



בי"ס להנדסת חשמל

פרויקט מס' 20-2-1-2206

תכנית עבודה

שם הפרויקט: פיתוח סימולאטור עמדת תצפית ניידת כנגד הפרעות קרקע

מבצעים:

ת.ז. 301658852

שם: אוהד פורמן

ת.ז. 206468480

שם: דוניא סרחאן

מקום ביצוע הפרויקט: אוניברסיטה

לשימוש המנחה:

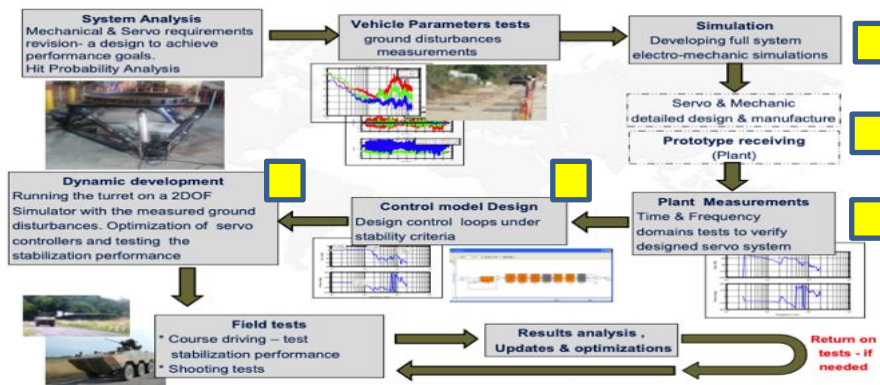
הנני מאשר את תכנית העבודה המצורפת

שם: _____ ד"ר גבריאל דוידוב _____

חתימה: _____  _____

1. תקציר

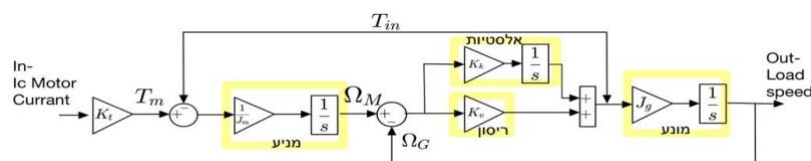
עם התקדמות טכנולוגיית המערכות האוטונומיות והסמי-אוטונומיות, ישנו צורך בתכנון מערכות בקרה אשר תומכות/מחליפות פעולות של מפעיל מערכות מכניות. עבור כוחות ביטחון, זמני תגובה עלולים להוות את ההבדל בין חיים למוות. מערכות נשק נמדדות בעוצמתן, דיוקן ואמינות. בפרויקט זה נתכנן סימולציה עבור מערכת בקרה אשר תעזור בעיקר למפעיל לבצע כל פעולת ירי במידת דיוק הכי אופטימלית. מהות העבודה בפרויקט תהיה כזו שמשקפת את עבודתו של מהנדס בקרה, תוך כדי סנכרון עם סביבה של צוות הנדסה מכנית (בצורה של קבלת פרמטרים ודרישות), קבלת נתונים ניסיוניים וחילוץ מאפיינים פונקציונליים של המערכת מהם והתאמת הסימולציה לנתוני אמת.



איור 1: סביבת העבודה של הפרויקט, מסומנים בצהוב – שלבי הנדסת הבקרה בפיתוח המערכת

בפרויקט נקבל נתונים ודרישות של פרמטרים פיזיקליים מכניים של מנועים, מערכות הינע ופרמטרי אינרציה של המערכת. נקבל נתונים של מדידות הפרעות קרקע, הפרעות חיכוך אי לנאריות, הפרעות של ירי. באמצעות כלים לפתרון בעיות מכניות ופיזיקליות כגון משוואות מומנטים נפתח סימולציה המבקרת את התכונות הללו של המערכת על מנת להגיע לייצוב מרבי של מערכת הירי, בזמן נסיעה כאשר משפיעות הפרעות קרקע שונות, בזמן ירי, תוך כדי עמידה בדרישות שגיאת מצב מתמיד, GM, PM, הגברים כתלות בתדר (דגש על תדרים נמוכים). המערכת נצפית באמצעות חיישני ג'ירוסקופ וטכומטרים, אשר נעבוד באופן צמוד עם הנתונים המופקים משני מכשירים אלו, המשוואות הדינאמיות יהיו על הרמה וציוד של המערכות, ומהירויות זוויתיות של החלקים הנשלטים. נבצע מידול של חלקי המערכת באמצעות מודל "מולקולה", הנגזר מתוך פונקציית תמסורת של אותה מערכת בקרה עליה נרצה לבצע אופטימיזציה, בו מתייחסים לחלקים המרכזיים הנעים עליהם נרצה לשלוט, כך שנתייחס אל חלקים אלו כאיברים אינרציאליים המאופיינים במקרה הסיבובי (הרלוונטי לפרויקט) ע"י משוואות מומנטים. מודל המולקולה מתאר את המודל הפשוט של מולקולה כאל שתי מסות בעלות קשר של ריסון ואלסטיות (קפיץ וחיכוך למשל), נסתכל על החלקים במערכת כמונעים ומניעים, והמודל הפיזיקלי המתקבל הוא של דינמיקה של ריסון ואלסטיות.

התמסורת הבאה מתארת מודל מולקולה, הבלוקים המסומנים מתארים את התכונה הפיזיקלית הממודלת בתמסורת, זהו הבלוק העיקרי:



איור 2: תמסורת מודל מולקולה

2. מוטיבציה

הנדסת הבקרה מתאפיינת בפתרון בעיות אופטימיזציה בעלות משתנים רבים, על מנת להגיע לאופטימיזציה של מערכת נדרש לבצע עבודה רבה של כיוון מספר רב יחסית של פרמטרים. בפיתוח של מוצר טכנולוגי אשר מתבסס על מערכת בקרה יש צורך לכייל את הפרמטרים על פי בסיס של פיתוח מודלים תיאורטיים וניסויים רבים בשטח. סימולציה מוצלחת אשר תבצע אופטימיזציה למערכת הבקרה חוסכת זמן יקר ובעקבות כך לחסכון בכסף, אחרי שלב ה-field tests מתבצע שלב של Result analysis באופן מחזורי (איור 1) עד להשגת הביצועים הרצויים, סימולציה טובה תעזור להגיע למיצוי השלב באופן יעיל החוסך במשאבי זמן וכסף, לפני השלב ובמהלך האנליזה לתוצאות. ללא סימולציה מתאימה המעבר לשלב זה איננו מתאפשר במערכות מורכבות עם מספר פרמטרים גבוה.

סימולציות כנ"ל הכרחיות לתפקוד של מערכות אלו בצורה שכולה אלקטרונית, מערכת שכולה אלקטרונית מהווה תחליף למערכות על בסיס הידראולי. היתרונות העיקריים של מערכות שכולה אלקטרונית על הידראולית היא שבמערכת האידראולית קיימת סכנה לצוות משמנים דליקים. מערכת שכולה אלקטרונית מאפשרת התקנה מהירה יותר, פחות תחזוק, מערכות שקטות יותר, עבודה בתנאי טמפ' קיצוניים וצריכת הספק נמוכה יותר. מבחינת הבקרה למערכות האלקטרוניות לחלוטין יש דינאמיקה לינארית טובה יותר, קשיחות מכנית טובה יותר והעברה טובה יותר של טורק מהמנוע אל העומס.

קיימות סימולציות בעלות ייעוד זהה, שיפור של הסימולציות מביא לשיפור מידי בתקפוד במובן הטריטוריאלי וכתוצאה לשיפור במובן של היכולת להוסיף גורמים נוספים המשפיעים על המערכת, כלומר, אחרי פתרון הבעיה ניתן לעבור לבעיה המורכבת יותר מבחינה של אופטימיזציה, והוספת משתנים נוספים לבעיה, טיפול במקרי קיצון במקרים המסובכים כמו החיכוך והאי-איזון ולקבל תוצאות טובות יותר בשטח כתוצאה מסימולציה משופרת.

3. תכולת עבודה

1. עיבוד נתונים – בתחילת הפרויקט יתקבלו מהמנחה נתונים טכניים ונתוני מדידות, על מנת ללמוד את הרקע התאורטי כאשר הנתונים מוצגים בצורה מסודרת, יתבצע עיבוד נתונים הכולל שרטוט בודה, ארגון סביבת עבודה מסודרת ב-MATLAB, בדיקת תקינות ושאיין חוסרים.
2. רקע תיאורטי – הסטודנטים עם רקע בתחום הבקרה בהיקף של הקורס "מבוא לתורת הבקרה", את חומר הקורס הרלוונטי לפרויקט ירענו עם דגש על הנושאים הרלוונטים לפרויקט, בקר PI, שרטוט בודה, אנליזת יציבות, הגבר חוג פתוח, PM, GM, הרקע התיאורטי החדש שהסטודנטים ירכשו יכלול מודל "מולקולה", אינרציות, חיכוך, אי איזון והפרעות לא לינאריות הבנה בסיסית של המושגים המגיעים מתחום הנדסת המכונות, מערכת הינע, מנועים, תכונות גלג"ש ויחסי העברה.
- בנוסף הסטודנטים יסקרו יישום של מערכות דומות מתוך מאמרים וספר פרויקט שיינתן על ידי המנחה. לבסוף עם הרקע התיאורטי המתאים הסטודנטים ילמדו ממאמר שנכתב ע"י המנחה, המתאר את תהליכי העבודה ואת הטיפול בנושאים הלא ידועים לסטודנטים במערכות מהסוג של הפרויקט

- סיכומי הקורס "מבוא לתורת הבקרה", פרופ' ג'ורג וייס
- מצגת הקורס "בקרה 2", ד"ר גבריאל דוידוב
- קובץ project book (ספר פרויקט)

- Selected topics on the synthesis and analysis off all-electric heavy gun/turret drive control systems, Dr. Gavriel Davidov

3. באמצעות נתוני המדידות תתקבל התנהגות המערכת, על מנת לפתח מודל "מולקולה" של המערכת בסימולציה הסטודנטים ישתמשו בכלים של כיוול (curve fitting) בתוכנת MATLAB ו-PYTHON על מנת לחלץ את פרמטרי הריסון והאלסטיות של המערכת.
4. הכנה לסימולציה ושימוש בהרחבות מתאימות – הכלי הנדרש למימוש הסימולציה הוא ההרחבה SISOTOOL של MATLAB. הסטודנטים ירכשו את הידע על הכלי באמצעות הדרכות אינטרנטיות ומאמרים, עם דגש על הדוקומנטציה של ההרחבה וההדרכות של MATHWORKS.
5. תבוצע אופטימיזציה של הפרמטרים בתמסורת הסימולציה על מנת לקבל התאמה מיטבית להתנהגות הנמדדת באמצעות כלים של SISOTOOL, התמסורת סימולציה תבנה בSIMULNIK
6. השוואה של התמסורת המתקבלת בסימולציה לתמסורת המדידות באמצעות כלים השוואתיים סטטיסטיים של טיב התאמה, הסטודנטים ידרשו טיב התאמה בתדרים רלוונטים לתפקוד המערכת עד לכ-20[Hz]
7. סינטזה של בקרים לאופני כוח וייצוב, באמצעות הכלי SISOTOOL בשלב זה הסטודנטים ידרשו הישגי ביצועים (ראה סעיף תוצרי הפרויקט), על מנת לשנות תכונות של התמסורות סימולציה להתאמה בתדרי רזוננס ואנטי רזוננס רכיבי מסננים יתווספו לסימולציה, בשלב זה יבנה בקר PI לעמידה בדרישות הגבר, על מנת לעמוד בדרישות PM GM ימומש בקר קידום פיגור.
8. הסטודנטים יחזרו על סעיפים אלו עבור 4 מערכות – שני רכיבים X שני צירים
9. מעבר לביצועים עם התחשבות בהפרעות קרקע ואלמנטים לא לינאריים באמצעות מנגנון אנטי חיכוך (לא לינארי), ע"י גזר (הפרעות קרקע) בדיקת התוצאות הספקטרליות באמצעות ספקטרום אנלייזר SISOTOOL, ווידוא עמידה בדרישות.
10. מימוש סימולציה בהתאם לתוצאות סעיף 9 באמצעות SIMULNIK, הכנסת נתוני תאוצה ובדיקה/שיפור טיב המערכת
11. התמודדות עם ירי, הכנסת הפרעות ירי לסימולציה והשגת טיב ביצועים עם גורם זה, בכלים שתוארו לעיל לגבי מיטוב פרמטרים
12. מימוש התהליכים לעיל על פוד תצפית
13. שעבוד הרכיבים באמצעות כלים של משוב מצב וצופה
14. בדיקת טיב ביצועים של המערכת המשועבדת ע"י סעיפים 10-11

תוצר ראשי-פיתוח ס'מולאטור עמדת תצפית/יר' ניידת כנגד הפרעות קרקע, שלבי הבנייה, הישגי' ביניים וההישגים הראשיים:

- 1.1 אימות הסימולציה על ידי שימוש בתוצאות ספקטרליות נתונות בתחום התדר הכוללות עקומת היענות ג'ירו תותח/צריח ואנקודר תותח/צריח לקלט הרמוני של פקודות זרם למנוע וכן"ל לפוד תצפית
- 1.2 בנייה של סימולציה על סמך מודל "מולקולה" על סמך משוואות תדירות עצמית וריסון של מערכת מסדר שני, בשיטות התאמה למצוא פרמטרי חיכוך וקפיציות אופטימליים.
2. השוואה של BODE הסימולציה ל-BODE של המדידות עבור כל חישן וכל ציר.
- 2.1 ניתוח יציבות המערכת באמצעות SISOTOOL
3. מציאת בקר לפי דרישת הגבר, חקר תכונות המערכת המבוקרת PM, GM, שגיאת מצב מתמיד, רוחב סרט.
4. תכנון בקרים לאופני כח וייצוב כך שיעמדו בדרישות הבאות
 - שגיאת מצב מתמיד לקלט ריצה-0
 - הגבר מערכת בחוג פתוח בתדר 1 [Hz] מעל 20 [dB]
 - עודף פאזה של המערכת בסימולציה ובמציאות – מעל 40 [deg]
 - עודף הגבר של המערכת בסימולציה ובמציאות – מעל 7 [dB]
- 4.1 בנית סימולציה עבור רכיבי הכח

- 4.1.1 הנחתה של כ-פי 11 את עוצמת הרזוננסים בעזרת מסנני NOTCH FILTER ותכנון מקדמי הריסון כך ששיעור פגיעת הפאזה בתדר 5[Hz] בשתי המערכות לא תהיה נומכה מ-10[deg]
- 4.1.2 מציאת הגבר עבור המערכות כך שתדר החיתוך 0[dB] כ-5[Hz] ועודף הגבר של המערכת בסימולציה ובמציאות מעל 7[dB]
- 4.1.3 תכנון בקר PI כך שעודף הפאזה של המערכת בסימולציה ובמציאות מעל 40[deg] וכן הגבר מערכת בחוג פתוח בתדר 1[Hz] מעל 20[dB]
5. הוספת מומנטי חיכוך ואיזון לכל ציר. בדיקת התגובות הספקטרליות בעזרת ספקטרום אנלייזר. בדיקת התוצאות אל מול דרישות.
6. באופן ייצוב –
- 6.1 ביצוע סימולציה על ווקטור הפרעות הקרקע, מהירות זוויתית ותאוצה קווית ביצוע אינטגרציה על תפוקת הג'ירו לקבלת זווית תותח אינרציאלית. חישוב טיב ייצוב STD במונחי אחד סיגמא. ביצוע אופטימיזציה על פרמטרי הבקרים עד לקבלת טיב הייצוב הרצוי תוך שמירה על כל דרישות הבקרה. בדיקת ביצועי טיב ייצוב המערכת להפרעות קרקע מהירות זוויתית ותאוצות. שיפור הבקרים לקבלת תוצאות טובות מ-0.5 mrad אחת סיגמא.
- 6.2 באופן ייצוב – הוספת מנגנוני אנטי חיכוך לשיפור ביצועי המערכת – הערכת טיב השיפור.
7. הזנה לסימולציה את הלמי הירי, ללא הפרעות קרקע, בדיקת טיב החזרת התותח לאחר ירי של כל כדור. ביצוע עבור אופני הכח וייצוב בהגבה ובציוד. שיפור פרמטרי הבקרה לתוצאות מיטביות

סוף משימות סמסטר א'

מעבר לעבודה עיקרית על פוד תצפית, שיעבוד ושילוב

8. חזרה על סעיפים 1-7 עבור פוד התצפית.
9. שיעבוד התותח והצריח לצירי הגבהה וציוד של פוד התצפית בעזרת בקרי מצב
10. חזרה עד סעיפים 6-7 כאשר הפוד משולב במערכת

סוף פרויקט.

5. לוח זמנים

- מצורפת (לפי בקשת המנחה) תכנית עבודה סמסטריאלית מפורטת (לכן חריגה מ-8-12 שורות).

אבן דרך	פירוט (2-3 שורות)	תאריך יעד לביצוע	הערות
פגישת פתיחה עם המנחה	הכוונה ראשונית, קבלת סקירה על דרישות הפרויקט מרכיביו והתיאוריה בבסיס, ויזואל קבלה מלאה של הנתונים והכוונה לנושאים נבחרים ללמידה	27/2/22	בוצע
ייבוא של הנתונים מהמנחה אל סביבת העבודה, סידורם והצגתם.	סידור ועיבוד נתונים בתוכנת מטלב – סידור + עיבוד ראשוני (בזדה). המעבר על החומר התיאורטי יהיה יעיל יותר עם נתונים מול העיניים	7/3/22	התקבלו נתונים חלקיים-השלמת חוסר + הגשת תוכנית עבודה
למידת חומר תיאורטי- ריענון של הקורס-מבוא לתורת הבקרה	ריענון של נושאים נבחרים מתוך הקורס "מבוא לתורת הבקרה" הנוגעים באופן בסיסי בנושאי הקורס, בקרי PI, שרטוטי בזדה וכו'	25/3/22	
מצגת קורס "בקרה 2"	בדפי הקורס "בקרה 2" (התקבל מהמנחה) נמצאים העקרונות הבסיסיים של הפרויקט וההרחבות הנדרשות מעבר לקורס "מבוא לתורת הבקרה"		
הקובץ project book	בקובץ קיים תיאור של יישום סימולציה דומה אשר התקבלה מהמנחה ממנה נקבל תובנות ליישום הפרויקט		

		Selected topics on the synthesis and analysis off all-electric heavy gun/turret drive control systems, Dr. Gavriel Davidov המאמר נכתב ע"י מנחה הפרויקט, מתאר בהרחבה את הטיפול בנושאים החדשים לנו – חיכוך ואי איזון	מאמר – סקירה מלאה של הנושא
	25/3/22	סוף החלק של המסה הראשונית של הרקע התיאורטי, מפגש חניכים לשאלות/תשובות הדדיות וניסוח שאלון על הרקע התיאורטי למנחה. פגישה עם המנחה.	מפגש סיכום רקע תיאורטי ובניית שאלות למנחה + מפגש מנחה
	4/4/22	התוסף הוא כלי שימושי ביותר למהנדסי בקרה ונשתמש בו באופן אינטנסיבי במהלך הפרויקט, נבצע לימוד עצמי מלא על סמך ספרות/הדרכות אינטרנטיות	למידת תוסף המטלב - SISOTOOL/ SIMULNIK
	20/5/22	סימולציה במצב היעד של סמסטר ראשון, אך לפני הצעות, תיקונים ושיפורים שיוצעו ע"י המנחה	חילוץ סימולציה-השגת יעדי סמסטר (לפני פגישת מנחה)
	20/5/22	נציג למנחה את הסימולציה, נבדוק אפשרויות לתיקונים ושיפורים של הסימולציה	פגישת הצגת סימולציה ראשונית למנחה
	30/5/22	נדווח למנחה על התיקונים והשיפורים שבוצעו לקבלת אישור של עמידה ביעדי הסמסטר	עבודה על הסימולציה-השגת יעדי סמסטר (אחרי פגישת מנחה)
הצגת מצגת (בין 12/6-4/8 הרשמה פתחת בהמשך)	9.6.2022		הגשת מצגת האמצע
עבודה מקבילה על תוצרי גמר – ספר + מצגת סיכום + פוסטר (הגשת הפוסטר היא האירוע הראשון כאשר התאריך עדיין לא נקבע, ספר ומצגת סיום עם סיום הפרויקט)	1/10/22	ווידאו עם המנחה של יעדי הסמסטר השני לעבודה, קבלת חומר תיאורטי נוסף לפי צורך	פגישת מנחה
	1/12/22	עדכון המנחה בהתקדמות, בעיות, קבלת משוב והצעות לשיפור	פגישת עדכון מנחה
צפוי באזור התאריך - סיכום התקדמות אמצע סמסטר (לא נקבע תאריך)	1/1/23	סימולציה הכוללת את יעדי סמסטר שני על פי יעדי הסמסטר	סימולציה-השגת יעדי סמסטר (לפני פגישת מנחה)
	1/1/23	הצגה וקבלת משוב, הצעות לתיקון ולשיפור הסימולציה	פגישת הצגת סימולציה ראשונית למנחה
סיום ספר + מצגת סיום	20/1/23	יישום משוב מנחה + הצגת הסימולציה למנחה לצורך קבל אישור להגדרת הפרויקט במצב "הושלם"	סימולציה-השגת יעדי סמסטר (אחרי פגישת מנחה)+פגישת מנחה
(הצגת הפרויקט בינואר-פברואר 23)	22/1/23		סיום הפרויקט

תכנית עבודה סמסטר א לפי סעיפים:

אבן דרך	פירוט (2-3 שורות)	תאריך יעד לביצוע	הערות
סעיף 1	*קריאת חומר למידה *אימות הסימולציה ע"י בדיקת נתונים ספקטריים *בניית מודל מולקולה בעזרת SIMULINK	25/3/22	קיבלנו את הנתונים + חומר קריאה מהמנחה
סעיף 2	*התנסות בתוסף SISTOOL *בדיקת גרפי BODE בעזרת תוסף זה	4/4/22	
סעיף 3	*ניתוח דרישות הגבר והתאמת בקר	12/4/22	
סעיף 4	ישנו פירוט מה צריך לעשות בסעיף זה בחלק של תוצרי פרויקט	28/4/22	
סעיף 5	*הוספת הפרעות קרקע שונות למערכת והשוואת התוצאות לדרישות של המערכת	5/5/22	
סעיף 6	ישנו פירוט מה צריך לעשות בסעיף זה בחלק של תוצרי פרויקט	13/5/22	
סעיף 7	*ביצוע בדיקות אחרונות של המערכת עם ובלי הפרעות קרקע.	20/5/22	

		*שיפור פרמטרים ע"פ תוצאות הבדיקות שבוצעו	
--	--	--	--

תכנית עבודה סמסטר ב לפי סעיפים:

אבן דרך	פירוט (2-3 שורות)	תאריך יעד לביצוע	הערות
לפני ההמשך בעבודה על	*קריאה, קבלה ובדיקת פרמטרי פוד תצפית *חזרה על הקודים/סימולציות של סעיפים 1-7	עד תחילת סמסטר א תשפג	
סעיף 8	חזרה על כל הסעיפים מ-1-7 עבור פוד תצפית	עד 3 שבועות	
סעיף 9	את שני הסעיפים הללו נצטרך להבין יותר לעומק עם ההתקדמות בפרויקט, כעת אין לנו תכנית מפורטת איך לביצועם		
סעיף 10			