מערכת לגילוי, בידוד ושיפוי כשלי מדידי מנוע סילוני באמצעות רשתות עצביות

חיים כהן, AD&D

תוכן עניינים

- מבוא (מצב עכשווי)
- מטרה
- מושגים
- מערכות רשתות עצביות מלאכותיות "על קצה המזלג"
- דרישות מהרשתות העצביות בפעולת – SFDIA
- סוגי רשתות עצביות המועמדות ל - SFDIA
- תיאור כללי של המערכת
- מערך הניסוי
- דיאגרמת מערכת השערוך
- תוצאות הניסויים
- סיכום ומסקנות
- תודות

מבוא – מצב עכשווי

- מערכות תעופתיות בכלל ומנועים תעופתיים בפרט מצוידים לעייפה במערכות כפולות, משולשות ומרובעות לצורכי יתירות.

- התוצאה: לעתים ויתור על השגת יתירות קריטית מסבות אלה.
  - משקל ועלות גבוהים יותר.
  - צריכת הספק גבוהה.
  - סיבוכיות ← עלויות פיתוח גבוהות, תחזוקה יקרה.

מטרה

- העלאת אמינות פעולת המערכת והגדלת החסינות בפני תקלות במדידים.
- לא מעונינים ב"עונש" הקבוע הנלווה למערכות יתירות:
  - משקל עודף.
  - נפח עודף.
  - צריכת הספק גבוהה יותר.
  - תחזוקה מסובכת / יקרה יותר.
  - מחיר מערכת גבוה יותר.

תוצאה מבוקשת:
מערכת אמינה ללא תוספת מדידים נוספים לצורכי יתירות.

מושגים

- המערכת שפותחה בחברת AD&D והמוצגת להלן מכונה: מערכת לגילוי, בידוד ושיפוי כשלי מדידים.

  SFDIA – Sensor Failure Detection, Isolation and Accommodation system.

- המערכת מושתתת בעיקר על רשתות עצביות מלאכותיות – Artificial Neural Networks ועל פונקציות לוגיות.

מערכות רשתות עצביות מלאכותיות

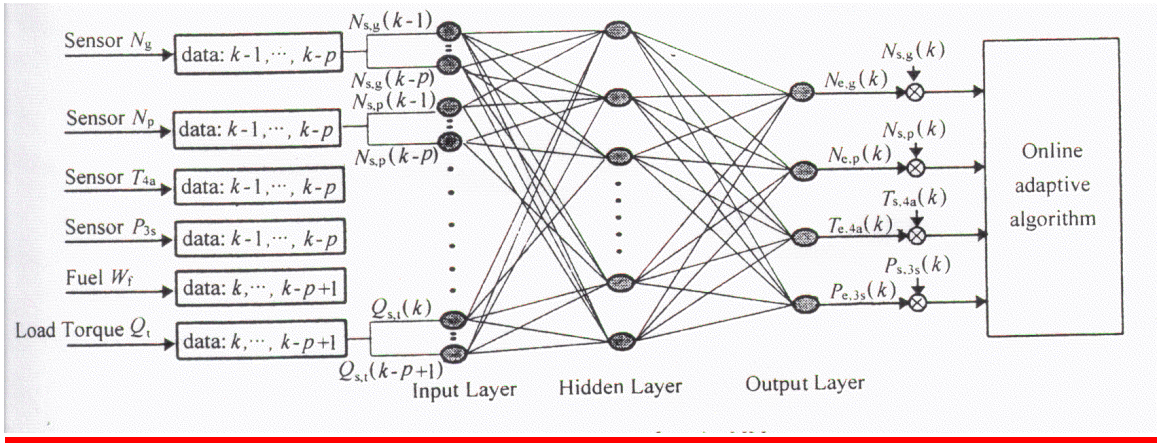
- רשתות עצביות הנן מודלים המשתמשים ביסודות המושתתים על עקרונות השאולים מבינה אנושית.

- רשתות עצביות מאופיינות על ידי יכולות של למידה, של אדפטיביות ושל כושר חישוב מקבילי, לפתרון בעיות כמו אלו הקיימות באנליזת נתונים, בשערוך וכו'.

- הרשתות העצביות הוכיחו את יתרונן בשטחים רבים לעומת טכניקות מסורתיות מקובלות (כמו מתמטיות או סטטיסטיות). זאת בעיקר כשנוצר צורך לבנות מודלים של מערכות שבהן קיימת אי ליניאריות ו / או מורכבות גבוהה בין פרמטרי הפלט.

מערכות רשתות עצביות מלאכותיות

- קיים מגוון רחב של סוגי רשתות וארכיטקטורות, שניתן לבחור ולהתאים בהתאם לצורכי הפתרון:



לדוגמה: Multilayer Perceptron with Backpropagation Network

דרישות מהרשתות העצביות בפעולת – SFDIA

- כושר למידה מודרכת (supervised learning) מהירה ב- On-line וב- Off-line.
- אדפטיביות.
- כושר הכללה (generalization) טוב של נתונים חדשים, ומניעת תופעות של עודף למידה.
- כושר שיערוך סטטי ודינאמי של פרמטרים במישור הזמן בשגיאות קטנות.
- יציבות בהתכנסות למינימום שגיאה בעת הלמידה.
- זכירה של תגובות המערכת שנלמדו לכל משך ההפעלה המבצעית.
- רגישות נמוכה לרעשי המדידה.
- יכולת לשמש לאבחון ולזיהוי אות של מדיד כתקול ללא התרעות שווא.
- יכולת אות המדיד המשוערך לשמש כתחליף לאות המדיד התקול בחוג בקרה סגור.

סוגי רשתות עצביות המועמדות ל - SFDIA

- Radial Basis Function Networks (RBF) - בשכבה הסמויה נמצא מספר קבוע מראש של ניאורונים בעלי פונקציות הפעלה גאוסיות (μ, σ) רב ממדיות. הלמידה היא מהירה. קיימת התכנסות יציבה למינימום שגיאה גלובאלי.
  - יישומים: משערך אוניברסלי, זיהוי מערכות ותמונות, זיהוי דבור, חיזוי סדרות עתיות.
- Resource Allocation Networks (RAN) - הרחבה של רעיון רשת RBF. הרשת מוסיפה וגורעת בעצמה ניאורונים בהתאם לקריטריונים שנקבעו בעת התכן. למידה מהירה on/off-line.
  - יישומים: כנ"ל בכלל זה במערכות בקרה בזמן אמת.
- Dynamic Cell Structures (DCS) – הרחבת רעיון רשת RAN ע"י הוספת קשרים רוחביים נוספים בין הניאורונים בשכבה הסמויה.
- בעת התכן והניסויים יושמה התאמה של רשתות עצביות מטיפוסים אלה.

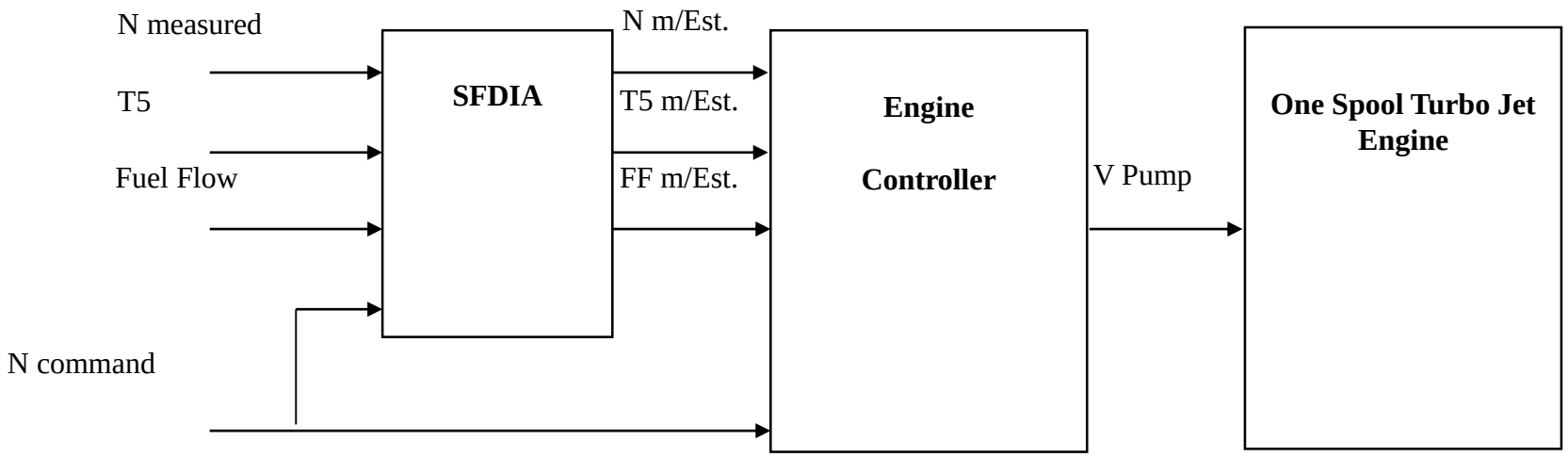
תיאור - SFDIA

- מערכת ה- SFDIA הנה מערכת תוכנה המבוססת על רשתות עצביות מלאכותיות ועל פונקציות לוגיות.
- פונקציות התוכנה ממוקמות בין המדידים לבין חוגי הבקרה הקיימים של המנוע.
- כשהמערכת עובדת, כל זמן שהמדידים מאובחנים כתקינים, תוכנת SFDIA אינה מתערבת, ולחוגי הבקרה מסופקות קריאות המדידים הגולמיות.

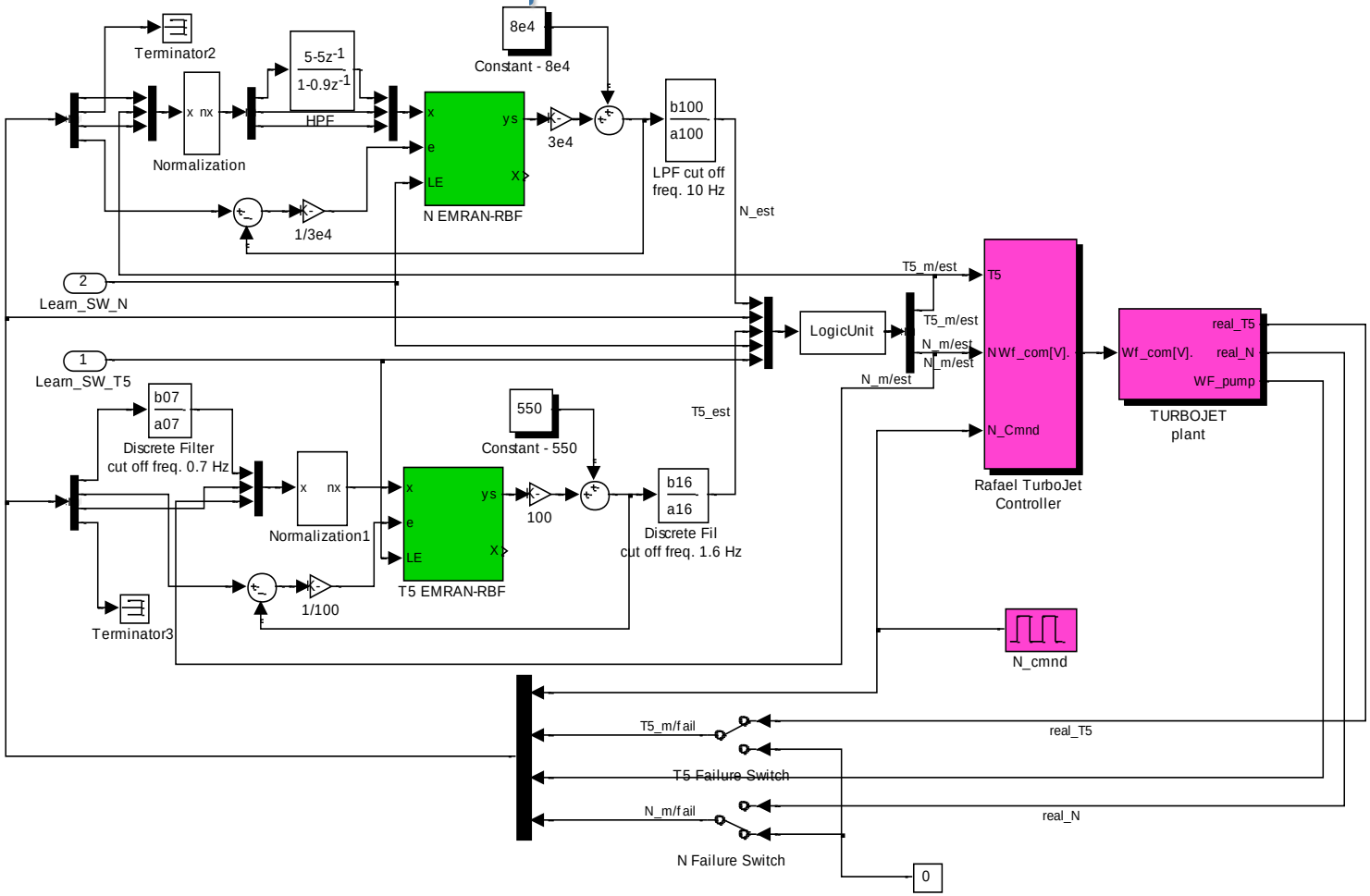
תיאור – SFDIA (המשך)

- בזמן הזה המערכת מבצעת למידה ומשפרת את יכולות השערוך שלה.
- כאשר מאובחנת תקלה במדיד מסוים, המערכת מנתקת את המדיד שכשל ממערכת הבקרה ומשלבת במקומו אות משוערך שלו.
- נדרש קיום יתירות אנליטית מספקת במערכת הפיסיקלית.
- לא נדרש ידע מתמטי אפריורי של המערכת המבוקרת.

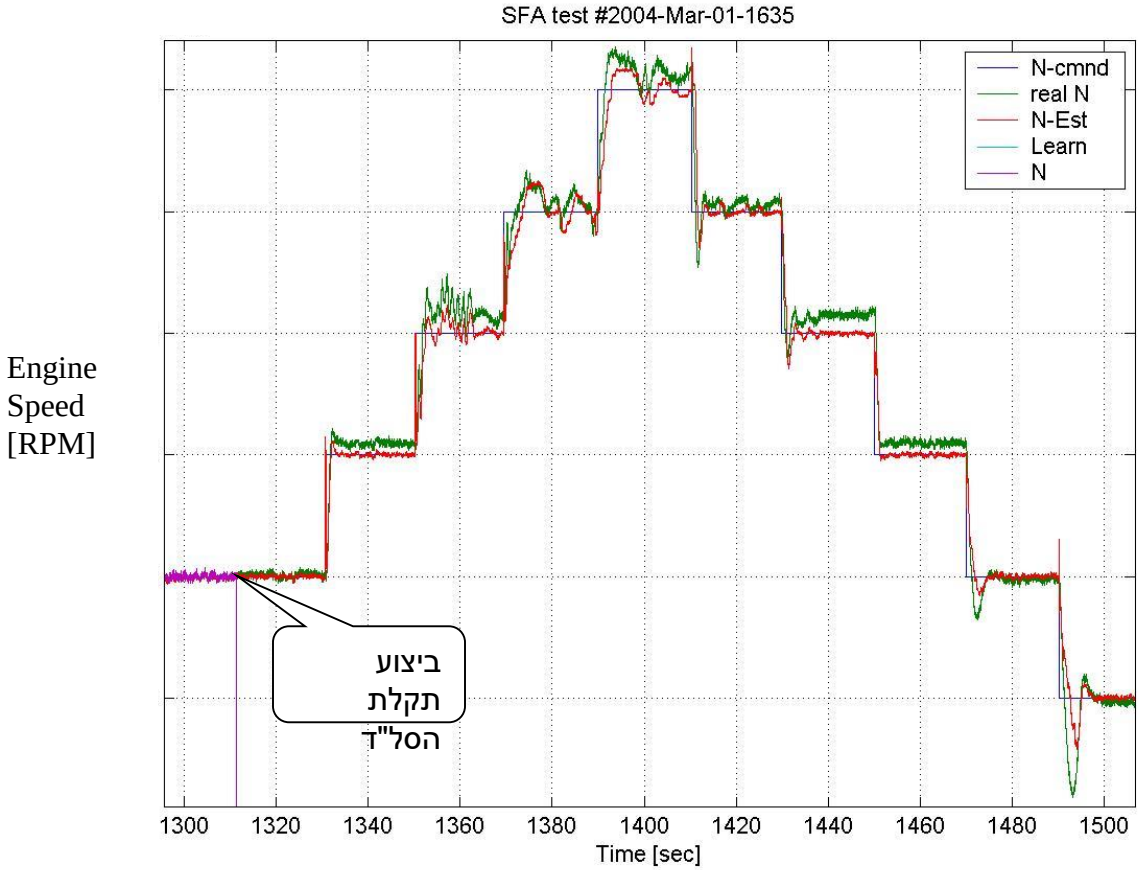
מערך הניסוי


N measured
T5
Fuel Flow
N command
SFDIA
N m/Est.
T5 m/Est.
FF m/Est.
Engine
Controller
V Pump
One Spool Turbo Jet Engine

SFA - דיאגרמת מערכת השערוך

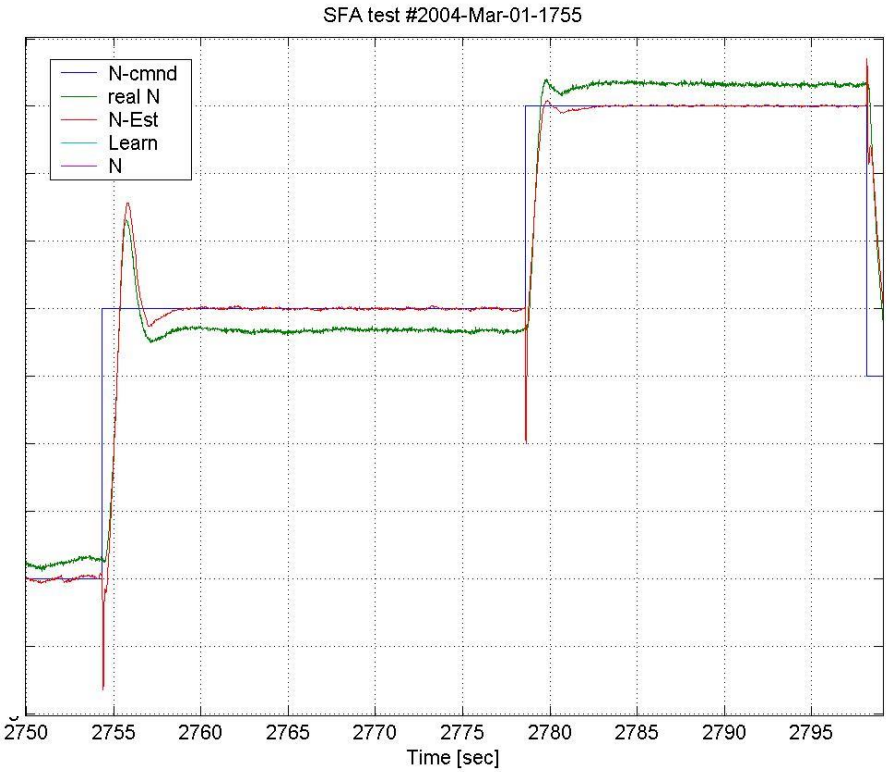


תוצאות הניסויים - שערוך סל"ד – החשות והאטות בשיעור נמוך



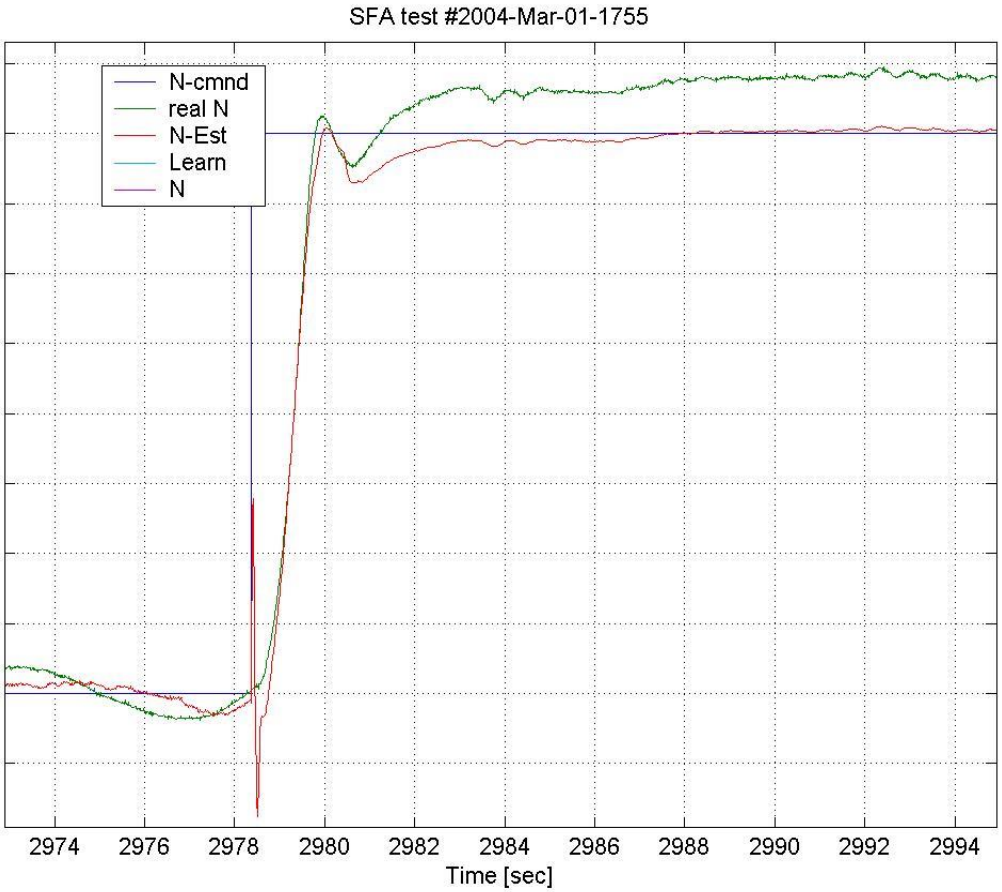
תוצאות הניסויים – שערוך סל"ד – החשות בשיעור בינוני

Engine Speed [RPM]



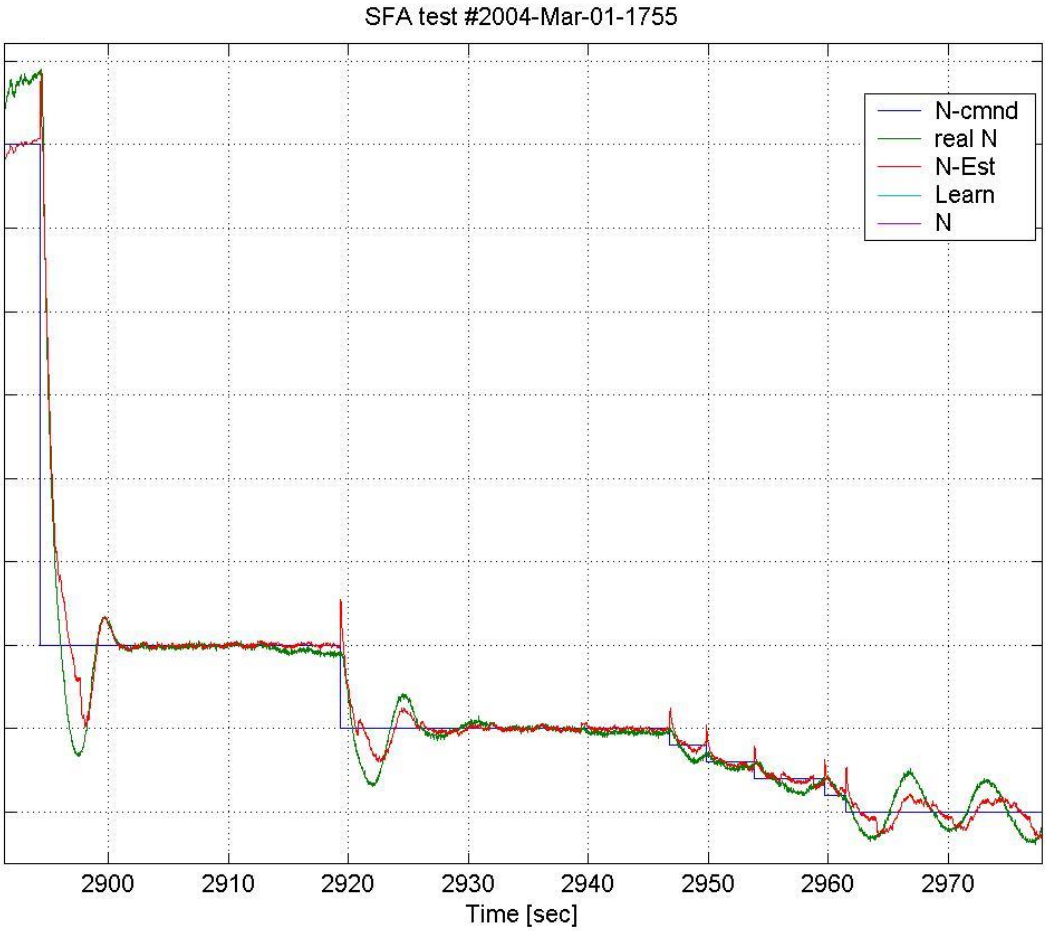
תוצאות הניסויים – שערוך סל"ד – החשות בשיעור גבוה

Engine Speed [RPM]

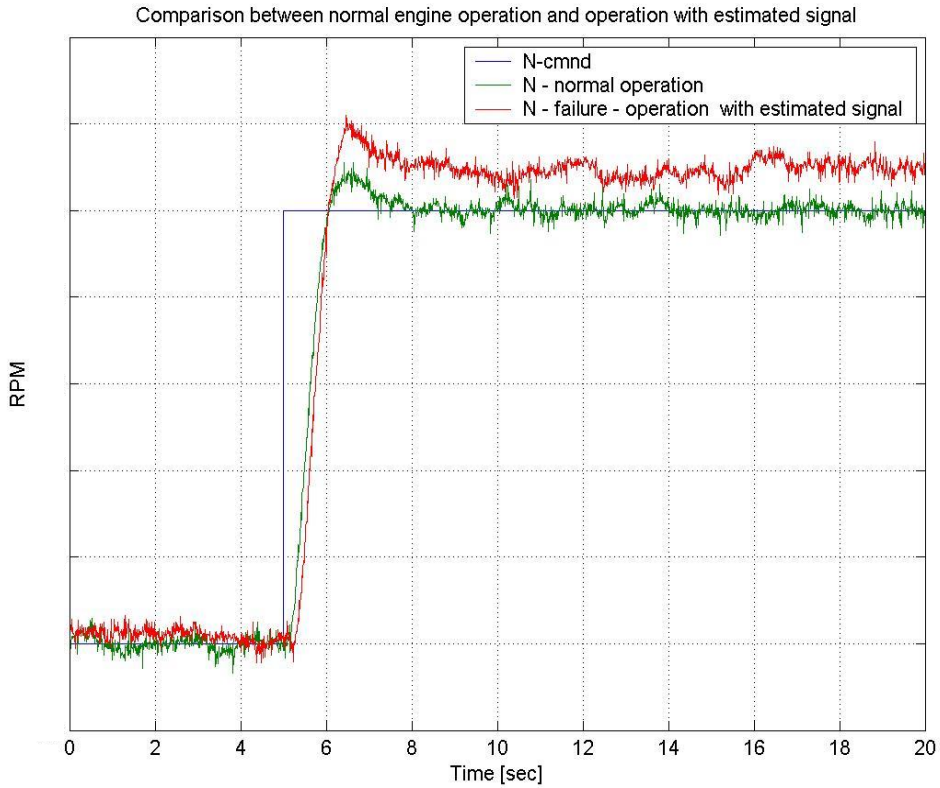


תוצאות הניסויים – שערוך סל"ד – האטות בשיעור גבוה

Engine Speed [RPM]

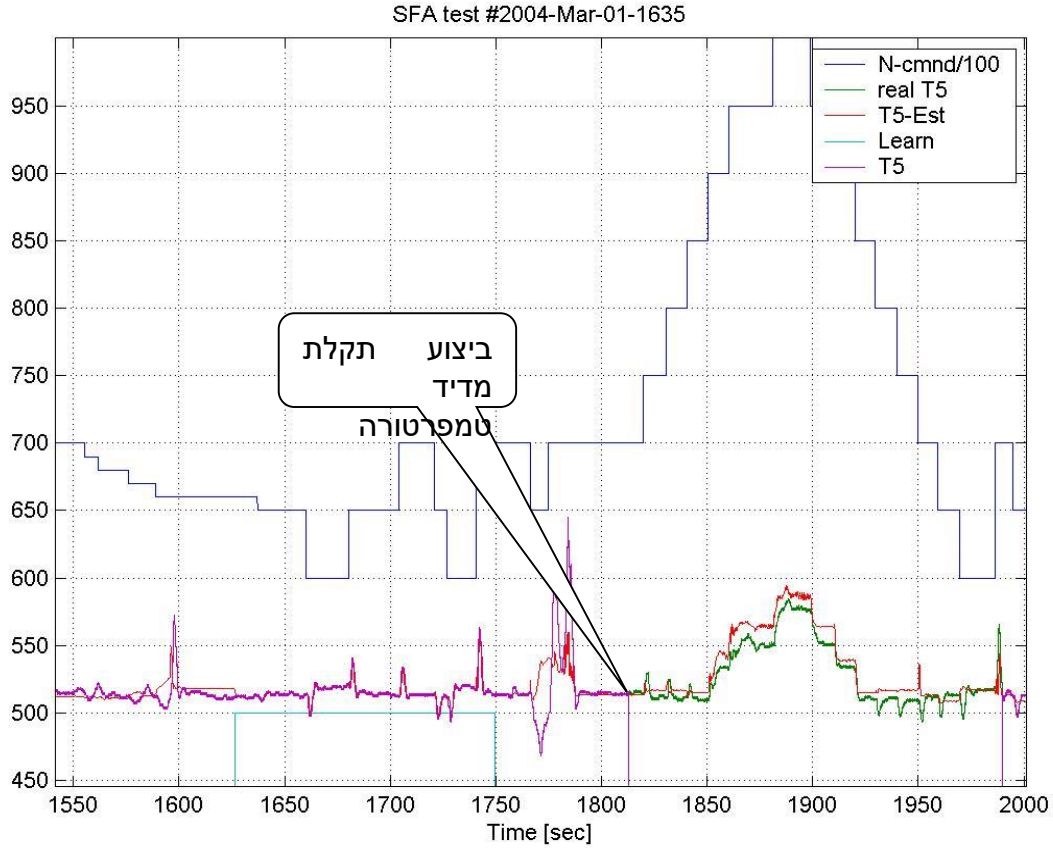


תוצאות הניסויים – השוואת ביצועי מערכת: מדיד סל"ד תקין מול אות סל"ד משוערך



תוצאות הניסויים – שערוך טמפרטורת צנ"פ

Engine Speed [RPM/100]; EGT [°C]



סכום ומסקנות

- ברוב מעטפת העבודה של המנוע, ביצועי המערכת עם משערך בחוג היו טובים כמעט כמו ביצועי המערכת עם המדיד האמיתי.
- הוכחה היכולת של המערכת להתגבר על תקלת במדיד החשוב ביותר במערכת המנוע – מדיד הסל"ד. כך גם על תקלה במדיד טמפרטורת הצנ"פ.
- תוצאות הניסויים מצביעות באופן ברור על הפוטנציאל הרב הגלום בטכנולוגית הרשתות העצביות בכלל וביישום הספציפי שנחקר בפרט.
- בהמשך הפיתוח מתוכננים הוספת שערוך של אות ספיקת הדלק ושכלול לוגיקת זיהוי הכשלים - "קשים ו"רכים".

תודות

- מר יוסף קומם: ליווי טכני וייעוץ צמוד.
- ענף הנעה / מפא"ת.
- רפא"ל.