

הלוחמה האלקטרונית - הייעוד והאתגר

המאמר סוקר את תחומי ה"א", את סוגי המערכות ואת הטכנולוגיות העיקריות. במקביל הוא דן באתגרים העומדים בפני מתכנניהן של מערכות אלה, שהן מורכבות מאוד. עקב קוצר היריעה, הרי שמעבר לסקירה הכללית ולמיפוי של תחומי ה"א" הוא מתמקד בתחום אחד של ל"א - הגנה על מטוסים. זהו נושא רלוונטי במיוחד בימים אלה, לאחר ניסיון הפיגוע באמצעות ירי טילים על מטוס "ארקיע" בקניה

אל"ם ד"ר ד', סא"ל (מילי) מ', סא"ל ז', רס"ן א' / קצינים במחלקת אלקטרוניקה ולוחמה אלקטרונית

המאמר כולל סקירה כללית של תחומי ה"א", סוגי המערכות והטכנולוגיות העיקריות. במקביל הוא דן באתגרים העומדים בפני מתכנניהן של מערכות כאלה, שהן מורכבות מאוד. עקב קוצר היריעה, הרי שמעבר לסקירה הכללית ולמיפוי של תחומי ה"א" נתמקד בתחום אחד של ל"א - הגנה על מטוסים. זהו נושא רלוונטי במיוחד בימים אלה, לאחר ניסיון הפיגוע באמצעות ירי טילים על מטוס "ארקיע" בקניה.

הגדרת תחומי הפעילות של הלוחמה האלקטרונית

רווחת התפיסה השגויה, שלפיה הלוחמה האלקטרונית באה לידי ביטוי אך ורק בהפעלה של אמצעים אלקטרוניים נגד מערכות הקליטה והשידור של האויב (הן בתחום המכ"ם, הן בתחום התקשורת והן בתחומים האלקטרואופטיים). למעשה הלוחמה האלקטרונית במובנה הרחב כוללת

בתוכה מספר רב של תחומי פעילות. איור מספר 1 מתאר את היררכיית התחומים, המפורטים להלן:

1. מודיעין אלקטרוני (SIGINT - Signal Intelligence): איסוף מידע מהאותות האלקטרוניים שפולטות מערכות הנשק של האויב. מדובר בלימוד הפרמטרים והמאפיינים של האותות האלה, לעיתים תוך איכונם (מציאת מקומם הגיאוגרפי). תחום זה נחלק לשתי קטיגוריות: האחת, אלינ"ט (ELINT - Electronic Intelligence) העוסקת בעיקר במכ"מים, והאחרת, קומיני"ט (COMINT - Communication Intelligence) העוסקת בתקשורת לסוגיה השונים (מיצוי מידע אלקטרוני הטמון באותות

מבוא

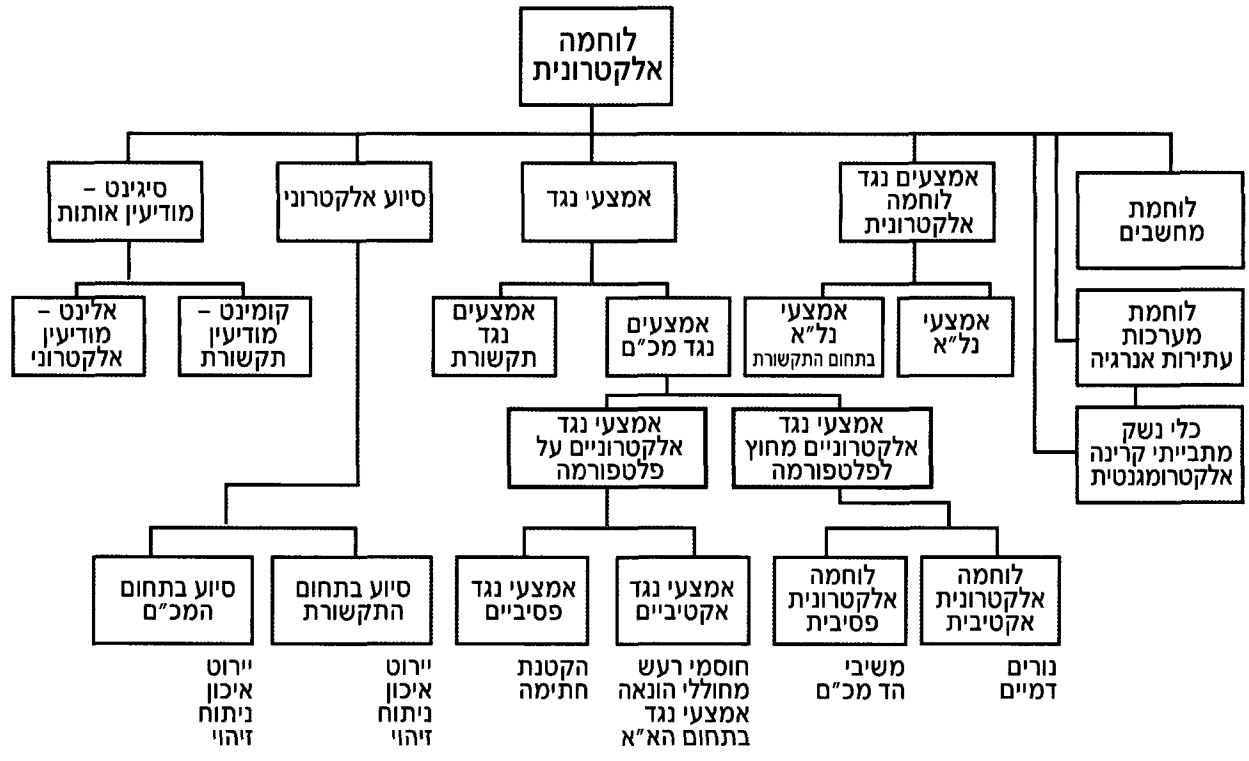
לוחמה אלקטרונית (ל"א) (EW - Electronic Warfare) היא מרכיב מרכזי במערך המבצעי של כל חיל מודרני ומהווה "מכפיל כוח" משמעותי במאמץ להשיג עליונות אווירית, ימית ויבשתית מול הכוחות ומערכי ההגנה של האויב. חשיבותה של הלוחמה האלקטרונית ותרומתה הוכחו כבר במלחמת העולם השנייה ולאחר מכן בעימותים בין-לאומיים נוספים, ובהם מלחמות קוריאה, וייטנאם, המפרץ וקוסובו וכן במלחמות ובמבצעים של צה"ל.

התפיסה המבצעית כיום גורסת שילוב של הלוחמה האלקטרונית כחלק אינטגרלי מהכוחות ומהאמצעים לנטרול כל מערך השליטה, הבקרה וההגנה של האויב ברמה האסטרטגית ולמתן מרחב חופשי לפעולה לכוחותינו. האיומים שבהם מטפלות מערכות ל"א הם מגוונים. להלן דוגמאות אחדות:

- מכ"מים קרקעיים לגילוי ולהתרעה מוקדמת.
- מכ"מים קרקעיים או מושטים לחיפוש ולבקרת אש (כגון המכ"ם של ה-SA-8) ומכ"מים מוטסים (כגון המכ"ם של ה"מיג-29").
- טילים (מתבייתי קרינה אלקטרומגנטית, כגון טיל נ"מ מדגם SA-5, מתבייתי חום, כגון טילי כתף נגד מטוסים מדגם "סטרה" - SA-7 - וטילי אוויר-אוויר, הקיימים במגוון רחב של דגמים).
- מערכות תקשורת מכל הסוגים.
- מחשבים ורשתות מחשבים (המטרה היא להגן על מערכותינו ובמקביל לחדור למערכות האויב).

התפיסה המבצעית כיום גורסת שילוב של הלוחמה האלקטרונית כחלק אינטגרלי מהכוחות ומהאמצעים לנטרול כל מערך השליטה, הבקרה וההגנה של האויב ברמה האסטרטגית

איור 1: תחומי הלוחמה האלקטרונית המודרנית



מערכות אלקטרוניות באמצעות הקרנת גלים אלקטרומגנטיים בהספקים גבוהים למשכי זמן קצרים מאוד (דפקים קצרים).

7. **כלי נשק מתבייתי קרינה אלקטרומגנטית כגון - ARM Anti Radiation Missiles:** מטרת המערכות האלה היא להתביית על המערכות האלקטרוניות הקורנות של האויב (כגון מכ"מים של הגנה אווירית) ולהשמידן. לעיתים נהוג לבצע מיפוי בחתך אחר: ל"א הגנתי (Defensive EW) ול"א התקפי (Offensive EW). לפי החלוקה הזאת התחומים 4-1 שלעיל שייכים ל"א ההגנתי, התחומים 6-7 שייכים ל"א ההתקפי, ואילו התחום החמישי שייך לשניהם.

כל אחד מתחומי הפעילות האלו נחלק לתת-תחומים, כפי שמוצג באיור מספר 1, ולכל אחד תפקיד חיוני להשגת המטרה הכוללת של הלוחמה האלקטרונית. תקצר היריעה כאן מלהתעמק בכל התחומים, לכן נתמקד בהמשך המאמר בתחום של אמצעי-הנגד (ECM) תוך מתן דוגמאות ממערך הל"א האווירי.

סוגים של מערכות ל"א במערך האווירי
הייעוד של מערכות ל"א אוויריות הוא לשבש את מערכות הנשק, הבקרה והשליטה של האויב, העלולות לפגוע בביצוע

(וכן האזנה והפקת תשדורות).

2. **סיוע אלקטרוני (ESM - Electronic Support Measures):** איסוף מידע אלקטרוני טקטי ממוקד על פעילות האויב ועל מיקומו ברגע מסוים כדי לסייע בהפעלת מערכות נשק נגדו.
3. **אמצעי-נגד (ECM - Electronic Countermeasures):** אלה מופעלים כדי למנוע לחלוטין, לנטרל או לשבש את הפעלתן של מערכות האויב.
4. **אמצעים נגד לוחמה אלקטרונית (Countermeasures):** ECCM - Electronic Countermeasures: אמצעים להתגוננות מפני מערכות הל"א של האויב.
5. **לוחמת מחשבים (CW - Computers Warfare), (IW - Information Warfare):** לוחמת מחשבים יש שני היבטים - הן הגנתי (אבטחת מידע ושמירה על ביטחונן של רשתות המחשבים על כל מרכיביהן) והן התקפי (איתור נקודות תורפה, חדירה, השגת מידע וגרימת נזק).
6. **לוחמת מערכות עתירות אנרגיה בטכנולוגיות של HPM - High Power Microwaves ושל UWB Ultra Wide Band:** מטרתן של מערכות אלה לשתק

הייעוד של מערכות ל"א אוויריות הוא לשבש את מערכות הנשק, הבקרה והשליטה של האויב

לכמה מטוסים הנמצאים בקרבה גיאוגרפית זה לזה. פעולתה של המערכת אינה דורשת תיאום או תזמון עם מערכות הגנה מלוות של קבוצות מטוסים אחרות.

מבנה עקרוני של מערכת ל"א אווירית

מערכות ל"א כוללות שלושה מכלולים עיקריים (כל מכלול עשוי להכיל כמה קופסאות):

1. מכלול אמצעי החישה.
2. מכלול האמצעים ליצירתן של טכניקות החסימה ולהפעלתן.
3. מכלול העיבוד, הבקרה ועיבוד האות.

איור מס' 3 מציג, לדוגמא, את מערכת ה"א המורכבת על מטוס הקרב החדש של חיל האוויר

הישראלי F-16 ("סופה"), שהיא המתקדמת ביותר בעולם. ככלל, מדובר במערכות אוטומטיות (בעיקר במערכות הגנה עצמית ובמערכות הגנה מלווה) עם יכולת להתערבות מפעיל (בעיקר במערכות הגנה מלווה והגנה מנגד). הדרישה המרכזית ממערכת ל"א היא שתפעיל את שיטת החסימה המיטבית נגד איומים בזמן תגובה קצר.



מכלול אמצעי החישה

אמצעי החישה (למשל, במערכת הגנה עצמית) מאפשרים לקלוט סוגים שונים של אותות שנפלטים ממערכות הנשק:

1. מערכות התרעה לקליטת אותות אלקטרומגנטיים (RWR - Radar Warning Receivers) נגד איומים כגון מכ"מים לסוגיהם, טילים בעלי ראשי ביות אלקטרומגנטיים וכו'.

2. מערכת לגילוי פסיבי של גופים (כגון טילים), המתקרבים לעבר המטוס, באמצעות קליטת קרינה אינפרא-אדומה (IR - Infra-Red) או אולטרא-סגולה (UV - Ultra-Violet), הנפלטת מגופים אלה. מערכות אלה (PWS - Passive Warning System) מגלות איומים כגון טילי כתף מדגם SA-7

("סטרה"), שנורו לעבר מטוס "ארקיע" בקניה, טילי אוויר-אוויר, הנורים ממטוס אחד לעבר מטוס אחר, וטילי קרקע-אוויר, הנורים מהקרקע לעבר המטוס.

3. מערכות לגילוי לייזר, המאיר את המטוס (-LWS Laser Warning System). איום הלייזר משמש לביות טילי לייזר ולמידת טווח עבור נשק אחר.

4. מערכות אקטיביות מבוססות מכ"ם לגילוי גופים (דוגמת טילים) המתקרבים לעבר הפלטפורמה. (-MWS

דרישה מרכזית ממערכת ל"א היא שתפעיל שיטת חסימה מיטבית נגד איומים בזמן תגובה קצר

משימותיהם של מטוסי חיל האוויר. שיבוש פעולתן של מערכות הנשק נדרש בכל שלבי העסקתן את המטרות - חיפוש, גילוי, זיהוי, עקיבה ושיגור טילים (לא נרחיב כאן בנושא של ל"א בתקשורת).

מערכות ל"א אוויריות מתחלקות לשני סוגים עיקריים, כמתואר באיור מספר 2:

מערכות הגנה עצמית (Self Defence) - נועדו להגן על הפלטפורמה האווירית שעליה הן מותקנות. מערכות מסייעות (Support Jamming) אלה נחלקות לשלושה סוגים:

- **מערכות "הגנה מנגד" (Stand Off)**. אלה מותקנות על פלטפורמות קבועות או ניידות (אוויריות או ימיות),

הנמצאות מחוץ לאזורים המוגנים על-ידי מערכות הנשק של האויב ומפעילות לוחמה אלקטרונית היוצרת "מסדרון מיסוך" עבור הכוחות (מטוסים ואוניות) התוקפים. משימת ה"א מושגת בדרך כלל באמצעות מספר פלטפורמות לשם השגת מסדרון מיסוך רצוף לכל אורך הפעולה של הכוחות התוקפים.

- **מערכות "הגנה בתוך" (Stand In)**. מדובר במערכות ל"א, המספקות הגנה לכוחות תוקפים בדומה למערכות "ההגנה מנגד", אך מופעלות מפלטפורמות בתוך האזורים המוגנים של האויב (אזורים עתירי איומים).

- **מערכות "הגנה מלווה" (Escort Jamming)**. אלה מותקנות על פלטפורמות, הנמצאות בקרבת הכוח התוקף ומקנות לו הגנת ל"א. בדרך כלל כל מערכת מספקת הגנה

אותות, האחראים לתפעולן באופן שיבטיח יעילות מקסימלית. מחשבים אלה מקושרים גם לשאר המערכות האלקטרוניות המורכבות על הפלטפורמה על מנת לקבל ולמסור את המידע הנחוץ לתפעול השוטף של המערכות האלה ושל מערכת ה"א".

אתגרים ומאפיינים בפיתוח מערכות לוחמה אלקטרוניות מודרניות

כאמור, עקב קוצר היריעה נתמקד במערכות ל"א אוויריות, המהוות רק נדבך אחד במיפוי התחומים שבוצע קודם לכן. מאפיין מרכזי בפיתוחן של מערכות לוחמה אלקטרוניות מודרניות הינו היותו תהליך רב ממדי, הדורש ניתוח ושילוב של מרכיבים שונים ומגוונים, הבאים מעולמות תוכן שונים, לכלל מערכת אחת.

הממדים העיקריים הראויים לפירוט הם:

תהליך פיתוח "מניעתי" ו"תגובתי" – כתגובה למערכות נשק קיימות ועתידיות ופיתוח נוסף נגד אמצעים נגד ל"א (נל"א). פיתוחה של מערכת לוחמה אלקטרונית הינו תהליך ארוך ורצוף של "משחק מוחות", שניתן להמשילו למשחק שחמט אין-סופי. תחילה מפתחים טכניקה יעילה נגד איום מסוים (מכ"ם, טיל, מערכת תקשורת וכו') על-ידי החוקרים, המדענים והמהנדסים ומיישמים אותה במערכות ה"א שבפיתוח או משביחים את המערכות המצויות כבר בשימוש. הצד שכנגד מפתח שיטות נגד-ל"א (נל"א) במטרה להתגבר על אותן טכניקות ל"א. וכך חוזר התהליך על עצמו פעמים רבות.

מימוש טכני מורכב (המושגת על פיתוחים המצויים בחזית הטכנולוגיה) ברמת המערכת והתקנתה על גבי הפלטפורמה הנושאת. מערכות ל"א נדרשות לפעול בזמן נגד מספר רב של סוגי איומים, הפרוסים על פני ספקטרום רחב מאוד של תדרים ובזירה מרחבית גדולה (קרקעית, ימית ואווירית). יש להתאים למערכת ה"א יכולות שונות הן בקליטה והן בשידור על מנת לתת מענה לאיומים שונים, שלהם יכולות שונות. עקב כמות משאבים סופית במערכות ה"א, מערכות אלה נדרשות להיות בעלות יכולת הסתגלות דינמית מהירה לזירת האיומים ובעלות יכולת לחלק באופן דינמי את משאביהן על-פי עדיפויות וחומרת האיום.

הלוחמה האלקטרונית נדרשת להתמודד עם איומים בתחומי ספקטרום שונים:

- תחום תדרי מכ"ם לקליטה ולשיבוש מכ"מים וראשי ביות אלקטרומגנטיים.
- תחום IR (אינפרא-אדום) ו-UV (אולטרא-סגול) לגילוי ולשיבוש מערכות המתביות על חום.
- תחום תדרי הלייזר לגילוי מצייני לייזר ומדי טווח לייזר. כל המערכות נדרשות לעבוד באופן מתואם להשגת

גם במקרה הזה האיומים העיקריים הם טילי כתף, טילי אוויר-אוויר וטילי קרקע-אוויר.

הדרישות המרכזיות בתכן של החישנים האלה הוא יכולת לתת התרעה בכל המרחב תוך הסתברות לגילוי מקסימלי והסתברות מינימלית להתרעות שווא.

מכלול האמצעים ליצירת טכניקות החסימה ולהפעלתן

האמצעים המייצרים את טכניקות ה"א כוללים:

1. משדרים לתחום האלקטרומגנטי (RF-) (Radio Frequency), המותקנים על הפלטפורמה או נגררים על ידה (Towed Decoys), המשדרים קרינה אלקטרומגנטית לעבר האיום.
2. מערכות לפיזור מוץ ונורים (בתחום ה-RF וה-IR). לאחר שחרורו מהווה המוץ "ענן" של סיבים דקים, המחזירים קרינה אלקטרומגנטית בצורה טובה, ובכך הוא הופך – אם הוא תוכנן נכון – למטרה אטרקטיבית יותר מהמטוס המאויים. התוצאה: הטיל טס לעבר המוץ ולא לעבר המטוס. באופן דומה פועלים הנורים. אלה משוחררים ברגע שמזוהה שיגור טילים מתבייתי חום (קרינת IR). הנורים פולטים גם הם קרינת IR ומטעים את הטילים לעבר הנורים.
3. שבשים בתחום ה-IR. השבשים האלה משבשים טילים המתביתים על חום. הם מבוססים על טכנולוגיית מנורות מאופננות רבות עוצמה או על לייזר המשבש, מסנוור או הורס את ראש הטיל.
4. אמצעי דמה: מחזירים פינתיים, פלטפורמות דמה עם אמצעים לדימוי מטרות אמיתיות.

טכניקות ה"א, המשמשות לשיבוש מערכות הנשק של האויב, הן תורה בפני עצמה.

אלה בעצם שידורים המקודדים בצורה מיוחדת (הן שידורים אלקטרומגנטיים והן בתחום האינפרא-אדום), כך שבהגיעם למערכות הנשק הם חודרים את כל מגננוני ההגנה שלהן (דהיינו מתגברים על אמצעים נגד ל"א – נל"א), משביתים ומשבשים את האיומים. למעשה, טכניקות ה"א הן בבחינת "וירוסים" המשודרים באוויר וחודרים באופן ממוקד לאיום.

הפעלה של טכניקות ל"א מותנית ברוב המקרים בקליטה לשם גילוי האיומים על מנת שניתן יהיה להפעילן בצורה יעילה במישור המרחב/כיוון, הזמן והתדר.

מכלול העיבוד, הבקרה ועיבוד האות

כל תתי-המערכות הנ"ל מחוברות למחשב המערכת ולמעבדי

טכניקות ה"א הן בבחינת "וירוסים" המשודרים באוויר וחודרים באופן ממוקד לאיום

במידה רבה ביותר במיקומם ובאופן התקנתם על הפלטפורמה מן ההיבטים הבאים:

- הסתרות לשדה הראייה.
- החזרים מגוף הפלטפורמה וממערכות הנשק שהיא נושאת.
- בידודים בין אלמנטי קליטה לאלמנטי שידור של מערכת ה"א" עצמה ובינה לבין מערכות אלקטרוניות אחרות על הפלטפורמה.

לפיכך תכנון של מערכת ל"א צריך להיעשות תוך הקדשת תשומת לב רבה לאופן התקנתה על הפלטפורמה (התאמת "חליפה" לפלטפורמה) ולהקצאת משאבי המיקום לחישנים ולאלמנטי השידור באופן מיטבי. באותה מידה נדרשת הקצאת נפחים, חשמל וקירור למכלולי המערכת.

מתן מענה לדרישות של "חיים

בצוותא ברמת הפלטפורמה עצמה יחד עם מערכות עמית ועם מפריעים רבים בספקטרום הרלוונטי.

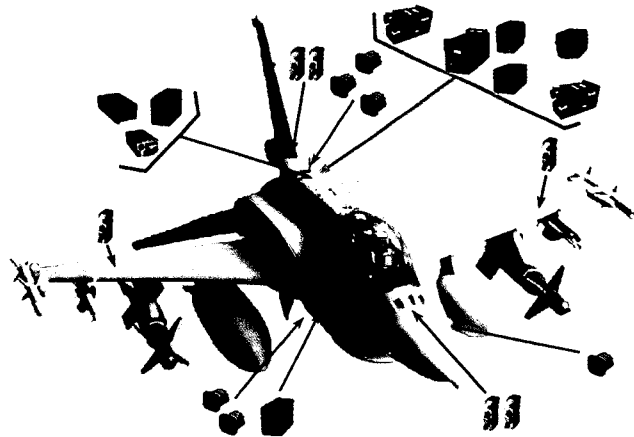
בהיותן מערכות קולטות ומשדרות על פני תחומי תדר רחבים מאוד, מערכות הלוחמה האלקטרונית הן מטבען מערכות מפריעות ומופרעות ממערכות קולטות ומשדרות בסביבתן. הדבר מודגש במערכות המותקנות על מטוסי קרב, שבהם המרחק בין האנטנות קטן, ובהתאם גם קטן הבידוד ביניהן. לכן קיים צורך לתכנן את המערכות ל"חיים בצוותא" עם יתר המערכות המורכבות על אותה פלטפורמה או בסביבתה הקרובה תוך התבססות על משטרי מערכת מתקדמים בתחום הזמן, התדר והמרחב ועל טכנולוגיות מתקדמות בעיבוד אותות.

פעולת המערכות היא בסביבה של איזמים אמיתיים, שנגדם הן נדרשות לפעול, אך באותו הזמן הן קולטות מאות אותות לא רצויים ואף מפריעים (ערוצי תקשורת אזרחיים, שידורים סלולריים, מכ"מים אזרחיים, חסימות, קרינת שמש ועוד). על המערכות להתמודד עם המפריעים האלה ולסננם כך שיעילותן נגד האיזמים האמיתיים לא תיפגע.

בחינת אמצעי ה"א היא בעייתית ומחייבת סימולציות (הדמיות) ויצירה מלאכותית של שדה הקרב העתידי. קיים קושי בבחינה ובמדידה מדויקת של יעילות תפקודן של מערכות ה"א בזמן הפעלתן המבצעית בשדה הקרב האמיתי. בתהליך הפיתוח וההערכה נדרשות סימולציות בהיקף גדול ובדיקה של המערכות במתקנים קרקעיים, מוטסים וימיים המדמים את זירת הקרב.

איור 3: חליפת ה"א של מטוס F-16I ("סופה") של חיל האוויר הישראלי

- מערכת התרעה מפני מכ"ם
- סיוע אלקטרוני
- מערכת הגנה אקטיבית נגד טילים



יעילות מרבית.

הפעלה של מערכות ה"א לשיבוש האיומים דורשת קליטה, זיהוי והחלטה להפעלת האמצעים לשיבוש תוך יכולת הסתכלות רחבת פס וזמני תגובה קצרים ביותר.

האמצעים המופעלים על-ידי מערכות ה"א לשיבוש ולדיכוי האיומים כוללים משדרים בתחום ה-RF, מוץ ונורים, שבשים בתחום ה-IR, לייזרים ועוד. הפעלה של אחד האמצעים האלה עלולה לפגוע ביעילותו של אמצעי אחר שהופעל, ולכן נדרשת שליטה מרכזית בכלל האמצעים, והפעלתם חייבת להיעשות באופן מתואם להשגת יעילות מיטבית.

לכל מערכת נשק מודרנית, שמולה צריכות לפעול מערכות ה"א, יש מספר הולך וגדל של אופני עבודה (modes), וכל אופן מיועד לטפל באופן מיטבי במצב זירה מסוים. המעבר מאופן לאופן נעשה בצורה ידנית על-ידי מפעיל, באופן אוטומטי על-ידי המערכת, כאשר היא חשה שינוי בתנאי העבודה או באמצעות שילוב של אופן מפעיל (ידני) עם אופנים אוטומטיים. לכן מערכת ה"א נדרשת לבצע מעקב שוטף אחר שינויים באופני העבודה האלה ולהתאים את המענה בהתאם.

מערכות ה"א מותקנות בסוגים שונים של פלטפורמות: קרקעיות, מוטסות וימיות. בהיותן מערכות קולטות ומשדרות, יש להן חישני קליטה ואלמנטי שידור הפרוסים על פני הפלטפורמות על מנת לתת להן הגנה מרחבית מיטבית. הביצועים של אלמנטי החישה והשידור תלויים

פיתוח תו"ל וכן אמצעי אימון והדרכה פרטניים לכל מערכת מחייבים:

1. הכרת האיומים.
2. הכרת היכולות והמגבלות של המערכת המיוצרת.
3. מתן מענה לצורך מבצעי דינמי ומשתנה.
4. שילוב המערכת כחלק ממערכת נשק תוך מתן דגש לאי-פגיעה בביצוע המשימה וביכולות ביצוע אחרות של הפלטפורמה.
5. הטמעת המערכת ואופן תפעולה בקרב הכוחות הלוחמים, ובפרט מתן דגש להפעלה נכונה של המערכת על מנת להגדיל את שרידות הלוחם עצמו (והפלטפורמה שבה הוא נמצא).
6. גיבוי הכוח הלוחם במערך הדרכה תואם.

החיבור בין הצרכן לתעשייה.
המורכבות של מערכת ה"א, מגוון הטכנולוגיות, הצורך לטפל במספר רב של איומים מודרניים, אשר איכותם הולכת ומשתפרת, שינויים בצרכים

המבצעיים עקב שינויים בזירת הלחימה ועקב פיתוח טכניקות חדשות וסימולציות ל"א יוצרים מצב שבו פרויקטים לפיתוח מערכות אלה נמשך שנים רבות. המשכיות זו של הפיתוח יוצרת מצבים מורכבים, הנובעים גם מהגורמים דלהלן:

- שינויים ועדכונים תדירים לאורך הפיתוח דורשים פעמים רבות תכן מחדש של חלקים מסוימים במערכת.
- עדכונים בתכן עקב ההתקדמות בטכנולוגיות וברכיבים עיקריים.
- עדכונים באיומים ובדרישות המבצעיות.

פיתוח מערכות ל"א נחשב בעולם כולו למסובכת שבמשימות הפיתוח, ומעטים הצבאות והחברות בעולם המסוגלים לפתח בהצלחה מערכות ל"א המצויות בחזית הטכנולוגיה. מכיוון שהמפתחים של מערכות ה"א ומפתחי טכניקות ה"א נדרשים להכיר את האיומים, להמציא שיטות וטכניקות ל"א כדי לנטרל את האיום וליישם את האמור לעיל בפיתוח מערכות ל"א, הרי שומה עליהם להיות מומחים במערכות השונות יותר מאשר אלה שפיתחו אותן, וזאת במגוון של דיסציפלינות: מכ"ם, ל"א, תקשורת, טילים, שליטה ובקרה, מחשבים ורשתות, אלקטרואופטיקה וכו'. כל זאת תוך הפגנת יכולת המצאה, יצירתיות וכשרון ב"משחק השחמט" נגד מומחי האויב.

הטכנולוגיות העיקריות המיושמות במערכות של לוחמה אלקטרונית

מערכות לוחמה אלקטרונית מתבססות על מגוון רחב של

- טכנולוגיות מתקדמות, שחלקן פותח במיוחד עבורן.
1. מיקרוגל: שפופרות שידור מסוג TWT, משדרי מצב מוצק, מכלולים היברידיים ממוזערים.
 2. אנטנות, ראדומים ומקטבים, מערכים סורקים (Phased Array, MBA - Multi Beam Array).
 3. דגימה ועיבוד אותות ספרתי (כגון: Digital RF - DRFM - Memory), של מיקרוגל, תקשורת, מכ"ם, ל"א, עיבוד תמונה, אלקטרואופטיקה ועוד.
 4. אלגוריתמי תוכנה מתקדמים לגילוי ולזיהוי איומים, כולל היתוך מידע מסנסורים שונים.

5. מכניקה ומערכות פיזור חום מתקדמות (מחליפי חום מבוססים על שינוי מצב צבירה של חומר, קירור באמצעות נוזלים).
6. גלאים ומערכים אופטיים לתחומי ה"א, IR, קרני לייזר ו"UV, סיבים אופטיים.
7. מחשבים, רשתות תקשורת, תוכנה, חומרה ולוחמת מחשבים ומידע.
8. הקטנת שטח התך מכ"ם (שח"ם) להשגת "חמקנות" והקטנת חתימת IR.
9. מזעור ומיקרואלקטרוניקה.
10. חקר ביצועים.

סיכום

הלוחמה האלקטרונית מלווה את צה"ל לאורך כל מלחמות ישראל ותרמה תרומה ממשית להכרעה בשדה הקרב. ההתפתחות הטכנולוגית של מערכות הנשק מציבה אתגרים חדשים וצורך תמידי לחידושן ולרענוןן של המערכות ושל תורת הלחימה של ה"א.

מדינת ישראל השכילה לאורך השנים, בתמיכה ובהכוונה של משרד הביטחון ושל צה"ל, ובראשם מפא"ת, לטפח את הידע, את התשתיות ואת היכולות בתעשיות הישראליות המובילות.

מדינת ישראל היא המובילה בעולם בפיתוח מערכות ל"א בדיסציפלינות העיקריות, הן לשימוש צה"ל והן ללקוחות בחו"ל. רפא"ל, "אלתא", "אלישרא", "תדיראן מערכות", תע"ש ו"אלביט מערכות" הן חלק מתעשיות מובילות אלה, ולהן סל מוצרים מהמתקדמים ביותר.

חוקרים, מהנדסים, טכנאים ואנשי ייצור עוסקים מדי יום במלאכת ה"א. שילוב הטכנולוגיה והידע הטכני הקיים בתעשיות עם הידע המבצעי הקיים בחילות האוויר, הים והיבשה מבטיח כי המערכות המפותחות יהיו התשובה הנכונה בשעת הצורך בשדה הקרב.

פיתוח מערכות ל"א נחשב בעולם כולו למסובכת שבמשימות הפיתוח, ומעטים הצבאות והחברות בעולם המסוגלים לפתח בהצלחה מערכות ל"א המצויות בחזית הטכנולוגיה

