

# F-16-המטוס הרב משימתי לשנות ה-80

סגן גדי



מייצרים בהגה הגובה עליו הפוך לעילוי הכללי של המטוס (ראה ציור) כדי לשמור על שיווי משקל. על מנת ליצור שינוי במצב המטוס, יש ליצור עילוי הפוך עוד יותר גדול – והדבר כמובן הפוך מהמגמה לעילוי מרבי. בשיווי משקל אדיש או שלילי יוצר הגה הגובה עליו חיובי ומתוסף לעילוי הכללי של המטוס. לשם שינוי מצב המטוס די בכוח מועט לזמן קצר (ורק לצורך יצירת הפרעה בשיווי המשקל) כשבמשך התמרון עוזר ההגה בעילוי הכללי. העומסים הקלים יותר על ההגה מאפשרים בניית הגה קטן וקל יותר.

ג. תמרון במהירות על-קולית. בעת מעבר למהירות על-קולית נע במטוסים רגילים מרכז הלחץ לאחור, גורם המגביל את יכולת התמרון של המטוס. ב-F-16 נמצא מרכז הלחץ יחסית קדימה, ולכן תמרון המטוס היטב גם במהירות על-קולית.

אופיו הבלתי יציב של ה-F-16 ונטייתו הבלתי פוסקת "להתברר" מונעת מהטייס את האפשרות להטיסו באופן ישיר על-ידי פקודות, תוך ביצוע השינויים הרצויים במהירות המתבקשת. כדי לאפשר את הטסתו תוך ניצול מכלול תכונותיו הוכנסה בו מערכת היגוי ממוחשבת. המחשב מקבל פקודות מהטייס, נתוני טיסה ומצב המטוס העכשווי, ומעביר פקודות להגאים השונים במגמה לשמור בכל עת על המצב שאותו דורש הטייס.

לאחר שזכה ה-F-16 שונו הכותרות והדרישות שלו, והחברה המיוצרת הסבה אותו ללא שינויים גדולים למטוס בעל יכולת אוויר-רקע טובה; כמטוס רב-משימתי ניצח ה-F-16 גם בעסקת המאה על השוק באירופה.

בזכות מה קנה לו אפוא ה-F-16 את מקומו?

## יציבות סטטית שלילית

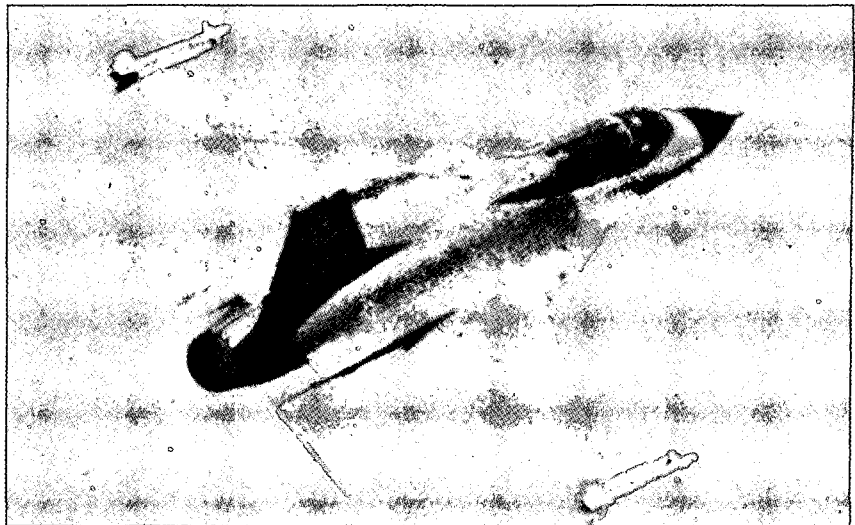
לעומת כל המטוסים האחרים, שיציבותם האורכית חיובית, וכל תנועה שלהם מת-רסנת מעצמה – בגלל מיקום מרכז הכובד לפני מרכז הלחץ – אין ה-F-16 מתרסן מעצמו, וזאת בשל מיקום מרכז הכובד מאחורי מרכז הלחץ. במקום בדרך אווירי דינמית מיוצב ה-F-16 על-ידי מערכת היגוי פעילה, אשר עקרוניתה יוסברו בהמשך. מימושה של החתירה המתמדת לבנייתו של מטוס "לא יציב" נתאפשר בזכות טכנולוגיות חדישות, ותכונה זו של יציבות סטטית שלילית מקנה יתרונות אחדים:

א. זריזות גבוהה בתחום העלרוד (בו מתבצע רוב התמרון, כמו פנייה, שכירה, הבאת האף לירי ולשיגור), עקב רצון המטוס "להתברר" – ומכאן תגובה מהירה לכל פקודת שינוי.  
ב. ניצול עילוי הגה הגובה: במטוס רגיל

בעל קווים אווירודינמיים מובהקים, חופת בועה גדולה, קטן, צר, זריז, חד-מושבי, חד-מנועי, כולל טכנולוגיות מתקדמות ונועזות – כזהו ה-F-16, חלומו של כל טייס, יציר חברת "ג'נרל-דיינמיקס" האמריקנית, שהפך למטוס הקו הראשון בחילות האוויר של ארה"ב, מדינות נאטו, ישראל ובקרוב גם מצרים.

הפנטום הגו למעשה אחרון המ-טוסים הרב-משימתיים, כשאחריו באה הדרישה למטוס המתמחה בירוט ובקרבות אוויר. ה-F-14 וה-F-15, שפותחו בעקבות צורך זה, הוכיחו את עליונותם בתמרון ובמערבות נשק, אך עד מהרה נתגלה חסרונם – מחירים הגבוה, גורם שבעטיו מעטות המדינות היכולות להרשות לעצמן לרכשם, וודאי שלא בכמויות גדולות; ובקרבות אוויר כמות היא גם איכות. על רקע דרישה זו, למטוס קרב אוויר-אוויר קל וזול שהוגדר כ-Light Weight Fighter, פותחו על-ידי חמש חברות מספר מטוסים, שמתוכם התחרו שני אבי-טיפוס של YF-16 ו-YF-17.

עד לאזור האף. משטחים אלה – הפועלים בדומה ל"קאנארדים" של הכפיר – יוצרים מערבולות על גבי הכנף, גורם המגביר את העילוי המעשי שלה ויוצר טיסה חלקה וללא רעידות.



מערבולות העילוי על גבי הכנף הנוצרות בזווית התקפה גבוהות ובתמרון חריף

### תא טייס "עתיר G"

בגלל ביצועיו הטובים של המטוס עומד הטייס בעומסים גבוהים. תא הטייס נבנה בהתאם לכך. כסא הטייס מוטה ב-30°, כשהרגלים נמצאות גבוה יחסית למניעת ערפול הראייה בתמרון חריף (Black Out). הראות מהתא כמעט בלתי מוגבלת, שכן הטייס יושב גבוה מאוד, והחופה חסרת מחיצות וחיזוקים.

בזכות מערכת היגוי חשמלית אין צורך כמוט היגוי נע במרכז התא. מוט קטן ונוח מותקן בצד (שהוא המקום היותר טבעי) והתא ניתן אפוא לניצול באורח יעיל יותר. למעשה מפעיל הטייס על הסטיק לחצים ולא תנועה, דבר המאפשר טיסה מדויקת יותר.

### מנוע מניפה F-100

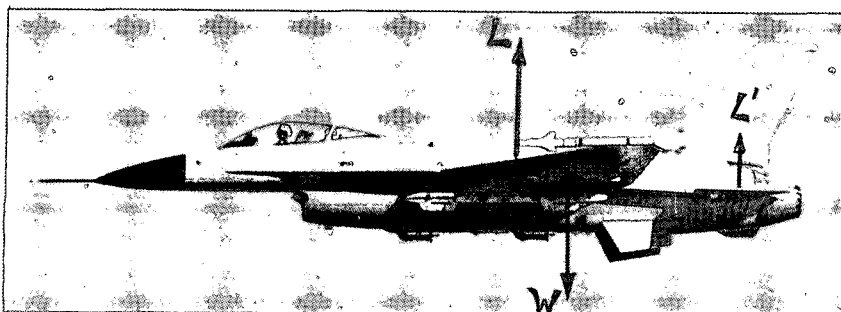
במטוס מותקן מנוע רב עצמה הנותן למטוס את היחס הגבוה של דחף למשקל. המנוע בנוי בטכנולוגיה מתקדמת ביותר. הוא בעל יחס דחיסה, טמפרטורות עבודה ומידת נצילות גבוהים. נוסף לכך, יתרונו הגדול הוא בכך שבשיטת הוא חסכוני מאוד ומאפשר טווח כמעט כפול ממנועים רגילים שאינם מנועי מניפה. יש לציין, כי מנוע זה הוכנס ל-F-16 לאחר שהוכיח את אמינותו משך מספר שנים בגוף ה-F-15.

### כונס אוויר

כדי לנצל את המנוע בכל תחומי הטיסה נבנה כונס פרבולי תחת, שאינו מושפע כמעט מהחלקות ומתמרונים חריפים של המטוס. כדי להזייל את המחיר ולהפחית מהמשקל הוחלט על כונס קבוע (ללא חתך משתנה). הגורע אמנם מביצועי המטוס מעל מאך 1.6, אך בתחום זה כמעט ולא טסים בקרבות ובתקיפות, בה בשעה שבתחומי הטיסה המרכזיים מהווה הכונס הישג אווירודינמי רציני.

שילובם של כל היתרונות האמורים הפך את ה-F-16 למטוס קרב בעל יכולת תמרון מעולה, זריזות ואנרגטיות רבה, המקנה לו

יעיבות סטטית שלילית:  $L =$  עילוי כללי,  $L' =$  עילוי הגה גובה,  $W =$  משקל.



### מערכת ההיגוי

מערכת ההיגוי, הנקראת היגוי אקטיבי, מת-בססת על מחשב אנלוגי מתקדם, הנותן פקודות רצופות לכל הגאי המטוס, ומבטיח טיסה עדינה, מדויקת ומחואמת, בהתאם להוראות הטייס, המועברות למחשב דרך מוט ההיגוי. המחשב מתחבר להגאים בשיטת "טוס על חוט" (Fly by Wire) המפורסמת, כלומר – הפקודות עוברות בחוט חשמלי בלבד לאורך כל המטוס והפכות להפעלה הידראולית רק באזור ההגה.

מערכת ההיגוי רגישה מאוד, והפסקת פעולתה או הפעלתה באורח בלתי נכון עלולות לגרום "להתברדות" המטוס, לאבדן השליטה מצד הטייס ואף להתפרקות באוויר. לפיכך נבנתה מערכת זו עם ביטחונות רבים: כל רכיביה מוכפלים פי-4, כולל יחידות המחשב, חיוט, פקודות טייס וכוח להגאים. מקורות המתח למערכת ההיגוי מוכפלים אף הם פי ארבעה ומערכת ההידראוליקה הנה כפולה ובעלת יחידת כוח בחירום.

לשיטת "טוס על חוט" יתרונות אחדים:

- משקל נמוך, חיוט חשמלי ולא מכניקה והידראוליקה.
- אפשרויות לשנות את תכונות ההסטה על-ידי שינוי במחשב בלבד.
- אפשרות להגבלת תמרון המטוס כרצון המתכנן, כדי למנוע מעבר מגבלות הבטיחות והחזוק.
- שרירות, על-ידי העברת פקודות במקביל בכמה חוטים בגוף.
- ריסון תנודות המטוס במזג אוויר סוער.

### שילוב גוף-כנף

שלא כבמטוסים רגילים אין כנפי ה-F-16 מתחברות לגוף במקום ברור, אלא הופכות לגוף בהדרגה. למבנה זה מספר יתרונות.

- מבנה חזק וקל לכנף, העבה במקום בו

- מערכת ל"דיכוי" פיצוץ הדלק על-ידי גאון Halon.
- ואולי החשוב מכל: היות המטוס קטן, זריז ובעל שטח מכ"ם קטן.

### אחזקה

אחזקתו של ה-F-16 קלה ונוחה, העבודה בדרג הראשוני מעטה מאוד, ורוב התיקונים נעשים במעבדות ללא צורך בעיכוב המטוס. רוב שטח הגוף בעל דלתות גישה, הרכיבים ניתנים להחלפה מהירה, וכל המטוס בנוי בצורה מודולרית. לצורך הטיפול השוטף במטוס לא נדרשים אלא מספר קטן של כלים. ההתנעה בו עצמאית, ואין הוא זקוק ליחידת כוח חיצונית.

### כמטוס מבצעי

טייס המקבל לידו F-16, לאחר שהטיס קודם לכן מטוס כמו פנטום, חש באורח בולט ביתרונו של ה-F-16, התפור כאילו למענו ומהווה חלק מגופו. בתמרון חריף קל להטיסו, ואין צורך להשתולל בתא כדי לכוונו למקום הנכון. מערכת החימוש מותאמת לטייס בודד, המסוגל לתפעלה כשראשו בחוץ וידייו על המצערת ומוט ההיגוי. גילוי מטרה, הינעלות עליה והפלתה הם תהליך נוח ומהיר – כמו כן אם היריב אינו גם כן F-16, כי אז "נאנקים" שני הטייסים בעומסים שמסוגל המטוס לפתח למשך זמן רב.

ואם מדובר בגיחת אוויר-קרקע – הניווט מדויק, והמטוס טס בצורה חלקה, במקום שמטוסים אחרים היו מקפצים באלימות בגלל הרוחות המשתנות. לחיצת כפתור אחת מעבירה את כל המערכות למשימת ההפצה, ובעת גילוי איום אויב די בלחיצת כפתור אחת כדי להעבירן לחפוד אוויר-אוויר, ללא כל המפסקים שהיו דרושים במטוסי העבר.

גם בעת סיום המשימה, כשהפנים כבר מועדות הביתה, בא המחשב לעזרת הטייס ומראה לו מהו "הפרופיל" הנכון לחיסכון בדלק, וכמה דלק יהיה לו בעת הנחיתה. על בעיות מזג אוויר יכול המטוס להתגבר באמצעות מספר אמצעים חדישים ביותר, כמו Tacan, IIs, ביות על-ידי מכ"ם ומערכת ניווט – כשכל הנתונים מרוכזים בתצוגה העלית לנוחיות הטייס.

לסיכום: למרות שאין ה-F-16 מצטיין בכל משימה ומשימה – בולט הוא בייחודו כמטוס רב-תכליתי זול יחסית, גורם המ-אפשר להצטייד בו אף בכמויות גדולות. כיום עוסקים בפיתוחם של מנוע בעל דחף רב יותר ובמחיר מוזל, שיטות היגוי חדשות המאפשרות תמרון בשישה ממדים, ומער-כות נשק חדשות. כל אלה נועדים להבטיח את התאמתו אף לאיומי המחר.

יכולת להגיע לביצועים כפולים כמעט בכל התחומים בהשוואה למטוסי הדור הקודם. כמטוס תקיפה ה-F-16 הנו יציב ומדויק, בעל יכולת לטוס נמוך ומהר, בזכות מערכת ההיגוי (המרסנת את רעידת המטוס בגובה נמוך). בעל טווחים גדולים מאוד, ובעל כושר מרשים בתחום נשיאת חימוש. כן יכול הוא להגן על עצמו בצורה יעילה.

### חימוש

כדי לנצל את תכונותיו הטובות שולבו ב-F-16 מערכות חדישות וחימוש מתקדם. **לאוויר-אוויר** – עד 6 טילים אינפרא-אדום ותותח וולקן 20 מ"מ, עם אופציה לטילים מונחי מכ"ם. **לאוויר-קרקע** – מגוון פצצות, פצצות מונחות וטילי "מייבריק" נגד טנקים. (נשיאת טילי אוויר-אוויר אינה על חשבון נשיאת הפצצות של המטוס). **ללוחמה אלקטרונית** – אמצעי התראה והתגוננות אינטגרליים וחיצוניים שונים.

### אויניקה

אולם המרשים ביותר הוא השילוב של מערכות רבות וחכמות, במחיר נמוך יחסית, במטוס שתוכנן במקורו לאוויר-אוויר בלבד. **מכ"ם פולס דופלר** – למטרות יירוט וקרבות אוויר וכן למיפוי ולהפצה. המכ"ם מצטיין ביכולת הסתכלות מטה, ביכולת גילוי מטרות ללא הפרעות מהקרקע, וביכולת הפרדה טובה בין מטרות וביצוע יירוט עצמאי עליהן. כל זאת על אף מחירו הנמוך של המכ"ם וממדיו הקטנים.

**מערכת כינון חימוש** – בעלת דיוק כפול ממטוסי הדור הקודם, המתבססת על מערכת אינרציאלית תוך שילוב מכ"ם ותצוגה עלית לטייס.

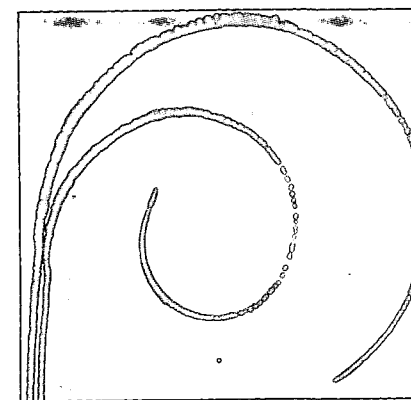
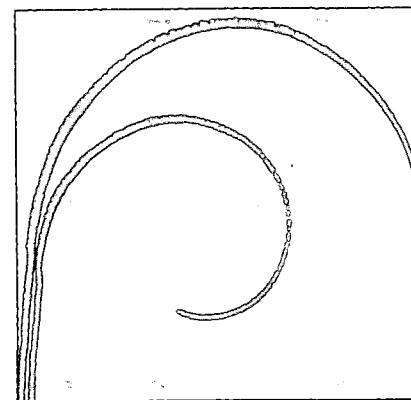
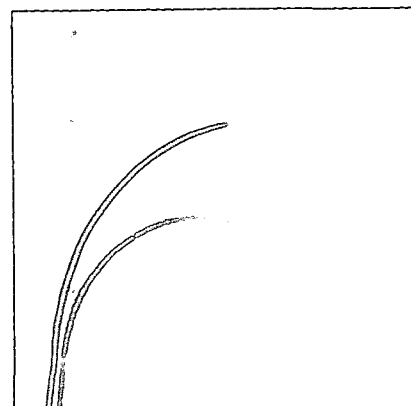
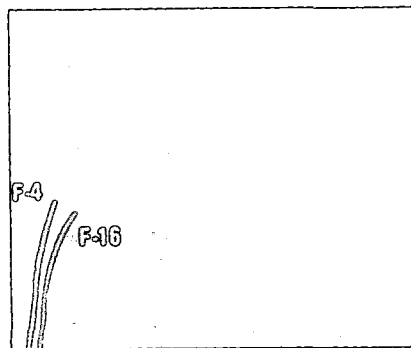
**מחשב ניהול מטענים** – אחראי על כל החימוש במטוס – שחרורו, בחירתו והצגתו לטייס בצורה פשוטה.

**מחשב ניווט ואיתור תקלות** – מערכת אינרציאלית מתקדמת לניווט והפצה המאפשרת ניווט אוטומטי, מציאת המטרות לפי התצוגה העלית והפצתן גם ללא קשר עין. במסוף המחשב משולבת גם מערכת לאיתור ולזיהוי תקלות במערכות המטוס. שילוב כל המערכות הללו בתהליך "מחש" בה"אחר יוצר מטוס "בוגר" מבחינת מערכתיו.

### שרידות

לכאורה ה-F-16 הנו מטוס פגיע מאוד, בגלל מנוע בודד ומערכת היגוי רגישה, אולם למעשה הוא מצטיין ברמת שרידות גבוהה יחסית, וזאת הודות למאפיינים הבאים:

- כפילות בכל המערכות, במיוחד אלה הקשורות בהיגוי.
- חוזק מבנה, המאפשר תאוצות עד 9 ג"י וכן סבילות לפגיעות.



השוואת פרופיל ביצועים של ה-F-16 ושל ה"פנטום F-4"