



אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
הפקולטה למדעי ההנדסה

DC Motor Position Control

בקרת מיקום



1. מבוא ומטרת המעבדה

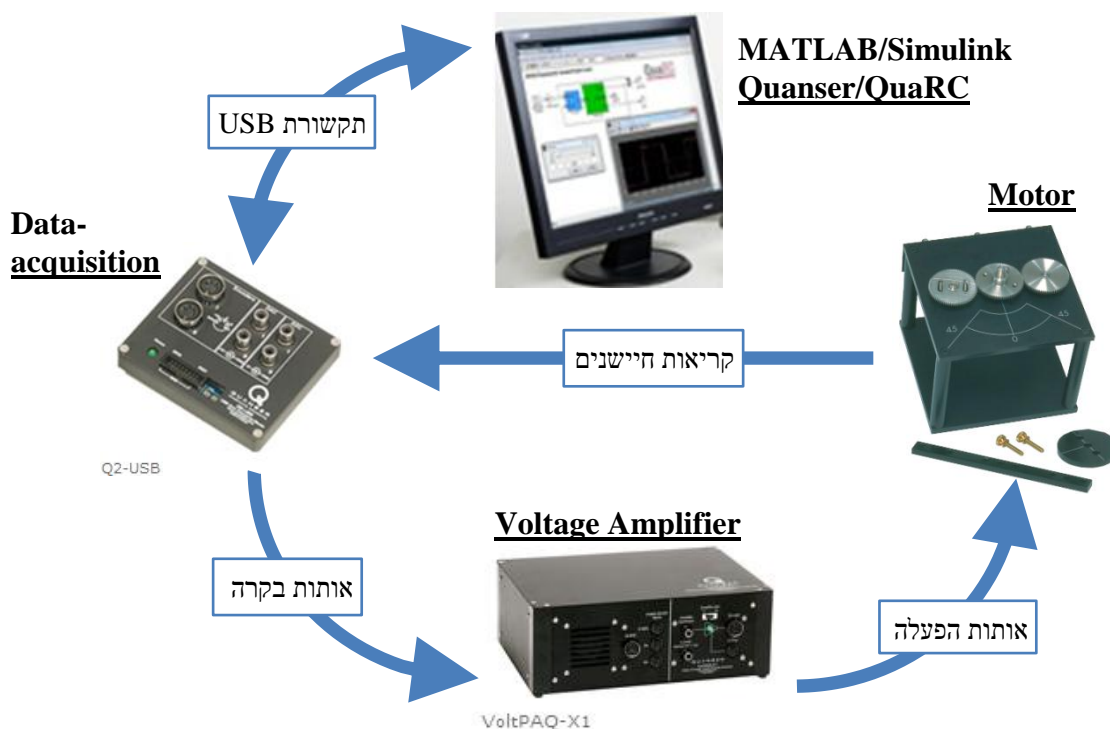
להתנסות בתכנון ומימוש של מערכות בקרה. להתנסות בעבודה עם ה-Simulink ובכלים המאפשרים פיתוח מהיר של אב טיפוס (Rapid prototyping). לתכנן מערכת בקרה למנוע DC המתבססת על בקר PID, לראות כיצד הפרמטרים של מערכת הבקרה משפיעים על ביצועי החוג הסגור. להכיר חיישני תנועה נפוצים כגון: אנקודר, טכומטר ופוטנציומטר.

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

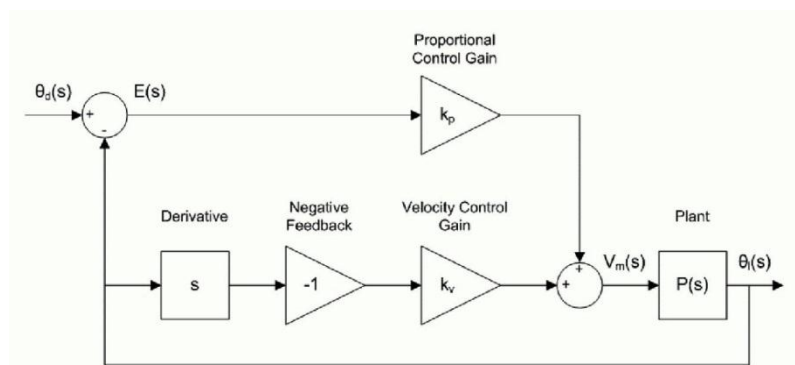
האיור הבא מתאר את מערכת הניסוי:



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 מציוד חיצוני (לדוגמה, מהחיישנים המותקנים במנוע) ולייצר אותות הנשלחים מהמחשב אל ציוד חיצוני (לדוגמה, אותות הבקרה המפעילים את המנוע). התקשורת של המחשב עם הציוד 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 הזווית 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 1 - דיאגרמה המתארת את מערכת הניסוי בחוג סגור.

פונקציית התמסורת של התהליך שיש לבקר (מסומן בשרטוט ב-Plant), בין המתח בכניסה למנוע $V_m(s)$ וזווית המנוע $\theta_l(s)$, נתונה בצורה פרמטרית באופן הבא,

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

τ ו- K הינם פרמטרים של מודל התהליך.

- א. יש למצוא את פונקציית התמסורת של המערכת בחוג סגור $\frac{\theta_i(s)}{\theta_d(s)}$ ולרשום אותה באופן פרמטרי התואם את התבנית הכללית של פונקציית תמסורת של מערכת מסדר שני.
- ב. יש למצוא את הביטוי הפרמטרי לשגיאה $E(s)$ כפונקציה של $\theta_d(s)$.
- ג. יש לחשב את הביטויים (באופן פרמטרי) של ההגברים k_p ו- k_v כפונקציה של הפרמטרים של מודל המערכת, τ ו- K, ופרמטרים של מערכת מסדר שני, ω_n ו- ζ , עבור המערכת בחוג סגור מסעיף א'.
- ד. עבור $\tau = 0.0254$ ו- $K = 1.6$, יש למצוא את ערכי ההגברים k_p ו- k_v כך שהמערכת בחוג סגור תקיים:

$$\zeta = 0.69 \quad ; \quad \omega_n = 21.7$$

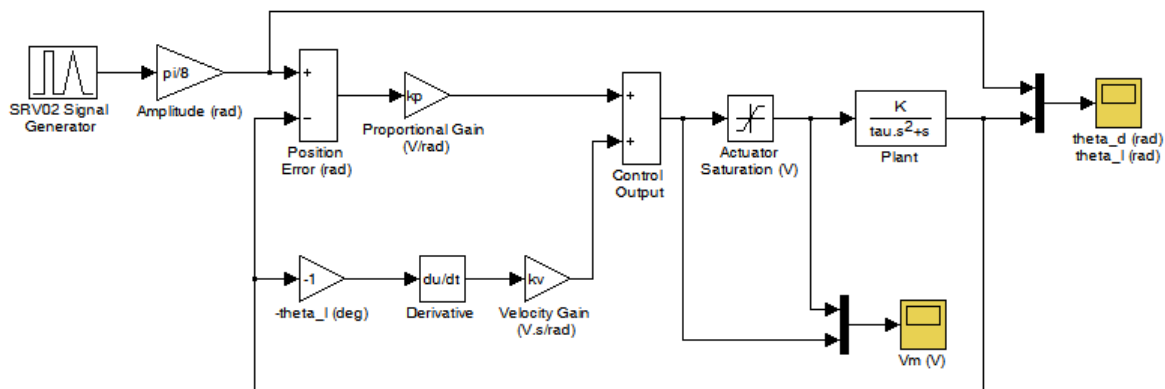
- ה. יש לחשב את ביצועי תגובת המעבר לכניסת מדרגה, OS (תגובת יתר) ו- t_p (הזמן לפיק ראשון), המתאימים לפרמטרים מסעיף ד'. ניתן להשתמש בנוסחאות הבאות:

$$OS(\%) = 100e^{\left(\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} \quad ; \quad t_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

- ו. יש לחשב את ערך השגיאה במצב מתמיד לכניסת מדרגה ולכניסת מהירות עבור המערכת בחוג סגור בהינתן הפרמטרים וההגברים מסעיף ד'.

5. סימולציה של המערכת עם בקר מקום (זווית)

SRV02-ET Experiment #2: Simulated Position Control



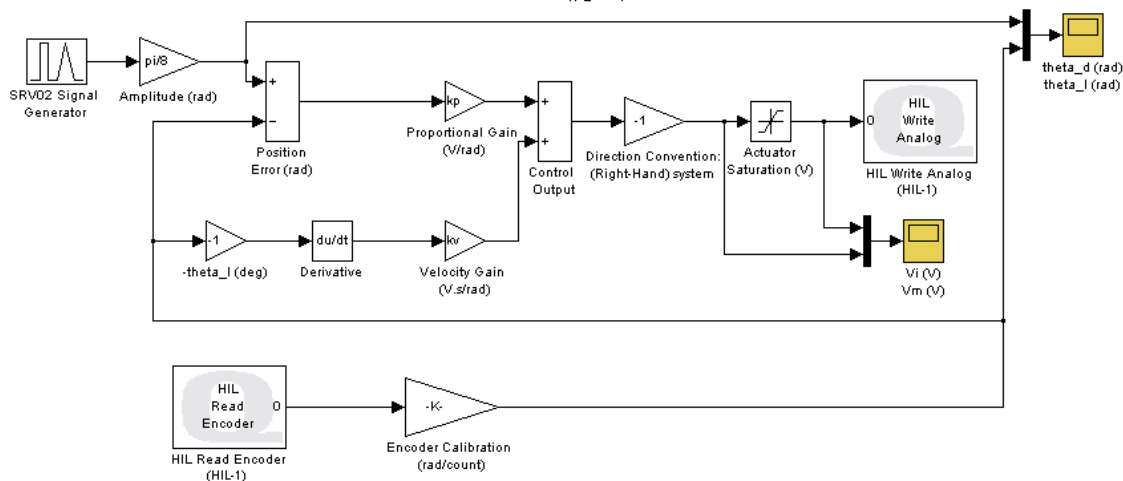
איור 2 - צילום מסך של מודל הסימולציה.

- א. יש לפתוח את קובץ הסימולציה, `s_srv02_pos.mdl`.

- ב. יש להזין בשורת הפקודות של ה-MATLAB את ערכי הפרמטרים של המודל: הערך של τ (המשתנה ב-MATLAB נקרא tau), הערך של K (המשתנה ב-MATLAB הוא K) ואת ערכי ההגברים k_p ו- k_v (ב-MATLAB המשתנים הם k_p ו- k_v)
- ג. יש לוודא שהאות במחולל האותות (Signal-generator), הינו גל ריבועי עם אמפליטודת יחידה ותדירות $0.4Hz$.
- ד. כעת יש להריץ את הסימולציה.
- ה. את תוצאות הסימולציה ניתן לראות במשקפי התנודות (Scope), כמו כן תוצאות הסימולציה נשמרות ב-workspace של ה-MATLAB. תוצאות המצב הזוויתי נשמרות במערך theta_sim, מערך זה הינו בעל שלוש עמודות, העמודה הראשונה מכילה את משתנה הזמן (בשניות), העמודה השנייה מכילה את הייחוס (הזווית הרצויה) $\theta_d[rad]$ והעמודה השלישית כוללת את ערכי הזווית המתקבלת $\theta_l[rad]$.
- ו. יש להפיק גרף מתוצאות הסימולציה ולוודא שהתוצאות שמתקבלות מתאימות לביצועי תגובת המעבר לכניסת מדרגה, OS (תגובת יתר) ו- t_p (הזמן לפיק ראשון), שעבורם חושבו ההגברים.
- ז. חשבי/ מתוצאות הסימולציה את השגיאה במצב המתמיד לכניסת מדרגה. האם השגיאה מתאפסת בקירוב?

6. יישום בקרת מיקום (מצב זוויתי)

SRV02-ET Experiment #2: Position Control



איור 3 - צילום מסך של מודל הניסוי.

- א. יש לפתוח את קובץ הניסוי, q_srv02_pos.mdl.
- ב. יש לוודא שהאות במחולל-האותות (Signal-generator), הינו גל ריבועי עם אמפליטודת יחידה ותדירות $0.4Hz$.

- ג. יש לוודא שמוזנים (או שיש להזין) בשורת הפקודה של MATLAB את ערכי ההגברים k_v (המשתנה kv) ו- k_p (המשתנה kp).
- ד. לפני הפעלת הבקר יש לוודא עם מדריך המעבדה שמערכת הניסוי מחוברת כהלכה.
- ה. יש "לבנות" את תוכנית זמן האמת של הבקר, על ידי לחיצה בשורת התפריטים על Build >> Quanser, או על ידי לחיצה על $Ctrl+B$. כעת יש להמתין עד שהתוכנית תסיים את הפעולה, כאשר הפעולה תסתיים תקבל השורה הבאה בשורת הפקודה של MATLAB, " >>###Model q_srv02_pos has been downloaded to target...."
- ו. כעת יש להריץ את הבקר (כאשר הבקר מפעיל את המנוע במערכת הניסוי).
- ז. את תוצאות הניסוי ניתן לראות במשקפי התנודות (Scope), כמו כן תוצאות הסימולציה נשמרות ב-workspace של MATLAB בסוף ההרצה. תוצאות המצב הזוויתי נשמרות במערך θ_{exp} , מערך זה הינו בעל שלוש עמודות, העמודה הראשונה מכילה את הערכים של משתנה הזמן לאורך הניסוי בשניות, העמודה השנייה כוללת את ערכי הזווית הרצויה $\theta_a[rad]$ (אות הייחוס) והעמודה השלישית את ערכי הזווית הנמדדת $\theta_l[rad]$.
- ח. יש להפיק גרף המתאר את תוצאות הניסוי ולהשוות אותן לתוצאות הסימולציה. יש להשוות את ביצועי תגובות המעבר, תגובת היתר והזמן לפיק ראשון, ולחשב את השגיאה לכניסת מדרגה המתקבלת לאחר התייצבות המצב הזוויתי.
- ט. האם השגיאה לכניסת מדרגה מתאפסת בקירוב? אם לא הציעו פתרון שיאפשר הקטנה של השגיאה לכניסת מדרגה (או איפוס השגיאה, אם ניתן) ויישמו בעזרת מדריך המעבדה.