



אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
הפקולטה למדעי ההנדסה

DC Motor speed Control

בקרת מהירות



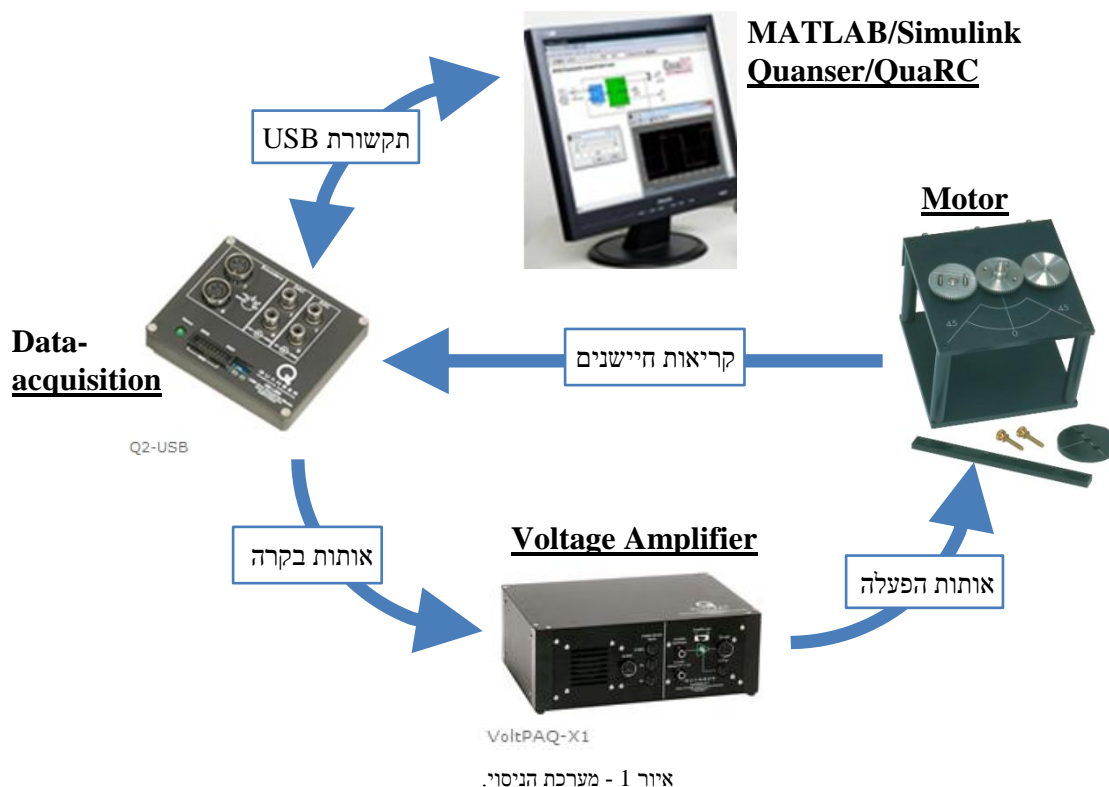
1. מבוא ומטרת המעבדה

להתנסות בתכנון ומימוש של מערכות בקרה. להתנסות בעבודה עם ה-Simulink ובכלים המאפשרים פיתוח מהיר של אב טיפוס (Rapid prototyping). לתכנן מערכת בקרת מהירות למנוע DC המתבססת על בקר אינטגרלי יחד עם רשת קידום ולראות כיצד תכנון הבקר משפיעה על ביצועי החוג הסגור. להכיר חיישני תנועה נפוצים כגון, אנקודר וטכומטר.

2. תדריך בטיחות

מערכת הניסוי היא מערכת אלקטרו-מכאנית, היא כוללת אותות חשמליים (זרמים ומתחים) וכן חלקים נעים (מנוע, גיר, עומס). מערכת הניסוי צריכה להיות מורכבת ומוכנה לניסוי בתחילת המעבדה. אין לנתק או לחבר חוטי חשמל או תקשורת במהלך הניסוי. כל שינוי חשמלי או מכאני במערכת יבוצע אך ורק ע"י מדריך מעבדה או טכנאי. אסור לסטודנטים לגעת במנוע כאשר הוא בתנועה. יש להיזהר בעיקר ממגע עם גלגלי השיניים החשופים של הגיר כאשר הם בתנועה. בעלי שיער ארוך צריכים לבצע את המעבדה עם שיער אסוף (שיער ארוך עשוי להיתפס בחלקים מסתובבים של המערכת). בנוסף, כל הוראות הבטיחות הקבועות הנהוגות במעבדות ההוראה (כגון נעילת נעליים סגורות) תקפות גם במעבדת המכטרוניקה ובקרה. לפני תחילת המעבדה, הסטודנטים מתבקשים לחתום על טופס המאשר קריאה והבנה של הוראות הבטיחות.

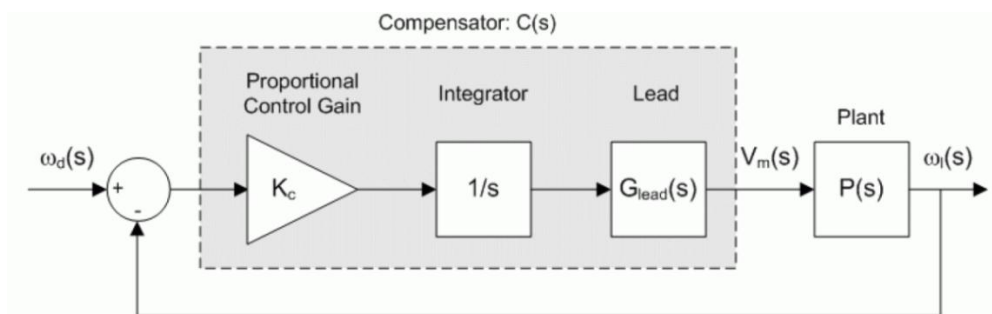
3. מערכת הניסוי



מערכת הניסוי מתוארת באיור 1. המחשב כולל את התוכנות MATLAB ו-QuaRC (של חברת Quanser). המחשב משמש לתכנון וסימולציה של מערכת הבקרה וכן להפעלה של מערכת הבקרה בזמן אמת (כאשר מערכת הבקרה מבקרת את המקום או המהירות של המנוע). הסימולציה של מערכת הבקרה והמנוע מבוצעת ב-Simulink כאשר הבקר פועל על מודל של המנוע. כאשר הביצועים המתקבלים בסימולציה הם הביצועים הרצויים, ניתן לעבור למימוש (להפעלה) הבקר עם המנוע. המערכת של Quanser כוללת תוכנה (QuaRC) אשר מאפשרת "לבנות" בקר זמן אמת (בקר הפועל על מערכת ממשית – לא סימולציה) מתוך מודל הנתון ב-Simulink. במקרה זה, מחשב ה-PC פותר את משוואות הבקרה, בזמן אמת (תחת מערכת ההפעלה Windows). כאשר "בונים" את בקר זמן האמת, דיאגרמת המלבנים ב-Simulink צריכה לכלול אך ורק את המודל של הבקר, ללא מודל המנוע. התוכנה של Quanser כוללת בלוקים המאפשרים לתוכנית המחשב של הבקר לקרוא אותות המגיעים מצידוד חיצוני (לדוגמה, מהחיישנים המותקנים במנוע) ולייצר אותות הנשלחים מהמחשב אל צידוד חיצוני (לדוגמה, אותות הבקרה המפעילים את המנוע). התקשורת של המחשב עם הצידוד החיצוני היא באמצעות כרטיס Data-acquisition המחובר למחשב דרך ערוץ USB. אותות הבקרה (היוצאים מהמחשב) נשלחים תחילה למגבר (Voltage amplifier), האותות המוגברים מפעילים את המנוע. המנוע הוא מסוג DC וכולל מערכת גלגלי שיניים ושלושה סוגים של חיישנים: חיישן זווית יחסי (אנקודר), נגד משתנה למדידה אבסולוטית של הזוויות וטכומטר למדידת מהירות זוויתית. התוכנה (QuaRC) כוללת ממשק משתמש המאפשר הצגה של משתנים (לדוגמה, הצגה של זוויות המנוע) ושינוי פרמטרים (לדוגמה, שינוי קבועי הבקר) בזמן אמת (בזמן שהבקר פועל על המנוע).

4. שאלות הכנה

נתונה הדיאגרמה הבאה המתארת את מערכת הניסוי הכוללת את הבקר בחוג סגור,



איור 2 - דיאגרמה המתארת את מערכת הניסוי בחוג סגור.

פונקציית התמסורת של המערכת (Plant) המקשרת בין המתח בכניסה $V_m(s)$ לבין המהירות הזוויתית $\omega_l(s)$ (במוצא), נתונה באופן פרמטרי ע"י פונקציית התמסורת הבאה,

$$P(s) = \frac{\omega_l(s)}{V_m(s)} = \frac{K}{(\tau s + 1)}$$

τ ו- K הינם פרמטרים של מודל המערכת.

א. עבור $\tau = 0.0254$ ו- $K = 1.6$, יש לשרטט גרף בודה של המערכת ללא הבקר באמצעות ה-MATLAB, יש לחשב את עודף הפאזה PM ואת תדירות המעבר ω_g . ניתן להיעזר בנוסחאות הבאות,

$$PM = \arg[L(j\omega_g)] + 180^\circ, \quad |L(j\omega_g)| = 1$$

ב. יש לתכנן בקר בתחום התדר כך שיתקיימו הדרישות הבאות: שגיאת מצב מתמיד $e_{ss} = 0$ לכניסת מדרגה, תדירות מעבר $\omega_g = 75 \left[\frac{rad}{sec} \right]$ (כדי להשיג את מהירות התגובה הרצויה) ועודף פאזה $PM = 70^\circ$ (כדי להשיג את הריסון הרצוי). הבקר שיש לתכנן כולל שלושה רכיבים:

i. הגבר פרופורציונלי (K_C).

ii. אינטגרטור $\left(\frac{1}{s} \right)$.

iii. רשת קידום $(G_{lead}(s) = \frac{\sqrt{\alpha}s + \omega_m}{s + \sqrt{\alpha}\omega_m})$.

*תזכורת: קידום מקסימלי של הרשת (ϕ_m) מתקבל ב- $\omega = \omega_m$, הנוסחה המקשרת בין

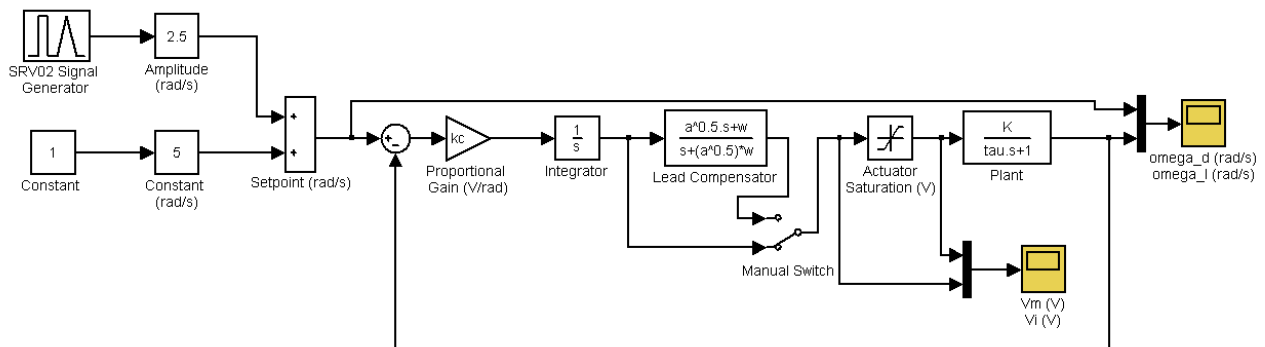
$$\phi_m = \sin^{-1} \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha + 1} \right)$$

הקידום המקסימלי של הרשת ϕ_m והמקדם α היא

ג. באמצעות ה-MATLAB, יש לשרטט גרף בודה של המערכת הכוללת את שלושת רכיבי הבקר שחושב בסעיף ב' ולוודא שהדרישות על עודף הפאזה PM ותדירות המעבר ω_g מתקיימות. בנוסף יש לשרטט גרף בודה של המערכת הכוללת רק את ההגבר הפרופורציונלי (שחושב קודם) ואינטגרטור ללא רשת הקידום, ולחשב את עודף הפאזה PM ותדירות המעבר ω_g .

5. סימולציית בקרת מהירות (מהירות זוויתית)

SRV02-ET Experiment : Simulated Speed Control



איור 3 - צילום מסך של מודל הסימולציה.

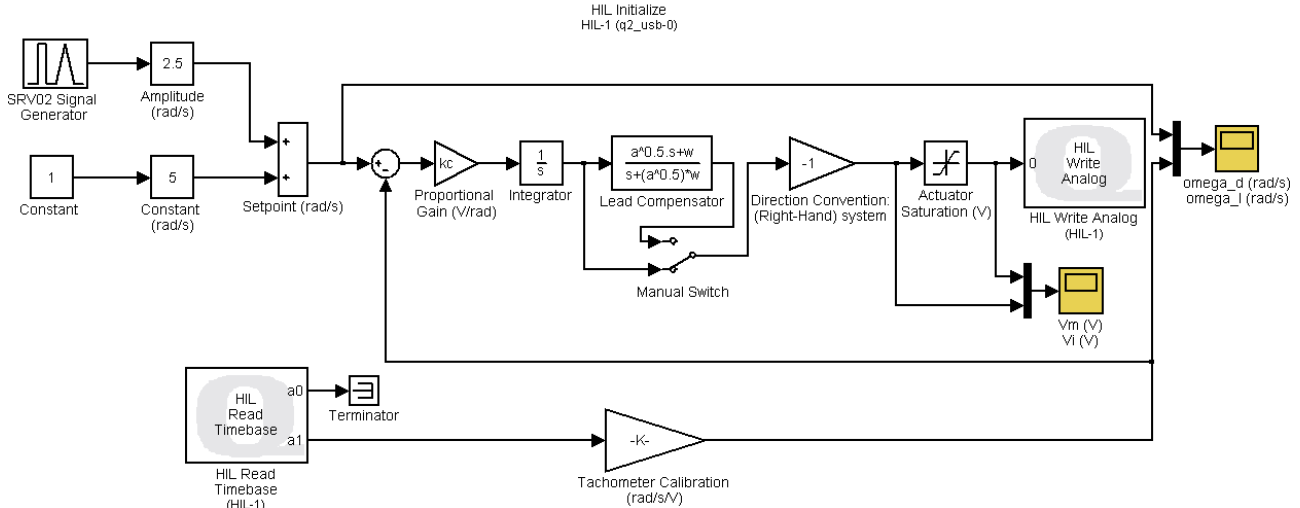
- א. יש לפתוח את קובץ הסימולציה, `s_srv02_spd.mdl`.
- ב. יש להזין בשורת הפקודה של ה-MATLAB את ערכי הפרמטרים של מודל המערכת τ (ע"י הגדרת משתנה בשם τ) ו- K (ע"י הגדרת משתנה K), את ערך ההגבר K_c (ע"י הגדרת K_c) ואת הפרמטרים של רשת הקידום α (בתוך משתנה a) ו- ω_m (במשתנה w). (דגש: יש להזין את שמות הפרמטרים כפי שמופיעים בסוגריים)
- ג. יש לוודא שהאות במחולל האותות (*signal generator*), הינו גל ריבועי עם אמפליטודת יחידה ותדירות 0.4Hz .
- ד. יש לוודא שהמתג בדיאגרמת המלבנים (*Manual Switch*) נמצא במצב שבו ישנו מעקף של רשת הקידום.
- ה. כעת יש להריץ את הסימולציה.
- ו. את תוצאות הסימולציה ניתן לראות במשקפי התנודות (אוסילוסקופים), כמו כן תוצאות הסימולציה נשמרות ב-*workspace* של ה-MATLAB. תוצאות המהירות הזוויתית נשמרות במערך `omega_sim`, מערך זה הינו בעל שלוש עמודות, העמודה הראשונה מכילה את ערכי הזמן לאורך הסימולציה בשניות, העמודה השנייה מכילה את ערכי המהירות הזוויתית הרצויה $\omega_d[\text{rad}]$ (אות הייחוס) והעמודה השלישית מכילה את ערכי המהירות הזוויתית המתקבלת $\omega_l[\text{rad}]$.
- ז. יש לשמור את מערך תוצאות הסימולציה הראשונה בשם שונה (למשל `omega_sim1`), זאת מפני שבהרצה השנייה של הסימולציה הנתונים במערך ישתנו.
- ח. יש להעביר את המתג בדיאגרמת המלבנים (*Manual Switch*) למצב השני בו רשת הקידום פעילה.
- ט. כעת יש להריץ את הסימולציה בשנית.
- י. יש להפיק גרף מתוצאות שתי הסימולציות ולהשוות את ביצועי תגובת המעבר לכניסת מדרגה, OS - תגובת היתר ו- t_p הזמן לפיק ראשון.
- יא. חשבו/י מתוצאות הסימולציה את השגיאה לכניסת מדרגה המתקבלת לאחר התייצבות המהירות הזוויתית עבור שתי הסימולציות. האם השגיאות מתאפסות בקירוב?

6. יישום בקר מהירות זוויתית

SRV02-ET Experiment : Speed Control



Quarc
accelerate design



איור 4 - צילום מסך של מודל הניסוי.

- א. יש לפתוח את קובץ הניסוי, `q_srv02_spd.mdl`.
- ב. יש לוודא שהאות במחולל האותות (*signal generator*), הינו גל ריבועי עם אמפליטודת יחידה ותדירות 0.4Hz .
- ג. יש לוודא שמוזנים (אם לא יש להזין) בשורת הפקודה של ה- MATLAB ערכי ההגבר K_c (k_c) והפרמטרים של רשת הקידום α (a) ו- ω_m (w).
- ד. יש לוודא שהמתג בדיאגראמת המלבנים (*Manual Switch*) נמצא במצב שבו ישנו מעקף של רשת הקידום.
- ה. לפני הרצת מודל הניסוי יש לוודא עם מדריך המעבדה שמערכת הניסוי מחוברת כהלכה.
- ו. יש לבנות (*build*) את התוכנית, על ידי לחיצה בשורת התפריטים על `Quanser >> Build`, או על ידי לחיצה על `Ctrl+B`. כעת יש להמתין עד שהתוכנית תסיים את הפעולה, כאשר הפעולה תסתיים תתקבל השורה הבאה בשורת הפקודה של ה- MATLAB,


```
>>###Model q_srv02_spd has been downloaded to target...."
```
- ז. כעת ניתן להריץ את מודל הבקר כאשר הוא פועל על מערכת הניסוי.
- ח. את תוצאות הניסוי ניתן לראות במשקפי התנדודות (אוסילוסקופים), כמו כן תוצאות הניסוי נשמרות ב- *workspace* של ה- MATLAB בסוף ההרצה. תוצאות המהירות הזוויתית נשמרות במערך `omega_exp`, מערך זה הינו בעל שלוש עמודות, העמודה הראשונה מכילה את ערכי הזמן לאורך הניסוי בשניות, העמודה השנייה מכילה את ערכי המהירות הזוויתית הרצויה $\omega_d[\text{rad}]$ (אות הייחוס) והעמודה השלישית מכילה את ערכי המהירות הזוויתית המתקבלת $\omega_l[\text{rad}]$.

- ט. יש לשמור את מערך תוצאות הניסוי הראשון בשם שונה (למשל ω_exp1), זאת מפני שבהרצה השנייה של הניסוי הנתונים במערך ישתנו.
- י. יש להעביר את המתג בדיאגראמת המלבנים (*Manual Switch*) למצב השני בו רשת הקידום פעילה.
- יא. כעת יש להריץ את הניסוי בשנית, אין צורך לבצע שוב בנייה (*build*) של התוכנית.
- יב. יש לשמור שוב את מערך תוצאות הניסוי בשם חדש (למשל ω_exp2).
- יג. יש להפיק גרף המתאר את תוצאות הניסוי, יש להשוות בין שני מצבי הניסוי ולהשוות את תוצאות הניסוי לתוצאות הסימולציה. יש להתייחס בהשוואה לביצועי תגובת המעבר: OS - תגובת היתר ו- t_p הזמן לפיק ראשון, ולחשב את השגיאה לכניסת מדרגה המתקבלת לאחר התייצבות המהירות הזוויתית.
- יד. יש לתכנן בתחום התדר בקר כך שיתקיימו הדרישות הבאות: $e_{ss} = 0$ לכניסת מדרגה ועודף פאזה $PM = 70^\circ$. על הבקר להכיל אינטגרטור $\left(\frac{1}{s}\right)$ והגבר פרופורציונלי (K_c) בלבד. יש לשרטט גרף בודה של המערכת הכוללת את הבקר באמצעות ה-MATLAB ולוודא שהדרישות מתקיימות.
- יז. יש להזין את ערך ההגבר (kc) K_c שחושב בסעיף הקודם בשורת הפקודות של ה-MATLAB, וכן להעביר את המתג בדיאגראמת המלבנים (*Manual Switch*) למצב בו ישנו מעקף של רשת הקידום.
- טו. לפני הרצת מודל הניסוי יש לוודא עם מדריך המעבדה שההגבר שהתקבל תקין.
- טז. יש להריץ את מודל הניסוי.
- יז. יש להפיק גרף המתאר את תוצאות הניסוי עם הבקר החדש. יש להשוות את התוצאות שהתקבלו עם תוצאות הניסוי שהתקבלו קודם, כלומר, עם התוצאות שהתקבלו עם הבקר שכולל את רשת הקידום. בעיקר יש להתייחס בהשוואה ל- t_p הזמן לפיק ראשון. יש לנתח ולהסביר את הסיבות להבדלים המתקבלים.
- יח. בקשר לתוצאות שהתקבלו, יש להסביר מהו תפקידה של רשת הקידום בבקר הראשון (מה המוטיבציה לשימוש ברשת הקידום במערכת הנתונה).