלת מתח נמוכה יותר $\Rightarrow$ הגבלת מהירות חזקה יותר

טבלת פעולת רכיבי הכניסה במסלול

רכיב	ערוץ	מצב / תנאי	תפקיד
Hand Gas	AI0	$V_{\text{Hand}} > 0$	קובע את דרישת המהירות של הנהג
Brake Pedal	AI1	חזית עולה לאחר Round וסינון	מפעיל את הדגימה ב-Sample and Hold
Resistor Voltage	AI2	מתח משתנה בהתאם לעוצמת ההארה	משמש לקביעת רמת הגבלת המהירות
Sample and Hold	—	Rising Edge	שומר את מתח התאורה שנמדד ברגע הבלימה
If7	—	$u_1 > 0$	מאפשר להעביר את פקודת ה-Hand Gas למערכת ההתניות

לאחר בחירת המצב, ה-If Action Subsystem המתאים מופעל. שלושת הפלטים מתאחדים באמצעות בלוק Merge, ומתקבלת פקודת מתח יחידה המועברת ל-Actuator Dynamics ומשם למנוע.

5.3.3 מסלול חיישן המרחק וחיווי ה-LED



איור 12- מסלול חיישן המרחק וחיווי ה-LED

אות חיישן המרחק מתקבל בערוץ AI3. האות עובר תחילה דרך בלוק Sum, אשר מבצע הסטה:

$$u = V_Distance - 1$$

לאחר מכן הערך המעובד נבדק מול מספר תחומים. לכל תחום מוגדר מצב חיווי אחר.

טבלת מצבי חיישן המרחק

מצב ה-LED	תדירות	Period	אות המופעל	בלוק If	תנאי על האות המעובד u	מס' מצב
דולק באופן רציף	—	—	Constant6 = 10	If3	$u > 5$	1
הבהוב איטי	Hz 1	s 1	Pulse Generator	If4	$u < 5 > 4.75$	2
הבהוב בינוני	Hz 2	s 0.5	Pulse Generator 1	If5	$u < 4.75 > 3.5$	3
הבהוב מהיר	Hz 3.03 $\approx$	s 0.33	Pulse Generator 2	If6	$u < 3.5$	4

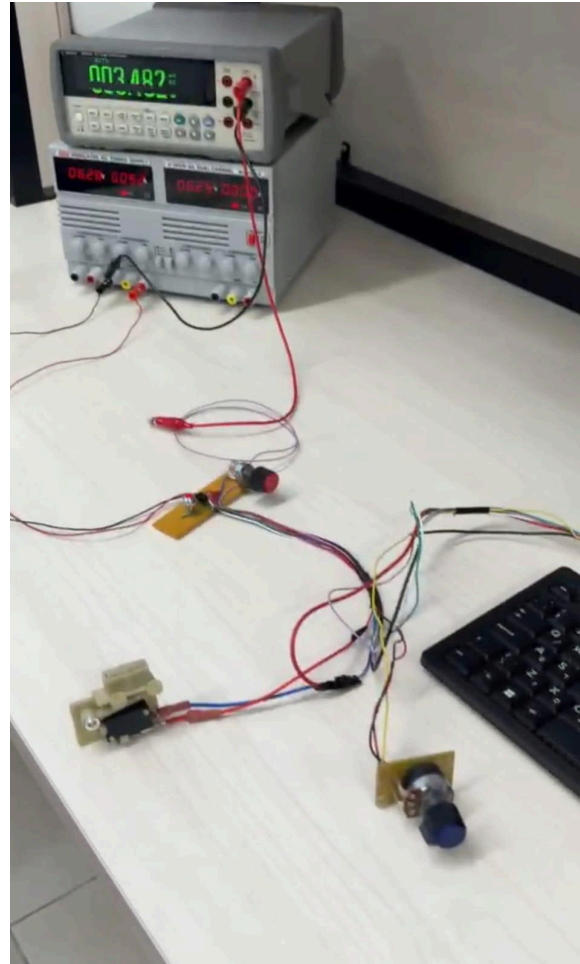
בשלושת מצבי ההבהוב מוגדר Duty Cycle של 50%, כלומר זמן ההדלקה וזמן הכיבוי של הנורה שווים בכל מחזור.

בהתאם לכיול המערכת, המעבר למצבי הקרבה הגבוהים יותר גורם לעלייה בתדירות ההבהוב. באופן זה ניתן לקבל חיווי ברור ואינטואיטיבי: ככל שהעצם מתקרב, קצב ההבהוב גדל.

טבלת מעבר האות במסלול המרחק

מס' שלב	רכיב	פעולה
1	Distance Sensor – AI3	מידת אות החיישן
2	Sum	חיסור Offset של 1
3	If3–If6	חלוקת האות לארבעה תחומי פעולה
4	Constant / Pulse Generators	יצירת אות החיווי המתאים
5	If Action Subsystems	הפעלת המסלול שתנאיו מתקיימים
6	Merge1	איחוד כל המצבים לאות יחיד
7	out LED / Scope4	הצגה ובדיקה של אות החיווי
8	HIL Write Analog1	שליחת האות אל החומרה

7. מודל המערכת:

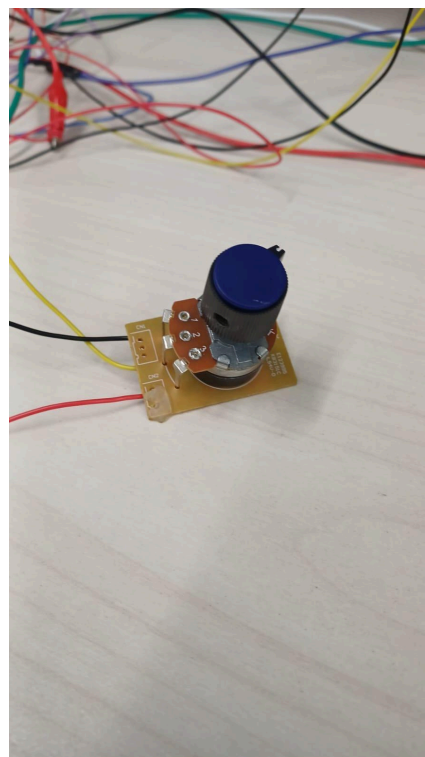


איור 13 – מודל המערכת

מודל המערכת שנבנה בפרויקט נועד לדמות את פעולתו של כלי רכב דו-גלגלי חשמלי, כגון אופניים חשמליים או קורקינט חשמלי, תוך התמקדות בבקרת מהירות המבוססת על עוצמת תאורת הבלמים ובמערכת חיווי נוספת המבוססת על חיישן מרחק.

המערכת משלבת מספר רכיבי קלט המדמים את פעולות הנהג ואת סביבת הנסיעה: ידית גז, מתג בלם, מערכת המדמה את עוצמת תאורת הבלמים, ו-חיישן מרחק. אותות אלה מועברים אל כרטיס הבקרה ומעובדים באמצעות מודל ה-Simulink. בהתאם לערכים המתקבלים, המערכת קובעת את מתח הפיקוד המותר למנוע ואת אופן פעולת נורת החיווי.

7.1 ידית הגז:



איור 14 – ידית הגז במודל המערכת

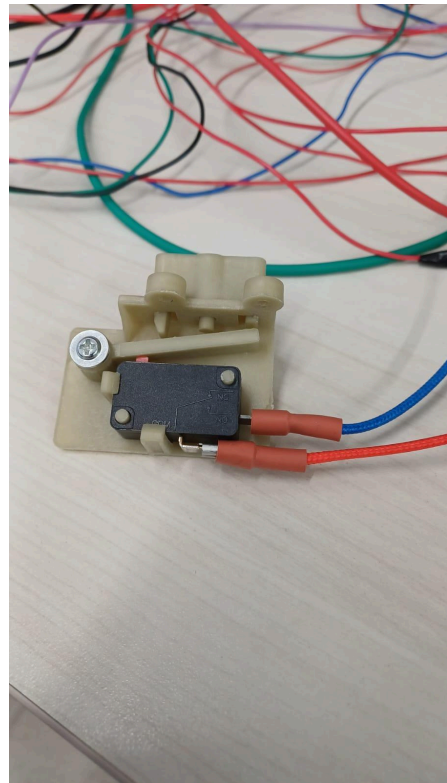
תפקידה של ידית הגז הוא לייצג את דרישת הנהג למהירות. שינוי מצב הידית גורם לשינוי במתח האנלוגי המתקבל בכניסת המערכת. אות זה נקרא במודל:

Hand Gas

ומתקבל בערוץ הכניסה האנלוגי AI0

ככל שהנהג מסובב את הידית לכיוון הגדלת המהירות, מתקבלת דרישה גבוהה יותר מהמנוע. אות זה משמש כפקודת המהירות הבסיסית, אך בניגוד למערכת פשוטה שבה פקודת הגז מועברת ישירות למנוע, בפרויקט שלנו היא עוברת דרך מנגנון הגבלת המהירות.

7.2 דוושת הבלם:



איור 15 – מנגנון הבלם במודל המערכת

כאשר מופעל לחץ על מנגנון הבלם, החלק המכני מפעיל את המתג. כתוצאה מכך המערכת מקבלת אינדיקציה חשמלית לכך שהנהג ביצע פעולת בלימה.

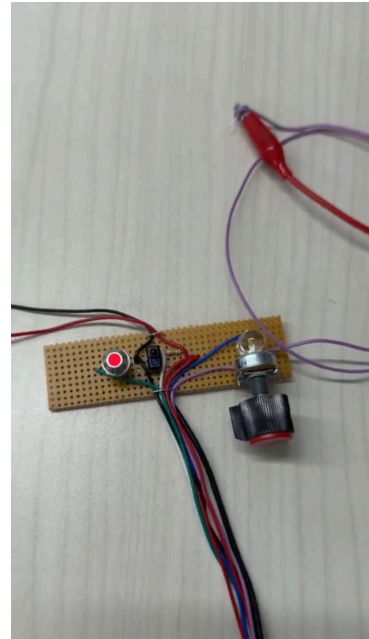
אות הבלם נקרא במודל:

Brake Pedal

ומתקבל בערוץ AI1.

תפקידו בפרויקט אינו רק להודיע למערכת שהבלם הופעל. אות זה משמש גם לקביעת רגע הדגימה של עוצמת תאורת הבלמים.

7.3 תאורת הבלמים וחיישן המרחק:



איור 16 – מכלול תאורת הבלמים וחיישן המרחק

עוצמת ההארה היא למעשה הפרמטר שעליו מבוסס החלק המרכזי של מערכת בקרת המהירות בפרויקט.

המערכת מודדת מתח המייצג את עוצמת תאורת הבלמים:

V_{Light}

והאות מתקבל בערוץ:

$AI2$

במודל בשם:

Resistor Voltage

המתח נדגם בזמן הפעלת הבלם באמצעות Sample and Hold ולאחר מכן מחולק לשלושה תחומי עבודה.

אות החיישן נקלט בערוץ:

$AI3$

ועובר תחילה התאמת Offset:

$$u = V_{Distance} - 1$$

לאחר מכן המערכת מחלקת את האות למספר תחומים ומפעילה נורת חיווי בקצבים שונים.

7.4 יישום המערכת בכלי חשמלי דו-גלגלי:

המודל שנבנה במעבדה מהווה ייצוג מוקטן ופשוט של מערכת שאותה ניתן עקרונית לשלב בכלי דו-גלגלי חשמלי.

ביישום כזה, ידית הגז של המודל מוחלפת במצערת הקיימת בכידון; מתג הבלם מותקן על ידית הבלם; נורת הבלם מותקנת בחלקו האחורי של הכלי; חיישן המרחק ימוקם בהתאם למטרת החישה, למשל בחלקו האחורי של הכלי לצורך חיווי על עצם המתקרב מאחור; ואלגוריתם ה-Simulink מיושם בעתיד על בקר משובץ המתאים להפעלה עצמאית בכלי.

העיקרון המרכזי של היישום הוא יצירת קשר בין עוצמת הבלימה לבין המהירות המותרת לאחר זיהוי הבלימה.

במערכת רגילה, תאורת הבלם משמשת בעיקר כאמצעי התרעה לנהגים אחרים. בפרויקט שלנו מידע המתייחס לעוצמת התאורה משמש בנוסף כקלט למערכת הבקרה.

לכן ניתן לראות את השרשרת העקרונית כך:

לחיצה על הבלם



שינוי בעוצמת תאורת הבלם



מדידת עוצמת ההארה



בחירת מגבלת מהירות



הגבלת פקודת המנוע

בבלימה חלשה תתאפשר פקודת מהירות גבוהה יחסית, בבלימה בינונית תופעל הגבלה נוספת, ובבלימה חזקה תופעל מגבלת המהירות הנמוכה ביותר.

כך המערכת נועדה לצמצם מצב שבו קיימת בוזזמנית **דרישת גז גבוהה ופעולת בלימה משמעותית**, וליצור שכבת בקרה נוספת בין פקודת הרוכב לבין בקר המנוע.

חיישן המרחק מהווה שכבת חיווי נוספת שאינה תלויה במסלול בקרת המהירות. לדוגמה, כאשר הוא מותקן בחלקו האחורי של אופניים או קורקינט, ניתן להשתמש בקצב ההבהוב כדי להמחיש לרוכב או לסביבה את מידת הקרבה של עצם שנמצא מאחורי הכלי.

8. מסקנות:

במסגרת הפרויקט פותחה מערכת בקרה המדמה יישום אפשרי בכלי דו-גלגלי חשמלי, כגון אופניים או קורקינט חשמלי. המערכת משלבת ידית גז, מתג בלם, מדידת עוצמת תאורת הבלמים, חיישן מרחק ומנוע עם מקודד, כאשר עיבוד האותות והבקרה מתבצעים באמצעות Simulink וכרטיס Quanser Q4. במהלך העבודה הצלחנו לממש את עקרון הבקרה המרכזי של הפרויקט, שלפיו עוצמת ההארה של נורות הבלם משפיעה על המהירות המרבית המותרת: ככל שעוצמת ההארה גבוהה יותר, פקודת המתח למנוע מוגבלת לערך נמוך יותר. בנוסף, חיישן המרחק שולב כמערכת חיווי נפרדת, שבה קצב ההבהוב משתנה בהתאם לקרבת העצם לחיישן.

המודל שנבנה מאפשר להמחיש כיצד ניתן לשלב מידע ממספר חיישנים ופקודות נהג לצורך קבלת החלטות בזמן אמת וליצירת מערכת בקרה בטיחותית יותר. הפרויקט מהווה אב-טיפוס להוכחת היתכנות של הרעיון, וביישום עתידי ניתן יהיה להחליף את סביבת המעבדה בבקר משובץ המותקן ישירות בכלי, לבצע כיול מדויק יותר של ספי הבלימה והמרחק ולהתאים את האלגוריתם לתנאי נסיעה אמיתיים. בכך ניתן יהיה להרחיב את המערכת ממודל ניסוי למערכת מעשית המספקת שכבת בקרה וחיווי נוספת לרוכב.

1 PRESENTATION

1.1 Description

The Quanser SRV02 rotary servo plant, pictured in Figure 1.1, consists of a DC motor that is encased in a solid aluminum frame and equipped with a planetary gearbox. The motor has its own internal gearbox that drives external gears. The SRV02 is equipped with three sensors: potentiometer, encoder, and tachometer. The potentiometer and encoder sensors measure the angular position of the load gear and the tachometer can be used to measure its velocity.



Figure 1.1: Quanser SRV02 system

There are two SRV02 options available: SRV02-ET and SRV02-ETS. The SRV02-ETS system includes a slip ring assembly that allows the modules to be rotated the full 360 degrees.

1.2 Rotary Modules and Experiment Overview

The SRV02 rotary plant can be used stand-alone for several experiments but it also serves as a base component for several add-on modules. Table 1.1 below lists these modules and the corresponding experiments that are supplied with them. Thus a new plant is obtained by adding a module which presents new modeling and control challenges.

2.1 SRV02 Component Nomenclature

The SRV02 components listed in Table 2.1 below are labeled in figures 2.1a, 2.1b, 2.1c, 2.1d, and 2.1e. Note that Figure 2.1a shows the SRV02 in the low-gear configuration and Figure 2.1b is the SRV02 in the high-gear configuration. These different gear setups will be explained later in Section 4.1.

ID	Component	ID	Component
1	Potentiometer	13	Tachometer
2	Bottom plate	14	Ball-bearing block
3	Posts	15	Motor connector
4	Motor pinion gear: 72-teeth (low-gear)	16	Tachometer connector
5	Load gear: 72-teeth (low-gear)	17	Encoder connector
6	Potentiometer anti-backlash gear	18	S1 & S2 connector (i.e. potentiometer)
7	Anti-backlash springs	19	Motor pinion gear: 24-teeth (high-gear)
8	Load shaft (i.e. output shaft)	20	Load gear: 120-teeth (high-gear)
9	Motor	21	Bar inertial load
10	Gearbox	22	Disc inertial load
11	Potentiometer	23	Thumb screws
12	Encoder		

Table 2.1: SRV02 Components

2.2 Component Description

2.2.1 DC Motor

The SRV02 incorporates a Faulhaber Coreless DC Motor model 2338S006 and is shown in Figure 2.1c with ID #9. This is a high efficiency, low inductance motor that can obtain a much faster response than a conventional dc motor. The complete specification sheet of the motor is included in [2].

■ **Caution:** *High-frequency signal applied to a motor will eventually damage the gearbox motor and the motor brushes.* The most likely source for high frequency noise is derivative feedback. If the derivative gain is set too high, a noisy voltage will be fed into the motor. To protect your motor, you should always band limit your signal (especially derivative feedback) to a value of 50 Hz.

■ **Caution:** Input ± 15 V, 3 A peak, 1 A continuous.

■ **Caution:** Exposed moving parts.

2.2.2 Potentiometer

All SRV02 models are equipped with a Vishay Spectrol model 132 potentiometer, shown in in Figure 2.1c with label #11. It is a single turn 10 k Ω sensor with no physical stops and has an electrical range of 352 deg. The total output range of the sensor is ± 5 V over the full 352 deg range. Note that a potentiometer provides an absolute position measurement as opposed to a relative measurement from, for instance, an incremental encoder. See [6] for a full listing of the potentiometer specifications.

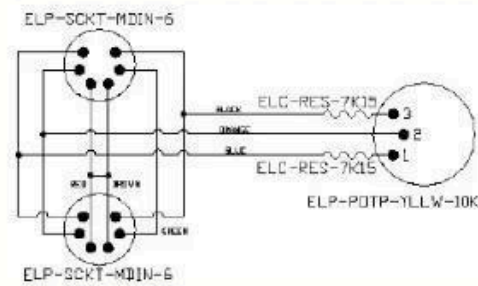


Figure 2.2: SRV02 potentiometer wiring

As illustrated in Figure 2.2, the potentiometer is connected to a ± 12 V DC power supply through two $7.15\text{ k}\Omega$ bias resistors. Under normal operations, terminal 1 should measure -5 V while terminal 3 should measure 5 V. The actual position signal is available at terminal 2.

2.2.3 Tachometer

The SRV02-T and SRV02-ET models come equipped with a tachometer that is directly attached to the DC motor and is depicted with ID #13 in Figure 2.1c. This prevents any latencies in the timing of the response and ensures that the speed of the motor is accurately measured. Refer to [3] for the tachometer specification sheet.

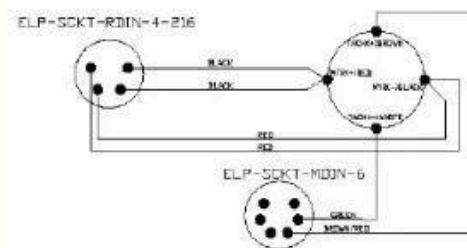


Figure 2.3: SRV02 tachometer wiring

The motor and tachometer wiring diagram is shown in Figure 2.3. The 4-pin DIN motor connector, component #19, connects the power amplifier to the positive and negative motor leads. This is the motor input voltage signal that drives the motor. The 6-pin mini DIN tachometer connector, component #18 shown in Figure 2.1d, is directly wired to the positive and negative tachometer terminals. This supplies a voltage signal that is proportional to the rotational speed. The tachometer connector is typically connected to the S3 analog input connector on the power amplifier.

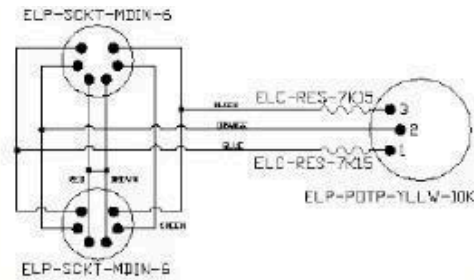


Figure 2.2: SRV02 potentiometer wiring

As illustrated in Figure 2.2, the potentiometer is connected to a ± 12 V DC power supply through two $7.15 \text{ k}\Omega$ bias resistors. Under normal operations, terminal 1 should measure -5 V while terminal 3 should measure 5 V. The actual position signal is available at terminal 2.

2.2.3 Tachometer

The SRV02-T and SRV02-ET models come equipped with a tachometer that is directly attached to the DC motor and is depicted with ID #13 in Figure 2.1c. This prevents any latencies in the timing of the response and ensures that the speed of the motor is accurately measured. Refer to [3] for the tachometer specification sheet.

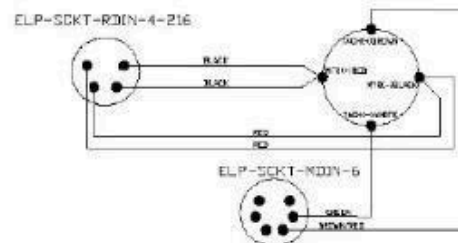


Figure 2.3: SRV02 tachometer wiring

The motor and tachometer wiring diagram is shown in Figure 2.3. The 4-pin DIN motor connector, component #19, connects the power amplifier to the positive and negative motor leads. This is the motor input voltage signal that drives the motor. The 6-pin mini DIN tachometer connector, component #18 shown in Figure 2.1d, is directly wired to the positive and negative tachometer terminals. This supplies a voltage signal that is proportional to the rotational speed. The tachometer connector is typically connected to the S3 analog input connector on the power amplifier.

2.2.4 Encoder

The SRV02-E and SRV02-EHR options have an optical encoder installed that measures the angular position of the load shaft. It is pictured in Figure 2.1c with the label #12. In the SRV02-E system, the encoder used is a US Digital S1 single-ended optical shaft encoder that offers a high resolution of 4096 counts per revolution in quadrature mode (1024 lines per revolution). The complete specification sheet of the S1 optical shaft encoder is given in [1].

The encoder in the SRV02-EHR system has a resolution of 8192 counts per revolution in quadrature mode (2042 lines per revolution). Remark that incremental encoders measure the relative angle of the shaft (as opposed to the

potentiometer which measures the absolute angle).

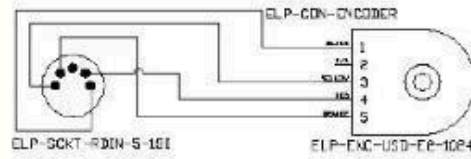


Figure 2.4: SRV02 encoder wiring

The position signal generated by the encoder can be directly connected to the data-acquisition device using a standard 5-pin DIN cable. The internal wiring of the encoder and the 5-pin DIN connector on the SRV02, component #17, is illustrated in Figure 2.4.

■ **Caution:** Make sure you connect the encoder directly to your data-acquisition device and not to the power amplifier.

2.3 SRV02-ETS Components

The SRV02-ETS, pictured in Figure 2.5, is an SRV02-ET system with a slip ring mounted on the load gear. This allows an external load attached on top of the slip ring unit to rotate 360 degrees freely without any cable entanglements. In addition to the components listed in Table 2.1, Table 2.2 lists some components found on the SRV02-ETS unit alone.

The components in Table 2.2 are shown and identified in Figure 2.6.

ID	Component	ID	Component
24	Slip ring module chassis	28	Right connector on slip ring
25	Slip ring	29	Left connector on SRV02
26	Slip ring top plate	30	Right connector on SRV02
27	Left connector on slip ring		

Table 2.2: Additional components on the SRV02-ETS

2.3.1 Slip Ring Description

The eight-contact slip ring channels the signals attached to the Left and Right connectors on the slip ring, ID #27 and ID #28 depicted in Figure 2.6, to the *Left* and *Right* connectors on the SRV02 base, ID #27 and ID #28 shown in Figure 2.6. This allows the load attached to the load gear atop the slip ring, ID #8, to move freely 360 degrees without any cable entanglements. This is especially useful, for instance, when used with the inverted rotary pendulum experiments.

Using the Q4 Terminal Board

Using the Q4 Terminal Board

The Q4 terminal board offers a convenient and flexible system for connecting your experiments to the Q4 data acquisition system. The board supports four analog outputs, four single-ended analog inputs, four single-ended encoder inputs, 16 digital I/O channels and 4 special purpose digital I/O channels, providing two PWM outputs, an interrupt line, A/D triggering, watchdog firing and counter gating. Low-pass analog filtering is also available on the board. The Q4 terminal board offers the flexibility you need!

Digital I/O

The Q4 data acquisition card supports 16 digital I/O channels. Each individual channel is software programmable as an input or an output. These 16 channels are organized into two banks of 8 channels each on the Q4 terminal board. The digital I/O connectors are shown in light red in Figure 3 above.

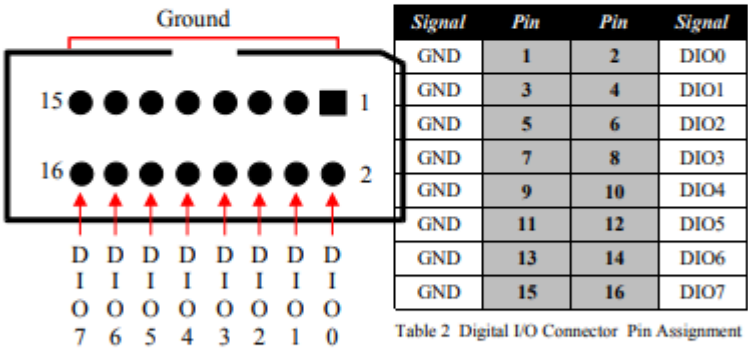


Figure 4 Digital I/O Connector

Figure 4 depicts a top-view of the digital I/O connector for channels 0 through 7. The even-numbered pins are the signal pins, and the odd-numbered pins are all ground pins. The pin assignments are enumerated in Table 2. Note that digital channels 0 and 7 are labeled on the terminal board. The side of the connector that is all digital ground (odd-numbered pins) is labelled -----DGND----- on the terminal board. The other digital I/O connectors have analogous pin assignments. Standard 16-pin ribbon cable connectors may be used to connect to the digital I/O channels

Installing the Q4 Driver

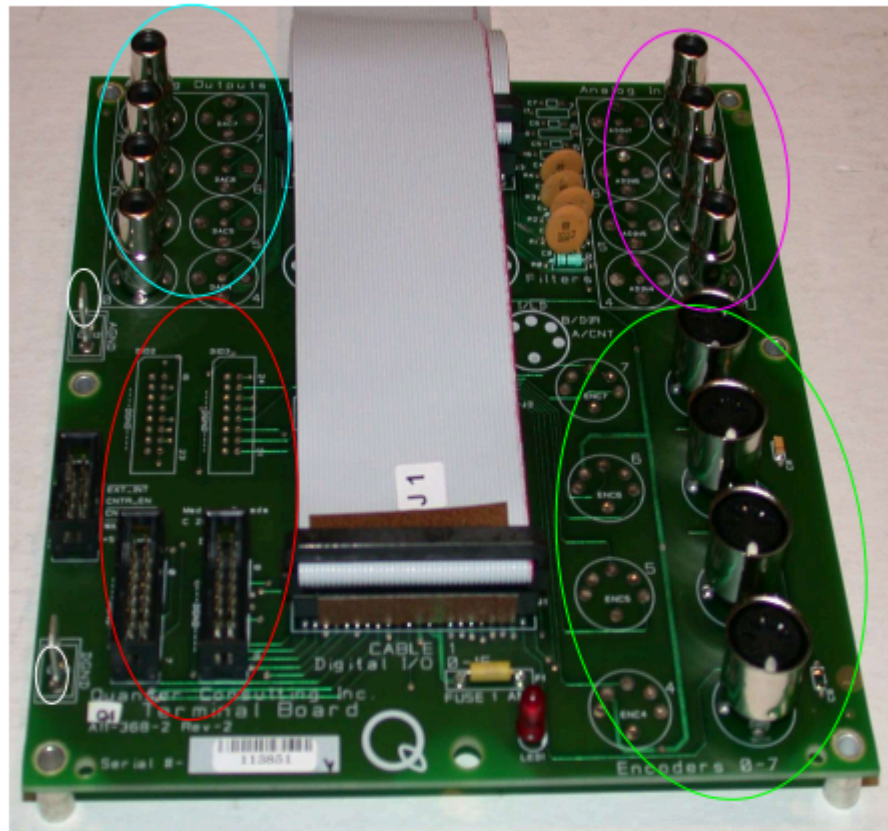


Figure 3 Q4 Terminal Board

Installing the Q4 Driver

To install the Windows 2000 or XP driver for the Q4 card, simply insert the card into your machine as per the instructions above, and then boot your computer. When Windows identifies the card and asks where to search for drivers, check the "Specify a location" option. Choose the subdirectory on the floppy or CD-ROM suitable for your operating system. For example, on the Q4 driver floppy, choose A:\Win2k for Windows 2000, or A:\WinXP for Windows XP. Continue with the installation until Windows has installed the driver for the card. The Q4 card shows up in Device Manager under the new "Data Acquisition Cards"

Encoder Inputs

Encoder Inputs

There are four single-ended encoder inputs on the Q4 terminal board. No extra circuitry is required. Differential encoders may be connected using additional circuitry. For example, the US Digital E5D, H5D, S5D, E6D, H6D and S6D encoders use an industry standard 26LS31 line driver IC for their differential outputs. This line driver is RS-422 compatible, so an RS-422 receiver IC may be used to convert the differential encoder signals to single-ended encoder signals for input to the Q4 terminal board. Please contact the encoder manufacturer for further information.

Encoder Connection

Single-ended encoders use three signals to supply a bidirectional count: an A channel, a B channel and an I channel, or index pulse. The index pulse is not necessary for generating encoder counts, but is convenient for calibration. The round DIN connectors on the terminal board are used for the encoders. The encoder connectors are the round connectors shown in [light green](#) in Figure 3 on page 10.

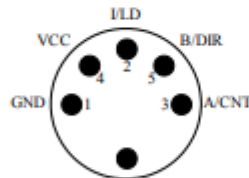


Figure 5 DIN Connector

Pin	Signal
1	GND
2	I
3	A
4	5V
5	B

Table 3 Encoder Pin Assignment

The pin assignments for the round DIN connector are illustrated in Figure 5 and on the terminal board itself. The pins are also enumerated in Table 3. There are no complementary signals for single-ended encoders. **Note that the pin numbering of the round DIN connector is not intuitive.** The pins are **not** numbered sequentially in a clockwise direction. The Q4 card allows the encoders to be used as 24-bit digital up/down counters as well. In this "non-quadrature" mode, the A input becomes a count input and the B input becomes a direction input. Every rising or falling edge of the CNT input (set in software), the 24-bit counter will count up or down, according to the DIR input. The index input in this case becomes an asynchronous load signal, which may be programmed to latch the counter value or to load the counter value from a preload register.

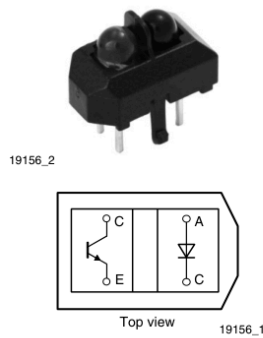
TCRT5000 9.3



TCRT5000, TCRT5000L

Vishay Semiconductors

Reflective Optical Sensor with Transistor Output



FEATURES

- Package type: leaded
- Detector type: phototransistor
- Dimensions (L x W x H in mm): 10.2 x 5.8 x 7
- Peak operating distance: 2.5 mm
- Operating range within > 20 % relative collector current: 0.2 mm to 15 mm
- Typical output current under test: $I_C = 1$ mA
- Daylight blocking filter
- Emitter wavelength: 950 nm
- Lead (Pb)-free soldering released
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

DESCRIPTION

The TCRT5000 and TCRT5000L are reflective sensors which include an infrared emitter and phototransistor in a leaded package which blocks visible light. The package includes two mounting clips. TCRT5000L is the long lead version.

APPLICATIONS

- Position sensor for shaft encoder
- Detection of reflective material such as paper, IBM cards, magnetic tapes etc.
- Limit switch for mechanical motions in VCR
- General purpose - wherever the space is limited

PRODUCT SUMMARY

PART NUMBER	DISTANCE FOR MAXIMUM CTR _{rel} ⁽¹⁾ (mm)	DISTANCE RANGE FOR RELATIVE I _{out} > 20 % (mm)	TYPICAL OUTPUT CURRENT UNDER TEST ⁽²⁾ (mA)	DAYLIGHT BLOCKING FILTER INTEGRATED
TCRT5000	2.5	0.2 to 15	1	Yes
TCRT5000L	2.5	0.2 to 15	1	Yes

Notes

⁽¹⁾ CTR: current transference ratio, I_{out}/I_{in}

⁽²⁾ Conditions like in table basic characteristics/sensors

ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	VOLUME ⁽¹⁾	REMARKS
TCRT5000	Tube	MOQ: 4500 pcs, 50 pcs/tube	3.5 mm lead length
TCRT5000L	Tube	MOQ: 2400 pcs, 48 pcs/tube	15 mm lead length

Note

⁽¹⁾ MOQ: minimum order quantity

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT (EMITTER)				
Reverse voltage		V_R	5	V
Forward current		I_F	60	mA
Forward surge current	$t_p \leq 10 \mu s$	I_{FSM}	3	A
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ C$	P_V	100	mW
Junction temperature		T_J	100	$^\circ C$



TCRT5000, TCRT5000L

Reflective Optical Sensor with
Transistor Output

Vishay Semiconductors

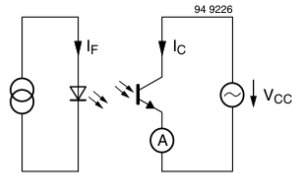


Fig. 2 - Test Circuit

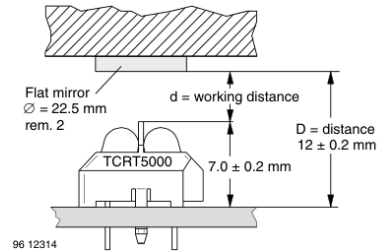


Fig. 3 - Test Circuit

BASIC CHARACTERISTICS

$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

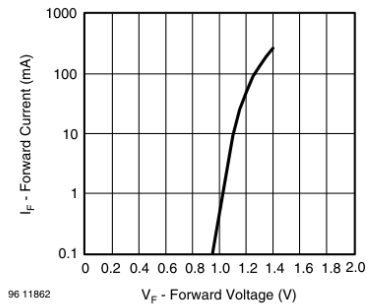


Fig. 4 - Forward Current vs. Forward Voltage

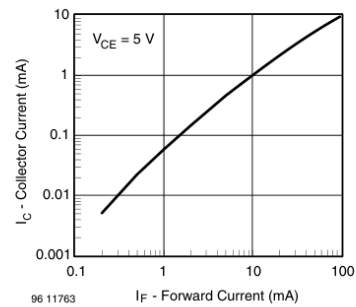


Fig. 6 - Collector Current vs. Forward Current

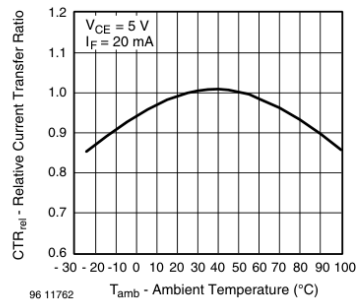


Fig. 5 - Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

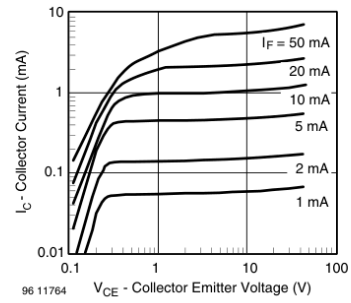


Fig. 7 - Collector Emitter Saturation Voltage vs. Collector Current

10. בבליוגרפיה:

R. C. Dorf, R. H. Bishop, "Modern Control Systems," 12th edition, Prentice Hall, 2011.

MATLAB and Simulink User's Guide.

- MathWorks, Natick, Massachusetts, USA.

- הרשות הלאומית לבטיחות בדרכים (הרלב"ד) / הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה.
תאונות דרכים במעורבות קורקינטים ואופניים חשמליים: נתוני היפגעות בישראל בשנים האחרונות.

Data Sheet and Preliminary Technical Data:

- <https://www.quanser.com/products/q4>
- <https://www.vishay.com/docs/83760/tcrt5000.pdf>