



ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΕΥΕΛΠΙΔΩΝ
Τμήμα
Στρατιωτικών Επιστημών

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΧΕΔΙΑΣΗ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
(SYSTEMS ENGINEERING)
(ΠΔ 96/2015/ΦΕΚ 163Α'/20.08.2014)



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Σχολή Μηχανικών
Παραγωγής και Διοίκησης

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ηλεκτρονικός πόλεμος:
Οι σύγχρονες εξελίξεις και η
σημασία του στις σημερινές
επιχειρήσεις

Δημήτριος Π. Κάντζαρης
Α.Μ.: 2016018028

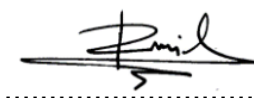
Νοέμβριος 2019



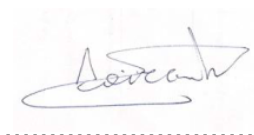
Η μεταπτυχιακή διατριβή του Δημητρίου Κάντζαρη εγκρίνεται:

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Κωνσταντίνος Ζηκίδης (Επιβλέπων)



Ελευθέριος Δοϊτσίδης



Διονύσιος Μουζάκης



© Copyright Δημήτριος Κάντζαρης, Νοέμβριος 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.



Δημήτριος Π. Κάντζαρης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τη παρούσα διπλωματική εργασία και κατά συνέπεια το μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Κωνσταντίνο Ζηκίδη τον οποίο εκτιμώ πρωτίστως σαν αξιωματικό, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα.

Παρά τις δυσκολίες που προέκυψαν τόσο λόγω των διαβαθμισμένων θεμάτων, όσο και με την ιδιαίτερη δυσκολία ανεύρεσης πηγών της συγκεκριμένης θεματολογίας, με την βοήθεια του, τη καθοδήγησή και τις γνώσεις του, κατάφερα να ολοκληρώσω τη παρούσα εργασία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων και του Πολυτεχνείου Κρήτης για τις γνώσεις που μου έδωσαν τα τελευταία αυτά δύο χρόνια αλλά και για την προσπάθεια που καταβάλλουν για τη διατήρηση του υψηλού επιπέδου του μεταπτυχιακού αυτού τίτλου. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον κύριο Νικόλαο Δάρα, ο οποίος οποιαδήποτε στιγμή χρειάστηκα την βοήθειά του, ανταποκρίθηκε άμεσα, δίνοντας λύσεις.

Τέλος, οι μεγαλύτερες ευχαριστίες μου απευθύνονται στη σύζυγό μου Πηνελόπη και τον υιό μου Παναγιώτη στους οποίους και είναι αφιερωμένη η διατριβή μου. Τους ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου, διότι παρόλες τις ώρες σωματικής αλλά και πνευματικής απουσίας μου τα τελευταία αυτά 2 έτη, μου συμπαραστάθηκαν αναλαμβάνοντας επιπλέον βάρος οικογενειακών και μη υποχρεώσεων, δίνοντάς μου τον απαραίτητο χρόνο ώστε να ολοκληρώσω το μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών και τη παρούσα διατριβή.

Σελίδα Κενή

Κεφάλαιο 1^ο

Βασικοί Ορισμοί ΗΠ

1.1	Ορισμός ΗΠ.....	Σελ. 1
1.2	Signal Intelligence	Σελ. 2
1.3	Ηλεκτρονική Διάταξη Μάχης	Σελ. 3
1.4	Καταστολή Εχθρικής Αεράμυνας	Σελ. 3
1.5	Δραστηριότητες Ηλεκτρονικής Επίθεσης.....	Σελ. 3
1.6	Δραστηριότητες Ηλεκτρονικής Προστασίας	Σελ. 4
1.7	Δραστηριότητες Ηλεκτρονικής Υποστήριξης	Σελ. 5

Κεφάλαιο 2^ο

Χρονοδιάγραμμα Εξέλιξης του Ηλεκτρονικού Πολέμου

2.1	Ρωσο-Ιαπωνικός Πόλεμος	Σελ. 7
2.2	Εξελίξεις Μέχρι τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο	Σελ. 7
2.3	Η απειλή των υποβρυχίων U-Boat, 1917	Σελ. 7
2.4	Α Παγκόσμιος Πόλεμος	Σελ. 8
2.5	Διάστημα Μεσοπολέμου	Σελ. 9
2.6	Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος	Σελ. 10
2.7	Ψυχρός Πόλεμος, 1952	Σελ. 20
2.8	Πυραυλική Κρίση της Κούβας, 1962	Σελ. 20
2.9	Ο Πόλεμος των 6 Ημερών, 1967	Σελ. 21
2.10	Μάχη της Λαττάκειας, 1973	Σελ. 21
2.11	Πόλεμος Λιβάνου, 1982	Σελ. 21
2.12	Η Εισβολή στον Παναμά, 1989	Σελ. 22
2.13	Πόλεμος του Κόλπου, 1991	Σελ. 22
2.14	Ενεργειακά Πεδία, Αόρατοι Μανδύες, 2014-2019	Σελ. 22
2.15	Το Μέλλον, Κβαντική Φυσική, 2017-	Σελ. 25

Κεφάλαιο 3^ο

Το Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα

3.1	Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα	Σελ. 27
3.2	Χαρακτηριστικά Η/Μ Κύματα	Σελ. 27
3.3	Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα	Σελ. 29

3.4	Πόλωση	Σελ. 31
3.5	Διάδοση Η/Μ Κυμάτων	Σελ. 33
3.6	Τρόποι Διάδοσης Η/Μ Κυμάτων	Σελ. 37

Κεφάλαιο 4°

Κεραίες

4.1	Κεραία	Σελ. 41
4.2	Κυματοδηγοί - Χοάνες Τροφοδοσίας	Σελ. 44
4.3	Κατηγορίες Κεραιών	Σελ. 44
4.4	Είδη Κεραιών	Σελ. 47
4.5	Κεραίες Διάταξης Απλών Στοιχείων	Σελ. 55
4.6	Τεχνολογίες Κεραιών Σύμμορφης και Επίπεδης Διάταξης	Σελ. 61

Κεφάλαιο 5°

Τηλεπικοινωνίες

5.1	Σήματα	Σελ. 69
5.2	Είδη Σημάτων	Σελ. 69
5.3	Χαρακτηριστικά Σημάτων	Σελ. 70
5.4	Εύρος Συχνοτήτων Μέσου και Καναλιού	Σελ. 70
5.5	Διαμόρφωση	Σελ. 71
5.6	Είδη Διαμόρφωσης Αναλογικών Σημάτων	Σελ. 71
5.7	Είδη Διαμόρφωσης Ψηφιακών Σημάτων	Σελ. 75
5.8	Ψηφιακές Επικοινωνίες	Σελ. 77
5.9	Μετατροπή Αναλογικών Σημάτων σε Ψηφιακά	Σελ. 78
5.10	Θόρυβος	Σελ. 79
5.11	Ποσοτικοποίηση Θορύβου	Σελ. 80
5.12	Συνέπιες Θορύβου	Σελ. 80
5.13	Πολυπλεξία	Σελ. 81

Κεφάλαιο 6°

Ο ΗΠ στις Τηλεπικοινωνίες

6.1	Είδη Δέκτη	Σελ. 85
6.2	Ηλεκτρονική Προστασία	Σελ. 90

6.3	Ηλεκτρονική Υποστήριξη	Σελ. 94
6.4	Ηλεκτρονική Επίθεση	Σελ. 107

Κεφάλαιο 7°

Θεωρία Ραντάρ

7.1	Κατηγορίες Ραντάρ	Σελ. 115
7.2	Ορολογία Ραντάρ	Σελ. 121
7.3	Ραντάρ Συνεχούς Κύματος	Σελ. 139
7.4	Παλμικό Ραντάρ Doppler	Σελ. 143
7.5	Επεξεργασία MTI	Σελ. 150
7.6	Αυτόματος Εγκλωβισμός Ραντάρ	Σελ. 154

Κεφάλαιο 8°

Ο ΗΠ στα Ραντάρ

8.1	Ηλεκτρονική Υποστήριξη	Σελ. 165
8.2	Ηλεκτρονική Επίθεση	Σελ. 167
	α. Ενεργητικά Μέσα	Σελ. 167
	β. Μηχανικά Μέσα	Σελ. 180
8.3	Ηλεκτρονική Προστασία	Σελ. 184

Κεφάλαιο 9°

Ηλεκτρο-οπτικά

9.1	Ηλεκτρο-οπτικά	Σελ. 197
9.2	Ηλεκτρο-οπτικά Συστήματα	Σελ. 199
9.3	Laser	Σελ. 212

Κεφάλαιο 10°

Ο ΗΠ στα Ηλεκτρο-οπτικά

10.1	Ηλεκτρονική Υποστήριξη	Σελ. 221
10.2	Ηλεκτρονική Επίθεση	Σελ. 222
10.3	Ηλεκτρονική Προστασία	Σελ. 223

Κεφάλαιο 11°

Μέθοδοι Κατεύθυνσης Βλημάτων

11.1	Εισαγωγή	Σελ. 233
11.2	Ανάγκη για Κατεύθυνση	Σελ. 233
11.3	Είδη Κατεύθυνσης	Σελ. 233
α.	Homing Guidance	Σελ. 233
β.	Navigational Guidance	Σελ. 236
γ.	Command Guidance	Σελ. 238

Κεφάλαιο 12°

Συστήματα Εκμετάλλευσης Φάσματος - Συστήματα ΗΠ σε Ελλάδα και

Τουρκία

12.1	Ελλάδα	Σελ. 245
α.	Συστήματα Επικοινωνιών	Σελ. 245
β.	Συστήματα Ραντάρ Έρευνας - Επιτήρησης	Σελ. 247
γ.	Ραντάρ Οπλικών Συστημάτων	Σελ. 252
δ.	Ηλεκτρο-οπτικοί Αισθητήρες	Σελ. 257
ε.	Συστήματα Ηλεκτρονικής Υποστήριξης - Επίθεσης	Σελ. 259
στ.	Αναλώσιμα Συστήματα Ηλεκτρονικής Επίθεσης	Σελ. 266
12.2	Τουρκία	Σελ. 267
α.	Συστήματα Επικοινωνιών	Σελ. 268
β.	Συστήματα Ραντάρ Έρευνας - Επιτήρησης	Σελ. 272
γ.	Ραντάρ Οπλικών Συστημάτων	Σελ. 279
δ.	Ηλεκτρο-οπτικοί Αισθητήρες	Σελ. 284
ε.	Συστήματα Ηλεκτρονικής Υποστήριξης - Επίθεσης	Σελ. 287
στ.	Αναλώσιμα Συστήματα Ηλεκτρονικής Επίθεσης	Σελ. 297
12.3	Άμεσα Μελλοντικά Προγράμματα ΗΠ Τουρκίας	Σελ. 298

Κεφάλαιο 13°

Η Σημασία του ΗΠ στις Σύγχρονες Επιχειρήσεις

13.1	Γενικά	Σελ. 303
13.2	Σενάριο ΗΠ	Σελ. 319

Κεφάλαιο 14^ο

Σημερινή Κατάσταση ΗΠ στη Τουρκία/ Σκέψεις για την Ελλάδα

14.1	Σημερινή Κατάσταση ΗΠ στη Τουρκία	Σελ. 329
14.2	Σκέψεις για την Ελλάδα	Σελ. 333

Περίληψη

Ο Ηλεκτρονικός Πόλεμος (ΗΠ) αποτελεί ένα κεφάλαιο θεμελιώδους σημασίας, όπως έχει αποδειχθεί επανειλημμένως, εδώ και πολλές δεκαετίες. Αναπτύχθηκε παράλληλα και πάντα σε ανταγωνισμό με την τεχνολογία ραντάρ. Όμως, ο ΗΠ επεκτείνεται και άλλες εφαρμογές, όπως η ανίχνευση, ο εντοπισμός και η παρεμβολή τηλεπικοινωνιών, σημάτων GPS ή ακόμα και sonar, ενώ καλύπτει μεγάλο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού (H/M) φάσματος, από τα ραδιοκύματα έως και το οπτικό φάσμα.

Ο ΗΠ διακρίνεται στις ακόλουθες κατηγορίες ενεργειών:

α. ES (Electronic Support) ή Μέτρα Υποστήριξης ΗΠ: περιλαμβάνει την ανίχνευση και αναγνώριση, καθώς και τον εντοπισμό, ανάλυση και καταγραφή της λαμβανόμενης ακτινοβολίας. Αυτό είναι προαπαιτούμενο για τις επόμενες ενέργειες ΗΠ.

β. EA (Electronic Attack) ή Ηλεκτρονικά Αντίμετρα: τεχνικές υποβάθμισης – εξαπάτησης εχθρικών ραντάρ ή συστημάτων IR, Laser κλπ. Μπορεί να διακριθεί περαιτέρω σε ενεργητικά μέσα, όπως ο παρεμβολέας (Jammer), και σε παθητικά μέσα, όπως η άφεση αναλωσίμων (π.χ. αερόφυλλα ή Chaff, θερμοβολίδες ή Flare, ρυμουλκούμενα «δολώματα» ή towed decoy, τα οποία ενίοτε είναι και ενεργά).

γ. EP (Electronic Protection) ή Ηλεκτρονικά Μέτρα Προστασίας: τεχνικές με σκοπό την αντιμετώπιση των αντιμέτρων του αντιπάλου, όπως π.χ. αύξηση ισχύος εκπομπής ραντάρ, ανίχνευση παρεμβολής με επεξεργασία σήματος, αναπήδηση συχνότητας, ακύρωση πλευρικών λοβών κεραίας κλπ.

Η διπλωματική αυτή, μετά από μία σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη του ΗΠ και την παράθεση του βασικού θεωρητικού υποβάθρου, αποσκοπεί στην ανάλυση των τεχνικών Ηλεκτρονικού Πολέμου που εφαρμόζονται στις σύγχρονες στρατιωτικές επιχειρήσεις όσον αφορά τα επικοινωνιακά (ασύρματες επικοινωνίες) και τα μη επικοινωνιακά (radar) συστήματα που χρησιμοποιούνται στις ένοπλες δυνάμεις και στην καταγραφή των σημαντικότερων κατηγοριών συστημάτων ΗΠ και συναφών εφαρμογών.

Στη συνέχεια επιχειρείται μία ενδεικτική καταγραφή των συστημάτων ΗΠ που διαθέτει η χώρα και η Τουρκία, ενώ παρατίθεται ένα σενάριο εφαρμογής μέτρων ΗΠ, με το οποίο αναδεικνύονται οι συναφείς δυνατότητες. Τέλος, εξετάζονται πιθανές εισηγήσεις, με σκοπό την βελτίωση των υφιστάμενων δυνατοτήτων, λαμβάνοντας υπόψη και την παράμετρο του αναμενόμενου κόστους.

Κεφάλαιο 1^ο : Βασικοί Ορισμοί ΗΠ

1.1 Ορισμός ΗΠ

Ηλεκτρονικός Πόλεμος

Ως Ηλεκτρονικός Πόλεμος (ΗΠ) – Electronic Warfare (EW) ορίζονται οι στρατιωτικές ενέργειες που αποσκοπούν στην αποτελεσματική χρήση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από τις φίλιες δυνάμεις για παρεμπόδιση ή περιορισμό της αντίστοιχης εκμετάλλευσης του από τον αντίπαλο.

Η εκμετάλλευση αυτή περιλαμβάνει τόσο την έρευνα, εντοπισμό και αναγνώριση των ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών όσο και τη χρησιμοποίηση της Η/Μ ακτινοβολίας αυτής καθαυτής για εξουδετέρωση, παρεμπόδιση ή παραπλάνηση των ηλεκτρονικών μέσων και οπλικών συστημάτων του αντιπάλου.

Οι κατηγορίες του ΗΠ είναι:

- α. Ηλεκτρονική Υποστήριξη (ΗΥΠ) – Electronic Warfare Support (EWS)
- β. Ηλεκτρονική Επίθεση (ΗΕ) – Electronic Attack (EA)
- γ. Ηλεκτρονική Προστασία (ΗΠΡ) – Electronic Protection (EP)

Ηλεκτρονική Υποστήριξη - Electronic Warfare Support (EWS)

Παλαιότερα γνωστή ως Μέτρα Υποστήριξης Ηλεκτρονικού Πολέμου – Electronic Support Measurements (ESM). Αφορά στις ενέργειες που πραγματοποιούνται για την έρευνα, υποκλοπή και αναγνώριση της εκπεμπόμενης Η/Μ ενέργειας καθώς και τον εντοπισμό των πηγών της με σκοπό την αναγνώριση της απειλής, στοχοποίηση και τον σχεδιασμό μελλοντικών ενεργειών.

Η ΗΥΠ στην ουσία είναι η συλλογή πληροφοριών μέσω της παρακολούθησης του Η/Μ φάσματος με σκοπό την άμεση χρησιμοποίησή τους. Χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας είναι ότι όλα τα μέσα που χρησιμοποιούνται είναι παθητικά.

Ηλεκτρονική Επίθεση – Electronic Attack (EA)

Παλαιότερα γνωστή ως Ηλεκτρονικά Αντίμετρα – Electronic Counter Measures (ECM), πρόκειται για την επιθετική χρήση της Η/Μ ενέργειας, κατευθυνόμενης ενέργειας ή όπλα αντι-ακτινοβολίας εναντίον προσωπικού, εγκαταστάσεων ή υλικών με

σκοπό να υποβαθμίσει, παραπλανήσει ή καταστρέψει την επιθετική ικανότητα του αντιπάλου, συμπεριλαμβανομένης και της φυσικής καταστροφής. Η ΗΕ χρησιμοποιείται αναλόγως του σκοπού της μπορεί να χαρακτηριστεί ως «ΗΕ Προσβολής – Offensive EA» ή «ΗΕ Προστασίας – Defensive EA».

Ηλεκτρονική Προστασία – Electronic Protection (EP)

Παλαιότερα γνωστή ως Ηλεκτρονικά Μέσα Προστασίας – Electronic Protective Measures (EPM), περιλαμβάνει όλες τις ενέργειες που πραγματοποιούνται με σκοπό την προστασία προσωπικού, εγκαταστάσεων και υλικού από την ΗΕ του αντιπάλου (ή και του φίλιου). Για την ηλεκτρονική προστασία χρησιμοποιούνται τόσο ενεργητικά όσο και παθητικά μέσα.

Δεν θα πρέπει να συγχέεται η ΗΠΡ με την ΗΕ Προστασίας καθώς η πρώτη εστιάζει στην προστασία – αντιμετώπιση των «συμπτωμάτων» της ΗΕ ενώ η δεύτερη στη δημιουργία αρνητικών συνθηκών στον αντίπαλο για τη χρησιμοποίηση του Η/Μ φάσματος.

1.2 Signal Intelligence (SIGINT)

Το SIGINT αποτελεί την ευρύτερη δραστηριότητα συλλογής πληροφοριών που σχετίζονται με τη θέση των Η/Μ εκπομπών, τα χαρακτηριστικά τους και την υποκλοπή των πληροφοριών που «μεταφέρονται» μέσω των κυμάτων αυτών καθώς και των τεχνικών χαρακτηριστικών – δυνατοτήτων των συστημάτων που σχετίζονται με τις εκπομπές αυτές. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αφορούν συστήματα επικοινωνιών οπότε γίνεται λόγος για Communication Intelligence (COMMINT) ή μη επικοινωνιακά συστήματα (π.χ. Radar) όπου γίνεται λόγος για Electronic Intelligence (ELINT).

Οι δραστηριότητες SIGINT έχουν πολλά κοινά με τα ESM (στις περισσότερες περιπτώσεις ακόμη και τα μέσα που χρησιμοποιούνται είναι τα ίδια) και πολλές φορές συγχέονται. Οι βασική διαφορά των δύο είναι στο χρόνο αξιοποίησης των εν λόγω πληροφοριών. Ο σκοπός του SIGINT είναι η παροχή πληροφοριών σε όλα τα επίπεδα διοίκησης για μακροπρόθεσμη εκμετάλλευση – σχεδίαση ενώ τα EWS έχουν σα σκοπό την αυτοπροστασία του φορέα και έτσι η αξιοποίηση των πληροφοριών είναι άμεση. Πολλές φορές βέβαια οι πληροφορίες από τα μέσα EWS αξιοποιούνται και συμβάλουν στη μακροπρόθεσμη σχεδίαση των επιχειρήσεων.

1.3 Ηλεκτρονική Διάταξη Μάχης (Electronic Order of Battle – EOB)

Η EOB είναι το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει από την επεξεργασία SIGINT. Στην ουσία είναι η αποτύπωση σε χάρτη της θέσης των Η/Μ εκπομπών αφού πρώτα αυτές ταυτοποιηθούν. Η EOB παρέχει πληροφορίες διάταξης εχθρικών δυνάμεων και μέσω αυτής εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για τις άμεσες μελλοντικές εχθρικές δράσεις ενώ αποτελεί και σημαντικό εργαλείο στοχοποίησης.

1.4 Καταστολή Εχθρικής Αεράμυνας – Suppression of Enemy Air Defense (SEAD)

Οι αποστολές SEAD αποσκοπούν στην εξουδετέρωση, καταστροφή ή προσωρινή υποβάθμιση των συστημάτων εχθρικής αεράμυνας με ηλεκτρονικό ή φυσικό τρόπο. Ο ΗΠ έχει ένα πολύ μεγάλο ποσοστό συμμετοχής στις παραπάνω επιχειρήσεις.

1.5 Δραστηριότητες Ηλεκτρονικής Επίθεσης

α. Αντίμετρα (Countermeasures)

Όλες οι τεχνικές ή τα μέσα που χρησιμοποιούνται με σκοπό την μείωση ή αντιμετώπιση της αποτελεσματικότητας της εχθρικής δραστηριότητας. Εφαρμόζονται είτε προληπτικά είτε κατόπιν εκδήλωσης εχθρικής ενέργειας. Στα αντίμετρα συμπεριλαμβάνονται και οι τεχνικές και μέσα ηλεκτρο-οπτικών και υπέρυθρων αντιμέτρων καθώς και αντίμετρα ραδιοσυχνοτήτων.

β. Ηλεκτρομαγνητική Εξαπάτηση (Electromagnetic Deception)

Η εσκεμμένη εκπομπή, επανεκπομπή, τροποποίηση, καταστολή, απορρόφηση, ενίσχυση ή ανάκλαση Η/Μ ενέργειας, με τρόπο ώστε να μεταφέρει λανθασμένες ή παραπλανητικές πληροφορίες στον αντίπαλο.

γ. Ηλεκτρομαγνητική Εισχώρηση (Electromagnetic Insertion)

Η εσκεμμένη εισαγωγή Η/Μ ενέργειας σε συστήματα εκπομπής με οποιοδήποτε τρόπο ώστε να προκληθεί σύγχυση ή παραπλάνηση στους χειριστές.

δ. Ηλεκτρομαγνητική Παρεμβολή (Electromagnetic Jamming)

Η εσκεμμένη εκπομπή, επανεκπομπή, τροποποίηση, καταστολή, απορρόφηση, ενίσχυση ή ανάκλαση Η/Μ ενέργειας με σκοπό να εμποδίσει ή να μειώσει την αποτελεσματική χρήση του Η/Μ φάσματος του αντιπάλου.

ε. Ηλεκτρομαγνητικός Παλμός (Electromagnetic Pulse)

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από έναν ισχυρό παλμό, συνήθως μετά από πυρηνική έκρηξη, η οποία οδηγεί στη καταστροφή ηλεκτρονικών ή ηλεκτρικών συστημάτων λόγω δημιουργίας ηλεκτρικού ρεύματος ή τάσεως σε αυτά.

στ. Ηλεκτρομαγνητική Διερεύνηση (Electromagnetic Probing)

Η εσκεμμένη ακτινοβολία σε συστήματα ή μέσα του αντιπάλου με σκοπό την αποκάλυψη ή εκμάθηση του τρόπου λειτουργίας ή των δυνατοτήτων των συστημάτων αυτών.

1.6 Δραστηριότητες Ηλεκτρονικής Προστασίας**α. Θωράκιση (Hardening)**

Η προστασία προσωπικού, υλικού και εγκαταστάσεων με χρήση τεχνικών φιλτραρίσματος, εξασθένισης, σύζευξης ή/και προστασίας από τις ανεπιθύμητες ενέργειες της Η/Μ ακτινοβολίας.

β. Παρεμβολή (Interference)

Οποιαδήποτε Η/Μ διατάραξη η οποία διακόπτει, εμποδίζει, υποβαθμίζει ή περιορίζει την αποτελεσματικότητα των ηλεκτρικών ή ηλεκτρονικών συσκευών. Η παρεμβολή μπορεί να είναι εσκεμμένη ή να προέρχεται από το περιβάλλον, από άλλα συστήματα ή από το ίδιο το σύστημα που χρησιμοποιείται.

γ. Συγκάλυψη (Masking)

Η ελεγχόμενη εκπομπή ακτινοβολίας με τρόπο ώστε να προστατευτούν οι φίλιες εκπομπές από τα συστήματα EWS του αντιπάλου.

δ. Επαναπρογραμματισμός (Reprogramming)

Η σκόπιμη αλλαγή ή τροποποίηση των συστημάτων ΗΠ ή των τεχνικών ΗΠ που χρησιμοποιούνται λόγω αλλαγών που προέκυψαν σε συστήματα ή τεχνικές του αντιπάλου ή λόγω ανάγκης υποστήριξης φίλιων ενεργειών ή λόγω αλλαγής του Η/Μ περιβάλλοντος. Ο σκοπός του επαναπρογραμματισμού είναι η διατήρηση ή η επαύξηση των δυνατοτήτων ΗΠ.

ε. Έλεγχος Εκπομπών – Emission Control (EMCON)

Η εκλεκτική και ελεγχόμενη χρήση των Η/Μ εκπομπών με σκοπό την διατήρηση των δυνατοτήτων ΗΠ ή των δυνατοτήτων διοίκησης και ελέγχου (C2) με παράλληλη μείωση των εκπομπών είτε για λογούς ασφαλείας είτε για λόγους αποφυγής φίλιων παρεμβολών.

στ. Διαχείριση Η/Μ Φάσματος (E/M Spectrum Management)

Ο σχεδιασμός, συντονισμός και η διαχείριση του Η/Μ φάσματος με τρόπο ώστε να επιτρέπει την λειτουργία όλων των συστημάτων χωρίς να παρεμβάλλουν το ένα το άλλο.

ζ. Εφεδρεία Πολέμου (Wartime Reserve)

Η ύπαρξη διαδικασιών εκμετάλλευσης Η/Μ φάσματος ή τρόπων λειτουργίας των συσκευών ΗΠ, τηλεπικοινωνιών και γενικά όλων των συστημάτων που εκμεταλλεύονται το Η/Μ φάσμα που θα εφαρμοστούν μόνο σε πολεμική περίοδο.

η. Συμβατότητα (Compatibility)

Η δυνατότητα των συστημάτων, υλικών και συσκευών να χρησιμοποιούν το Η/Μ φάσμα και να λειτουργούν για το σκοπό που κατασκευάστηκαν χωρίς να δημιουργούνται παρεμβολές μεταξύ τους κατά τη λειτουργία τους.

1.7 Δραστηριότητες Ηλεκτρονικής Υποστήριξης**α. Ηλεκτρονική Αναγνώριση**

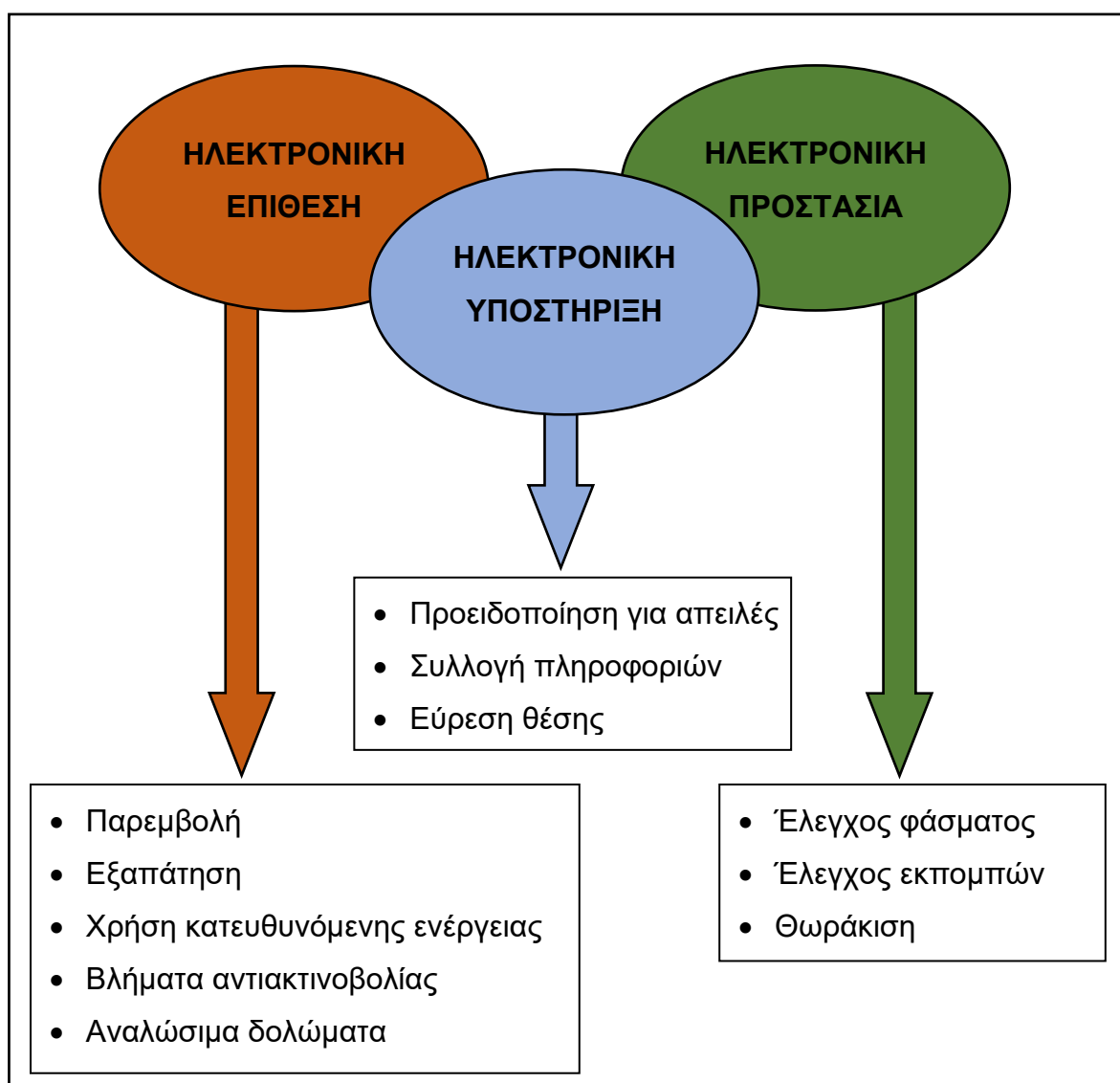
Ο εντοπισμός, αναγνώριση και αξιολόγηση της ξένης Η/Μ ακτινοβολίας.

β. Ηλεκτρονική Πληροφόρηση

Η απόκτηση πληροφοριών από ξένες μη επικοινωνιακές ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες τεχνικού χαρακτήρα ή πληροφορίες που αφορούν τη γεωγραφική θέση της εκπομπής.

γ. Ηλεκτρονική Ασφάλεια

Η χρήση παντός είδους μέσου ώστε να εξασφαλιστεί η μη διάδοση πληροφοριών που έχουν αποκτηθεί μέσω ΗΠ σε αναρμόδια άτομα.

**Εικ. 1.1**

Οι διαιρέσεις του ηλεκτρονικού πολέμου

Κεφάλαιο 2^ο : Χρονοδιάγραμμα Εξέλιξης του Ηλεκτρονικού Πολέμου**2.1 Ρωσο-Ιαπωνικός Πόλεμος, 1904**

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, είχε ήδη μπει σε στρατιωτική χρήση ο ασύρματος τηλέγραφος. Κατά τον Ρωσο-Ιαπωνικό πόλεμο του 1904 οι Ρώσοι είχαν παρατηρήσει ότι πριν από κάθε αιφνιδιαστική επίθεση, οι Ιάπωνες αντάλλασσαν μεταξύ τους πληθώρα ασύρματων μηνυμάτων. Παρόλο που οι Ρώσοι δεν ήταν σε θέση να γνωρίζουν το περιεχόμενο των μηνυμάτων αυτών, προειδοποιούσαν τα πλοία τους για την επερχόμενη επίθεση ώστε να αποφύγουν τον αιφνιδιασμό.

Σε μια επιχείρηση του ιαπωνικού στόλου με αποστολή τον ναυτικό βομβαρδισμό δρόμων πλησίον του Port Arthour το οποίο ο ρωσικός στόλος χρησιμοποιούσε σαν κύριο λιμάνι, ένα μικρό ιαπωνικό αντιτορπιλικό είχε πλησιάσει κοντά στην ακτή για να δίνει αναφορές διόρθωσης των πυρών. Ένας Ρώσος παρατηρητής παράκτιου σταθμού, βλέποντας τα ιαπωνικά πλοία και ακούγοντας τα σήματα που στέλνονταν μεταξύ τους, άρχισε ενστικτωδώς να πατάει το πλήκτρο του ασύρματος τηλέγραφου με σκοπό να παρεμβάλει και να μπερδέψει τις επικοινωνίες των Ιαπώνων. Μη μπορώντας να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, οι Ιάπωνες ματαίωσαν την αποστολή και αποσύρθηκαν.

2.2 Εξελίξεις Μέχρι τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο

Η κύρια προσπάθεια των αναπτυγμένων χωρών, ήταν η υποκλοπή και η αποκρυπτογράφηση των ασύρματων μηνυμάτων που αντάλλασσαν οι πρεσβείες με τα υπουργεία εξωτερικών των χωρών τους. Πρωτοπόροι σε αυτόν τον τομέα υπήρξαν οι Γάλλοι και οι Αυστριακοί. Το πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ήταν η υποκλοπή ενός μεγάλου μηνύματος από τους Γάλλους, που έστειλε ο Υπουργός Εξωτερικών της Γερμανίας προς τον Γερμανό πρέσβη στο Παρίσι με θέμα την κήρυξη του πολέμου στη Γαλλία. Οι Γάλλοι έχοντας σπάσει τον κώδικα κρυπτογράφησης των Γερμανών, όχι μόνο έλαβαν γνώση για το γεγονός αλλά διαστρέβλωσαν και το περιεχόμενο με αποτέλεσμα ο πρέσβης να μην μπορέσει να λάβει τις οδηγίες της πρεσβείας τους.

2.3 Η απειλή των υποβρυχίων U-Boat, 1917

Ο Βρετανός καλλιτέχνης Norman Wilkinson, δουλεύοντας εθελοντικά στο βασιλικό ναυτικό της Βρετανίας βάζοντας πολεμικά πλοία, αντιλαμβανόμενος ότι δεν ήταν δυνατό να παραλλάξει τα πλοία ώστε να μην είναι ορατά, πρότεινε τη βαφή των

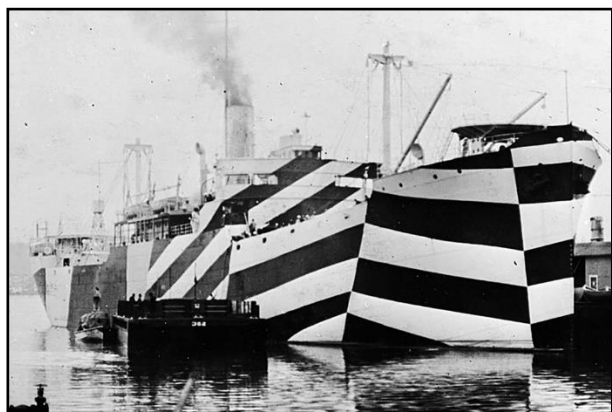
πλοίων με μεγάλα σχήματα αντίθετων χρωμάτων.

Το παραπάνω είχε σαν αποτέλεσμα να μην επιτρέπει στους κυβερνήτες των υποβρυχίων στο να ξεχωρίσουν την πλήρη από τη πρύμνη με ευκολία, δυσκολεύοντας τους έτσι στη στόχευση. Η εν λόγω ιδέα είχε επιτυχία σε έναν βαθμό, τουλάχιστον μέχρι την ανάπτυξη των DF (Direction Finding).



Εικ. 2.1

Ο Wilkinson με ένα μοντέλο της βαφής Dazzle Camouflage



Εικ. 2.2

Το USS West Mahomet βαμμένο σε Dazzle Camouflage, 1918

2.4 Α Παγκόσμιος Πόλεμος

Η μεγαλύτερη συμβολή του Α΄ΠΠ ήταν η εφεύρεση του **Direction Finder** από τον Ιταλό επιστήμονα Alessandro Artom. Το DF τελειοποιήθηκε από τον Marconi. Από το 1914 η διάταξη αυτή παρείχε δυνατότητα στους χρήστες να αποκαλύπτουν τη διεύθυνση των εχθρικών πομπών. Επειδή η χρήση των ασυρμάτων δεν ήταν ευρέως διαδεδομένη, η αποκάλυψη ενός πομπού συνήθως σήμαινε και την ύπαρξη ενός μεγάλου σχηματισμού. Επίσης με τη χρήση DF οι Άγγλοι ήταν σε θέση να εντοπίζουν γερμανικά υποβρύχια, τα οποία έδιναν αναφορές στη βάση τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα, χρησιμοποιώντας πομπούς υψηλής ισχύος.



Εικ. 2.3

Άγγλος χειριστής DF, 1916. Η σκηνή χρησιμοποιούταν για να κρύβει τον εξοπλισμό.

**Εικ. 2.4**

Bellini-Tossi DF. Το όνομα προέρχεται από 2 Ιταλούς αξιωματικούς οι οποίοι βοήθησαν τον Marconi στο σχεδιασμό του.

2.5 Διάστημα Μεσοπολέμου

Το διάστημα αυτό χαρακτηρίζεται από την εφεύρεση του ραντάρ. Η εφεύρεση αυτή δεν ήταν προϊόν εργασίας ενός μόνο ανθρώπου αλλά προέκυψε από αλληπάλληλες έρευνες που είχαν διεξαχθεί στο Η/Μ πεδίο. Πολλές φορές λανθασμένα η εφεύρεση αυτή αποδίδεται στους Άγγλους, λόγω του γεγονότος ότι το χρησιμοποίησαν συστηματικά στην αεράμυνά τους. Συνοπτικά αναφέρονται:

1888: Ανακάλυψη από τον Hertz ότι η Η/Μ ακτινοβολία διαδίδεται στο χώρο και ανακλάται.

1904: Στις 30 Απριλίου οι γερμανικές υπηρεσίες έδωσαν πατέντα στην ιδέα του ερευνητή Christian Hulsmeier που αφορούσε τη κατασκευή ραντάρ (η ακριβής ονομασία ήταν Radiophonic Measuring Apparatus). Το σύστημα ήταν ικανό να αποκαλύψει μεταλλικές επιφάνειες σε απόσταση μερικών εκατοντάδων μέτρων.

1922: Ο Marconi διεύρυνε τη χρήση της Η/Μ ακτινοβολίας για τη ναυτιλία στη θάλασσα και την εκπομπή Η/Μ ακτινοβολίας για την ανάκλαση της στα πλοία.

1924: Οι Αμερικανοί Gregory Breit και Merle Tuve κατασκευάζουν πειραματικές διατάξεις για να μετρήσουν το ύψος της ιονόσφαιρας, εκπέμποντας παλμούς και καταγράφοντας το χρόνο που αυτοί επιστρέφουν στη γη.

1930: Ανακάλυψη του **SONAR** (Sound Navigation and Ranging) από τον Γερμανό Rudolph Kunhold.

1935: Ανάπτυξη συσκευών εντοπισμού αεροσκαφών από τον Robert Watson-Watt (απόγονο του James Watt).

1936: Κατασκευή ραντάρ με την επωνυμία **CMAx** τα οποία εγκαταστάθηκαν σε κύριες ναυτικές μονάδες του πολεμικού ναυτικού των ΗΠΑ.

1939-1940: Αναπτύχθηκε το σύστημα ραντάρ μεγάλης εμβέλειας **SRC-270**. Στις 7 Απριλίου 1941 ένα τέτοιο σύστημα αποκάλυψε τα ιαπωνικά Α/Φ που θα επιχειρούσαν κατά του Pearl Harbor. Παρόλο που ο χειριστής είδε τις επιστροφές του ραντάρ, κανείς δεν προειδοποίησε τα πλοία.

2.6 Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος

α. Η μάχη της Αγγλίας

Chain Home

Οι Άγγλοι είχαν επενδύσει από νωρίς στην ανάπτυξη της τεχνολογίας ραντάρ έχοντας δεσμεύσει 3000 επιστήμονες για το σκοπό αυτό. Στις αρχές του πολέμου είχαν ολοκληρώσει το σύστημα γνωστό ως **Chain Home**, το οποίο ήταν ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και αποτελούταν από ραντάρ τοποθετημένα κατά μήκος των ακτών της Αγγλίας. Στις 2 Αυγούστου 1939 απογειώνεται το **LZ-130 Graf Zeppelin** με σκοπό να καταγράψει τις εκπομπές από τις κεραίες των Άγγλων, εκτελώντας έτσι τη πρώτη αποστολή ELINT στην ιστορία, χωρίς όμως αποτέλεσμα (η αιτία δεν έγινε ποτέ γνωστή).

Ο Αρχηγός της Luftwaffe, Herman Goring, δεν είχε πειστεί για την πρόοδο των Άγγλων στον τομέα των ραντάρ. Ωστόσο μετά την έναρξη της μάχης, οι Γερμανοί διαπίστωσαν ότι τα αεροσκάφη της RAF εντόπιζαν έγκαιρα τα γερμανικά βομβαρδιστικά προξενώντας τους μεγάλες απώλειες. Η επιτυχία του **Chain Home** ήταν εμφανής.



Εικ. 2.5

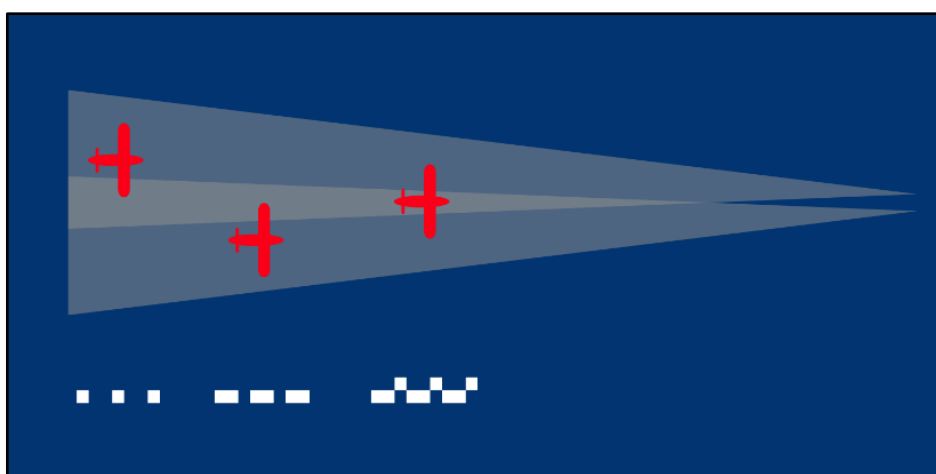
LZ-130, Graf Zeppelin II, 1938. Το αερόπλοιο που χρησιμοποιήθηκε για την αποστολή.



Εικ. 2.6

Κεραίες εκπομπής (αριστερά) και λήψης (δεξιά) Chain Home, στο Sussex της Αγγλίας.

Για να αποφύγουν μεγαλύτερες απώλειες οι Γερμανοί αποφάσισαν να πραγματοποιήσουν τους μελλοντικούς βομβαρδισμούς κατά τη διάρκεια της νύχτας. Προκειμένου να αυξήσουν την αποτελεσματικότητά τους έπρεπε να χρησιμοποιήσουν βοηθήματα ναυτιλίας. Το πρώτο που χρησιμοποιήθηκε ήταν η συσκευή της εταιρίας Lorenz. Η συσκευή αυτή αποτελούταν από 2 κεραίες οι οποίες τοποθετούνταν στην αρχή του διαδρόμου προσγείωσης. Η μία εξέπεμπε σειρά από τελείες και η άλλη σειρά από παύλες. Ο πιλότος διόρθωνε τη πορεία του αεροσκάφους ώστε να ακούει και τους 2 τόνους (ένας συνεχόμενος ήχος), τότε ήξερε ότι βρισκόταν στο κέντρο του διαδρόμου προσγείωσης.



Εικ. 2.7

Οπτική απεικόνιση του τρόπου λειτουργίας της συσκευής Lorenz (γνωστή και ως Lorenz Beam)

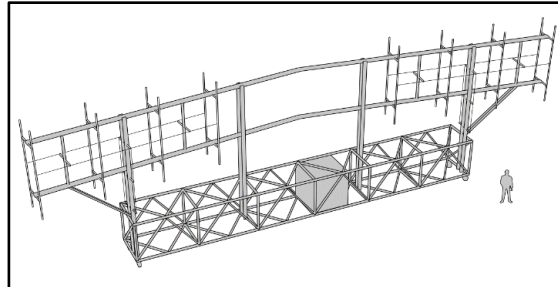
Knickebein

Το 1939 τίθεται σε ισχύ το σύστημα **Knickebein** το οποίο στην ουσία ήταν συνδυασμός πολλών συστημάτων Lorenz που οι δέσμες τους διασταυρωνόταν πάνω από έναν στόχο. Τα συστήματα αυτά εγκαταστάθηκαν στο Βέλγιο και στις ακτές της Γαλλίας και ανάλογα με τον επιθυμητό στόχο στο έδαφος της Αγγλίας, οι Γερμανοί ρύθμιζαν αντίστοιχα τις δέσμες των συστημάτων. Η πρώτη αποστολή που στηρίχθηκε από αυτό το σύστημα ήταν ο βομβαρδισμός του Coventry στις 14 Νοεμβρίου 1940. Οι Άγγλοι είχαν πληροφορίες ότι οι Γερμανοί χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα ναυτιλίας για τους βομβαρδισμούς τόσο από Γερμανούς αιχμάλωτους πιλότους, όσο και από αποκρυπτογραφημένα μηνύματα. Έτσι κατάφεραν να εκπέμπουν αρχικά σε τυχαία σειρά και αργότερα ταυτόχρονα το dot-signal με αυτό των Γερμανών.

Το ισοδύναμο σήμα που πρόκυπτε οδηγούσε τους Γερμανούς να αφήνουν τις βόμβες εκεί που επιθυμούσαν οι Άγγλοι. Μάλιστα ο συγγραφέας Alfred Price, στο βιβλίο του «Instruments of Darkness: The History of Electronic Warfare. Granada, 1977», αναφέρει ότι πολλά γερμανικά βομβαρδιστικά προσγειώθηκαν κατά λάθος σε βάσεις της RAF σαν αποτέλεσμα των αντιμέτρων της Αγγλίας.

**Εικ. 2.8**

Θέσεις ανάπτυξης του **Knickebein**
και τρόπος στοχοποίησης

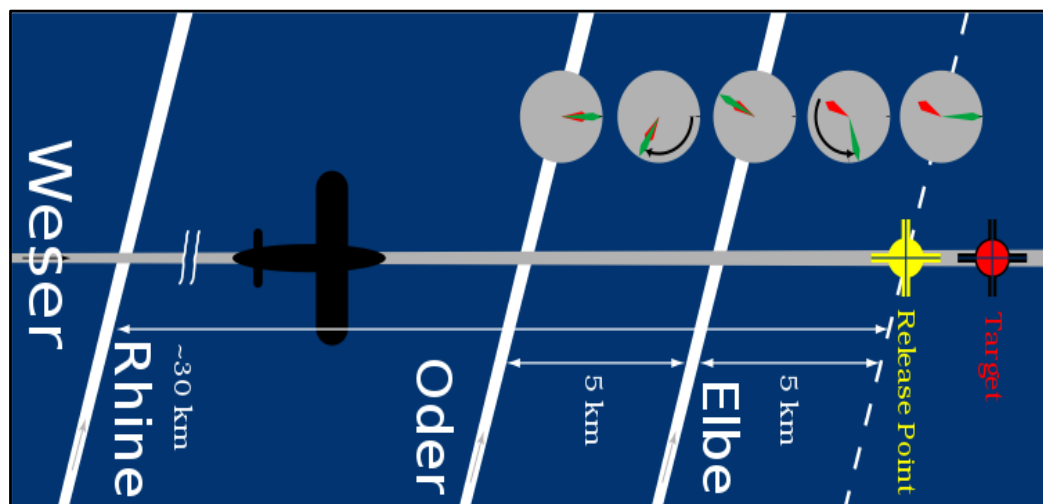
**Εικ. 2.9**

Κεραία συστήματος **Knickebein**

X-Gerät

Λόγω της ανάπτυξης αντιμέτρων από τους Άγγλους αλλά και τη μη δυνατότητα του **Knickebein** να λειτουργήσει σε μεγάλες αποστάσεις, οι Γερμανοί ανέπτυξαν το σύστημα **X-Gerät (X-Apparatus)**. Το σύστημα αυτό βασιζόταν στο **Knickebein** αλλά χρησιμοποιούσε πιο πολλές ακτίνες και σε μεγαλύτερη συχνότητα. Μια δέσμη – οδηγός (WESSER) χρησιμοποιούνταν για να ορίσει την πορεία των Α/Φ η οποία αργότερα διασταυρωνόταν με άλλες 3 δέσμες, μεγαλύτερης συχνότητας. Οι δέσμες αυτές που είχαν τις ονομασίες RHINE (Ρήνος), ODER (Όντερ) και ELBE (Έλβας) (Ποταμοί της Γερμανίας), διασταυρωνόταν με τη WESSER σε συγκεκριμένες αποστάσεις από τον στόχο. Ένα σύστημα που βρισκόταν εντός τους Α/Φ μετρούσε το χρόνο που χρειαζόταν το Α/Φ να φτάσει από την ODER στην ELBE και στη συνέχεια απελευθέρωνε αυτόματα τις βόμβες προς το έδαφος. Αν και το **X-Gerät** αποδεικνύεται πιο δύσκολος

αντίπαλος για τους Άγγλους, τελικά οι τελευταίοι καταφέρνουν να βρουν αντίμετρα μετά την πτώση ενός Α/Φ HEINKEL HE 111 των Γερμανών και την ανάσυρση του συστήματος **X-Gerät** από αυτό. Η αντιμετώπιση ήταν στο να εκπέμψουν στη συχνότητα της ELBE ώστε αυτή να βρίσκεται μόλις 1 χιλιόμετρο μακριά από την ODER (αντί για 5). Με το τρόπο αυτό οι βόμβες των Γερμανών έπεφταν πολύ πριν τον πραγματικό στόχο.



Εικ. 2.10

Οπτική απεικόνιση τρόπου λειτουργίας του **X-Gerät**

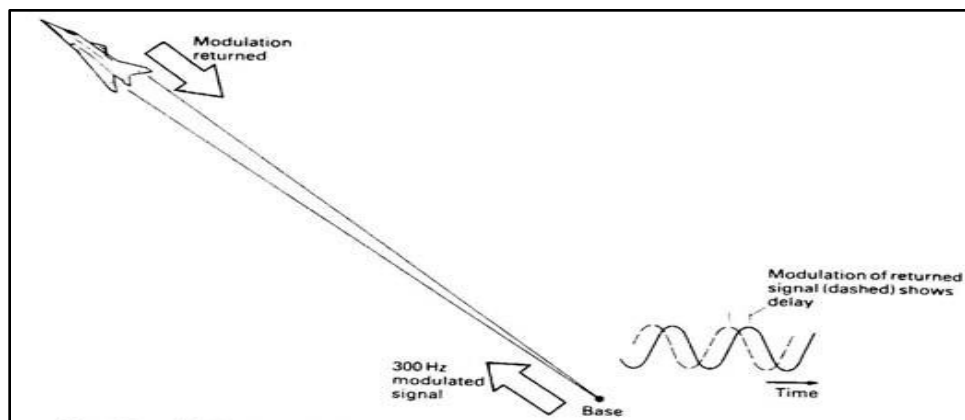
Y-Gerät

Η επόμενη προσπάθεια των Γερμανών ήταν το σύστημα **Y-Gerät**. Το σύστημα εξέπεμπε μια πολύ στενή δέσμη προς Α/Φ. Το Α/Φ λάμβανε το σήμα με έναν πομποδέκτη (**FuG 28a**) και τον εξέπεμπε ξανά προς τον σταθμό εδάφους. Με τον τρόπο αυτό δεν χρειαζόταν τα Α/Φ να ακολουθούν κάποια ακτίνα αλλά ο σταθμός εδάφους τους καθοδηγούσε προς το στόχο (αφού είχε ακριβή στοιχεία απόστασης και θέσης τους Α/Φ).

Η αντιμετώπιση του εν λόγω συστήματος ήταν πολύ πιο εύκολη από ότι θα περίμενε κανείς. Το σύστημα εξέπεμπε ένα διαμορφωμένο σήμα (300Hz) στη συχνότητα των 45 MHz, στην οποία συχνότητα λειτουργούσε και ο μεταδότης του BBC. Το μόνο που είχαν να κάνουν οι Άγγλοι ήταν να περιμένουν τότε θα εξέπεμπαν οι Γερμανοί ώστε να εκπέμψουν και αυτοί. Η εκπομπή αυτή οδηγούσε σε τροποποίηση της φάσης του αρχικού σήματος με αποτέλεσμα ο σταθμός εδάφους να λαμβάνει λανθασμένα δεδομένα.

Οι Γερμανοί επίσης χρησιμοποίησαν και τους σταθμούς μετάδοσης του BBC. Επειδή αυτοί αρχικά εξέπεμπαν σε διαφορετικές συχνότητες, μπορούσαν τα γερμανικά Α/Φ να κάνουν τριγωνισμό. Μόλις οι Άγγλοι το αντιλήφθηκαν, τροποποίησαν όλους τους σταθμούς ώστε να εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα.

Ακόμη και ο ραδιοφωνικός σταθμός Radio Paris χρησιμοποιήθηκε για τους νυκτερινούς βομβαρδισμούς των Γερμανών, οι οποίοι χρησιμοποιούσαν το σήμα του ραδιοφωνικού σταθμού αυτού το οποίο εξέπεμπαν μέσω κατευθυντικών κεραιών πάνω από το στόχο. Οι Άγγλοι τοποθέτησαν ιστροπικές κεραίες που αναπαρήγαγαν το σήμα του ραδιοφώνου το οποίο αποδιοργάνωνε τα γερμανικά βομβαρδιστικά. Το αντίμετρο αυτό ονομάστηκε **Bromide**.



Εικ. 2.11

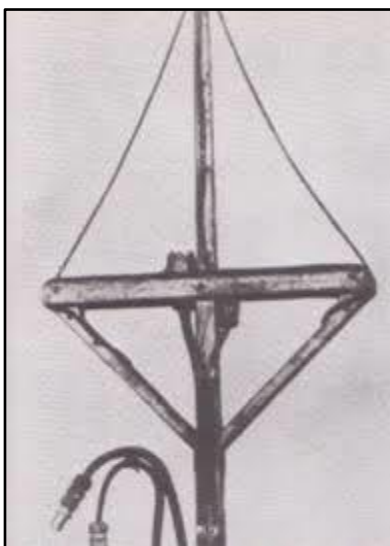
Οπτική απεικόνιση τρόπου λειτουργίας του **Y-Gerät**

β. Η Μάχη του Ατλαντικού

Μέχρι το 1942 τα ραντάρ Mark I που χρησιμοποιούσαν οι σύμμαχοι για αποκάλυψη των γερμανικών υποβρυχίων δεν ήταν αποτελεσματικά. Με την κατασκευή του **Mark II** (176 MHz) και την τοποθέτηση προβολέων (**Leigh light**) στα συμμαχικά Α/Φ υπήρξε μια σχετική επιτυχία, οι Γερμανοί όμως ανέπτυξαν το σύστημα **Metox**. Το σύστημα αυτό ήταν ένα RWR (Radar Warning Receiver) σύστημα και χάρη σε αυτό τα γερμανικά υποβρύχια αποκάλυπταν τις εκπομπές των συμμαχικών ραντάρ και έκαναν άμεση κατάδυση ώστε να αποφύγουν τη βύθισή τους.

Το 1943 οι σύμμαχοι αναβαθμίζουν τα ραντάρ σε ASV Mark III το οποίο λειτουργούσε πλέον σε συχνότητα 3 GHz καθιστώντας το Metox αναποτελεσματικό. Οι Γερμανοί πίστευαν πως ο λόγος που ήταν πλέον εύκολα ανιχνεύσιμοι από τους συμμαχικούς, ήταν πως οι τελευταίοι είχαν αναπτύξει αισθητήρες IR (Infra Red) που ανίχνευαν

τη θερμοκρασία των κινητήρων των U-Boat μέσα στο νερό, εστιάζοντας έτσι την έρευνά τους σε λάθος πεδίο. Αυτό συνεχίστηκε μέχρι να πέσει στα χέρια τους ένα ραντάρ Mark III στο οποίο βρέθηκε λυχνία *Magnetron* η οποία μπορούσε να Η/Μ κύματα σε συχνότητες έως 4 GHz. Τα παραπάνω οδήγησαν στην ανάπτυξη του RWR Naxos από τους Γερμανούς το οποίο δεν έφτασε σε ικανοποιητικά επίπεδα και μπορούσε να αποκαλύψει εκπομπές μέχρι 3 NM. Στη συνέχεια οι Γερμανοί χρησιμοποίησαν πλαστικά μπαλόνια ύψους 10 μέτρων στα οποία έδεναν ανακλαστήρες για να παραπλανήσουν τα συμμαχικά Α/Φ, χωρίς πάλι όμως αποτέλεσμα.



Εικ. 2.12

Κεραία *Metox*

Εικ. 2.13

Κεραία εκπομπής του *ASV Mark II* εγκαταστημένη σε ένα Α/Φ *Bristol Beaufort*

γ. Ο Βομβαρδισμός της Γερμανίας

Έχοντας υποστεί μεγάλες απώλειες η Luftwaffe μετακίνησε σημαντικό αριθμό των δυνάμεών της από το Δυτικό προς το Ανατολικό μέτωπο. Έτσι οι ρόλοι μεταξύ Άγγλων και Γερμανών αντιστράφηκαν.

Gee

Το πρώτο σύστημα που δημιούργησαν οι Άγγλοι για την υποβοήθηση των βομβαρδισμών τους ήταν το Gee. Αποτελούνταν από 3 πομπούς τοποθετημένους σε απόσταση 100 NM μεταξύ τους. Ήταν μεταξύ τους συγχρονισμένοι και έστελναν διαδοχικούς παλμούς με συγκεκριμένη σειρά. Τα βομβαρδιστικά ήταν εξοπλισμένα με κατάλ-

ληλους δέκτες που μετρούσαν τη χρονική διαφορά μεταξύ των παλμών και προσδιόριζαν τη θέση τους πάνω σε μια εσχάρα της Ευρώπης με ακρίβεια 6 NM.

Οι Γερμανοί το 1942 κατάφεραν να κατασκευάσουν έναν παρεμβολέα για αυτό το σύστημα τον οποίο τον ονόμασαν **Heinrich**, αχρηστεύοντας το σύστημα των Άγγλων.



Εικ. 2.14

Δέκτης συστήματος Gee που βρισκόταν στα συμμαχικά Α/Φ



Εικ. 2.15

Φορητός σταθμός εκπομπής του συστήματος Gee, Roermond Ολλανδία, 1945

OBOE (Observation Bombing Over Enemy)

Εμπνευσμένοι από το γερμανικό Y-Gerät, οι Άγγλοι κατασκευάζουν το OBOE. Το σύστημα είχε έναν πομποδέκτη εντός τους Α/Φ ο οποίος συνεργαζόταν με δυο σταθμούς εδάφους (Cat και Mouse). Με βάση τις αποστάσεις που προκύπταν, το βομβαρδιστικό μπορούσε να υπολογίσει τη θέση του. Σε μικρό χρονικό διάστημα όμως οι Γερμανοί κατάφεραν να παρεμβάλουν το σύστημα αυτό, χρησιμοποιώντας τον παρεμβολέα που ονόμασαν **Boomerang**.

Οι Άγγλοι όμως δημιούργησαν το **OBOE II**, το οποίο λειτουργούσε πλέον στη συχνότητα των 3 GHz, συνεχίζοντας όμως να εκπέμπουν και στις παλαιές συχνότητες του **OBOE I**. Μέχρι οι Γερμανοί να αντιληφθούν και να παρεμβάλουν το **OBOE II**, οι Άγγλοι χρησιμοποιούσαν ήδη το **OBOE III** το οποίο έμεινε σε ισχύ μέχρι το τέλος του πολέμου.

Freya

Από τη πλευρά τους οι Γερμανοί, βάσιζαν την αεράμυνα τους σε ραντάρ έγκαιρης προειδοποίησης Freya. Τα ραντάρ αυτά κατασκευάστηκαν το 1939 και λειτουργούσαν

σε μήκος κύματος, 2,5 μέτρων με ικανότητα αποκάλυψης στόχων 100-120 NM.

Οι Άγγλοι για να αντιμετωπίσουν τα παραπάνω ραντάρ, τοποθέτησαν τον παρεμβολέα Mandrel σε Α/Φ που συνόδευαν τα βομβαρδιστικά. Μετά την επιτυχία των Mandrel, οι Γερμανοί προσπαθούσαν να αλλάξουν τη συχνότητα εκπομπής για κάθε ραντάρ Freya. Το γεγονός αυτό ανάγκασε τους Άγγλους να χρησιμοποιούν διαφορετικούς παρεμβολείς Mandrel για κάθε συχνότητα του Freya.



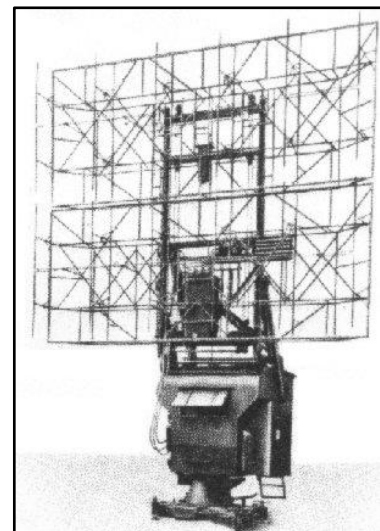
Εικ. 2.16

Το εσωτερικό ενός σταθμού εκπομπής του συστήματος OBOE. Οι 2 CRT οθόνες χρησιμοποιούνταν για την χονδρική και λεπτομερή εύρεση της απόστασης.



Εικ. 2.17

Παρεμβολέας APT-3 "**Mandrel**". Το σήμα που παρήγαγε ήταν από 85-135 MHz και με ισχύ 12W



Εικ. 2.18

Κεραία **Freya**

Himmelbelt

Το 1942 οι Γερμανοί εισάγουν το ραντάρ **Würzburg-Riese**, το οποίο ήταν 'ένα παλμικό ραντάρ με συχνότητα 560 MHz και με μέγιστη εμβέλεια τα 45 NM. Επιπλέον οι Γερμανοί εφοδίασαν τα Α/Φ αναχαίτησης με ραντάρ **Liechtenstein BC**. Τα παραπάνω οδήγησαν στην πρώτη εμφάνιση συστήματος IADS (Intergraded Air Defense System) από τους Γερμανούς με την ονομασία Himmelbelt. Το σύστημα αυτό αποτελούταν από ένα ραντάρ Freya για έγκαιρη προειδοποίηση, 2 ραντάρ **Würzburg**, που κατεύθυναν τα Α/Φ αναχαίτησης και τα Α/Α όπλα και ένα κέντρο διοίκησης και ελέγχου. Την εικόνα συμπλήρωναν τα ίδια τα Α/Φ με τη βοήθεια του ραντάρ **Liechtenstein BC**

Η συμβολή του Würzburg ήταν κρίσιμη. Οι Άγγλοι δεν είχαν πληροφορίες με αποτέλεσμα να μην μπορούν να κατασκευάσουν αντίμετρα. Τελικά μετά από καταδρομική επιχείρηση, Άγγλοι καταδρομείς εξουδετέρωσαν το πλήρωμα ενός ραντάρ Würzburg και μετέφεραν τα κομμάτια του στην ακτή όπου τους περίμενε ένα υποβρύχιο. Μετά την προσεκτική εξέταση, οι Άγγλοι κατασκεύασαν τον παρεμβολέα Carpet τον οποίο και τοποθέτησαν στα αεροσκάφη B-17, μειώνοντας τις απώλειες στο 50%.



Εικ. 2.19

Κεραία **Liechtenstein BC** τοποθετημένο σε Α/Φ Ju-88



Εικ. 2.20

Κεραία **Würzburg-Riese**

Chaffs

Η πρώτη επιχείρηση που χρησιμοποιήθηκαν chaffs (αερόφυλλα) ήταν ο βομβαρδισμός του Αμβούργου από τους συμμάχους. Τα νέα αυτά παθητικά αντίμετρα δημιούργησαν κορεσμό στα γερμανικά ραντάρ, με αποτέλεσμα να καταρριφθούν μόνο 12 από τα 791 βομβαρδιστικά των συμμάχων. Αν και η ύπαρξή τους ήταν γνωστή στους Άγγλους, αυτοί δίστασαν να τα χρησιμοποιήσουν για να μην τύχουν εκμετάλλευσης από τους Γερμανούς. Τα χρησιμοποιήσαν τελικά όταν ήταν άκρως απαραίτητο και σε μόλις 6 εβδομάδες άρχισαν να τα χρησιμοποιούν και οι Γερμανοί.

Για να αντιμετωπίσουν τα Chaffs, οι Γερμανοί εισήγαγαν νέες τεχνικές επεξεργασίας των σημάτων από τα ραντάρ. Παρατήρησαν ότι οι πραγματικοί στόχοι συνέχιζαν να κινούνται με σταθερή ταχύτητα ενώ τα chaffs, επιβραδυνόταν. Έτσι άρχισαν να επεξεργάζονται τους στόχους με τεχνικές που βασίζονταν στο φαινόμενο Doppler.

Flensburg

Πλέον οι Γερμανοί τοποθετούν στα Α/Φ συστήματα RWR. Τα συστήματα αυτά είχαν το πλεονέκτημα ότι ήταν πλήρως παθητικά και δεν πρόδιδαν τη θέση τους. Αντικαταστάτης του **Naxos** (όπως αναφέρθηκε παραπάνω) ήταν το RWR **Flensburg** το οποίο προσέφερε πλέον και τη δυνατότητα για αυτόματη καθοδήγηση για αναχαίτηση.

Οι Άγγλοι τοποθετούσαν στα τελευταία Α/Φ των σχηματισμών των βομβαρδιστικών τους ένα σύστημα ραντάρ με την ονομασία Monica. Το Ραντάρ αυτό είχε σαν σκοπό να αποκαλύπτει τυχόν απειλές στο πίσω ημισφαίριο. Παρόλα αυτά έδωσε τη δυνατότητα στους Γερμανούς να αναχαιτίσουν όλο το σχηματισμό, χρησιμοποιώντας μόνο το **Flensburg**. Οι Άγγλοι ανακάλυψαν τη τραγική λειτουργία του **Monica**, όταν γερμανικό Ju-88 προσγειώθηκε στην Αγγλία λόγω βλάβης του συστήματος πλοήγησης και τελικά απέσυραν όλα τα Monica από τα Α/Φ τους.

δ. Η Μάχη του Ειρηνικού

Μετά την ανεπαρκή αξιοποίηση των Η/Μ πληροφοριών από το Pearl Harbor, οι ΗΠΑ επενδύουν πλέον στον ΗΠ. Για το σκοπό αυτό στο πανεπιστήμιο του Harvard, από το 1941 έως το 1945, λειτούργησε το τμήμα RRL (Radio Research Laboratory).

Οι Αμερικάνοι χρησιμοποιούν πλέον κατά κόρον τα Α/Φ σε επιχειρήσεις ELLINT. Το πρώτο Α/Φ που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Vultee PB4Y2 Privateer (Ναυτική έκδοση του B-24) το οποίο έφερε πλήρωμα 12 αναλυτών και αποτελούσε ένα πλήρες κέντρο

Η/Μ υποκλοπών. Τα Α/Φ εκτελούσαν περιπολίες στον Ειρηνικό για να εντοπίσουν τυχόν ακτινοβολίες ραντάρ των Ιαπώνων.

Εκτός από τις αποστολές ELINT, οι Αμερικάνοι χρησιμοποίησαν και Α/Φ για αποστολές ECM (Electronic Counter Measures). Αυτά τα Α/Φ ονομάστηκαν Porcupines και ήταν ομότυπα με αυτά που διέθετε κάθε πτέρυγα. Η αποστολή τους ήταν να παρεμβάλουν τα ραντάρ κατεύθυνσης των Α/Α όπλων για όσο διάστημα επιχειρούσαν τα βομβαρδιστικά των ΗΠΑ.

Η νίκη των ΗΠΑ στην ναυμαχία του Midway, που έκρινε ουσιαστικά την έκβαση της μάχης του Ειρηνικού βασίστηκε στις ηλεκτρονικές υποκλοπές των επικοινωνιών των Ιαπώνων. Οι Αμερικάνοι είχαν ήδη σπάσει τον κώδικα επικοινωνιών των Ιαπώνων στο κέντρο του Οαχου (το νησί όπου ήταν το κέντρο ηλεκτρονικών πληροφοριών των ΗΠΑ) με αποτέλεσμα να μάθουν για το μέρος που θα πραγματοποιηθεί η επίθεση των Ιαπώνων και με αιφνιδιαστικές αεροπορικές επιθέσεις να βυθίσουν τα ιαπωνικά αεροπλανοφόρα.

2.7 Ψυχρός Πόλεμος, 1952

Από τις αρχές του 1948 μέχρι και τα τέλη του 1980, η Σοβιετική Ένωση, σε μια άνευ προηγουμένου μαζική λογοκρισία, λειτουργούσε περισσότερους από 1700 σταθμούς για να παρεμβάλει – φιμώσει όλες τις ραδιοφωνικές μεταδόσεις που προερχόταν από τη Δύση, όπως το BBC, Voice of America ακόμη και τον ραδιοφωνικό σταθμό του Βατικανού. Το πρόγραμμα αυτό εκτιμάται ότι είχε μια συνολική εκπεμπόμενη ισχύ της τάξεως των 45 Megawatts και η λειτουργία του κόστιζε εκατομμύρια δολάρια ετησίως.

2.8 Πυραυλική Κρίση της Κούβας, 1962

Μη επανδρωμένα αεροσκάφη με δέκτες ώστε να μπορούν να ανιχνεύσουν τους πυραύλους εδάφους αέρος θα πετούν πάνω από το νησί. Τα συνοδεύουν αναγνωριστικά αεροσκάφη RB-47H. Τα αναγνωριστικά χρησιμοποιούν συστήματα αντιμέτρων για να προστατευτούν ενώ τα UAV εκπέμπουν σήμα που προσομοιάζει τα κατασκοπικά U-2 ώστε να ξεγελάσουν τις Πυροβολαρχίες αεράμυνας και να αποκαλύψουν τη θέση τους.

Το σχέδιο ακυρώθηκε την τελευταία στιγμή, αλλά τα UAV χρησιμοποιήθηκαν στο Βιετνάμ.

2.9 Ο Πόλεμος των 6 Ημερών, 1967

Στον πόλεμο αυτόν, η ισραηλινή αεροπορία έχοντας τοποθετήσει αμερικανικά συστήματα RWR και ECM pods, κατάφεραν να εξουδετερώσουν την αραβική αεράμυνα που αποτελούνταν από ρωσικά A/A συστήματα SA-2 και SA-3, χωρίς να κινδυνεύουν από αυτά. Παρασυρμένοι από την μεγάλη επιτυχία και θεωρώντας πως τα καινούργια A/A συστήματα που άρχισε να προμηθεύονται οι αραβικές ένοπλες δυνάμεις δεν πρόκειται να αποτελέσουν απειλή, δεν προέβησαν σε καμία αναβάθμιση των συστημάτων ΗΠ που διέθεταν τα αεροσκάφη τους.

Αυτό θα οδηγήσει στην απώλεια 40 ισραηλινών αεροσκαφών σε μόλις 48 ώρες όταν ξεκίνησε ο πόλεμος Γιομ Κιπούρ καθώς ο συριακός και αιγυπτιακός στρατός είχε πλέον προμηθευτεί συστήματα SA-6 τα οποία χρησιμοποιούσαν ραντάρ συνεχούς κύματος (αντί παλμικών που είχαν τα SA-2 και SA-3) τα οποία δεν γίνονταν αντιληπτά από τα ισραηλινά αεροσκάφη.

2.10 Μάχη της Λαττάκειας, 1973

Τη δεύτερη μόλις μέρα του πολέμου του Γιομ Κιπούρ, πέντε ισραηλινά πλοία πλησιάζουν το λιμάνι της Λαττάκειας όταν δέχονται επίθεση από συριακά σκάφη με πυραύλους P-15 Termite. Οι Ισραηλινοί χρησιμοποιώντας ένα πρόσφατο σύστημα Ηλεκτρονικών Αντιμέτρων που είχαν εγκαταστήσει στα πλοία, παρεμβάλουν το σύστημα καθοδήγησης των πυραύλων. Στη συνέχεια αντεπιτίθενται με πυραύλους Gabriel και καταφέρνουν να βυθίσουν και τα τρία συριακά πλοία.

2.11 Πόλεμος Λιβάνου, 1982

Αντιλαμβανόμενοι τη σημαντικότητα του ΗΠ οι ισραηλινοί, μετά τον πόλεμο των 6 ημερών, αρχίζουν να εξοπλίζονται με πολλαπλά συστήματα ΗΠ (Αεροσκάφη Έγκαιρης Προειδοποίησης E-2C, νέα συστήματα RWR και pod παρεμβολών, αεροσκάφη C-130 εξοπλισμένα με συστήματα COMINT και ELINT, UAV, Drones «δολώματα» - Samson drones, πυραύλους αντιραντάρ).

Οι πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν καθώς και η χρήση των ΗΠ συστημάτων, θα βοηθήσει αποφασιστικά στην καταστροφή 64 αεροσκαφών της Συρίας σε μόλις 2 ημέρες (χωρίς καμία απώλεια από τους Ισραηλινούς), την 9 και 10 Ιουνίου όπως επί-

σης και στη καταστροφή 17 από τις 19 πυροβολαρχίες A/A σε μόλις 10 λεπτά. Οι υπόλοιπες 2 καταστράφηκαν την επόμενη ημέρα.

2.12 Η Εισβολή στον Παναμά, 1989

Από την εποχή του ψυχρού πολέμου, σχέδια A/Φ όπως το A-12 έκαναν την «αορατότητα» πραγματικότητα. Μόλις το 1989 έγινε η πρώτη επιχειρησιακή χρησιμοποίηση τέτοιων A/Φ όταν 2 F-117 απέφυγαν την ανίχνευση από τα ραντάρ αεράμυνας και βομβάρδισαν το αεροδρόμιο Rio Hato, κατά την εισβολή των ΗΠΑ στον Παναμά. Τα F-117 συνέχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως στους πολέμους που ακολούθησαν (πόλεμος του Κόλπου, Κόσοβο, Αφγανιστάν, Ιράκ, Λιβύη).

2.13 Πόλεμος του Κόλπου, 1991

Ήταν ο πρώτος πόλεμος στον οποίο έγινε εκτεταμένη χρήση GPS. Παρόλη την επιτυχία του, το GPS παραμένει ακόμη και σήμερα πολύ εύκολο να προσβληθεί από ΗΠ. Κατά τη διάρκεια το πολέμου οι Ιρακινοί με χρήση συσκευών χαμηλής τεχνολογίας κατάφεραν να προσομοιάσουν το σήμα GPS (masking) δημιουργώντας προβλήματα στους Αμερικανούς.

Επί 6 μήνες, αεροσκάφη RC-135, EP-3, U-2, Nimrod των ΗΠΑ εκτελούσαν αποστολές SIGINT με σκοπό τη δημιουργία λεπτομερούς EOB. Επίσης αμερικανικά αεροσκάφη παραβίαζαν συχνά τον εναέριο χώρο του Ιράκ, το οποίο μη εφαρμόζοντας καθόλου έλεγχο εκπομπών (EMCON) ενεργοποιούσε συνεχώς τα ραντάρ αεράμυνας. Τα στοιχεία που συνέλεγαν οι Αμερικάνοι χρησιμοποιούνταν για στοχοποίηση, προγραμματισμό των RWR και των συστημάτων παρεμβολών.

Τα UAV «δολώματα» σε συνδυασμό με τους πυραύλους αντιραντάρ, οδήγησαν σε πολλές απώλειες των A/A συστημάτων του Ιράκ οι οποίες θα ήταν ακόμα μεγαλύτερες αν οι ΗΠΑ διέθεταν πιο σύγχρονα συστήματα παρεμβολών (τα περίπου 300 που υπήρχαν δεν ήταν αποτελεσματικά εναντίον των νεότερων SA-6 και SA-8)

2.14 Ενεργειακά Πεδία, Αόρατοι Μανδύες, 2014-2019

Επιστήμονες στο Karlsruhe Institute of Technology στη Γερμανίας ανακαλύπτουν ένα υλικό το οποίο μπορεί να καθιστά αόρατα αντικείμενα που τοποθετούνται μέσα σε αυτό.

Την επόμενη χρονιά, η Boeing κατοχύρωσε πατέντα με αριθμό 8981261 που αφορά στη κατασκευή ενός συστήματος προστασίας οχημάτων και κτιρίων από έκρηξη θερμαίνοντας τον αέρα με μια γεννήτρια βολταϊκού τόξου δημιουργώντας μια προστατευτική ασπίδα από πλάσμα γύρω από το προς προστασία αντικείμενο.

Τον Οκτώβριο 2019, η канаδική εταιρία Hyperstealth Biotechnology, η οποία ειδικεύεται στη κατασκευή υλικών παραλλαγής, παρουσίασε ένα υλικό με την ονομασία «Quantum Stealth» το οποίο μπορεί να οδηγεί το φως (ορατό ή IR) γύρω από αυτό κάνοντας έτσι τα αντικείμενα που βρίσκονται πίσω του αόρατα.



Εικ. 2.21

Το υλικό Quantum Stealth. Εικόνες που έδωσε σε δημοσιότητα η εταιρία και δείχνουν την αποτελεσματικότητα του υλικού σε ορατό και μη ορατό φως.



US008981261B1

(12) **United States Patent**
Tillotson

(10) **Patent No.:** **US 8,981,261 B1**
(45) **Date of Patent:** **Mar. 17, 2015**

(54) **METHOD AND SYSTEM FOR SHOCKWAVE ATTENUATION VIA ELECTROMAGNETIC ARC**

(75) Inventor: **Brian J. Tillotson**, Kent, WA (US)

(73) Assignee: **The Boeing Company**, Chicago, IL (US)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 336 days.

5,400,688 A	3/1995	Eninger et al.
5,739,458 A	4/1998	Girard
6,029,558 A	2/2000	Stevens et al.
6,256,263 B1	7/2001	Stevens
6,266,926 B1	7/2001	Figge et al.
6,279,449 B1	8/2001	Ladika et al.
6,412,391 B1	7/2002	Stevens et al.
6,595,102 B2	7/2003	Stevens et al.
6,653,972 B1	11/2003	Krikorian et al.
6,782,790 B2 *	8/2004	Barrett 89/1.11

(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

(21) Appl. No.: **13/483,995**

WO 97/16697 5/1997
WO 2011/148165 12/2011

(22) Filed: **May 30, 2012**

OTHER PUBLICATIONS

(51) **Int. Cl.**
F42D 5/045 (2006.01)
F41H 5/007 (2006.01)

"Review of methods to attenuate Shock/Blast waves," Igra et al, Dec. 2012.*

(52) **U.S. Cl.**
USPC **219/383**; 219/201; 219/202; 89/36.01;
89/36.07; 89/36.08; 89/36.09

Primary Examiner — Joseph M Pelham
(74) *Attorney, Agent, or Firm* — Thompson Hine LLP

(58) **Field of Classification Search**

None
See application file for complete search history.

(57) **ABSTRACT**

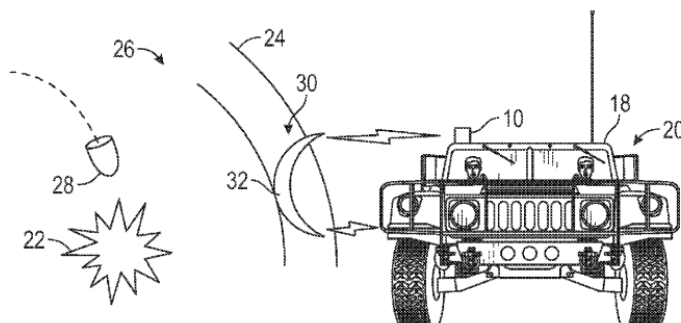
A method and system for attenuating a shockwave propagating through a first medium by heating a selected region of the first fluid medium rapidly to create a second, transient medium that intercepts the shockwave and attenuates its energy density before it reaches a protected asset. The second medium may attenuate the shockwave by one or more of reflection, refraction, dispersion, absorption and momentum transfer. The method and system may include a sensor for detecting a shockwave-producing event, determining a direction and distance of the shockwave relative to a defended target and calculating a firing plan, and an arc generator for creating the second medium. The arc generator may create the second medium by creating an electric arc that travels along an electrically conductive path utilizing at least one of high intensity laser pulses, pellets forming a conductive ion trail, sacrificial conductors, projectiles trailing electrical wires, and magnetic induction.

23 Claims, 7 Drawing Sheets

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

1,195,042 A	8/1916	Leon	
2,405,694 A	8/1946	Nicolas	
2,513,279 A	7/1950	Albert	
3,050,707 A	8/1962	Baker et al.	
3,660,951 A	5/1972	Cadwell	
3,773,168 A	11/1973	Meinass	
3,875,844 A	4/1975	Hicks	
3,943,870 A	3/1976	Paslay	
4,215,630 A	8/1980	Hagelberg et al.	
4,313,181 A	1/1982	Holm	
4,543,872 A	10/1985	Graham et al.	
5,020,411 A *	6/1991	Rowan 89/1.11	
H1231 H	9/1993	Richards	
5,341,718 A	8/1994	Woodall et al.	
5,394,786 A	3/1995	Gettle et al.	



Εικ. 2.22

Η πρώτη σελίδα της πατέντας που κατέθεσε η Boeing σχετικά με τις ενεργειακές ασπίδες.

2.15 Το Μέλλον, Κβαντική Φυσική, 2017-

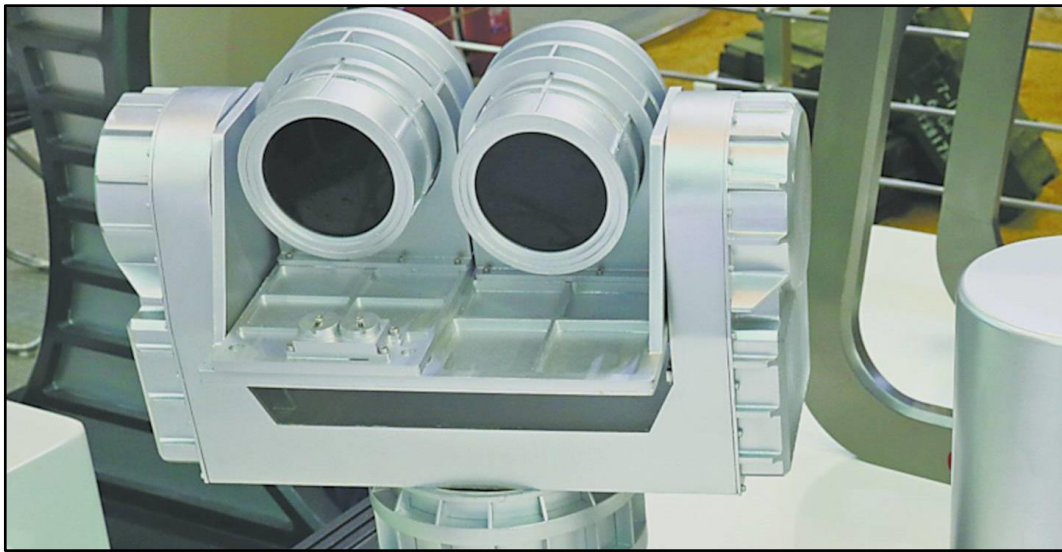
Τη δεδομένη στιγμή γίνεται ένας αγώνας δρόμου από πολλά πανεπιστήμια παγκοσμίως για την εκμετάλλευση της κβαντικής φυσικής. Κβαντικές επικοινωνίες και κβαντικά ραντάρ πρόκειται να κάνουν την εμφάνιση τους στα επόμενα χρόνια.

Η κρατική εταιρεία China Electronics Technology Group Corporation (CETC) παρουσίασε ένα πρωτότυπο κβαντικό ραντάρ στο διήμερο Zhuhai Airshow, το οποίο άνοιξε τις πόρτες του στις 6 Νοεμβρίου του 2018. Η CETC αναφέρει ότι το 14^ο Ινστιτούτο Έρευνας εργάζεται στο σύστημα εδώ και χρόνια και το δοκίμασε για πρώτη φορά το 2015. Τα κβαντικά ραντάρ λειτουργούν με τις ίδιες αρχές όπως τα κλασικά ραντάρ, αλλά αντί για ραδιοκύματα, εκπέμπουν κβαντικά εναγκαλισμένα φωτόνια. Η αλλαγή της κβαντικής κατάστασης του ενός φωτονίου οδηγεί στην ακαριαία αλλαγή της κατάστασης και του δεύτερου, ακόμα κι αν τα σωματίδια χωρίζονται από μεγάλη απόσταση και δεν επικοινωνούν μέσω κάποιου μέσου. Τα φωτόνια (υποατομικά σωματίδια) δεν επηρεάζονται από το σχήμα του αεροσκάφους και δεν είναι ευάλωτα σε αντίμετρα.

Στον τομέα των αντι-στελθ ραντάρ υποτίθεται ότι το ένα φωτόνιο που επηρεάζεται από το αντικείμενο στο οποίο προσπίπτει επηρεάζει αυτόματα την κατάσταση του άλλου που λαμβάνεται από το ραντάρ και έτσι αποκαλύπτει την ύπαρξη του αντικειμένου παρά την τεχνολογία VLO που χρησιμοποιεί.

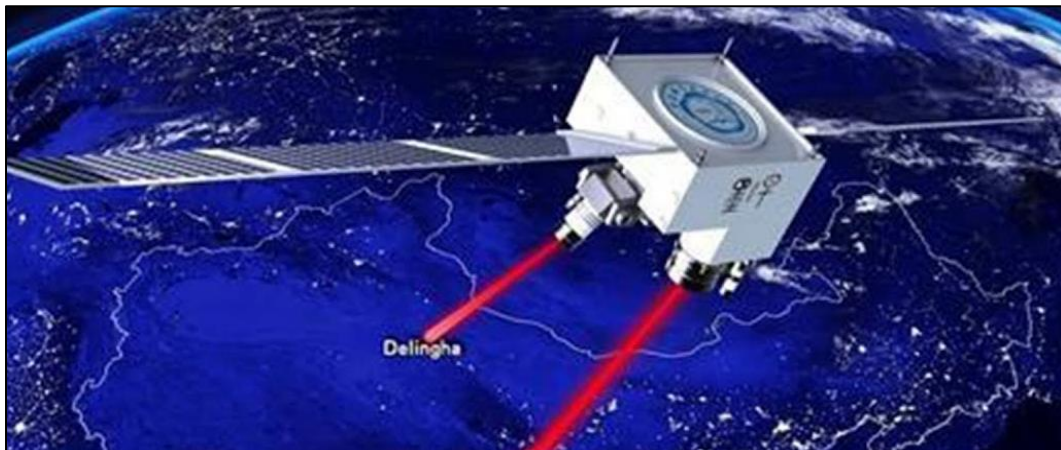
Τα κβαντικά ραντάρ θεωρούνται από πολλούς ως το μέλλον στην ανίχνευση VLO στόχων. Ωστόσο ουδείς μπορεί να επιβεβαιώσει αυτή τη στιγμή πως η Κίνα έχει όντως κατασκευάσει ένα λειτουργικό κβαντικό ραντάρ.

Ενώ η λειτουργία του παραπάνω ραντάρ δεν έχει επιβεβαιωθεί, η κβαντική δορυφορική επικοινωνία είναι μια πραγματικότητα. Η Κίνα κατάφερε με τη χρήση του δορυφόρου της «Micius» να μεταφέρει πληροφορία σε απόσταση 1200 χιλιομέτρων αποκλειστικά με χρήση κβάντων φωτός. Στις 29 Σεπτεμβρίου 2017 πραγματοποιήθηκε η πρώτη κρυπτογραφημένη βιντεοκλήση μεταξύ της Κινεζικής Ακαδημίας Επιστημών στο Πεκίνο και της Αυστριακής Ακαδημίας Επιστημών στη Βιέννη (7600 χιλιόμετρα). Το κλειδί για να γίνει η αποκρυπτογράφηση της βιντεοκλήσης ήταν μια τυχαία σειρά από 0 και 1 που λάμβαναν ταυτόχρονα και οι δύο συμμετέχοντες από τον δορυφόρο, μέσω εναγκαλισμένων φωτονίων.



Εικ. 2.23

Το υποτιθέμενο πρωτότυπο κβαντικό ραντάρ όπως παρουσιάστηκε από τους Κινέζους

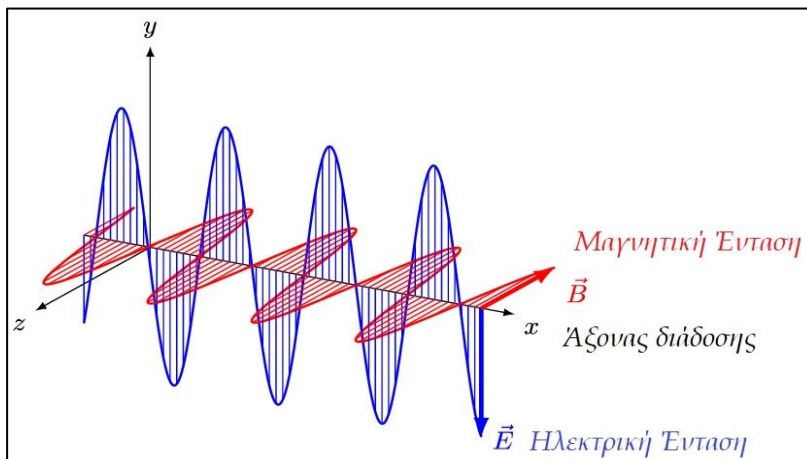


Εικ. 2.24

Ο κινέζικος κβαντικός δορυφόρος Micius

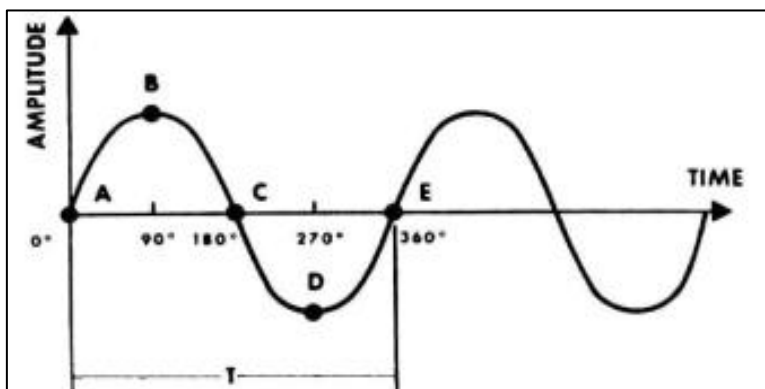
Κεφάλαιο 3^ο : Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα

3.1 Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα



Ηλεκτρομαγνητικά κύματα ορίζονται οι μορφές ακτινοβολούμενης ενέργειας όπως τα ραδιοκύματα, η υπέρυθρη ακτινοβολία, τα κύματα φωτός, οι ακτίνες γάμμα και η κοσμική ακτινοβολία. Ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά διότι έχουν τόσο ηλεκτρικές όσο και μαγνητικές ιδιότητες. Αποτελούνται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο, τα οποία το ένα παράγει το άλλο, είναι κάθετα μεταξύ τους και μετακινούνται στο χώρο σε κάθετη διεύθυνση στο επίπεδο.

3.2 Χαρακτηριστικά Η/Μ Κυμάτων



Εικ. 3.1

Ένταση Η/Μ κύματος συναρτήσει του χρόνου

α. Πλάτος (Amplitude)

Είναι το μέτρο έντασης της Η/Μ ακτινοβολίας. Αναπαρίστανται από την κάθετη απόσταση ανάμεσα στη καμπύλη του κύματος και της γραμμής 0.

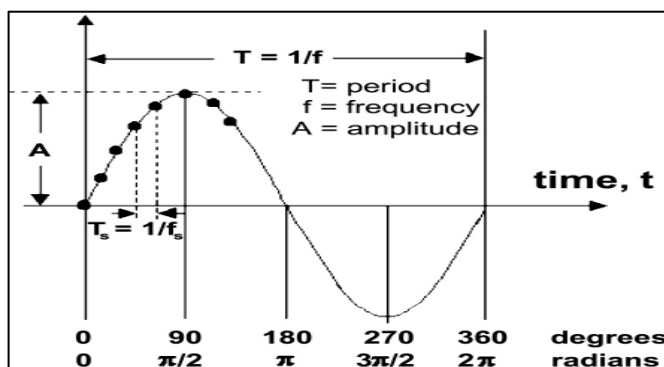
β. Κύκλος (Cycle)

Είναι μια πλήρης θετική και αρνητική μεταβολή ενός περιοδικού σήματος. Τα σημεία Α, Β, C, D στο παραπάνω σχήμα, αναπαριστούν ένα πλήρη κύκλο.

γ. Φάση (Phase)

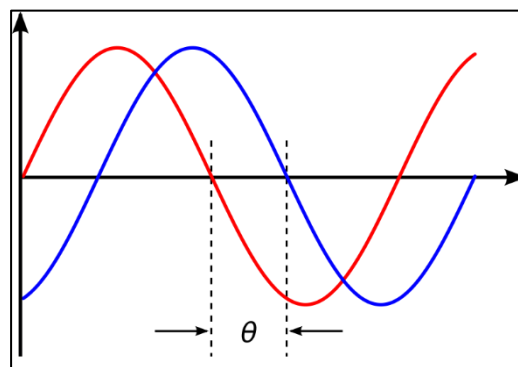
Είναι η θέση ενός χρονικού σημείου τη δεδομένη στιγμή σε ένα κύκλο κυματομορφής. Ένας κύκλος έχει φάση 360° . Η Φάση πολλές φορές εκφράζεται και σε ακτίνια.

Η διαφορά των φάσεων μεταξύ 2 κυμάτων που έχουν ίδια συχνότητα σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο, καλείται διαφορά φάσης, ενώ οποιαδήποτε μεταβολή της φάσης ή της διαφοράς φάσης 2 ή περισσότερων σημάτων καλείται μετατόπιση φάσης και συμβολίζεται συνήθως με « ϕ ».



Εικ. 3.2

Απεικόνιση των φάσεων ενός κύκλου



Εικ. 3.3

Μετατόπιση φάσης κατά $\pi/2$

δ. Συχνότητα (Frequency)

Ο αριθμός των κύκλων που εκτελεί ένα περιοδικό κύμα σε ένα δευτερόλεπτο. Συμβολίζεται με « f » και η βασική μονάδα μέτρησης είναι το **Hertz (Hz)**. Ένα hertz ισούται με έναν κύκλο το δευτερόλεπτο και τα κυριότερα πολλαπλάσια που χρησιμοποιούνται είναι:

Kilohertz = 1000 κύκλοι/δλ

Megahertz = 1.000.000 κύκλοι/δλ

Gigahertz = 1.000.000.000 κύκλοι/δλ

ε. Περίοδος (Period)

Είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός κύκλου. Η περίοδος είναι το αντίστροφο της συχνότητας και συμβολίζεται με « T ».

στ. Ταχύτητα Διάδοσης

Όλα τα Η/Μ κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός ($3 \cdot 10^8$ m/sec). Σε άλλα μέσα, η ταχύτητα εξαρτάται από τη διηλεκτρική σταθερά (ϵ) και

τη μαγνητική διαπερατότητα (μ) του μέσου. Ο μαθηματικός τύπος υπολογισμού της ταχύτητας είναι:

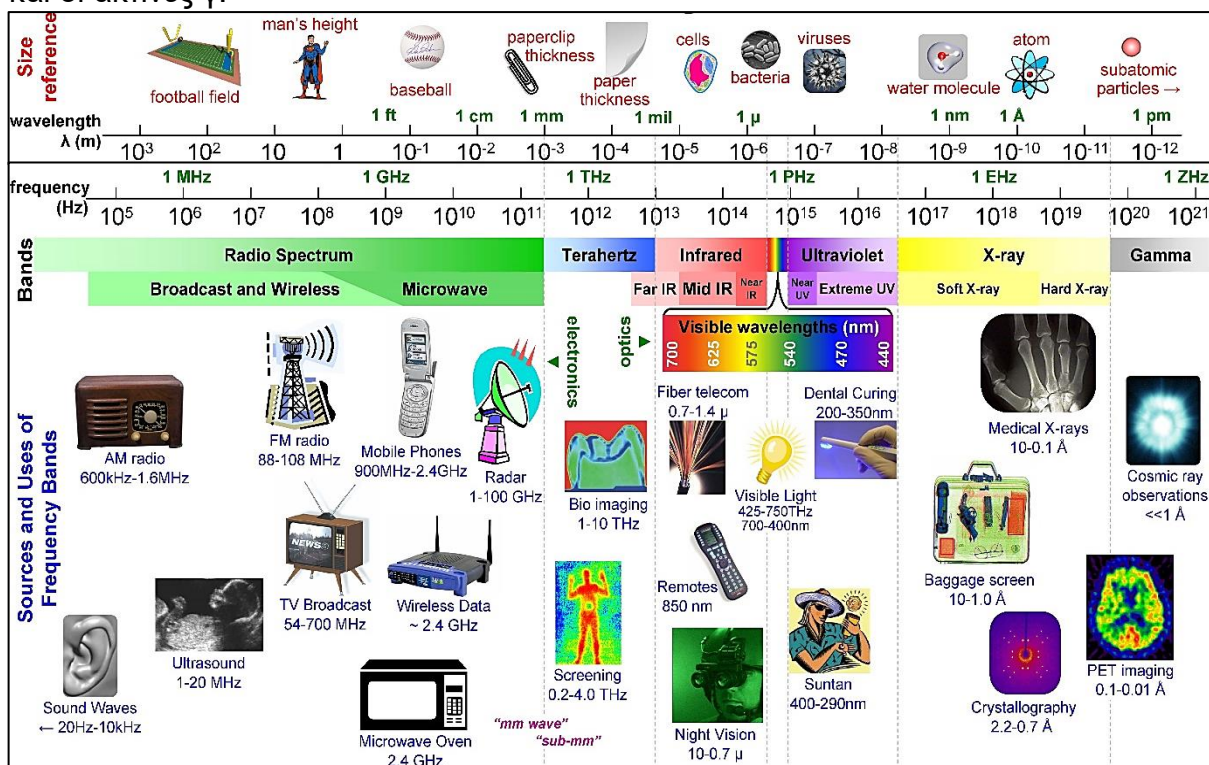
$$u = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

ζ. Μήκος Κύματος (Wavelength)

Το μήκος κύματος είναι η απόσταση που ταξιδεύει το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου (ή σε χρόνο που απαιτείται για έναν πλήρη κύκλο). Συμβολίζεται διεθνώς με το γράμμα « λ » και μετριέται σε μέτρα (m). Όσο η συχνότητα αυξάνει, το μήκος κύματος ελαττώνεται.

3.3 Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται θεωρητικά από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. Με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες. Αυτές είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, η υπέρυθρη ακτινοβολία, η ορατή ακτινοβολία (φως), η υπεριώδης ακτινοβολία, οι ακτίνες Χ και οι ακτίνες γ.



Εικ. 3.4

Το Η/Μ Φάσμα - Εφαρμογές

Η κάθε κατηγορία Η/Μ κυμάτων διαιρείται περαιτέρω σε ζώνες συχνοτήτων. Ο λόγος που πραγματοποιείται αυτός ο διαχωρισμός, είναι διότι τα ραδιοκύματα που ανήκουν σε μια κατηγορία, έχουν παρόμοιες ιδιότητες.

Ονομασία	Συμβολισμός	Συχνότητα	Μήκος Κύματος
Extremely low frequency	ELF	3–30 Hz	100,000–10,000 km
Super low frequency	SLF	30–300 Hz	10,000–1,000 km
Ultra low frequency	ULF	300–3,000 Hz	10,000–1,000 km
Very low frequency	VLF	3–30 kHz	100–10 km
Low frequency	LF	30–300 kHz	10–1 km
Medium frequency	MF	300–3,000 kHz	1,000–100 m
High frequency	HF	3–30 MHz	100–10 m
Very high frequency	VHF	30–300 MHz	10–1 m
Ultra high frequency	UHF	300–3,000 MHz	1–0.1 m
Super high frequency	SHF	3–30 GHz	100–10 mm
Extremely high frequency	EHF	30–300 GHz	10–1 mm
Tremendously high frequency	THF	300–3,000 GHz	1–0.1 mm

Εικ. 3.5
Διάρθρωση
Η/Μ κυμάτων

Πέρα από τα παραπάνω, υπάρχουν και άλλοι τρόποι διαχωρισμού των Η/Μ κυμάτων. Οι πιο δημοφιλείς είναι οι ονομασίες βάσει **NATO** και του **IEEE** (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
HF	0.003 to 0.03 GHz
VHF	0.03 to 0.3 GHz
UHF	0.3 to 1 GHz
L	1 to 2 GHz
S	2 to 4 GHz
C	4 to 8 GHz
X	8 to 12 GHz
K _u	12 to 18 GHz
K	18 to 27 GHz
K _a	27 to 40 GHz
V	40 to 75 GHz
W	75 to 110 GHz
mm or G	110 to 300 GHz

Εικ. 3.6

Διάρθρωση Η/Μ κυμάτων
βάσει του IEEE

ΝΕΑ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ		ΠΑΛΙΑ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (ΜΗΖ)	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (ΜΗΖ)
A	0 – 250	I	100 – 150
		G	150 – 225
B	250 – 500	P	225 – 390
C	500 – 1 000	L	390 – 1 550
D	1 000 – 2 000	S	1 550 – 3 900
E	2 000 – 3 000		
F	3 000 – 4 000		
G	4 000 – 6 000	C	3 900 – 6 200
H	6 000 – 8 000	X	6 200 – 10 900
I	8 000 – 10 000		
J	10 000 – 20 000	K _u	10 900 – 20 000
K	20 000 – 40 000	K _a	20 000 – 36 000
L	40 000 – 60 000	Q	36 000 – 46 000
		V	46 000 – 56 000
M	60 000 – 100 000	W	56 000 – 100 000

Εικ. 3.7

Παλαιά και νέα ονοματολογία βάσει NATO

3.4 Πόλωση (Polarization)

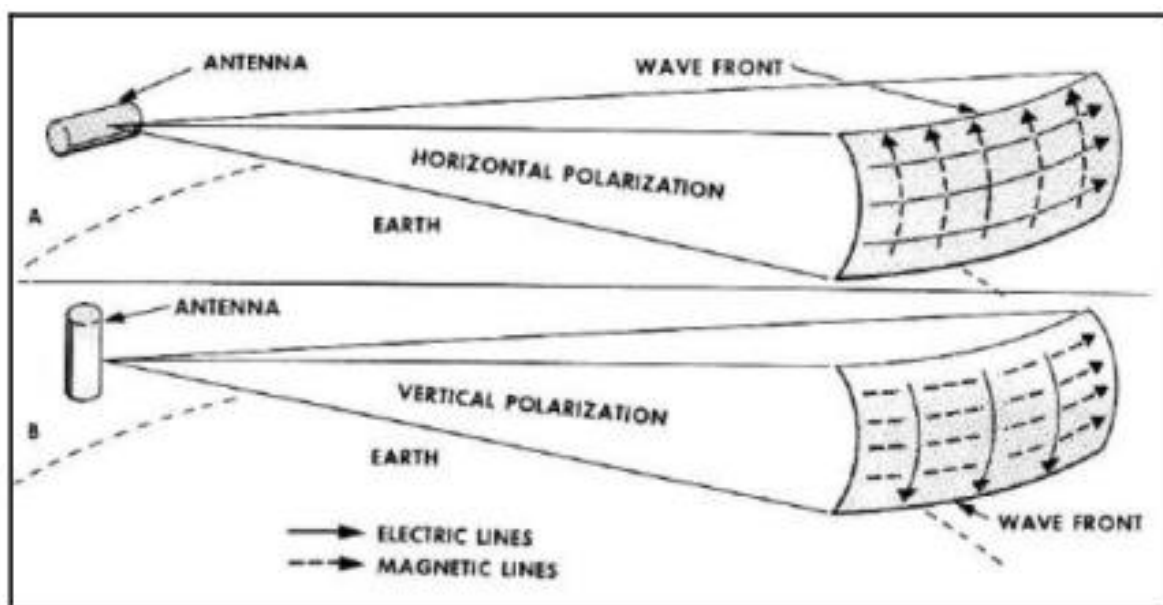
Η πόλωση των Η/Μ κυμάτων αναφέρεται στον φυσικό προσανατολισμό του κύματος. Ο τρόπος ονομασίας της πόλωσης έχει τυποποιηθεί και έχει να κάνει με την ταύτιση του ηλεκτρικού πεδίου σε σχέση με κάποιο επίπεδο αναφοράς (συνήθως η επιφάνεια της γης). Η πόλωση διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, αυτή που δεν μεταβάλλεται με το χρόνο – **γραμμική πόλωση** ή τη χρονικά μεταβαλλόμενη πόλωση – **μη γραμμική/ελλειπτική**.

α. Γραμμική πόλωση

Οριζόντια πόλωση (Horizontal polarization): Το ηλεκτρικό πεδίο είναι παράλληλο στο έδαφος.

Κάθετη πόλωση (Vertical polarization): Το ηλεκτρικό πεδίο είναι κάθετο στο έδαφος.

Κεκλιμένη πόλωση (Slanted polarization): Ονομάζεται και πόλωση σταθερής γωνίας. Το ηλεκτρικό πεδίο σχηματίζει μια συγκεκριμένη γωνία με το οριζόντιο επίπεδο.



Εικ. 3.8

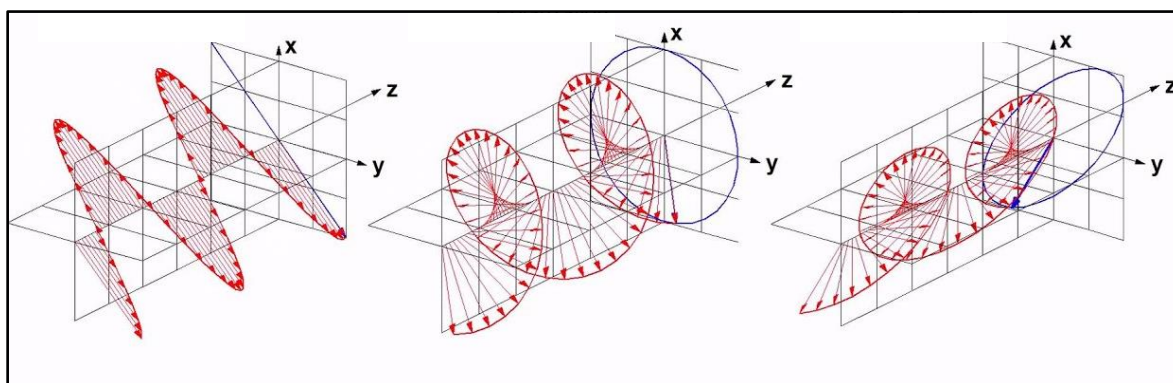
Οριζόντια και κατακόρυφη πόλωση

β. Μη γραμμική πόλωση

Κυκλική πόλωση: Το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο καθώς περιστρέφονται διατηρούν τις ίδιες μέγιστες τιμές. Η κυκλική πόλωση μπορεί να είναι

δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη (αναλόγως της περιστροφής του ηλεκτρικού πεδίου προς τη κατεύθυνση διάδοσης του κύματος).

Ελλειπτική πόλωση: Το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο καθώς περιστρέφονται δεν διατηρούν τις ίδιες μέγιστες τιμές αλλά αυτές μεταβάλλονται με κάποια σχέση. Όπως και στη κυκλική πόλωση, η ελλειπτική μπορεί να είναι δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη.



Εικ. 3.9

Από αριστερά προς τα δεξιά: Κεκλιμένη γραμμική πόλωση, κυκλική αριστερόστροφη πόλωση, ελλειπτική αριστερόστροφη πόλωση. (Τα κόκκινα βέλη αναπαριστούν το διάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου)

γ. Σημασία της πόλωσης

Η πόλωση παίζει σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση της επιτυχίας επικοινωνιών και των παρεμβολών. Όταν μια κεραία έχει κατασκευαστεί για να λαμβάνει σε συγκεκριμένη πόλωση, έχει δυσκολία στη λήψη κυμάτων διαφορετικής πόλωσης. Η μέγιστη ικανότητα λήψης μιας κεραίας είναι όταν αυτή έχει τοποθετηθεί παράλληλα με το ηλεκτρικό πεδίο του κύματος. Εάν αυτό δεν συμβαίνει, τότε η εξαγόμενη ενέργεια ελαττώνεται αναλόγως του συνημίτονου (**cos**) της γωνίας μεταξύ της πόλωσης της κεραίας και της πόλωσης του κύματος. Έτσι για παράδειγμα εάν μια κεραία έχει οριζόντια πόλωση το ποσοστό μεταφερόμενης ενέργειας από ένα κύμα κάθετης πόλωσης, είναι θεωρητικά μηδενικό ($\cos(90^\circ)=0$).

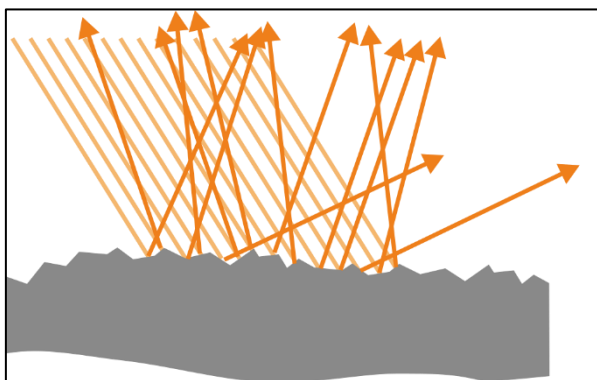
Αυτή η ορθογωνιότητα (πόλωση κεραίας και πόλωση κύματος σχηματίζουν ορθογώνια γωνία) αναφέρεται ως κάθετα διασταυρούμενη πόλωση (**Cross Polarization**). Στη περίπτωση μη γραμμικών πολώσεων (κυκλικών-ελλειπτικών) η διασταυρούμενη πόλωση, είναι αυτή που έχει αντίθετη φορά περιστροφής.

3.5 Διάδοση H/M κυμάτων

Η διάδοση των H/M κυμάτων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την επιφάνεια αλλά και την ατμόσφαιρα της γης. Σε οποιαδήποτε ανάλυση στην αποτελεσματικότητα των επικοινωνιών ή των παρεμβολών πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη τα φαινόμενα που επιδρούν στη διάδοση των H/M κυμάτων. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

α. Ανάκλαση (Reflection)

Ανάκλαση είναι η αλλαγή κατεύθυνσης διάδοσης της H/M ενέργειας κατά την πρόσπτωση σε ένα αντικείμενο με διαφορετική πυκνότητα από το μέσο διάδοσης της H/M ακτινοβολίας. Όταν η ανακλαστική επιφάνεια είναι λεία, δηλαδή η τραχύτητα της είναι αρκετά μικρότερη από το μήκος κύματος, η ανάκλαση ονομάζεται κατοπτρική. Σε αυτή την περίπτωση το ανακλώμενο κύμα διαδίδεται σε διεύθυνση που σχηματίζει γωνία με την κάθετη στην επιφάνεια που είναι ίση με την αντίστοιχη γωνία που σχηματίζει το κύμα που προσπίπτει στην επιφάνεια. Όταν η ανακλαστική επιφάνεια είναι τραχιά, δηλαδή η τραχύτητα της είναι συγκρίσιμη ή αρκετά μεγαλύτερη από το μήκος κύματος, η ανάκλαση ονομάζεται διάχυτη. Στην διάχυτη ανάκλαση το ανακλώμενο κύμα διαδίδεται προς διάφορες διευθύνσεις σε σχέση με την κάθετη στην επιφάνεια με κατανομή πρακτικά ανεξάρτητη της γωνίας πρόσπτωσης.

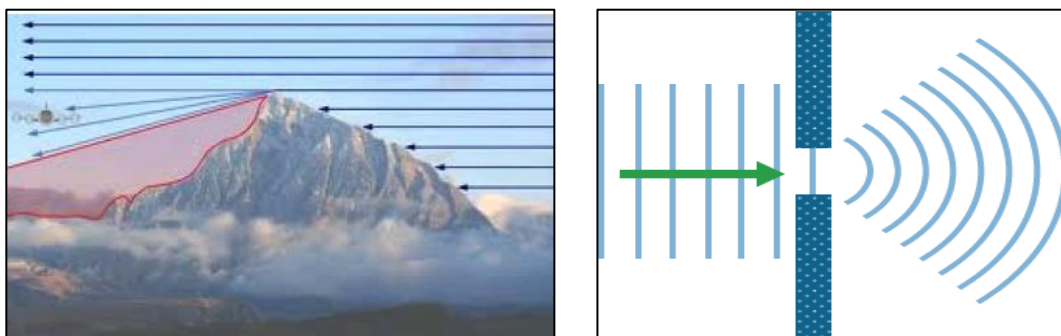


Εικ. 3.10

Σχηματική απεικόνιση της επιφανειακής μικροδομής που οδηγεί σε διάχυτη ανάκλαση

β. Περίθλαση (Diffraction)

Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με την καμπύλωση του H/M κύματος γύρω από αντικείμενα ή εμπόδια. Κάθε σημείο ενός κύματος μπορεί να θεωρηθεί μπορεί να θεωρηθεί ως νέα πηγή κυμάτων. Τα κύματα που έχουν υποστεί περίθλαση είναι δυνατό να ληφθούν σε αρκετή απόσταση πίσω από τα εμπόδια. Το ποσοστό περίθλασης εξαρτάται από το μέγεθος του εμποδίου σε σχέση με το μήκος κύματος του H/M κύματος. Η περίθλαση αποτελεί το λόγο που μερικές συχνότητες διαδίδονται πέραν της γραμμής οπτικής επαφής (Beyond Line of Sight, BLOS).



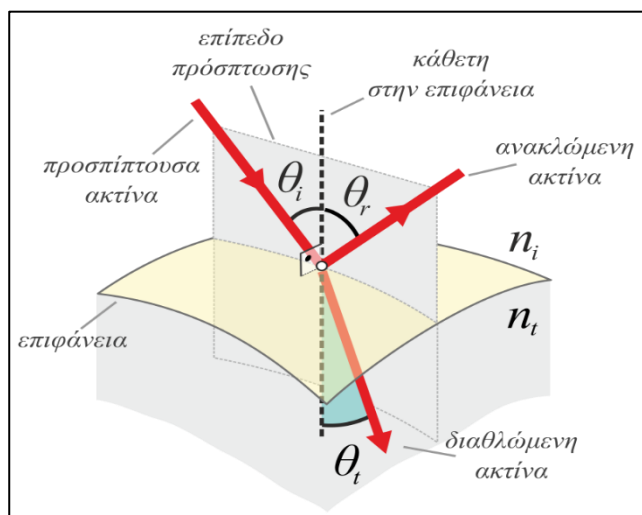
Εικ. 3.11

Παραδείγματα περίθλασης στα Η/Μ κύματα

γ. Διάθλαση (Refraction)

Η αλλαγή της κατεύθυνσης του Η/Μ κύματος εξαιτίας της αλλαγής στην ταχύτητα κίνησης όταν το κύμα διέρχεται από ένα μέσο με συγκεκριμένη πυκνότητα σε ένα άλλο με διαφορετική πυκνότητα. Η διάθλαση χαρακτηρίζεται από το δείκτη διάθλασης (n) για κάθε μέσο «Α», ως ο λόγος της ταχύτητας του Η/Μ κύματος στο κενό, προς τη ταχύτητα στο μέσο «Α».

$$n = \frac{c}{u_A} = \frac{\sqrt{\epsilon\mu}}{\sqrt{\epsilon_A\mu_A}}$$

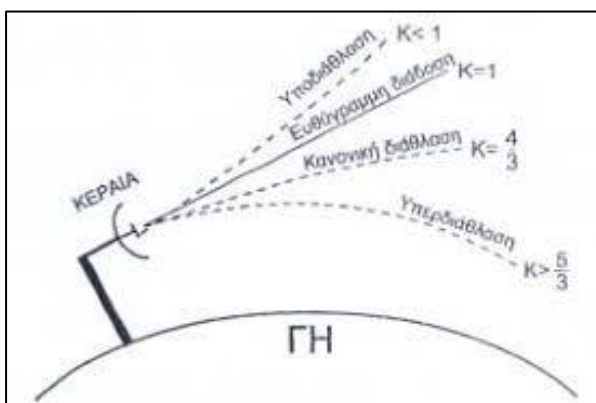


Εικ. 3.12

Τυπική γεωμετρία κατοπτρικής ανάκλασης και διάθλασης

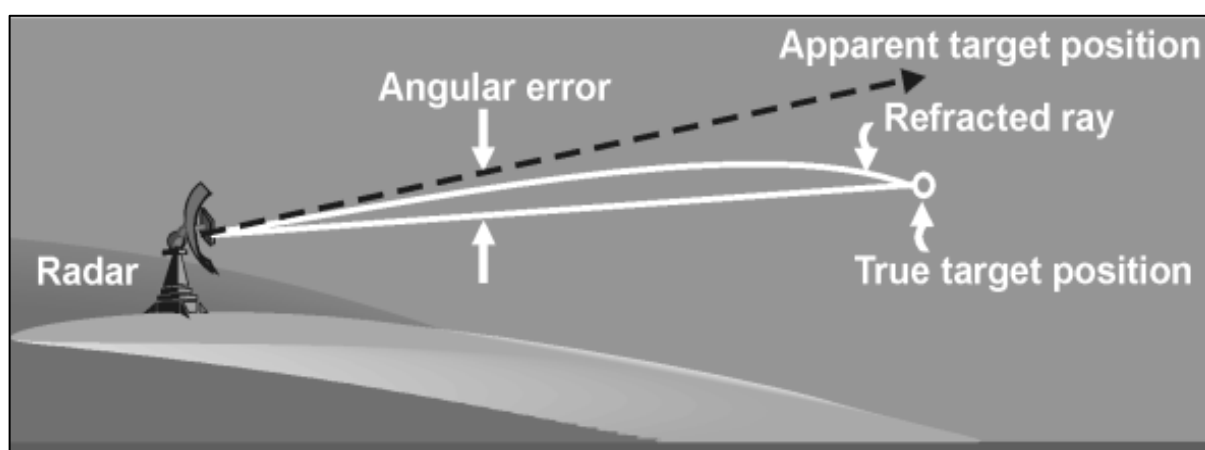
Στην ατμόσφαιρα, η πυκνότητα της οποίας μειώνεται αναλόγως του ύψους τα Η/Μ κύματα παρουσιάζουν διάθλαση διότι η πυκνότητα της ατμόσφαιρας μειώνεται όσο αυξάνεται το ύψος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το πάνω μέρος ενός Η/Μ κύματος να κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα από το χαμηλότερο τμήμα με αποτέλεσμα το συνολικό κύμα να παρουσιάζει καμπύλη (συνήθως προς τα κάτω).

Πολλές φορές ο δείκτης διάθλασης δεν ακολουθεί γραμμική μεταβολή με το ύψος από την επιφάνεια της γης λόγω ατμοσφαιρικών διαταραχών με αποτέλεσμα την ανώμαλη διάδοση των Η/Μ κυμάτων. Διακρίνονται έτσι οι περιπτώσεις της υποδιάθλασης (το κύμα κάμπτεται προς τα πάνω απομακρυνόμενο από την επιφάνεια της γης. Παρατηρείται συνήθως σε ομιχλώδη ατμόσφαιρα) και της υπερδιάθλασης (το κύμα κάμπτεται προς την επιφάνεια της γης).



Εικ. 3.13

Κανονική διάθλαση – Υποδιάθλαση - Υπερδιάθλαση



Εικ. 3.14

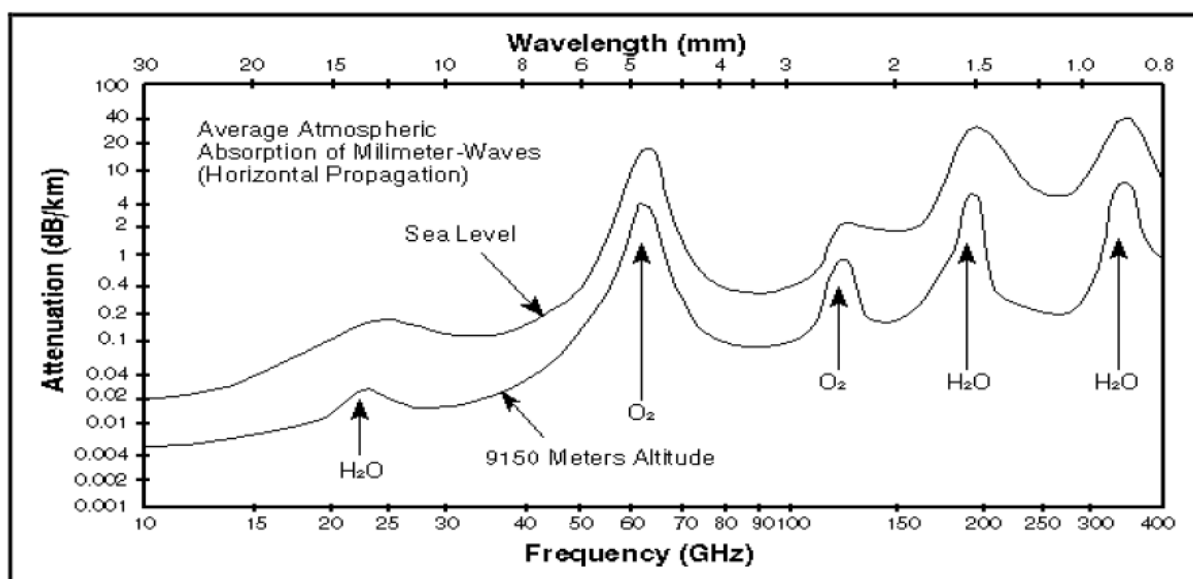
Επίδραση της διάθλασης. Αυτός είναι και ο λόγος που τα περισσότερα ραντάρ εγκαίρου προειδοποίησης (μεγάλης εμβέλειας ραντάρ αεράμυνας) δεν μπορούν να παρέχουν ή παρέχουν με μικρή ακρίβεια στοιχεία υψομέτρου ενός ίχνους καθώς δεν υπάρχει τρόπος να υπολογιστεί ο συνολικός δείκτης διάθλασης σε όλη την απόσταση που καλύπτει ένα τέτοιου τύπου ραντάρ (συνήθως μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα)

δ. Εξασθένιση (Attenuation)

Η βαθμιαία μείωση της έντασης της ενέργειας που μεταφέρει ένα Η/Μ κύμα. Η εξασθένιση προκαλείται από τον συνδυασμό της **Εξάπλωσης (Spreading)**, της **Απορρόφησης (Absorption)** και της **Σκέδασης (Scattering)**.

(1) Εξάπλωση (Spreading): Ένα Η/Μ κύμα κινούμενο μακριά από τη πηγή, απλώνεται – διασπείρεται προκαλώντας έτσι μείωση της πυκνότητας ισχύος ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης που έχει διανύσει. Το φαινόμενο αυτό είναι ανεξάρτητο από τη συχνότητα του Η/Μ κύματος.

(2) Απορρόφηση (Absorption): Όταν ένα κύμα ταξιδεύει σε ένα οποιοδήποτε μέσο (πλην του κενού) τότε τα σωματίδια που βρίσκονται στο μέσο αυτό (π.χ. μόρια νερού, οξυγόνου κ.λπ.) απορροφούν ένα μέρος της μεταφερόμενης ενέργειας. Η απορρόφηση σε αντίθεση με την εξάπλωση, εξαρτάται από τη συχνότητα. Σε συχνότητες κάτω από **15 GHz** είναι σχεδόν ασήμαντη αλλά σε υψηλότερες συχνότητες δεν είναι δυνατό να αγνοηθεί.



Εικ. 3.15

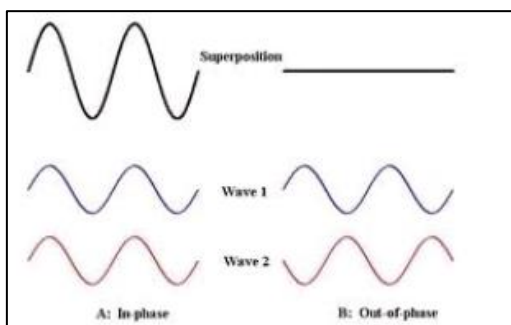
Ατμοσφαιρική εξασθένιση λόγω απορρόφησης

(3) Σκέδαση (Scattering): Η αλλαγή της κατεύθυνσης του Η/Μ κύματος λόγω της σύγκρουσης του με διάφορα σωματίδια. Η σκέδαση στην ατμόσφαιρα είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η συχνότητα. Επίσης η σκέδαση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη πόλωση. Για παράδειγμα σε βροχερό καιρό ένα Η/Μ κύμα με κυκλική πόλωση έχει πολύ μεγαλύτερες πιθανότητες να διαδοθεί από ότι ένα με γραμμική πόλωση.

ε. Φυσική Παρεμβολή (Interference)

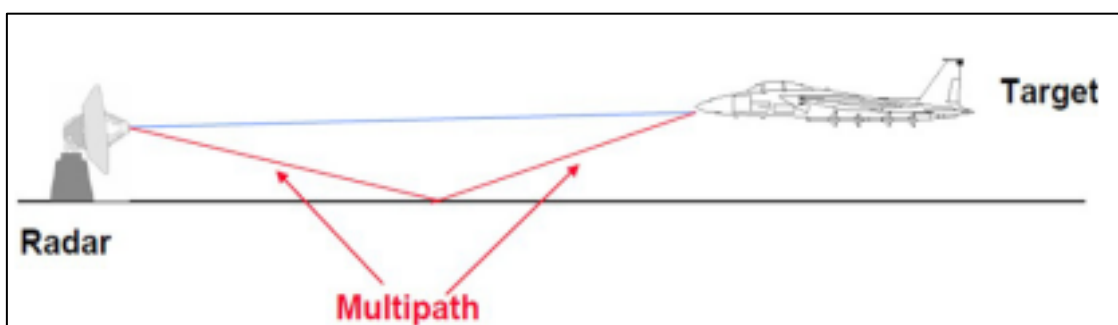
Όταν δύο ή περισσότερα κύματα ίδιας συχνότητας φτάνουν στο ίδιο

σημείο από διαφορετικές διαδρομές. Εξαιτίας της διαφοράς φάσης που κατά πάσα πιθανότητα θα έχουν τα κύματα αυτά, θα συμβάλουν μεταξύ τους θετικά (Δημιουργική παρεμβολή) ή αρνητικά (Καταστροφική παρεμβολή) δημιουργώντας ένα κύμα ισχυρότερο (πρώτη περίπτωση) ή μικρότερης έως μηδενικής έντασης (δεύτερη περίπτωση). Ένα συνηθισμένο πρόβλημα ειδικά σε συστήματα ραντάρ είναι η συμβολή από πολλαπλές διαδρομές (Multipath).



Εικ. 3.16

Πρόσθεση συμφασικών (αριστερά) και εκτός φάσης (δεξιά) κυμάτων



Εικ. 3.17

Φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών

στ. Μετατόπιση Συχνότητας (Doppler)

Ονομάζεται η φαινόμενη αλλαγή στη συχνότητα ενός Η/Μ κύματος, όπως αυτή γίνεται αισθητή από έναν παρατηρητή εξαιτίας της σχετικής κίνησης της πηγής σε σχέση με τον παρατηρητή. Μια σχετική κίνηση προσέγγισης της πηγής και του παρατηρητή έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας ενώ μια σχετική κίνηση απομάκρυνσης τη μείωση αυτής.

Το φαινόμενο Doppler εκμεταλλεύονται όλα τα ραντάρ αεράμυνας και κατεύθυνσης βλημάτων για την εξαγωγή στοιχείων ταχύτητας.

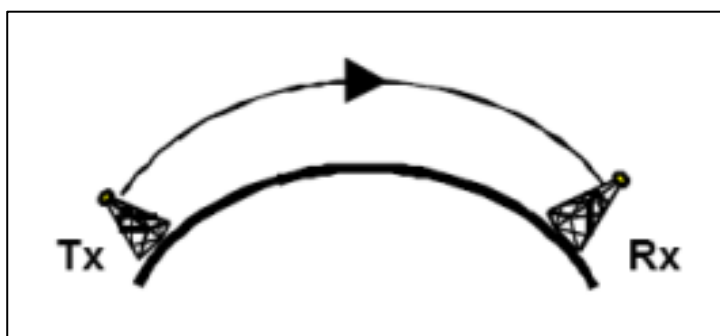
3.6 Τρόποι Διάδοσης των Η/Μ Κυμάτων

Εξαιτίας των φαινομένων της διάθλασης, της ανάκλασης και της περίθλασης, τα Η/Μ κύματα διαδίδονται με διαφορετικούς τρόπους όταν εκπέμπονται μέσα

στην ατμόσφαιρα. Οι τρόποι διάδοσης εξαρτώνται από τη συχνότητα του κύματος και το μέσο διάδοσης και επηρεάζονται από την επιφάνεια της γης. Οι τρεις κύριοι τρόποι διάδοσης είναι:

α. Επιφανειακά Κύματα (Surface Waves)

Τα κύματα που ακολουθούν την επιφάνεια της γης μέσω της περίθλασης. Επικοινωνίες σε αποστάσεις πέραν του οπτικού ορίζοντα μπορούν να επιτευχθούν με χρήση συχνοτήτων κάτω των 3 MHz.

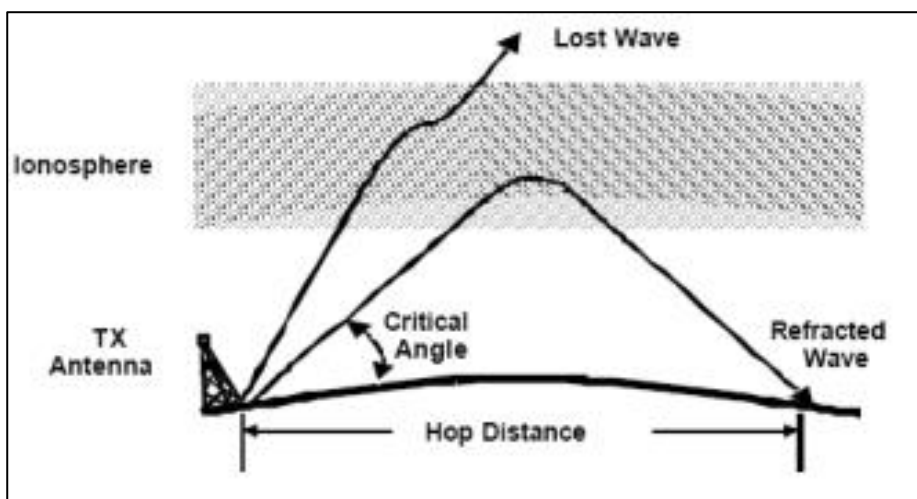


Εικ. 3.18

Επιφανειακό κύμα

β. Ουράνιο Κύμα (Sky Waves)

Τα κύματα τα οποία ταξιδεύουν προς τα επάνω και ανακλώνται ή κάμπτονται πίσω στη γη από τη τροπόσφαιρα ή την ιονόσφαιρα. Οι επικοινωνίες AM αποτελούν αντιπροσωπευτική εφαρμογή τέτοιων κυμάτων. Διακρίνονται σε 2 κατηγορίες:

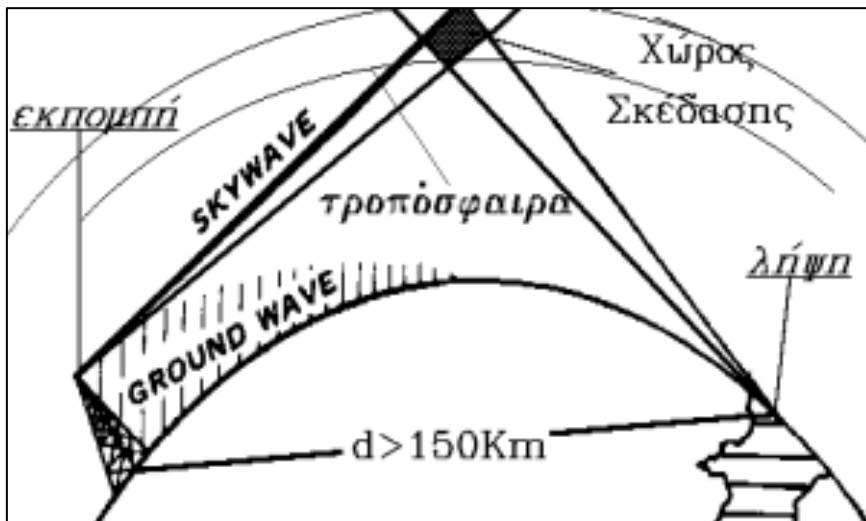


Εικ. 3.19

Ουράνιο κύμα

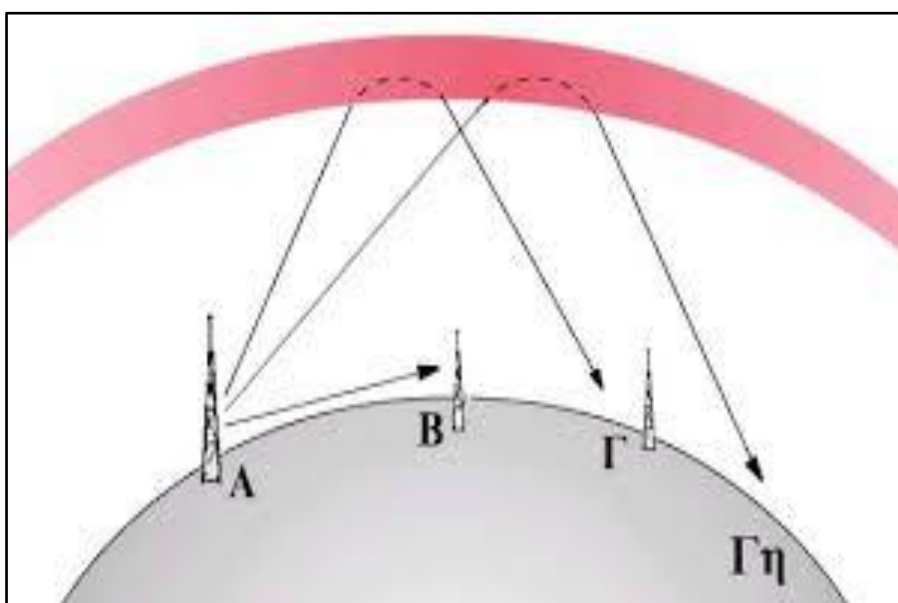
Τροποσφαιρικά κύματα: Λόγω της καμπυλότητας της γης σταθμοί που απέχουν πάνω από 150 km εμποδίζονται από το να έχουν απευθείας επαφή. Η επικοινωνία

νία γίνεται αξιοποιώντας το φαινόμενο της σκέδασης στη τροπόσφαιρα. Οι κεραίες εκπομπής και λήψης προσανατολίζονται ώστε να σχηματίζουν ένα κοινό χώρο ο οποίος ονομάζεται χώρος σκέδασης.



Εικ. 3.20
Τροποσφαιρικό κύμα

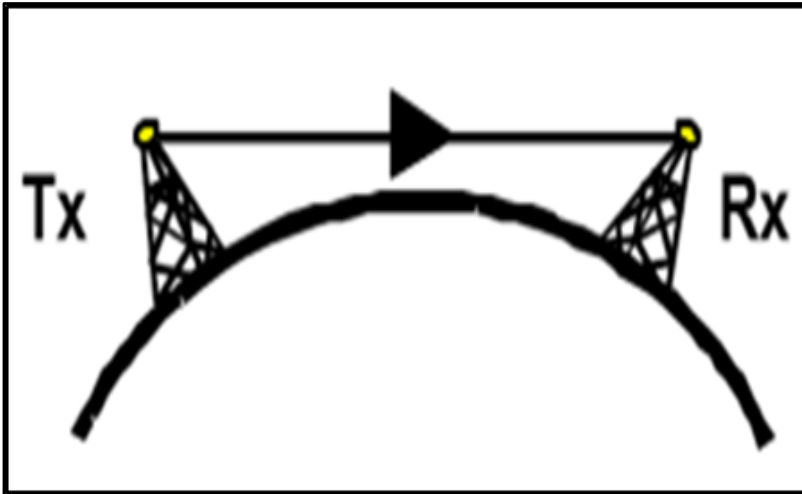
Ιονοσφαιρικό κύμα: Κάθε στρώμα της ιονόσφαιρας έχει διαφορετική πυκνότητα ηλεκτρονίων και συνεπώς διαφορετικό δείκτη διάθλασης, με αποτέλεσμα ένα κύμα που εισέρχεται σε αυτά να υφίσταται σταδιακά διάθλαση με τελικό αποτέλεσμα την επιστροφή του στη γη. Για να είναι επιτυχής η διάδοση, το σήμα πρέπει να είναι κάτω από μια **κρίσιμη συχνότητα** και επιπρόσθετα η γωνία πρόσπτωσης να είναι μικρότερη από τη **κρίσιμη γωνία**. Η κρίσιμη γωνία και η κρίσιμη συχνότητα είναι μεγέθη τα οποία μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους.



Εικ. 3.21
Ιονοσφαιρικό κύμα

γ. Κύμα Χώρου

Είναι ο μόνος τρόπος διάδοσης για συχνότητες πάνω από περίπου 30 MHz. Είναι γνωστά και ως Direct Waves και περιορίζονται σε αποστάσεις οπτικής επαφής (Optical Line of Sight). Λόγω της εξασθένησης η οποία είναι ανάλογη της συχνότητας, οι πομποί λειτουργούν με μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με πομπούς μικρότερων συχνοτήτων (και μεγαλύτερων αποστάσεων).



Εικ. 3.22
Κύμα Χώρου

Κεφάλαιο 4ο : Κεραίες

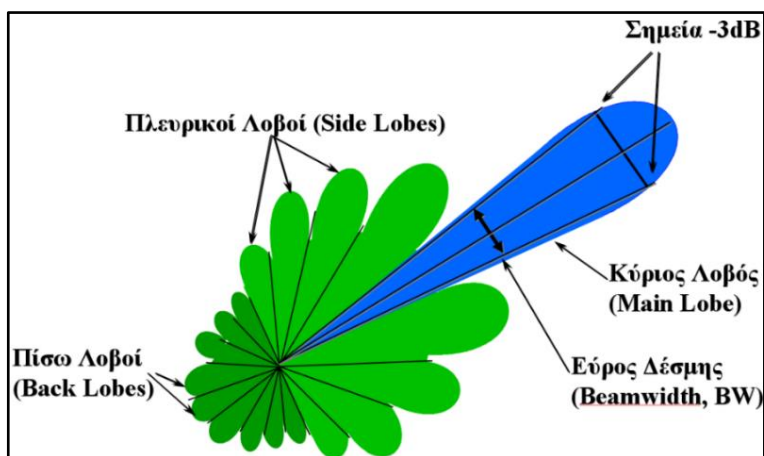
4.1 Κεραία

Η κεραία είναι το μέσο λήψης και εκπομπής των Η/Μ κυμάτων. Βασική ιδιότητα κάθε κεραίας είναι η απόδοσή της. Η απόδοση μιας κεραίας εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων που αναλύονται παρακάτω:

α. Διάγραμμα Ακτινοβολίας (Radiation Pattern)

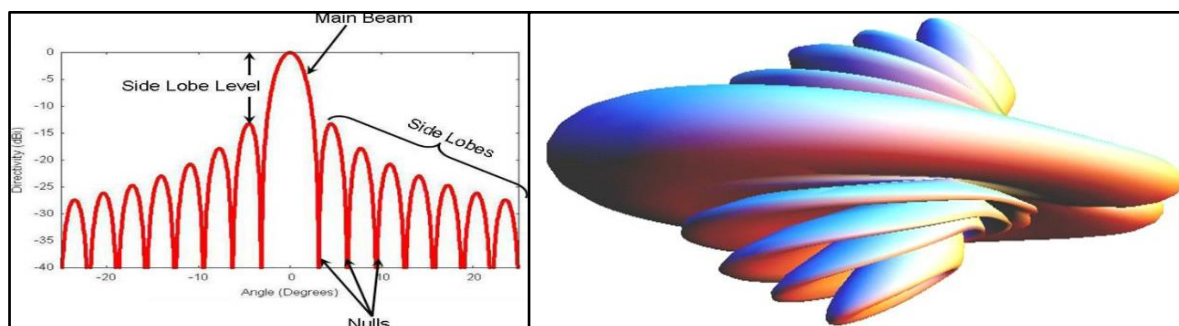
Είναι η γραφική αναπαράσταση της διακύμανσης της ακτινοβολίας μια κεραίας, δηλαδή ένα σχεδιάγραμμα της εκπεμπόμενης/λαμβανόμενης ακτινοβολίας. Σε ένα τέτοιο διάγραμμα συνήθως διακρίνονται ο κύριος λοβός, οι πλευρικοί λοβοί και οι οπίσθιοι λοβοί.

Οι πλευρικοί και οι οπίσθιοι λοβοί είναι ανεπιθύμητοι λοβοί που υπάρχουν σε όλες τις κατευθύνσεις στους οποίους έχουμε λήψη ανεπιθύμητης Η/Μ ενέργειας ή εκπομπή ακτινοβολίας.



Εικ. 4.1

Τυπικό Διάγραμμα ακτινοβολίας



Εικ. 4.2

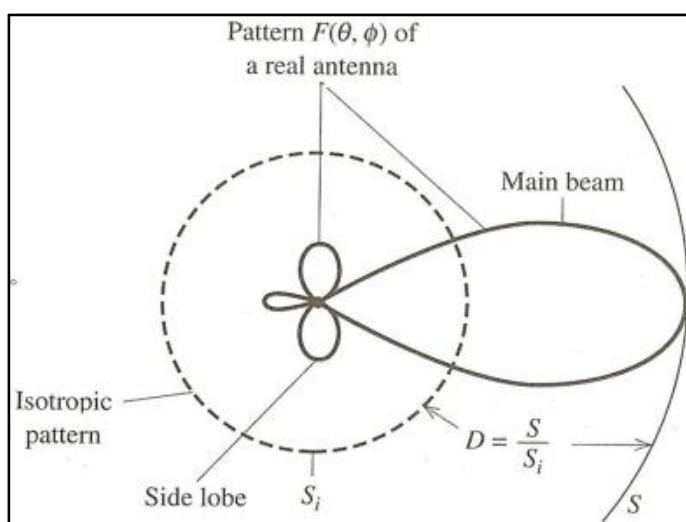
Ορθογώνιο (αριστερά) και τρισδιάστατο (δεξιά) διάγραμμα ακτινοβολίας

β. Κατευθυντικότητα (Directivity)

Είναι ο λόγος της πυκνότητας ισχύος εκπομπής (Power Density, «S») μιας κεραίας προς την πυκνότητα ισχύος μιας «Ισοτροπικής» κεραίας (S_i). Η Κατευθυντικότητα εκφράζει το βαθμό στον οποίο μια κεραία συγκεντρώνει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία σε μια επιθυμητή κατεύθυνση.

$$D = \frac{S}{S_i}$$

Ισοτροπική Κεραία: Είναι μια Θεωρητική κεραία – σημείο η οποία εκπέμπει ομοιόμορφα την ακτινοβολία σε όλες τις κατευθύνσεις (το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι μια σφαίρα).



Εικ. 4.3

Κατευθυντικότητα. Η μέτρηση αφορά μόνο τον κύριο λοβό και εκφράζεται σε dB.

γ. Κέρδος (Gain)

Η κυριότερη παράμετρος όταν αναφερόμαστε σε κεραίες είναι το Κέρδος. Συνήθως ο όρος κέρδος αφορά το **κέρδος λήψης** της κεραίας. Ο πιο απλός ορισμός του κέρδους μιας κεραίας είναι **Κατευθυντικότητα – Απώλειες Κεραίας**.

Σε μια κεραία εκπομπής ο όρος κέρδος περιγράφει πόσο «καλά» μετατρέπει μια κεραία την ισχύ στην είσοδο σε Η/Μ κύματα (σε συγκεκριμένη κατεύθυνση) ενώ για μια κεραία λήψης πόσο «καλά» μετατρέπει την λαμβανόμενη ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια.

Το κέρδος μιας κεραίας σε συγκεκριμένη κατεύθυνση ορίζεται ως ο λόγος της έντασης της ακτινοβολίας (U) στη συγκεκριμένη κατεύθυνση (x, y) προς την μέση ένταση ακτινοβολίας μιας «τέλειας» ισοτροπικής κεραίας, εάν η τελευταία δεχόταν την ίδια ισχύ εισόδου.

$$G(x, y) = \frac{U(x, y)}{P_{in}/4\pi}$$

δ. Ενεργός Επιφάνεια

Συναφής με την έννοια του κέρδους είναι η έννοια της ενεργού επιφάνειας **A_e** (Effective Area) μιας κεραίας, που κατά βάση χαρακτηρίζει τη λειτουργία της ως κεραία λήψης. Ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος που λαμβάνει μια κεραία προς την πυκνότητα ισχύος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που προσπίπτει σε αυτή. Συνδέεται με το κέρδος μέσω της γενικής έκφρασης:

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e$$

ε. Εμπέδηση Εισόδου

Εμπέδηση εισόδου είναι η αντίσταση που παρουσιάζει η κεραία στα σημεία τροφοδοσίας της. Εξαρτάται από τη γεωμετρία της, το χρησιμοποιούμενο λ αλλά και από τυχόν αγωγίμα σώματα που βρίσκονται κοντά της.

στ. Πόλωση

ζ. Εύρος Συχνοτήτων (Bandwidth, BW)

Το εύρος ζώνης συχνοτήτων για το οποίο η κεραία μπορεί να λειτουργήσει σε αποδεκτά όρια.

η. Εύρος Δέσμης (Beamwidth)

Αναφέρεται σε κατευθυντικές κεραίες και είναι η γωνιακή κάλυψη του κύριου λοβού μέχρι το σημείο όπου η ισχύς μειώνεται σε μια συγκεκριμένη τιμή (συνήθως -3dB).

θ. Εύρος Ζώνης (Bandwidth)

Περιγράφει το εύρος συχνοτήτων στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά μια κεραία. Συνήθως εκφράζεται σαν ποσοστό $BW = \frac{f_{max}-f_{min}}{f_{med}} * 100$ ή σαν το λόγο του VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) ο οποίος συνήθως πρέπει να είναι μικρότερο από 2:1 (Η τέλεια κεραία έχει λόγο 1:1).

4.2 Κυματοδηγοί – Χοάνες Τροφοδοσίας

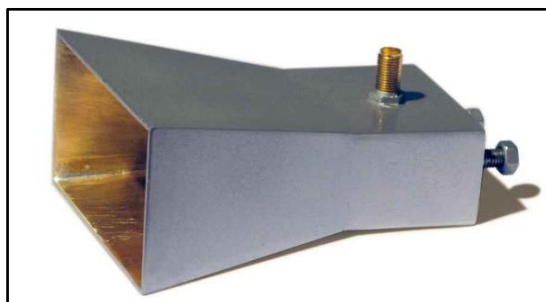
Σε συστήματα στα οποία απαιτείται η μεταφορά της Η/Μ ενέργειας σε διάφορα υποσυστήματα (π.χ. RADAR) απαιτείται η χρήση ειδικών μέσων. Αυτά ονομάζονται κυματοδηγοί και στην ουσία είναι κενοί αγωγοί κυκλικής ή ορθογώνιας διατομής και συγκεκριμένων διαστάσεων (αναλόγως της συχνότητας του Η/Μ κύματος που πρόκειται να μεταφέρουν. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι μεταλλικοί αλλά υπάρχουν και ελαστικοί ή πλαστικοί. Συνήθως εντός των κυματοδηγών υπάρχει αέρας υπό πίεση πράγμα που βοηθά στη μη είσοδο υγρασίας ή σκόνης εντός των κυματοδηγών και επίσης την προστασία από τη δημιουργία ηλεκτρικών τόξων.

Οι κυματοδηγοί συνήθως καταλήγουν σε μια χοάνη η οποία είτε τροφοδοτεί με Η/Μ ενέργεια κάποια κεραία (Feed Horn) είτε λειτουργεί ως κεραία η ίδια (Horn Antenna).



Εικ. 4.4

Εξαρτήματα κυματοδηγών



Εικ. 4.5

Χοάνες τροφοδοσίας

4.3 Κατηγορίες Κεραιών

Η κατηγοριοποίηση των κεραιών γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά τους (εύρος συχνοτήτων που λειτουργούν, είδος εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, μέθοδος κατασκευής κ.α.). Οι κυριότερες κατηγορίες είναι:

α. Βάσει Κατευθυντικότητας

Μη-κατευθυντικές (non-directional). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι λεγόμενες πανκατευθυντικές (omnidirectional) κεραίες, οι οποίες εκπέμπουν ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις σε επίπεδο κάθετο στον άξονα τους, ενώ η ισχύς μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από αυτό το επίπεδο, μέχρι που μηδενίζεται τελείως στην διεύθυνση του άξονα της κεραίας. Παραδείγματα τέτοιων κεραιών είναι η μονοπολική (monopole), η διπολική (dipole) και ο βρόχος (loop).

Κατευθυντικές (directional). Όλες οι υπόλοιπες κεραίες, οι οποίες παρουσιάζουν κατευθυντικότητα της εκπομπής σε συγκεκριμένες διευθύνσεις ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Παραδείγματα τέτοιων κεραιών είναι οι παραβολικές (parabolic), οι κεραίες χοάνη (horn) και οι Yagi-Uda.

β. Βάσει Συχνότητας Λειτουργίας

Electrically Small. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι κεραίες που οι διαστάσεις τους είναι πολύ μικρότερες του μήκους κύματος της Η/Μ ακτινοβολίας που εκπέμπουν ή λαμβάνουν (μήκος κεραίας $\leq \lambda/10$). Χρησιμοποιούνται κυρίως σε συχνότητες VHF και κάτω όπου το μήκος κύματος είναι μεγάλο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι οι κεραίες ραδιοφωνίας FM & AM, των οποίων το μήκος είναι περίπου $\lambda/10$ και $0,003\lambda$, αντίστοιχα.

Resonant. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν κεραίες οι οποίες έχουν πολύ καλή απόδοση σε μία συχνότητα ή σε πολύ στενό εύρος συχνοτήτων. Οι διαστάσεις αυτών των κεραιών ισούνται με μισό μήκος κύματος. Χρησιμοποιούνται σε συχνότητες HF έως και μερικά GHz. Παραδείγματα τέτοιων κεραιών είναι το δίπολο (dipole), η κεραία «μπάλωμα» (microstrip patch) και η Yagi-Uda.

Electrically Large. Σε αντίθεση με την πρώτη κατηγορία, οι διαστάσεις αυτών των κεραιών είναι πολύ μεγαλύτερες από το μήκος κύματος της Η/Μ ακτινοβολίας που εκπέμπουν ή λαμβάνουν. Χρησιμοποιούνται συνήθως στα RADAR και είτε αποτελούνται από πολλές resonant κεραίες (π.χ. φασικής διάταξης - phased array ή επίπεδης διάταξης - planar array) είτε ανακλούν ή συγκεντρώνουν την Η/Μ

ακτινοβολία μέσω ανακλαστήρων ή μέσω κάποιας διάταξης (π.χ. παραβολικές - parabolic ή χοάνη - horn).

Broadband. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν κεραίες οι οποίες έχουν ικανοποιητική απόδοση σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Χρησιμοποιούνται κυρίως για λήψη και αποσκοπούν στην αποκάλυψη εκπομπών σε διάφορες συχνότητες (συνήθως από VHF έως μεσαίες συχνότητες GHz). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτών των κεραιών είναι η σπειροειδής (spiral) και η λογαριθμική-περιοδική (log-periodic).

γ. Βάσει Τρόπου Κατασκευής

Κεραίες στοιχείου (Element ή Wire Antennas). Είναι οι πιο απλές κατασκευαστικά κεραίες που αποτελούνται από ένα μοναδικό στοιχείο ακτινοβολίας (ένας άκαμπτos μεταλλικός αγωγός ή ένα σύρμα), το οποίο παράγει Η/Μ ενέργεια μέσω της εφαρμογής κατάλληλου ηλεκτρικού ρεύματος στα άκρα του. Οι πιο κοινές κεραίες αυτής της κατηγορίας είναι η διπολική (dipole) και η μονοπολική (monopole). Το μονόπολο είναι ουσιαστικά μισό δίπολο, με την γη να παίζει το ρόλο του άλλου μισού, (ως γη νοείται οποιαδήποτε επιφάνεια γείωσης). Η γείωση γενικά είναι καλός αγωγός και επιτρέπει στο μονόπολο να ακτινοβολεί ακριβώς όπως το άνω μισό του διπόλου. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν επίσης κεραίες όπως ο βρόχος (loop), η ελικοειδής (helical), η σπειροειδής (spiral) και το «μπάλωμα» (patch).

Κεραίες ανοίγματος (aperture antennas). Και σε αυτή την κατηγορία ανήκουν σχετικά απλές κατασκευαστικά κεραίες οι οποίες διαθέτουν άνοιγμα (aperture) από το οποίο εκπέμπονται ή λαμβάνονται τα Η/Μ κύματα. Σε αυτή την περίπτωση, η εκπεμπόμενη Η/Μ ενέργεια παράγεται από έναν πομπό και μεταφέρεται μέσω κυματοδηγών σε κατάλληλο άνοιγμα ενώ η λαμβανόμενη Η/Μ ενέργεια μεταφέρεται μέσω κυματοδηγών σε έναν δέκτη. Η κεραία χοάνη (horn) και η κεραία-σχισμή (slot) ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Οι παραβολικές κεραίες διαθέτουν και αυτές χοάνη (τροφοδοσίας) αλλά επειδή το κατασκευαστικό στοιχείο που τις χαρακτηρίζει είναι ο ανακλαστήρας, ανήκουν στην επόμενη κατηγορία.

Κεραίες ανακλαστήρες (reflector antennas). Διαθέτουν κάποια διάταξη η οποία ανακλά τα εκπεμπόμενα Η/Μ κύματα προς συγκεκριμένη κατεύθυνση ή

λαμβάνει Η/Μ κύματα από συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η παραβολική (parabolic) αποτελεί την πιο χαρακτηριστική κεραία αυτής της κατηγορίας.

Κεραίες διάταξης απλών στοιχείων (array antennas). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν κεραίες που αποτελούνται από διατάξεις (συστοιχίες) απλών στοιχείων τα οποία μπορεί να είναι δίπολα, μονόπολα, σχισμές, κ.λπ. – με σκοπό την επίτευξη κατευθυντικότητας ή την αύξηση του εύρους συχνοτήτων (για εφαρμογές ELINT/COMINT). Αξιοποιούν τις αρχές της θετικής και αρνητικής συμβολής κυμάτων, μέσω της κατάλληλης διάταξης των στοιχείων-κεραιών, έτσι ώστε η εκπεμπόμενη ακτινοβολία να ενισχύεται σε κάποιες διευθύνσεις (θετική συμβολή) και να ακυρώνεται σε άλλες (αρνητική συμβολή). Πολλές σύγχρονες κεραίες ανήκουν σε αυτή την κατηγορία όπως λογαριθμική-περιοδική (log-periodic), γραμμικής διάταξης (linear array), επίπεδης διάταξης (planar array), φασικής διάταξης (phased array) και η κεραία adcock. Η τελευταία αποτελείται από ένα κεντρικό δίπολο και έναν αριθμό παράλληλων δίπολων που σχηματίζουν νοητό κύλινδρο γύρω του.

4.4 Είδη Κεραιών

α. Μονόπολο: Η πιο απλή κατασκευή κεραίας. Αποτελείται από ένα ευθύ τμήμα από αγωγίμο υλικό τοποθετημένο κάθετα σε μια αγωγίμη επιφάνεια ενώ στο χαμηλότερο άκρο του βρίσκεται ένας τροφοδότης. Ανήκει στη κατηγορία των **Resonant** κεραιών και οι διαστάσεις του ποικίλουν καθώς εξαρτώνται από το μήκος κύματος του Η/Μ κύματος που πρόκειται να εκμεταλλευτεί.



Εικ. 4.6

Μονοπολική κεραία σε Επιθετικό Ελικόπτερο APACHE. Σχεδόν σε όλες τις επικοινωνίες VHF – HF στις ΕΔ χρησιμοποιούνται τέτοιου τύπου κεραίες

β. **Δίπολο:** Από θεωρητική άποψη πρόκειται για τον πιο απλό τύπο κεραίας. Το δίπολο έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με το μονόπολο. Τα δίπολα όπως και οι παραλλαγές αυτών, είναι το πιο συχνό είδος κεραίας για συχνότητες 2 MHz έως 4 GHz. Συνήθεις παραλλαγές δίπολου είναι:



Εικ. 4.7

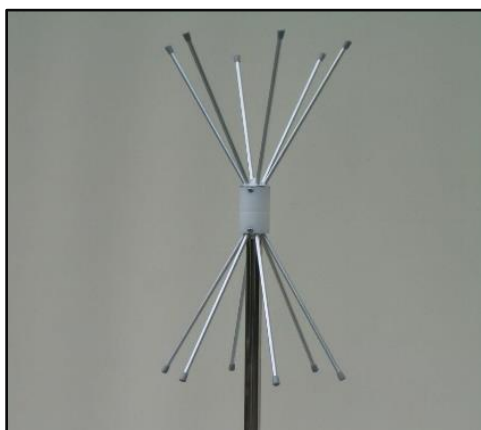
Δίπολο για εκπομπή FM



Εικ. 4.8

Διπολική κεραία για ασύρματη επικοινωνία AM

(1) **Bow-tie:** Παρουσιάζει μεγαλύτερο BW από το απλό δίπολο και έχει ευρεία χρήση στις επικοινωνίες UHF.



Εικ. 4.9

Κεραίες Bow-Tie. Η κεραία δεξιά ονομάζεται και biconical

(2) **Κελί (Cage Dipole):** Το κάθε στέλεχος ενός διπόλου αποτελείται από αριθμό καλωδίων τοποθετημένα σε κυκλική διάταξη ώστε να δημιουργούν ένα «κελί». Οι κεραίες cage dipole χρησιμοποιούνται κυρίως σε συχνότητες MF και HF. Συνήθως έχουν εφαρμογή σε ραντάρ πέρα του ορίζοντα και σε ραδιοτηλεσκόπια.

Έχουν πολύ μεγαλύτερο BW από το απλό δίπολο αλλά σπάνια χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές εφαρμογές.



Εικ. 4.10

Κεραίες Cage Dipole του ουκρανικού ραδιοηλεκτρονικού σκοπίου UTR-2

(3) **Κεραίας Halo:** Τα στελέχη του διπόλου είναι λυγισμένα προς μια μεριά. Είναι πιο πανκατευθυντική (omnidirectional) σε σχέση με το απλό δίπολο.



Εικ. 4.11

Κεραίες Halo

(4) **Turnstile:** Αποτελείται από δύο δίπολα τα οποία τοποθετούνται σε γωνία 90° μεταξύ τους. Το κάθε δίπολο έχει ξεχωριστό τροφοδότη ο κάθε ένα έχει

διαφορά φάσης 90° . Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα μια κεραία της οποίας το διάγραμμα ακτινοβολίας πλησιάζει μια κεραία omni. Οι Turnstile κεραίες μπορούν να λειτουργούν με 2 τρόπους. Στον κανονικό τρόπο το H/M κύμα έχει γραμμική πόλωση ενώ στον «αξονικό» τρόπο το H/M κύμα έχει κυκλική πόλωση. Οι Turnstile κεραίες είναι ο πιο απλός τρόπος για να παραχθεί ένα κύμα με κυκλική πόλωση.



Εικ. 4.12

Διάταξη 4 κεραιών turnstile για δορυφορική στρατιωτική επικοινωνία. Οι ανακλαστήρες δημιουργούν διαφορά φάσης 180° στο προσπίπτον κύμα με αποτέλεσμα το τελικό κύμα να είναι κυκλικής πόλωσης (αριστερόστροφης ή δεξιόστροφης, αναλόγως του τροφοδότη)

(5) **Βρόχος:** Μια ειδική κατηγορία δίπολων είναι οι κεραίες βρόχοι. Αυτές οι κεραίες έχουν ένα διάγραμμα ακτινοβολίας παρόμοιο με ένα απλό δίπολο αλλά με δυο φαρδιούς κύριους λοβούς με διαφορά 180° ο ένας από τον άλλο. Για τον προηγούμενο λόγο, οι βρόχοι χρησιμοποιήθηκαν αρχικά (και χρησιμοποιούνται ακόμη) για την εύρεση της κατεύθυνσης εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.



Εικ. 4.13

Κεραία Βρόχος

(6) **Vee – Ρόμβος:** Αποτελούν υποκατηγορίες των δίπολων και έχουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά προς την κατευθυντικότητα.

(7) **Κεραίες Spiral:** Πρόκειται για μια ειδική μορφή διπόλου τοποθετημένου σε σπирάλ μορφή είτε πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια είτε σε κάποια τρισδιάστατη μορφή. Οι κεραίες σπирάλ είναι κεραίες Broadband και έχουν πάντα κυκλική πόλωση. Χρησιμοποιούνται κυρίως σαν δέκτες ακτινοβολίας (π.χ. πύραυλοι αντιραντάρ).



Εικ. 4.14
Κεραία Spiral

γ. **Ελικοειδείς Κεραίες:** Έχουν ελικοειδές σχήμα και χρησιμοποιούνται κυρίως για επικοινωνίες VHF – UHF. Αν μια τέτοιου τύπου είναι πολύ μικρή σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο λ τότε το διάγραμμα ακτινοβολίας της μοιάζει με του απλού δίπολου, αν όμως το μήκος της είναι μεγαλύτερο από $\lambda/4$ τότε η κεραία εκπέμπει και λαμβάνει με κυκλική πόλωση. Λόγω της κατευθυντικότητας που παρουσιάζουν χρησιμοποιούνται κυρίως στις δορυφορικές επικοινωνίες.



Εικ. 4.15
Ελικοειδής κεραία για δορυφορική επικοινωνία στην αεροπορική βάση Scot του Illinois.

δ. **Κεραίες χοάνες ή Χοανοκεραίες:** Αν και χρησιμοποιούνται κυρίως για τη τροφοδοσία άλλων κεραιών, λόγω της καλής κατευθυντικότητας και της απλής κατασκευής, οι χοάνες χρησιμοποιούνται πολλές φορές ως κεραίες. Η περιοχή συχνοτήτων τους κυμαίνεται από 300 MHz έως 30 GHz. Πολλές φορές μπροστά από τις χοάνες τοποθετείται κατάλληλο κάλυμμα – πολωτής το οποίο καθορίζει και την πόλωση της κεραίας.



Εικ. 4.16

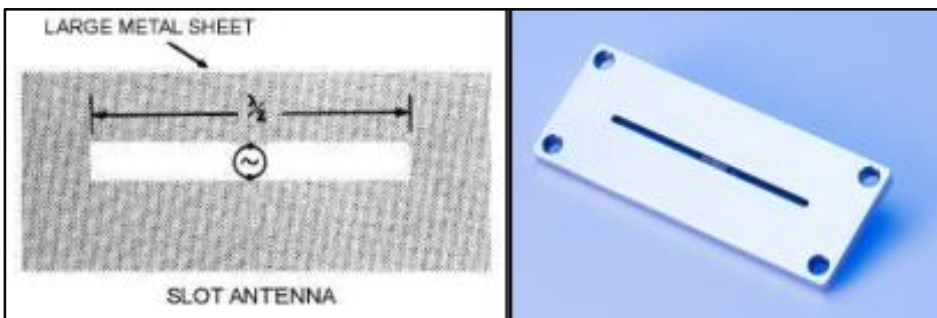
Κεραία χοάνη για Bandwidth 4 έως 6 GHz



Εικ. 4.17

Κεραία χοάνη (με πολωτή) για δορυφορική επικοινωνία

ε. **Κεραίες Σχισμής:** Πολύ απλές κατασκευαστικά κεραίες αφού κατασκευάζονται κάνοντας μια σχισμή σε ένα αγωγίμο υλικό. Η περιοχή συχνοτήτων τους κυμαίνεται από 300 MHz έως 30GHz.



Εικ. 4.18

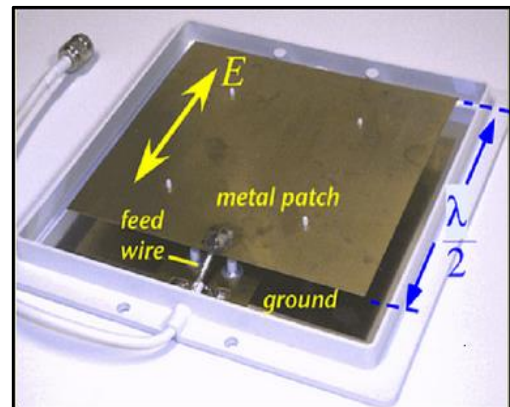
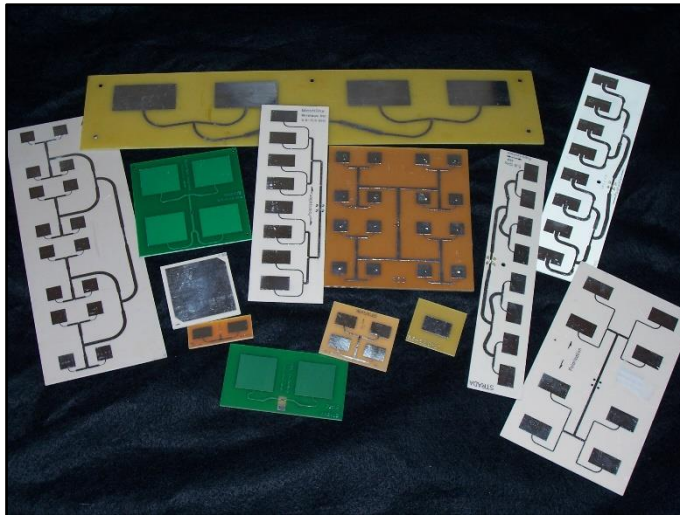
Κεραία σχισμή



Εικ. 4.19

Τυπικό ραντάρ ναυτιλίας (8-12 GHz) αριστερά και το εσωτερικό του (δεξιά). Οι αποστάσεις μεταξύ των σχισμών καθώς και η κλίση και το άνοιγμα των σχισμών, καθορίζουν το διάγραμμα ακτινοβολίας.

στ. Κεραίες Μπαλώματος (Patch): Πολύ συνηθισμένες κεραίες για χρήση με μικροκύματα (πχ. κεραίες WiFi). Κατασκευάζονται από ένα μεταλλικό «μπάλωμα» το οποίο τοποθετείται πάνω από ένα διηλεκτρικό υλικό (συνήθως μια ηλεκτρονική πλακέτα στην οποία η κεραία είναι «τυπωμένη») το οποίο βρίσκεται πάνω από μια γείωση. Πολύ χαμηλού κόστους, χαμηλής κατευθυντικότητας και πολύ διαδεδομένες κεραίες σε περιοχή συχνοτήτων 1 – 10 GHz.



Εικ. 4.20

«Τυπωμένες» κεραίες (αριστερά), τυπική κεραία μπάλωμα (δεξιά)

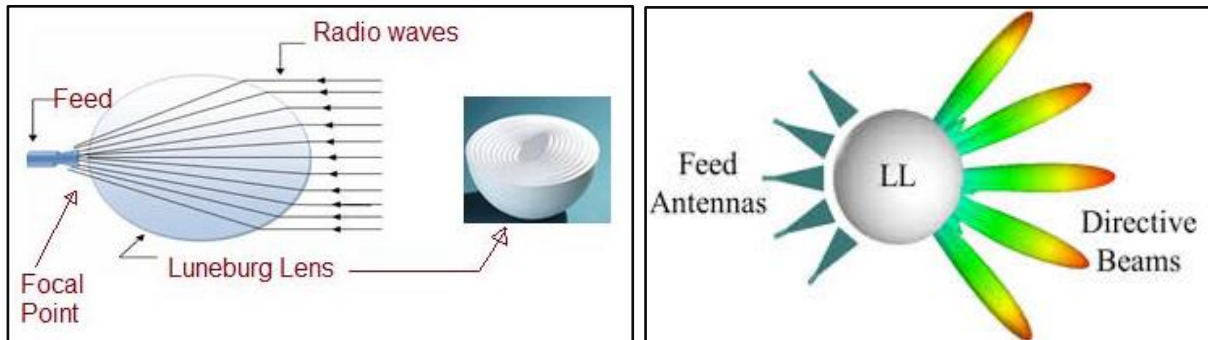
ζ. Κεραίες Φακών: Με κατάλληλη τοποθέτηση φακών εμπρός από μια χοάνη τροφοδοσίας ή πλέον από μια κεραία «μπάλωμα», κάνοντας χρήση των φαινομένων της απόκλισης και της σύγκλισης μπορούν να κατασκευαστούν κεραίες με πολύ καλή κατευθυντικότητα και με μεγάλο εύρος λήψης. Οι κεραίες φακών προορίζονται για χρήση υψηλών συχνοτήτων (3 GHz ή μεγαλύτερο). Οι φακοί κατασκευάζονται από κάποιο διηλεκτρικό υλικό ή από μέταλλο (με πολλαπλές σχισμές).



Εικ. 4.21

Κεραία φακός 10 GHz

Παρόλο τις πολύ καλές δυνατότητες, η χρήση τους είναι σπάνια κυρίως λόγω του όγκου, βάρους και κόστους κατασκευής και χρησιμοποιούνται αντι αυτών παραβολικές κεραίες οι οποίες έχουν σχεδόν τα ίδια χαρακτηριστικά αλλά είναι πολύ πιο απλές και φτηνές στη κατασκευή τους.



Εικ. 4.22

Φακός Luneburg. Χρησιμοποιείται για τη κατασκευή κεραιών υψηλού κέρδους. Λόγω του σχήματος είναι δυνατή η ταυτόχρονη εκπομπή διαφορετικών συχνοτήτων (δεξιά εικόνα).



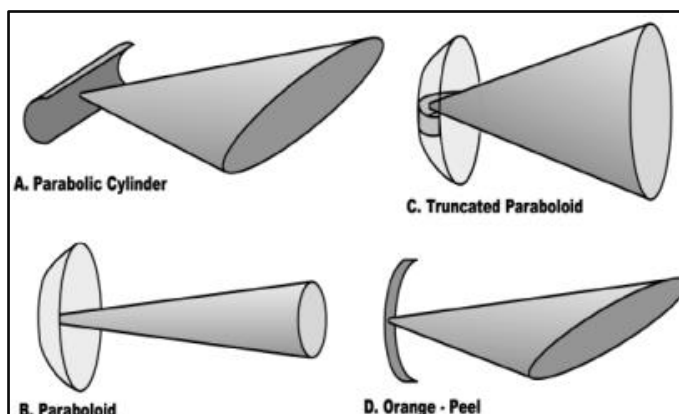
Εικ. 4.23

Φακοί Luneburg πάνω σε αεροσκάφος F-35, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως ανακλαστήρες, με σκοπό την τεχνητή αύξηση της ραδιοδιατομής του (RCS).

η. Παραβολικοί ανακλαστήρες: Αποτελούν από τις πιο κοινές προσεγγίσεις για την επίτευξη κατευθυντικότητας. Οι παραβολικοί ανακλαστήρες έχουν ευρεία εφαρμογή σε όλα τα συστήματα που απαιτούν εκπομπή – λήψη σε στενές δέσμες. Για έναν ανακλαστήρα με διάμετρο D το εύρος δέσμης δίνεται προσεγγιστικά από τον

τύπο: $\theta \approx \frac{70 \cdot \lambda}{D}$ και το κέρδος $G \approx \frac{\pi^2 \cdot D^2}{\lambda^2}$

Αναλόγως της θέσης του τροφοδότη διακρίνονται σε εμπρόσθια και οπίσθια τροφοδοτούμενους.



Εικ. 4.24

Κυριότεροι τύποι ανακλαστήρων



Εικ. 4.25

Ανακλαστήρας με πλέγμα

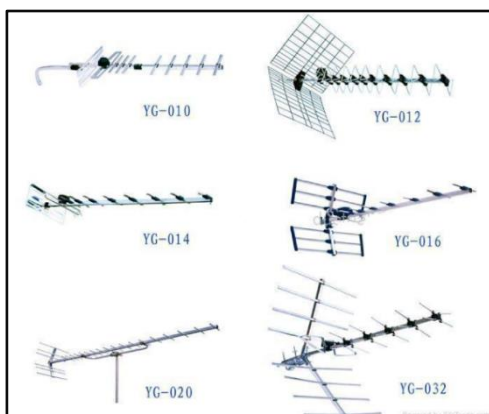
4.5 Κεραίες Διάταξης Απλών Στοιχείων

Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν οι κεραίες που αποτελούνται από διατάξεις (συστοιχίες) απλών στοιχείων, όπως αναφέρθηκαν στη προηγούμενη παράγραφο (δίπολα, μονόπολα, σχισμές κ.τ.λ.) με σκοπό την επίτευξη κατευθυντικότητας, την αύξηση του κέρδους, ή του εύρους συχνοτήτων. Αξιοποιούν τις αρχές τη θετικής και αρνητικής συμβολής κυμάτων ώστε η εκπεμπόμενη ακτινοβολία να ενισχύεται σε κάποια κατεύθυνση (π.χ. κύριος λοβός) και να ακυρώνεται σε άλλες (πλευρικοί λοβοί). Αν και οι συνδυασμοί που προκύπτουν είναι πολλοί όπως είναι φυσικό, οι κυριότεροι τύποι που συναντώνται σε στρατιωτικές εφαρμογές είναι οι παρακάτω:

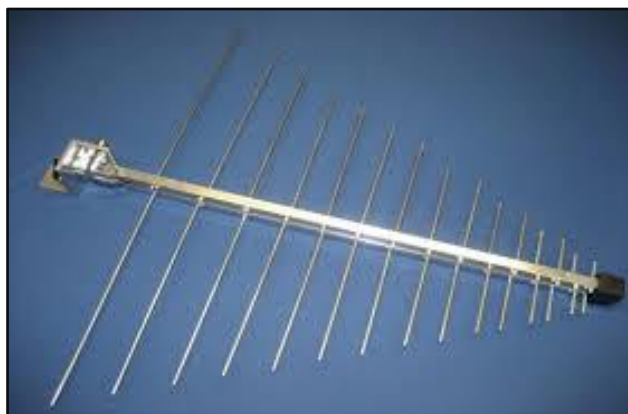
α. Κεραία Yagi – Uda: Ιδιαίτερα γνωστή κεραία λόγω της χρήσης της στους δέκτες της τηλεόρασης. Αποτελείται από ένα ενεργό δίπολο, έναν ανακλαστήρα και αριθμό στελεχών οι οποίοι δρουν ενισχυτικά στη κατεύθυνση διάδοσης.

β. Λογαριθμική: Μοιάζει με τη κεραία Yagi – Uda αλλά τα στελέχη (συνήθως δίπολα) της διαφέρουν σε μέγεθος καθιστώντας ικανή να αποδίδει σε μια

μεγάλη περιοχή συχνοτήτων. Χρησιμοποιείται ευρέως για σκοπούς επικοινωνιών σε VHF και UHF συχνότητες.

**Εικ. 4.26**

Κεραίες Yagi-Uda

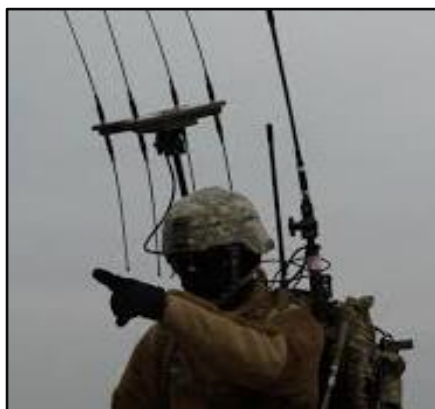
**Εικ. 4.27**

Τυπική περιοδική κεραία με δίπολα

γ. Κεραίες Adcock: Αποτελείται από μια σειρά 4 ή περισσότερων στοιχείων (συνήθως δίπολα ή μονόπολα) τοποθετημένα γύρω από ένα κεντρικό σημείο, συνήθως κυκλικά. Χρησιμοποιείται για ευρέως για σκοπούς ραδιογωνιομέτρησης κυρίως για την περιοχή συχνοτήτων VHF/UHF.

**Εικ. 4.28**

Τυπική Κεραία Adcock

**Εικ. 4.29**

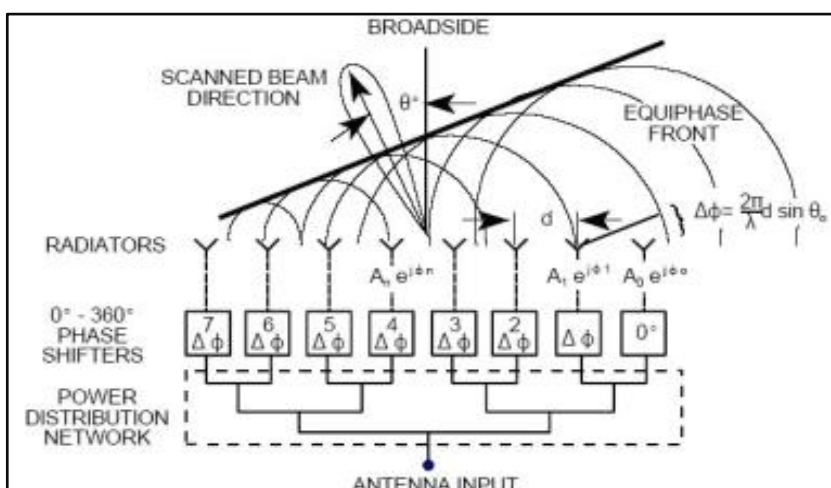
Κεραία Adcock σε φορητό ραδιογωνιόμετρο VHF

δ. Κεραίες Φασικής Διάταξης: Ιδιαίτερα χρησιμοποιούμενες κεραίες κυρίως σε εφαρμογές ραντάρ. Αποτελούνται από έναν αριθμό απλών στοιχείων (δίπολα, σχισμές κ.τ.λ.) κατάλληλα διατεταγμένων σε ένα επίπεδο ή μια γραμμή. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των κεραιών (από το οποίο παίρνουν και το όνομά τους) είναι η δυνατότητα να εκπέμπουν H/M κύμα διαφορετικής φάσης ανά συγκεκριμένες ομάδες

στοιχείων ή ανά μεμονωμένες στοιχειοκεραίες, με σκοπό να ελέγχεται η μορφή του λοβού ακτινοβολίας και η κατεύθυνση της δέσμης, αξιοποιώντας το φαινόμενο της θετικής και αρνητικής συμβολής κυμάτων.

Γενικά, οι κεραίες φασικής διάταξης έχουν δυνατότητα ρύθμισης των χαρακτηριστικών τους και επιτυγχάνουν υψηλό κέρδος αφού περιορίζουν στο ελάχιστο τους ανεπιθύμητους πλευρικούς-οπίσθιους λοβούς. Μπορούν να εκτελούν ταυτόχρονα πολλαπλές λειτουργίες με πολλαπλές δέσμες (έρευνα, εγκλωβισμός, μεταφορά δεδομένων, κ.λπ.), να μετατοπίζουν ηλεκτρονικά - και συνεπώς με σχεδόν ακαριαία ταχύτητα τις δέσμες (αφού δεν υπάρχει μηχανική κίνηση) και να ακυρώνουν τη λήψη από συγκεκριμένες διευθύνσεις (π.χ. διεύθυνση ενός παρεμβολέα). Ο λοβός ή οι λοβοί ακτινοβολίας περιστρέφονται ηλεκτρονικά μέσα σε γωνιακό τομέα $\pm 60^\circ$ ή $\pm 90^\circ$ (για κάλυψη 360° χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία κεραίες), δίνοντας έτσι μεγαλύτερη ευελιξία στη σάρωση και έχοντας λιγότερες απαιτήσεις συντήρησης λόγω έλλειψης κινούμενων μερών.

Η αρχή λειτουργίας των κεραιών φασικών στοιχείων φαίνεται στην Εικ. 4.30. Λόγω της διαφοράς φάσης μεταξύ των στοιχειοκεραιών παρατηρείται σταδιακή μετατόπιση του μετώπου διάδοσης του H/M κύματος αριστερά ή δεξιά από τον κεντρικό άξονα της κεραίας. Η μετατόπιση αυτή είναι ανάλογη της διαφοράς φάσης. Ανάλογα με την διάταξη, οι κεραίες φασικών στοιχείων χωρίζονται σε γραμμικής φασικής διάταξης (Linear Phased Array), επίπεδης φασικής διάταξης (Planar Phased Array) και σύμμορφης διάταξης (Conformal Array).



Εικ. 4.30

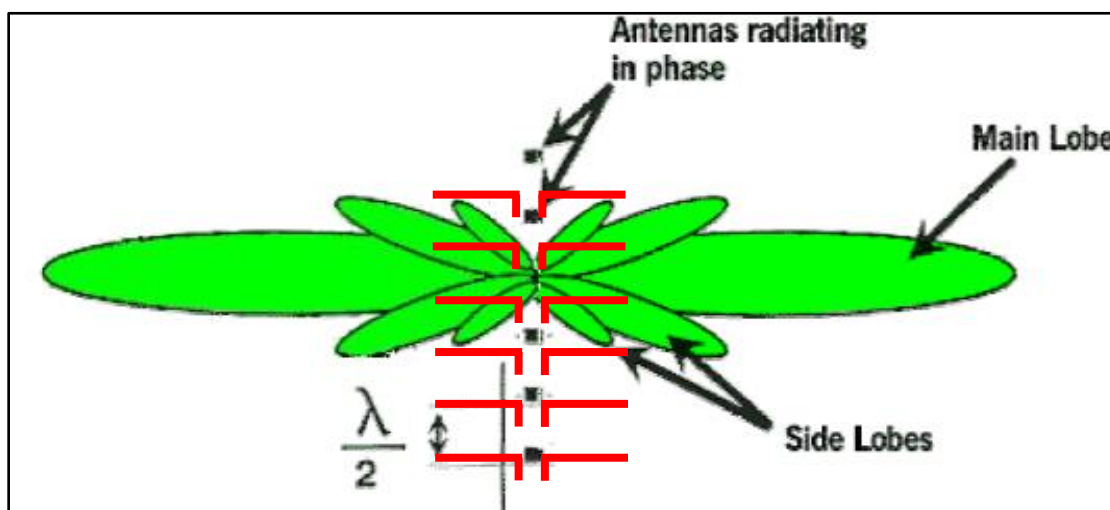
Αρχή Λειτουργίας
Phased Array

Επισημαίνεται ότι υπάρχουν κεραίες γραμμικής και επίπεδης διάταξης οι οποίες δεν ανήκουν στην κατηγορία των κεραιών φασικής διάταξης. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει ηλεκτρονική μετατόπιση της δέσμης, οπότε είτε αυτή

παραμένει σταθερή σε μία διόπτρευση (γραμμική διάταξη – linear array) είτε μετατοπίζεται μηχανικά (επίπεδη διάταξη – planar array).

(1) Κεραίες Γραμμικής Φασικής Διάταξης: Οι κεραίες γραμμικής φασικής διάταξης (Linear Phased Array) συνήθως αποτελείται από έναν αριθμό μονόπολων σε ευθεία γραμμή. Δύο κοινοί τύποι γραμμικών διατάξεων είναι ο μετωπικός και ο αξονικός.

Μετωπική Διάταξη (Broad Side): Τα στοιχεία τοποθετούνται σε απόσταση $\lambda/2$ και ακτινοβολούν συμφασικά. Λόγω απόστασης και συμφωνίας φάσεως, όταν το σήμα της μίας κεραίας φτάνει στην γειτονική έχει φάση $\varphi=90^\circ$ ενώ η δεύτερη εκείνη την χρονική στιγμή η ακτινοβολεί με αντίθετη φάση ($\varphi=270^\circ$). Το αποτέλεσμα είναι αρνητική συμβολή στη διεύθυνση του άξονα των κεραιών. Στην κάθετη στον άξονα διεύθυνση όμως, οι δύο κυματομορφές φθάνουν σε κάθε σημείο συμφασικά (αφού διανύουν ίσες αποστάσεις) και προστίθενται (θετική συμβολή). Έτσι δημιουργείται κέρδος κάθετα στον άξονα.

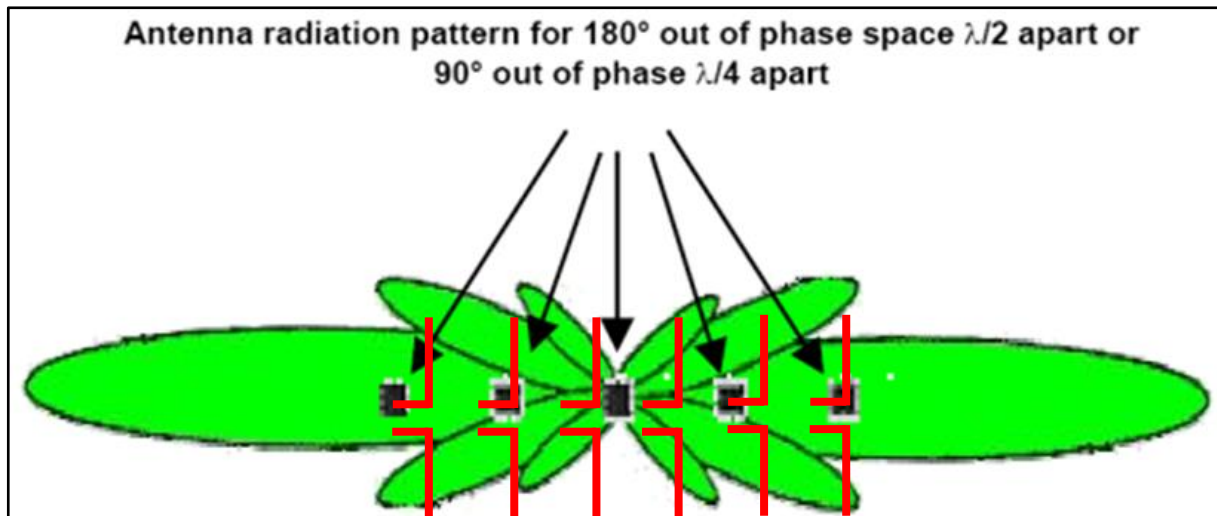


Εικ. 4.31

Απεικόνιση ακτινοβολίας μετωπικής διάταξης σε απλή γραμμική διάταξη με δίπολα

Αξονική Διάταξη (End Fire): Τα στοιχεία τροφοδοτούνται με διαφορά φάσης που αντιστοιχεί στην απόσταση τους. Έτσι, όταν το Η/Μ κύμα φτάσει στην γειτονική κεραία, η οποία την συγκεκριμένη χρονική στιγμή εκπέμπει συμφασικά, θα ενισχυθεί λόγω θετικής συμβολής. Αντίθετα, στην κάθετη στον άξονα των κεραιών διεύθυνση, τα Η/Μ κύματα διανύουν ίση απόσταση και συνεπώς συναντώνται με αντίθετες φάσεις

και αλληλοαναιρούνται.



Εικ. 4.32

Απεικόνιση ακτινοβολίας αξονικής διάταξης σε απλή γραμμική διάταξη με δίπολα

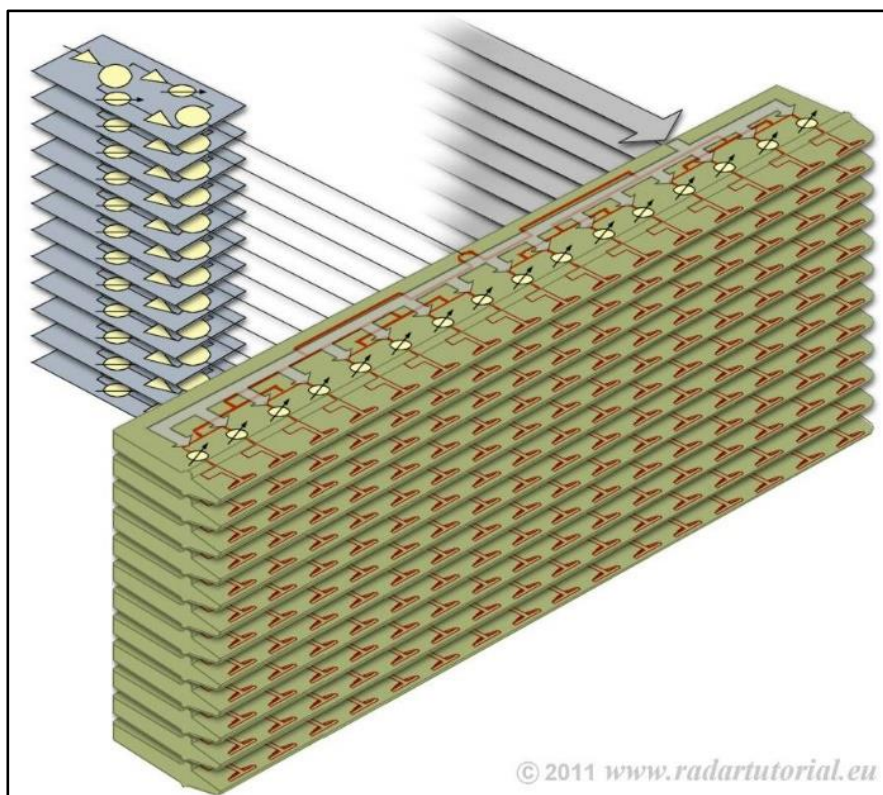
Συγκρίνοντας τις δύο περιπτώσεις (μετωπική και αξονική διάταξη), διαπιστώνουμε ότι η βασική διαφορά μεταξύ τους είναι η διαφορετικότητα της φάσης κατά την εκπομπή ανά στοιχείο, που σημαίνει ότι το ίδιο σύστημα γραμμικών κεραιοστοιχείων, ανάλογα την τροφοδοσία που του παρέχουμε, μπορεί να εκπέμπει ως μετωπική ή αξονική διάταξη. Επισημαίνεται ότι σε μία διάταξη, αν αυξηθεί ο αριθμός των στοιχείων, θα έχουμε ανάλογη αύξηση στο κέρδος και μείωση στους πλευρικούς λοβούς.

(2) Κεραίες Επίπεδης Φασικής Διάταξης: Στην περίπτωση των κεραιών επίπεδης φασικής διάταξης (planar phased array), οι στοιχειοκεραίες είναι διατεταγμένες σε ένα επίπεδο με αποτέλεσμα την ικανότητα κατεύθυνσης της δέσμης ακτινοβολίας σε δύο διαστάσεις και την δημιουργία διαφόρων μορφών δέσμης (λεπτή, κωνική ή πρισματική). Συνήθως, οι στοιχειοκεραίες είναι κεραίες-σχισμή, οι οποίες βρίσκονται σε απόσταση μισού μήκους κύματος ή πολλαπλάσιο αυτού. Επειδή η Η/Μ ενέργεια δεν ανακλάται σε κάποια επιφάνεια αλλά ακτινοβολείται ευθέως προς τα έξω, αποφεύγεται η διάχυση και συνεπώς οι ανεπιθύμητοι πλευρικοί λοβοί είναι μειωμένοι. Το συνολικό μέγεθος της κεραίας ποικίλει αναλόγως του μήκους κύματος, τις απαιτήσεις και την χρήση.

Σημαντικό μειονέκτημα των επίπεδων διατάξεων είναι η μείωση της ενεργού επιφάνειας της κεραίας καθώς η δέσμη αποκλίνει από την κάθετη στο επίπεδο της διάταξης. Αυτό συμβαίνει διότι η ενεργός επιφάνεια μίας κεραίας προκύπτει από την

προβολή της πάνω σε επίπεδο κάθετο προς τον άξονα διάδοσης της δέσμης και όχι από το φυσικό της μέγεθος. Απόκλιση της δέσμης στις 60° ισούται με μείωση της ενεργής επιφάνειας στο μισό, που θεωρείται γενικά και το ελάχιστο όριο απόδοσης. Για την κάλυψη της αδυναμίας αυτής χρησιμοποιείται, όπου είναι δυνατό, είτε συνδυασμός κεραιών (π.χ. ναυτικό σύστημα AEGIS με 4 κεραιές για πλήρη κυκλική κάλυψη), είτε μηχανική μετατόπιση της κεραίας (π.χ. S-300).

Οι επίπεδες διατάξεις κυριαρχούν στις σύγχρονες σχεδιάσεις RADAR λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρέχουν (πολλαπλές ταυτόχρονες λειτουργίες, ταχύτατη διεύθυνση δέσμης, επιλεκτική απόδοση προς κάθε κατεύθυνση, ποικιλία μορφών δέσμης). Επιπροσθέτως, καθιστούν πολύ δύσκολη τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός RADAR, από πλευράς ΗΠ (μη συνεχής και μη προβλέψιμη συμπεριφορά σε θέματα σάρωσης-κάλυψης, ισχύος, διαμόρφωσης λειτουργίας, κ.λπ.). Επιπλέον, επιτρέπουν την σχεδόν ακαριαία μέτρηση γωνίας διεύθυνσης ή την άμεση συγκέντρωση ισχύος παρεμβολής σε έναν επιθυμητό στόχο. Στα σύγχρονα μαχητικά Α/Φ, όπως π.χ. στα F-35 και F-22, οι επίπεδες κεραιές φασικών στοιχείων των RADAR ενσωματώνουν και λειτουργίες ΗΠ.



Εικ. 4.33

Planar Phased Array. Η κάθε στοιχειοκεραία έχει τον δικό της μετατοπιστή φάσης, ο έλεγχος των οποίων (συνήθως μέσω Η/Υ) μπορεί να παράγει πολλών ειδών δέσμες.

(3) Κεραίες Σύμμορφης Φασικής Διάταξης: Οι κεραίες σύμμορφης διάταξης (conformal array) αποτελούν την πιο πολύπλοκη μορφή των κεραιών φασικής διάταξης. Οι στοιχειοκεραίες τοποθετούνται πάνω σε καμπύλες επιφάνειες (π.χ. την άτρακτο ενός Α/Φ). Η διαφορά φάσεως από στοιχείο σε στοιχείο διαμορφώνεται έτσι ώστε οι εκπεμπόμενες κυματομορφές να φθάνουν συμφασικά σε ένα επίπεδο κάθετο στην επιθυμητή διεύθυνση εκπομπής. Λόγω της πολυπλοκότητας των υπολογισμών απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς και στοιχεία ελέγχου φάσης υψηλής ακρίβειας και ταχύτητας. Πρόσφατα πραγματικά σύμμορφες διατάξεις πέρασαν από τις πειραματικές εφαρμογές σε περιορισμένη χρήση και αναμένεται να αποτελέσουν την επόμενη γενιά κεραιών ειδικά για εφαρμογές όπου το σχήμα παίζει ουσιώδη ρόλο.



Εικ. 4.34

Πειραματική σύμμορφη κεραία της Boeing για χρήση σε αεροσκάφη.



Εικ. 4.35

Πραγματική σύμμορφη κεραία της ALCA TEL η οποία χρησιμοποιείται για επικοινωνία με τους γαλλικούς δορυφόρους LEO

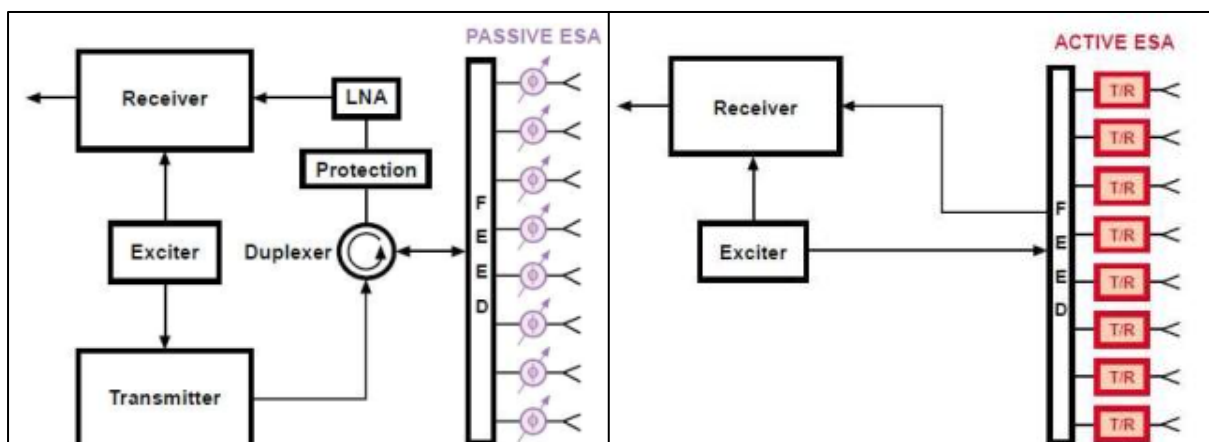
4.6 Τεχνολογίες Κεραιών Σύμμορφης και Επίπεδης Διάταξης

Η τεχνολογία φασικής διάταξης παθητικών ή ενεργητικών στοιχείων είναι οι βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στις κεραίες επίπεδης ή σύμμορφης διάταξης, με την τελευταία να είναι πολύ πιο πρόσφατη.

α. Φασική Διάταξη Παθητικών Στοιχείων (Passive ESA, PESA): Σ' αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιείται ένας μοναδικός πομπός και δέκτης, ο οποίος τροφοδοτεί κάθε στοιχειοκεραία με συμφασικό Η/Μ κύμα. Η τελική φάση εκπομπής ελέγχεται από κυκλώματα μετατόπισης φάσεως (phase shifters), οι οποίοι

τοποθετούνται, ένας πίσω από κάθε στοιχειοκεραία. Τα κυκλώματα αυτά ελέγχονται από υπολογιστή ώστε ο καθένας να αποδίδει την επιθυμητή μετατόπιση φάσης σε κάθε παλμό. Η συγκεκριμένη μέθοδος πλεονεκτεί από πλευράς ευκολίας παραγωγής ενέργειας (π.χ. χρήση λυχνιών) και κόστους, όμως μειονεκτεί ως προς τη δυσκολία αποτελεσματικής διαχείρισης φάσεως σε κυματομορφή υψηλής ισχύος (εκπομπή) και τις απώλειες λόγω διαδρομής (λήψη).

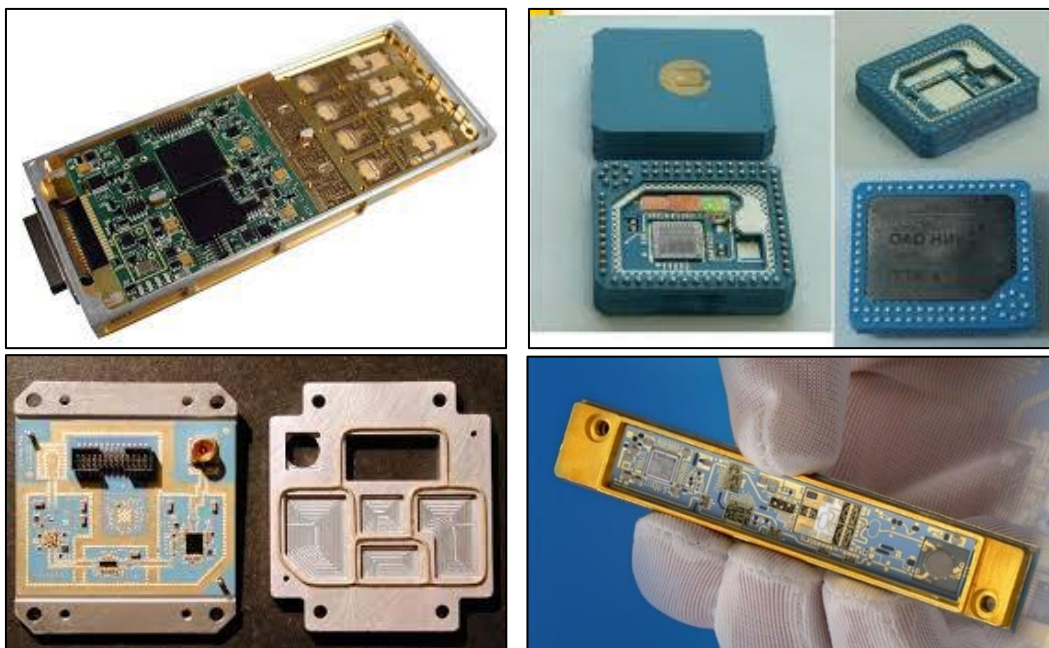
β. Φασική Διάταξη Ενεργών Στοιχείων (Active ESA, AESA): Σ' αυτή την μέθοδο, κάθε στοιχειοκεραία έχει δικό της πομπό και δέκτη και συνεπώς παράγει ξεχωριστή Η/Μ ενέργεια με πλήρως ελεγχόμενη φάση, ισχύ και συχνότητα. Η συνολική ισχύς της κεραίας προκύπτει από το άθροισμα όλων των μεμονωμένων πομπών, οι οποίοι ελέγχονται κεντρικά από υπολογιστή. Η τεχνολογία AESA πλεονεκτεί ως προς την ακτινοβολία και την απόδοση, έχει όμως μεγαλύτερο κόστος και ενσωματώνει τεχνολογία που ακόμη εξελίσσεται. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι πιθανή βλάβη μικρού αριθμού στοιχειοκεραιών δεν μειώνει ουσιαδώς την απόδοση της κεραίας.



Εικ. 4.36

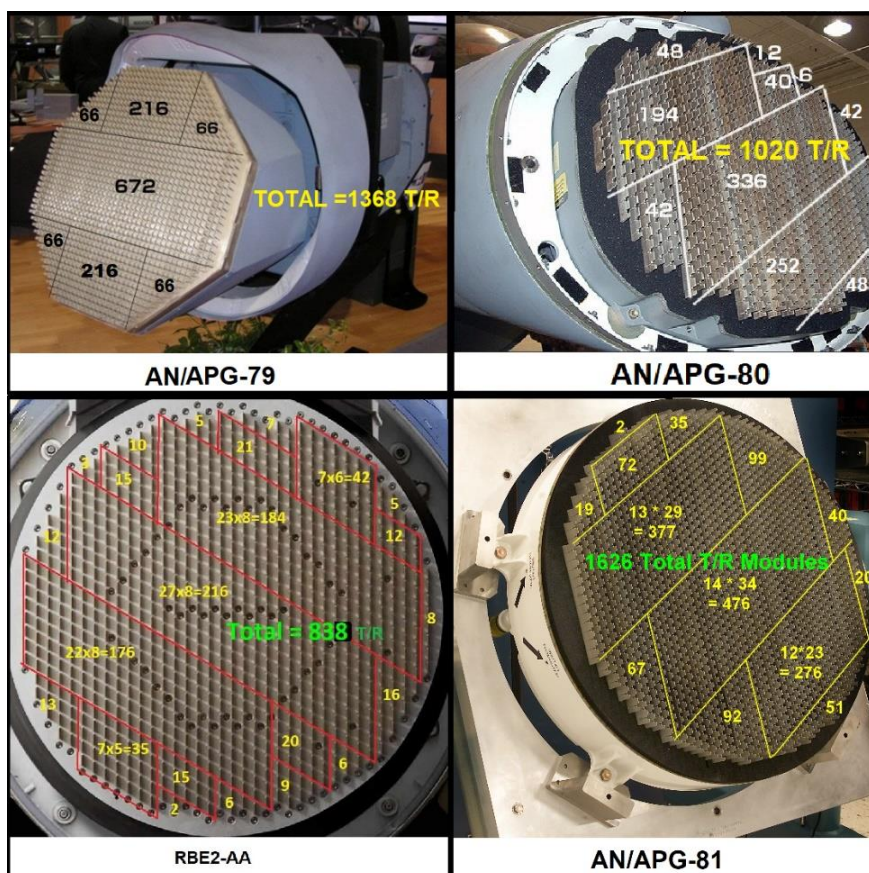
Απεικόνιση διαφορετικού τρόπου λειτουργίας PESA και AESA κεραιών

TRM (Transmit/Receive Modules): Αποτελούν το βασικότερο δομικό σύστημα για μια κεραία AESA (Μια κεραία αποτελείται από πολλά TRM). Κάθε TRM αποτελείται από κυρίως από το τμήμα εκπομπής, τμήμα λήψης, ψηφιακό ελεγκτή και σύστημα τροφοδοσίας. Συνήθως έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε μια μπάντα συχνοτήτων.



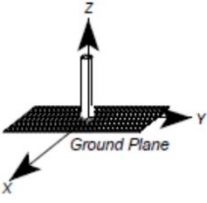
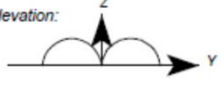
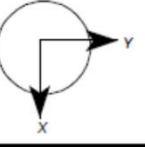
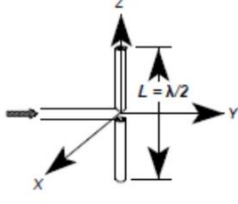

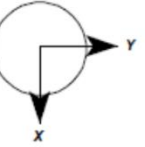
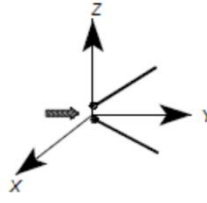

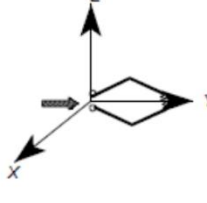
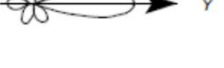
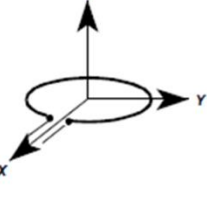
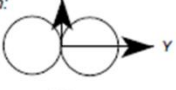
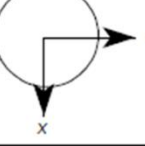
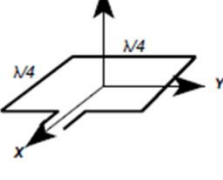
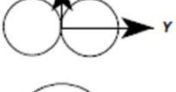
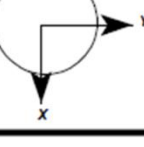
Εικ. 4.37

Διάφοροι τύποι T/R Modules, το μέγεθος και το σχήμα ποικίλει ανάλογα της μπάντας και του του μέσου για το οποίο προορίζεται η χρήση τους.

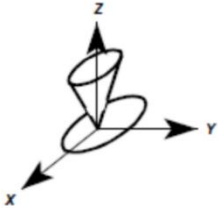

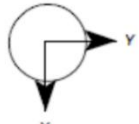
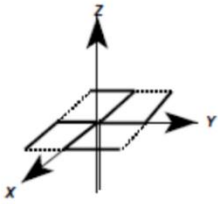

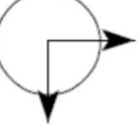
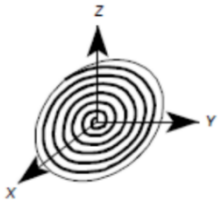

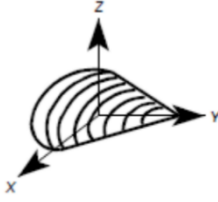

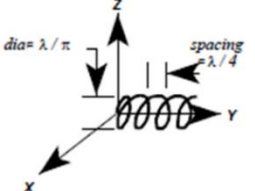

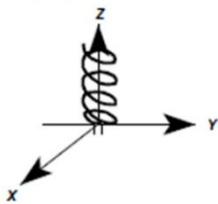
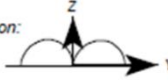
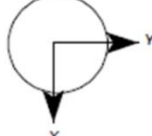


Εικ. 4.38

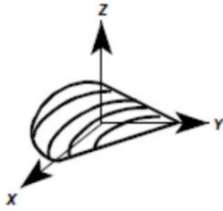
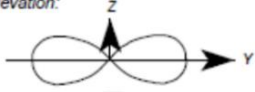
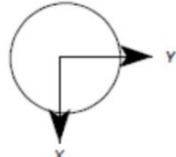
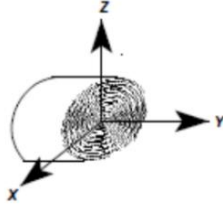
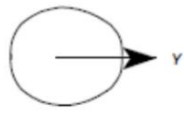
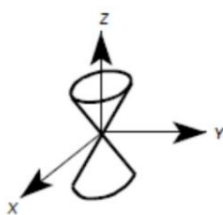
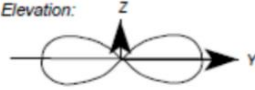
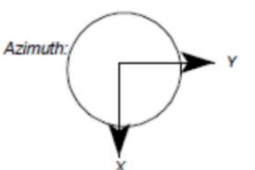
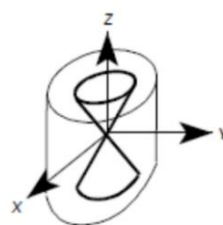

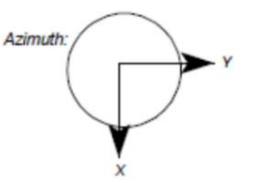
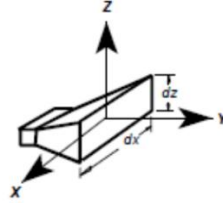


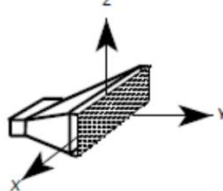


Ραντάρ αεροσκαφών AESA και ο αριθμός των T/RM που χρησιμοποιεί το κάθε ένα.

Antenna Type	Radiation Pattern	Characteristics
MONOPOLE 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Linear Vertical as shown Typical Half-Power Beamwidth 45 deg x 360 deg Typical Gain: 2-6 dB at best Bandwidth: 10% or 1:1:1 Frequency Limit Lower: None Upper: None Remarks: Polarization changes to horizontal if rotated to horizontal
$\lambda/2$ DIPOLE 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Linear Vertical as shown Typical Half-Power Beamwidth 80 deg x 360 deg Typical Gain: 2 dB Bandwidth: 10% or 1:1:1 Frequency Limit Lower: None Upper: 8 GHz (practical limit) Remarks: Pattern and lobing changes significantly with L/f. Used as a gain reference < 2 GHz.
VEE 	Elevation & Azimuth: 	Polarization: Linear Vertical as shown Typical Half-Power Beamwidth 60 deg x 60 deg Typical Gain: 2 to 7 dB Bandwidth: "Broadband" Frequency Limit Lower: 3 MHz Upper: 500 MHz (practical limits) Remarks: 24KHz versions are known to exist. Terminations may be used to reduce backlobes.
RHOMBIC 	Elevation & Azimuth: 	Polarization: Linear Vertical as shown Typical Half-Power Beamwidth 60 deg x 60 deg Typical Gain: 3 dB Bandwidth: "Broadband" Frequency Limit Lower: 3 MHz Upper: 500 MHz Remarks: Termination resistance used to reduce backlobes.
CIRCULAR LOOP (Small) 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Linear Horizontal as shown Typical Half-Power Beamwidth: 80 deg x 360 deg Typical Gain: -2 to 2 dB Bandwidth: 10% or 1:1:1 Frequency Limit: Lower: 50 MHz Upper: 1 GHz
SQUARE LOOP (Small) 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Linear Horizontal as shown Typical Half-Power Beamwidth: 100 deg x 360 deg Typical Gain: 1-3 dB Bandwidth: 10% or 1:1:1 Frequency Limit: Lower: 50 MHz Upper: 1 GHz

Εικ. 4.39
Χαρακτηριστικά
συνηθέστερων
κεραιών

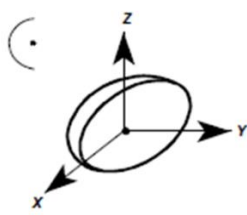

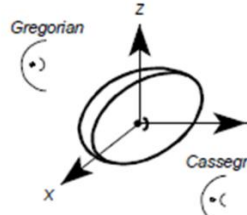


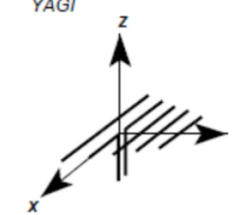

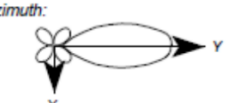
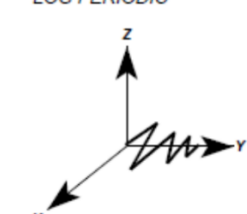
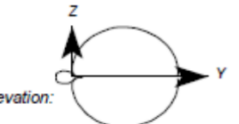

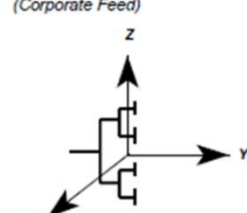

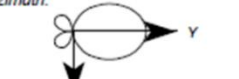
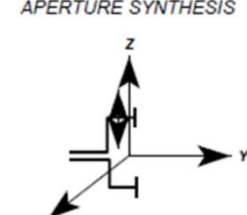

Antenna Type	Radiation Pattern	Characteristics
DISCONE 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Linear Vertical as shown Typical Half-Power Beamwidth: 20-80 deg x 360 deg Typical Gain: 0-4 dB Bandwidth: 100% or 3:1 Frequency Limit: Lower: 30 MHz Upper: 3 GHz
ALFORD LOOP 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Linear Horizontal as shown Typical Half-Power Beamwidth: 80 deg x 360 deg Typical Gain: -1 dB Bandwidth: 67% or 2:1 Frequency Limit: Lower: 100 MHz Upper: 12 GHz
CAVITY BACKED SPIRAL (Flat Helix) 	Elevation & Azimuth: 	Polarization: Circular Left hand as shown Typical Half-Power Beamwidth: 60 deg x 90 deg Typical Gain: 2-4 dB Bandwidth: 160% or 9:1 Frequency Limit: Lower: 500 MHz Upper: 18 GHz
CONICAL SPIRAL 	Elevation & Azimuth: 	Polarization: Circular Left hand as shown Typical Half-Power Beamwidth: 60 deg x 60 deg Typical Gain: 5-8 dB Bandwidth: 120% or 4:1 Frequency Limit: Lower: 50 MHz Upper: 18 GHz
AXIAL MODE HELIX 	Elevation & Azimuth: 	Polarization: Circular Left hand as shown Typical Half-Power Beamwidth: 50 deg x 50 deg Typical Gain: 10 dB Bandwidth: 52% or 1.7:1 Frequency Limit: Lower: 100 MHz Upper: 3 GHz Remarks: Number of loops >3
NORMAL MODE HELIX 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Circular - with an ideal pitch to diameter ratio. Typical Half-Power Beamwidth: 60 deg x 360 deg Typical Gain: 0 dB Bandwidth: 5% or 1.05:1 Frequency Limit: Lower: 100 MHz Upper: 3 GHz

Εικ. 4.39
 Χαρακτηριστικά
 συνηθέστερων
 κεραιών
 (Συνέχεια)

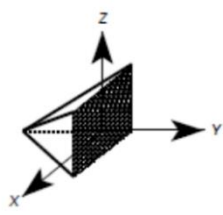
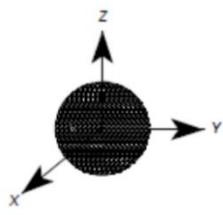

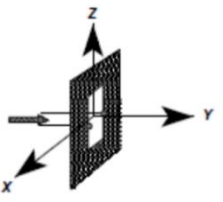
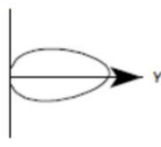
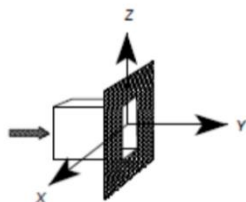
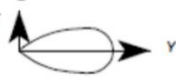
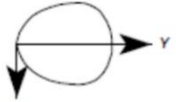
Antenna Type	Radiation Pattern	Characteristics
4 ARM CONICAL SPIRAL 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Circular Left hand as shown Typical Half-Power Beamwidth: 50 deg x 360 deg Typical Gain: 0 dB Bandwidth: 120% or 4:1 Frequency Limit: Lower: 500 MHz Upper: 18 GHz
DUAL POLARIZED SINUOUS 	Elevation & Azimuth: 	Polarization: Dual vertical or horizontal or dual Circular right hand or left hand with hybrid Typical Half-Power Beamwidth: 75 deg x 75 deg Typical Gain: 2 dB Bandwidth: 163% or 10:1 Frequency Limit: Lower: 500 MHz Upper: 18 GHz
BICONICAL 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Linear, Vertical as shown Typical Half-Power Beamwidth: 20-100 deg x 360 deg Typical Gain: 0-4 dB Bandwidth: 120% or 4:1 Frequency Limit: Lower: 500 MHz Upper: 40 GHz
BICONICAL W/POLARIZER 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Circular, Direction depends on polarization Typical Half-Power Beamwidth: 20-100 deg x 360 deg Typical Gain: -3 to 1 dB Bandwidth: 100% or 3:1 Frequency Limit: Lower: 2 GHz Upper: 18 GHz
HORN 	Elevation:  $3 \text{ dB beamwidth} = 56 \lambda^* / dz$ Azimuth:  $3 \text{ dB beamwidth} = 70 \lambda^* / dx$	Polarization: Linear Typical Half-Power Beamwidth: 40 deg x 40 deg Typical Gain: 5 to 20 dB Bandwidth: If ridged: 120% or 4:1 If not ridged: 67% or 2:1 Frequency Limit: Lower: 50 MHz Upper: 40 GHz
HORN W / POLARIZER 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Circular, Depends on polarizer Typical Half-Power Beamwidth: 40 deg x 40 deg Typical Gain: 5 to 10 dB Bandwidth: 60% or 2:1 Frequency Limit: Lower: 2 GHz Upper: 18 GHz

Εικ. 4.39

Χαρακτηριστικά
συνηθέστερων
κεραιών
(Συνέχεια)

Antenna Type	Radiation Pattern	Characteristics
PARABOLIC (Prime) 	Elevation & Azimuth 	Polarization: Takes polarization of feed Typical Half-Power Beamwidth: 1 to 10 deg Typical Gain: 20 to 30 dB Bandwidth: 33% or 1.4:1 limited mostly by feed Frequency Limit: Lower: 400 MHz Upper: 13+ GHz
PARABOLIC Gregorian  Cassegrain 	Elevation & Azimuth 	Polarization: Takes polarization of feed Typical Half-Power Beamwidth: 1 to 10 deg Typical Gain: 20 to 30 dB Bandwidth: 33% or 1.4:1 Frequency Limit: Lower: 400 MHz Upper: 13+ GHz
YAGI 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Linear Horizontal as shown Typical Half-Power Beamwidth: 50 deg X 50 deg Typical Gain: 5 to 15 dB Bandwidth: 5% or 1.05:1 Frequency Limit: Lower: 50 MHz Upper: 2 GHz
LOG PERIODIC 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Linear Typical Half-Power Beamwidth: 60 deg x 80 deg Typical Gain: 6 to 8 dB Bandwidth: 163% or 10:1 Frequency Limit: Lower: 3 MHz Upper: 18 GHz Remarks: This array may be formed with many shapes including dipoles or toothed arrays.
LINEAR DIPOLE ARRAY (Corporate Feed) 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Element dependent Vertical as shown Typical Half-Power Beamwidth: Related to gain Typical Gain: Dependent on number of elements Bandwidth: Narrow Frequency Limit: Lower: 10 MHz Upper: 10 GHz
APERTURE SYNTHESIS 	Elevation & Azimuth 	All characteristics dependent on elements Remarks: Excellent side-looking, ground mapping where the aircraft is a moving linear element.

Εικ. 4.39
 Χαρακτηριστικά
 συνηθέστερων
 κεραιών
 (Συνέχεια)

Antenna Type	Radiation Pattern	Characteristics
CORNER REFLECTOR 	Elevation: (Z-Y) Azimuth: (X-Y) Dependent upon feed emitter	Polarization: Feed dependent Typical Half-Power Beamwidth: 40 deg x variable Typical Gain: 10 dB above feed Bandwidth: Narrow Frequency Limit: Lower: 1 GHz, Upper: 40 GHz Remarks: Typically fed with a dipole or colinear array.
LUNEBURG LENS 	Elevation & Azimuth 	Polarization: Feed dependent Typical Half-Power Beamwidth: System dependent Typical Gain: System dependent Bandwidth: Narrow Frequency Limit: Lower: 1 GHz, Upper: 40 GHz Remarks: Variable index dielectric sphere.
CAVITY BACKED CIRCUIT FED SLOT (and Microstrip Patch) 	Elevation & Azimuth 	Polarization: Linear, vertical as shown Typical Half-Power Beamwidth: 80 deg x 80 deg Typical Gain: 6 dB Bandwidth: Narrow Frequency Limit: Lower: 50 MHz, Upper: 18 GHz Remarks: The feed line is sometimes separated from the radiator by a dielectric & uses capacitive coupling. Large conformal phased arrays can be made this way.
GUIDE FED SLOT 	Elevation:  Azimuth: 	Polarization: Linear, Typical Half-Power Beamwidth: Elevation: 45-50°, Azimuth: 80° Typical Gain: 0 dB Bandwidth: Narrow Frequency Limit: Lower: 2 GHz, Upper: 40 GHz Remarks: Open RF Waveguide

Εικ. 4.39

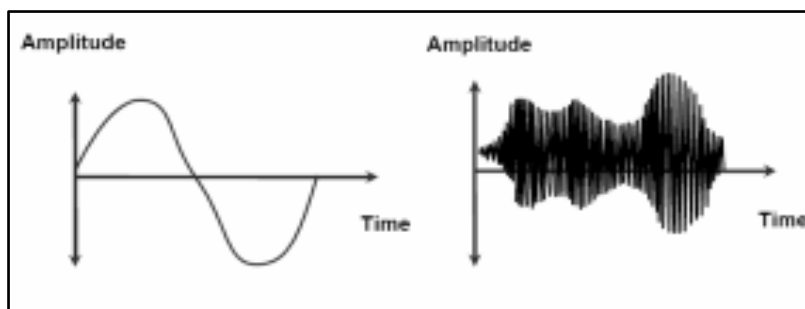
Χαρακτηριστικά
συνηθέσεων
κεραιών(Συνέχεια)

Κεφάλαιο 5^ο : Τηλεπικοινωνίες**5.1 Σήματα**

Το σήμα (signal) είναι το θεμελιώδες στοιχείο που καθιστά δυνατή την επικοινωνία. Στην ευρύτερη έννοια του, ένα σήμα μπορεί να ορισθεί ως μια φυσική ποσότητα (π.χ. μια αλλαγή στην ηχητική πίεση, μια συγκεκριμένη ένταση Η/Μ κύματος) που αντιπροσωπεύει ένα γεγονός, μεταφέρει πληροφορίες, ή έχει σκοπό τον υπολογισμό ή τον έλεγχο μιας δραστηριότητας ή ενός συστήματος. Τα περισσότερα σήματα που χρησιμοποιούνται στις επικοινωνίες είναι χρονικά μεταβαλλόμενα και γενικότερα όσο πιο γρήγορη είναι η αλλαγή τόσο περισσότερες πληροφορίες μεταφέρονται από το σήμα.

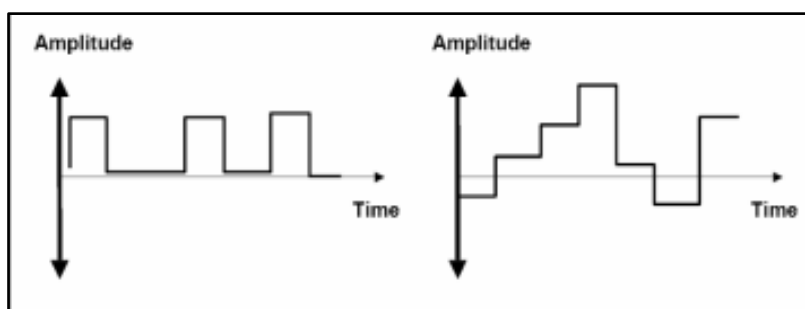
5.2 Είδη Σημάτων

α. Αναλογικά Σήματα: Αναλογικά είναι τα σήματα για τα οποία το πλάτος, η συχνότητα ή η φάση είναι δυνατό να λάβουν οποιαδήποτε τιμή μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών. Τα αναλογικά σήματα μεταβάλλονται συνεχώς με τον χρόνο.



Εικ. 5.1
Αναλογικά σήματα

β. Ψηφιακά Σήματα: Σε αντίθεση με τα αναλογικά, στα ψηφιακά σήματα, το πλάτος, η συχνότητα ή η φάση είναι δυνατό να λάβουν μόνο διακριτές τιμές.



Εικ. 5.2
Ψηφιακά σήματα

5.3 Χαρακτηριστικά Σημάτων

α. Πλάτος (Amplitude): Αναφέρεται στην ένταση του σήματος. Τα σήματα μπορεί να είναι σταθερού ή μεταβαλλόμενου πλάτους.

β. Φάσμα (Spectrum): Όλα τα σήματα (εκτός των καθαρά ημιτονοειδών) αποτελούνται από ένα σύνολο συχνοτήτων. Όταν το σύνολο αυτό απεικονισθεί σε συντεταγμένες πλάτους και συχνότητας παράγει μια γραφική παράσταση η οποία ονομάζεται φάσμα συχνοτήτων. Για σήματα άπειρου φάσματος, το φάσμα καθορίζεται από τις συχνότητες αποκοπής, τις συχνότητες εκείνες δηλαδή πέραν από τις οποίες υφίσταται ελάχιστο μέρος της ενέργειας του σήματος, μη ικανό να επηρεάσει τη πληροφορία.

γ. Εύρος Ζώνης (Bandwidth, BW): Το φάσμα καθορίζει το εύρος ζώνης του σήματος και είναι ένα μέτρο του «χώρου» που αυτό καταλαμβάνει σε ολόκληρο το φάσμα συχνοτήτων. Η έννοια του εύρους ζώνης είναι πολύ σημαντική. Σε κάθε μέσο επικοινωνίας μπορεί να περάσει μόνο μια περιορισμένη ζώνη συχνοτήτων. Το εύρος ζώνης του μέσου ή του καναλιού καθώς και το εύρος ζώνης των διαφόρων σημάτων υπό μετάδοση, καθορίζουν τον αριθμό των σημάτων που είναι δυνατό να μεταδοθούν.

δ. Περιοδικά Σήματα: Πέρα των παραπάνω χαρακτηριστικών, τα περιοδικά σήματα έχουν τα χαρακτηριστικά της **Συχνότητας, Περιόδου, Φάσης και Μήκους Κύματος** τα οποία και έχουν αναλυθεί προηγουμένως.

5.4 Εύρος Συχνοτήτων Μέσου και Καναλιού

Μέσο: Η φυσική οντότητα (π.χ. καλώδιο, κυματοδηγοί, οπτικές ίνες, ατμόσφαιρα) που υποστηρίζει την μετάδοση των επικοινωνιακών σημάτων από το ένα σημείο στο άλλο. **Κανάλι:** Η ζώνη συχνοτήτων που υποστηρίζεται από το επιλεγμένο μέσο. Π.χ. ένα ομοαξονικό καλώδιο υποστηρίζει αρκετά τηλεοπτικά σήματα με εύρος συχνοτήτων 6 MHz, το κάθε ένα από τα οποία αποτελεί και ένα κανάλι.

Για τη μέγιστη πιστότητα της πληροφορίας θα πρέπει τουλάχιστο να ισχύει:

$$BW \text{ Σήματος} \leq BW \text{ Καναλιού} \leq BW \text{ Μέσου}$$

5.5 Διαμόρφωση (Modulation)

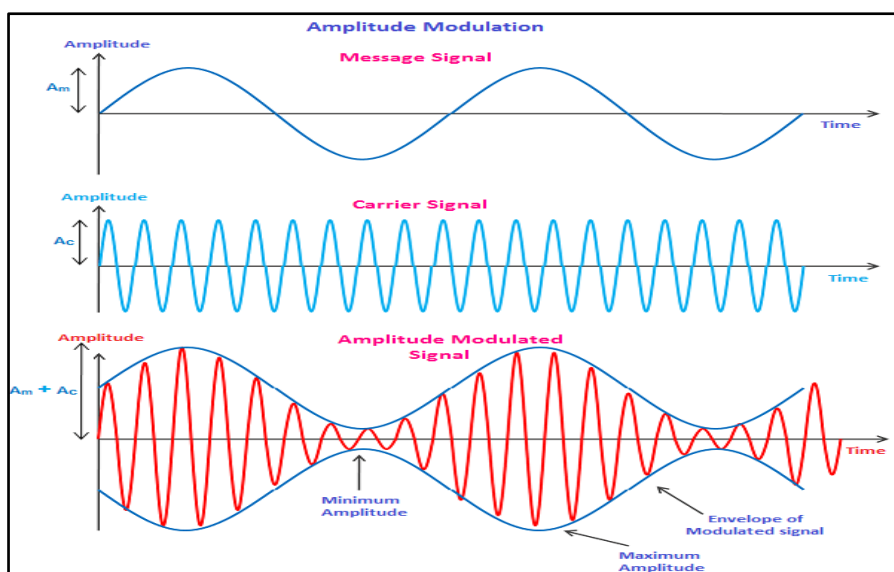
Ονομάζεται η διαδικασία μεταβολής κάποιας παραμέτρου ενός ημιτονοειδούς σήματος (φέρων σήμα) σύμφωνα με τη στιγμιαία τιμή ενός δευτερεύοντος σήματος (σήμα διαμόρφωσης) ή σήμα βασικής ζώνης (baseband signal) το οποίο και έχει την πληροφορία που μας ενδιαφέρει.

Οποιοδήποτε από τα χαρακτηριστικά του φέροντος κύματος (πλάτος, συχνότητα, φάση) μπορεί να επιλεγεί να μεταβάλλεται ώστε να μεταφέρει την ζητούμενη πληροφορία.

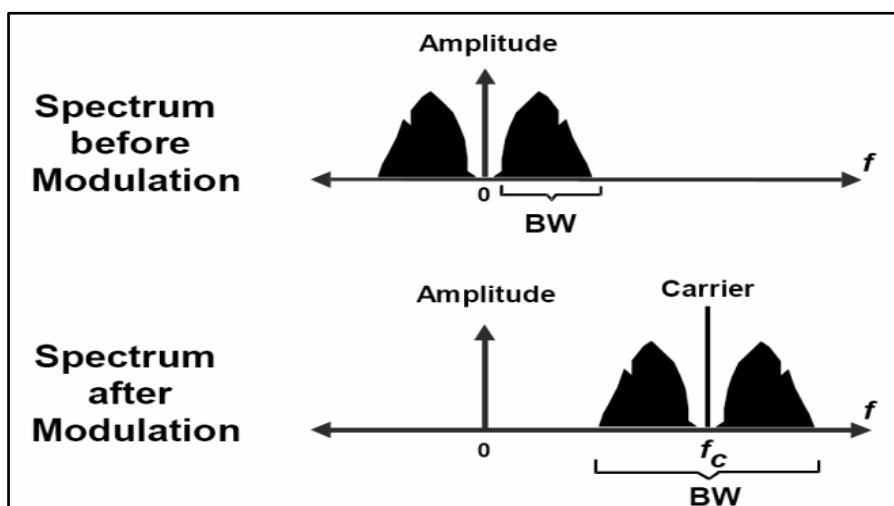
5.6 Είδη Διαμόρφωσης Αναλογικών Σημάτων

α. Διαμόρφωση Πλάτους (Amplitude Modulation – AM)

Είναι η πιο απλή μορφή διαμόρφωσης κατά την οποία το πλάτος του φέροντος μεταβάλλεται σύμφωνα με το σήμα διαμόρφωσης.

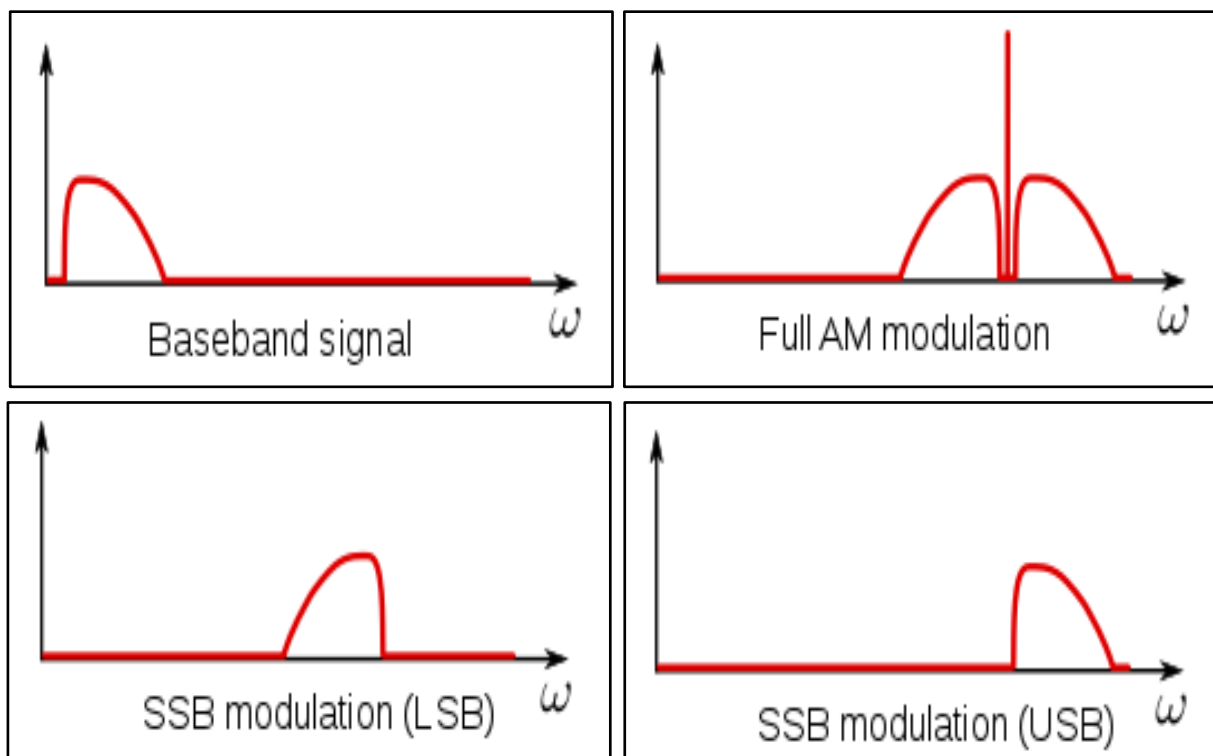


Εικ. 5.3
Διαμόρφωση AM



Εικ. 5.4
Φάσμα Σήματος AM

Μια ευρέως χρησιμοποιούμενη υποκατηγορία διαμόρφωσης AM είναι η διαμόρφωση SSB (Single Sideband Modulation). Όπως φαίνεται στην Εικ. 5.4 το φάσμα συχνοτήτων ενός AM σήματος είναι διπλάσιο του αρχικού. Στην διαμόρφωση SSB γίνεται «αποκοπή» συχνοτήτων στο υψηλό (LSB – Lower Sideband) ή στο χαμηλό (USB – Upper Sideband) φάσμα. Η τεχνική αυτή παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα (Αύξηση BW, μικρότερη ισχύ εκπομπής, απλούστερη τεχνική διαμόρφωσης-αποδιαμόρφωσης και ευκολία συντονισμού) έναντι της απλής διαμόρφωσης AM, με μηδενικές απώλειες στη πληροφορία που μεταφέρεται.

**Εικ. 5.5**

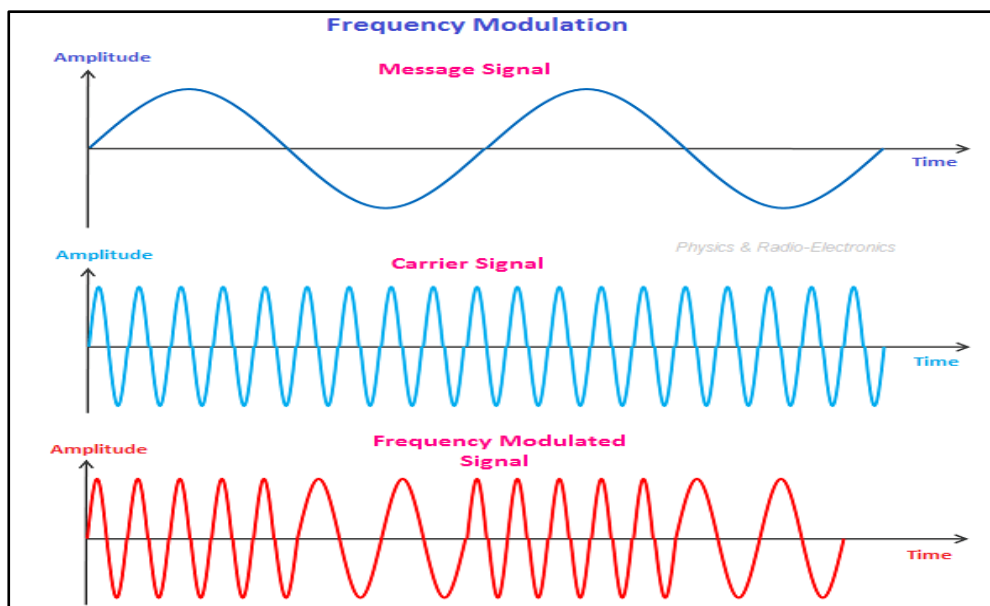
Διαμόρφωση LSB και USB

β. Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Modulation – FM)

Η συχνότητα του φέροντος μεταβάλλεται σύμφωνα με το σήμα διαμόρφωσης.

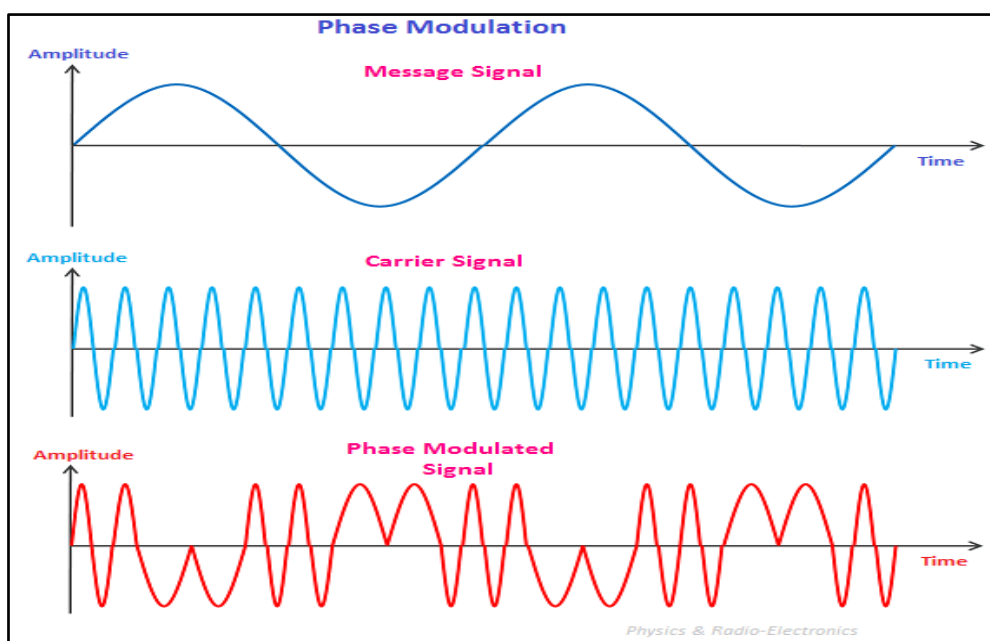
γ. Διαμόρφωση Φάσης (Phase Modulation – PM)

Η φάση του φέροντος μεταβάλλεται σύμφωνα με το σήμα διαμόρφωσης.



Εικ. 5.6

Διαμόρφωση FM

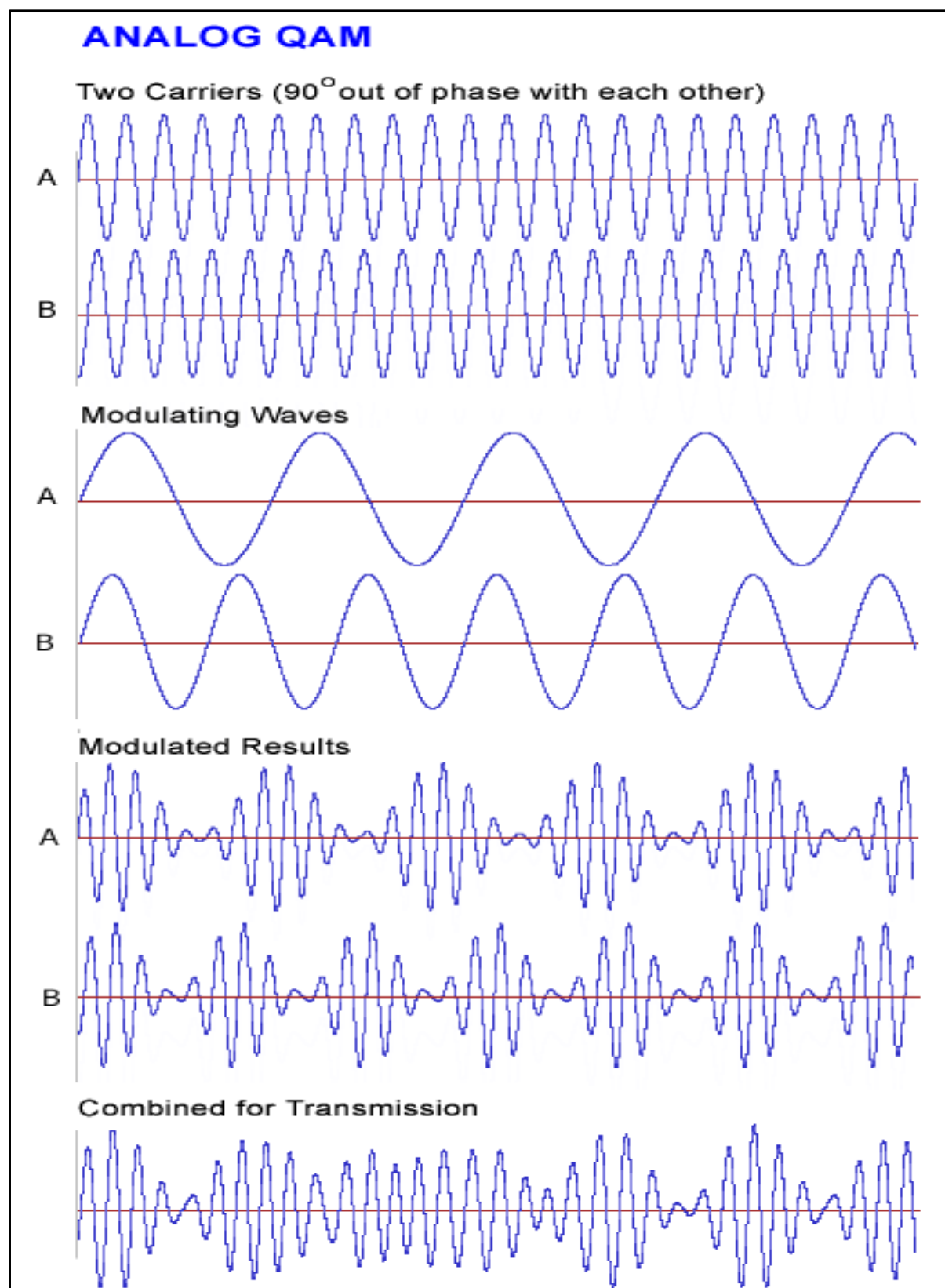


Εικ. 5.7

Διαμόρφωση PM

δ. Διαμόρφωση Τετραγωνισμού Πλάτους (Quadrature Amplitude Modulation)

Η διαμόρφωση QAM αποτελεί έναν συνδυασμό της διαμόρφωσης φάσης και πλάτους. Κατά τη διαμόρφωση αυτή στις αναλογικές επικοινωνίες είναι δυνατή η χρήση μίας συχνότητας (φέρων κύμα) στην οποία μεταφέρονται διαφορετικά κύματα (διαχωρισμένα σε φάση ή σε πλάτος).



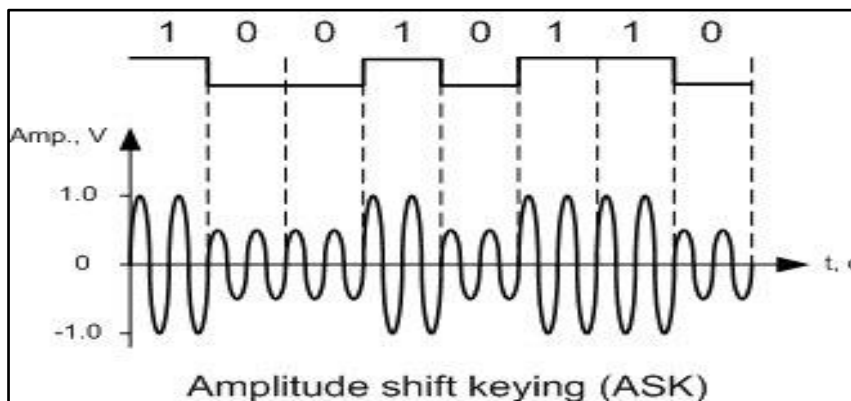
Εικ. 5.8

Παράδειγμα διαμόρφωσης QAM στο οποίο χρησιμοποιούνται 2 φέροντα σήματα με διαφορά φάσης 90° μεταξύ τους

5.7 Είδη Διαμόρφωσης Ψηφιακών Σημάτων

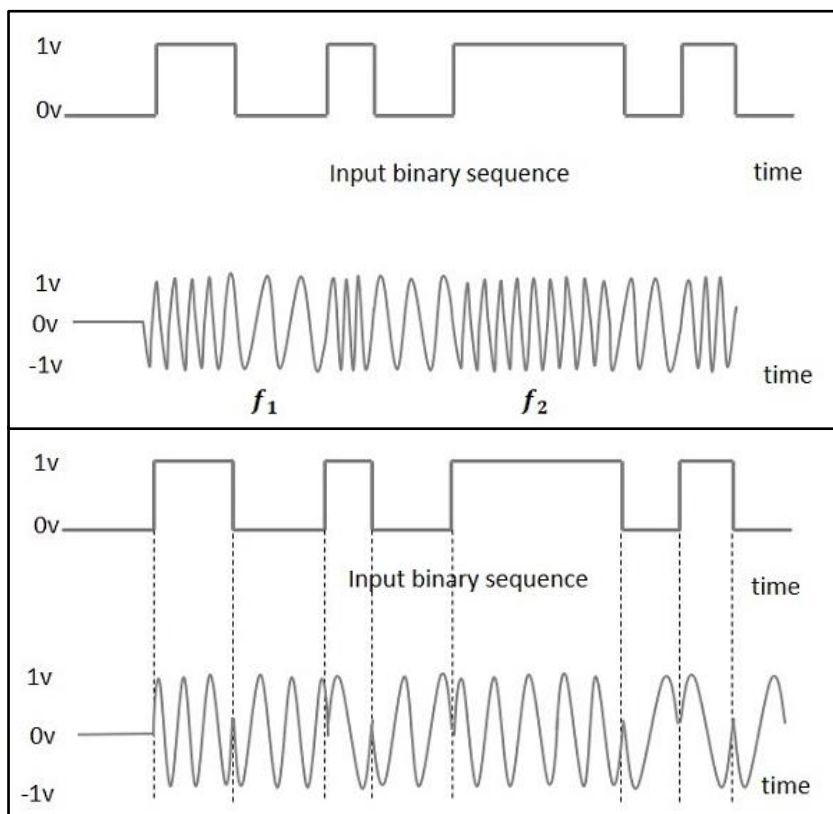
α. Διαμόρφωση Μετατόπισης Πλάτους (Amplitude Shift-Key Modulation - ASK)

Το πλάτος του σήματος κυμαίνεται μεταξύ 2 ορισμένων τιμών και για ορισμένο χρόνο, οι οποίες αντιστοιχούν στα Bit 0 και 1.



Εικ. 5.9
Διαμόρφωση ASK

β. Διαμόρφωση Μετατόπισης Συχνότητας/Φάσης (Frequency/Phase Shift-Key Modulation – FSK/PSK) Αντίστοιχα με τη διαμόρφωση ASK, στις εν λόγω διαμορφώσεις η συχνότητα ή η φάση του σήματος χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τις τιμές 0 και 1.

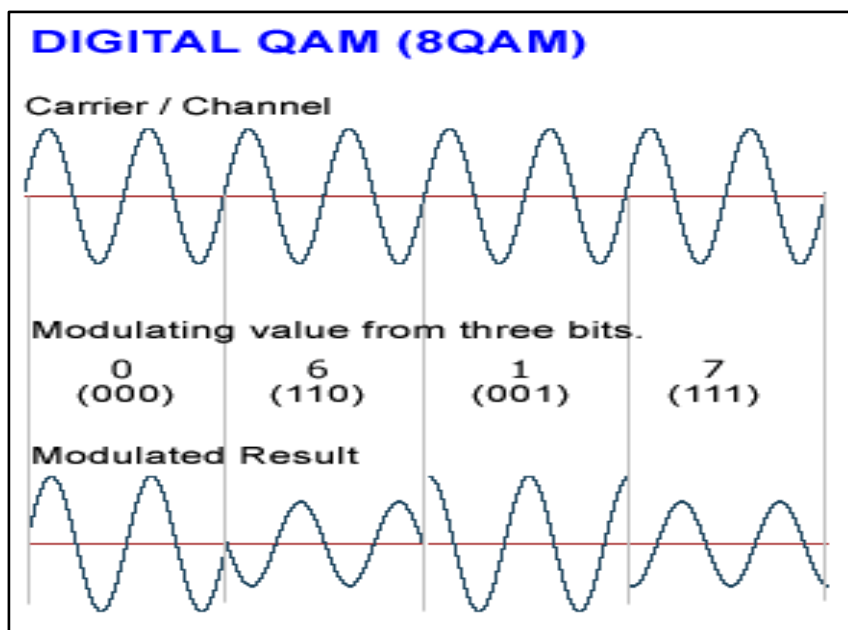


Εικ. 5.10
Διαμόρφωση FSK (επάνω) και PSK (κάτω)

γ. Διαμόρφωση Μετατόπισης Πλάτους και Φάσης (Amplitude-Phase Shift-Key Modulation – APSK)

Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό, η διαμόρφωση APSK είναι συνδυασμός των διαμορφώσεων ASK και PSK. Η διαμόρφωση APSK μοιάζει με τη διαμόρφωση QAM (η QAM είναι μια υποκατηγορία της APSK), αλλά έχει περισσότερα πλεονεκτήματα έναντι της τελευταίας κυρίως λόγω των λιγότερων απαιτήσεων μεταβολών του πλάτους των σημάτων για τη μεταφορά ίδιου όγκου πληροφοριών.

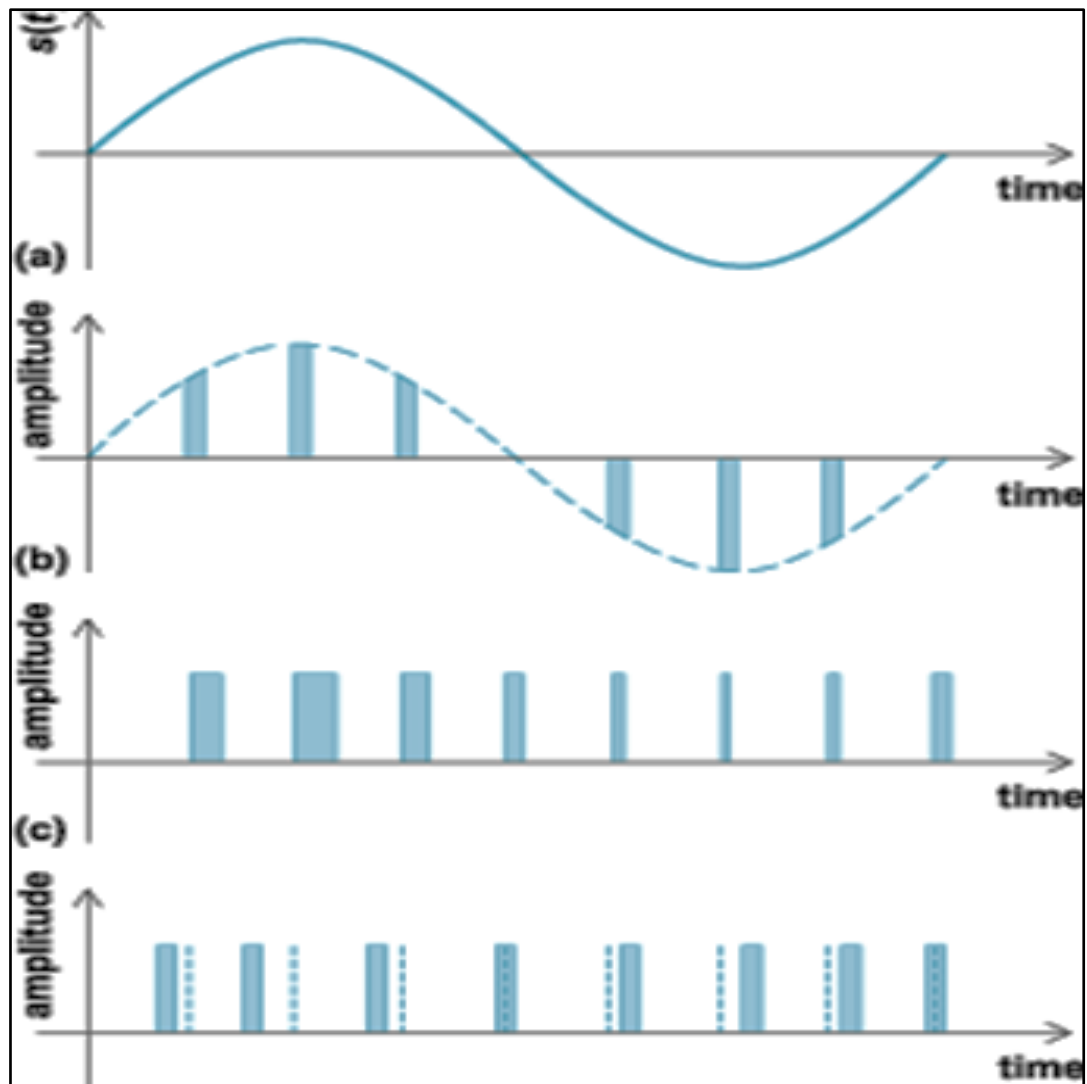
δ. Διαμόρφωση Τετραγωνισμού Πλάτους (Quadrature Amplitude Modulation)



Εικ. 5.11
Διαμόρφωση QAM
ψηφιακού σήματος

ε. Διαμορφώσεις Παλμού (Pulse Modulations)

Σε αυτές τις διαμορφώσεις χρησιμοποιείται εκπομπή παλμού και όχι συνεχόμενη εκπομπή σήματος. Στις διαμορφώσεις αυτές ανήκουν η **Διαμόρφωση Πλάτους Παλμού (Pulse Amplitude Modulation – PAM)** όπου το πλάτος κάθε παλμού αντιστοιχεί σε μια τιμή πλάτους του σήματος διαμόρφωσης κατά τη δειγματοληψία, η **Διαμόρφωση Εύρους Παλμού (Pulse Width Modulation – PWM)**, όπου το εύρος (διάρκεια) του παλμού έχει συγκεκριμένες τιμές και αντιστοιχεί σε κάποια πληροφορία του σήματος διαμόρφωσης και η **Διαμόρφωση Θέσης Παλμού (Pulse Position Modulation - PPM)**, στην οποία η θέση του παλμού αντιστοιχεί σε κάποια πληροφορία του σήματος διαμόρφωσης.



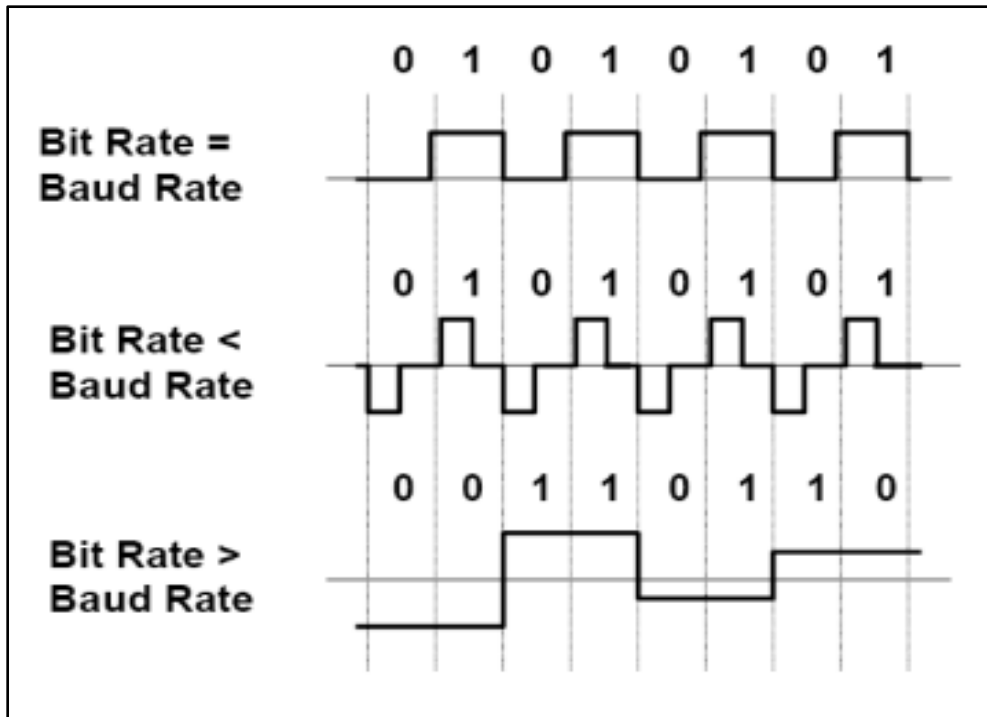
Εικ. 5.12

Από πάνω προς τα κάτω: Σήμα διαμόρφωσης, PAM, PWM, PPM

5.8 Ψηφιακές Επικοινωνίες

Οι ψηφιακές επικοινωνίες από τεχνική άποψη, προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των αναλογικών, όπως αξιοπιστία σε περιβάλλον θορύβου, δυνατότητα επεξεργασίας, δυνατότητα κρυπτογράφησης και ελέγχου λαθών.

Bitrate και Baud rate: Το Bitrate είναι ο αριθμός των πληροφοριών (0 και 1) που μεταδίδεται σε ένα δευτερόλεπτο. Μετρείται σε Bits ανά δευτερόλεπτο (bps). Ως Baud rate ορίζεται το πόσες φορές έχουμε αλλαγή της κατάστασης της γραμμής σε ένα δευτερόλεπτο.



Εικ. 5.13

Bit Rate και Baud Rate

5.9 Μετατροπή Αναλογικών Σημάτων σε Ψηφιακά

Η διαδικασία αυτή λέγεται ψηφιοποίηση (Digitization). Η πιο δημοφιλής μέθοδος ψηφιοποίησης είναι η Παλμοκωδική Διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM) και περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

α. Δειγματοληψία (Sampling)

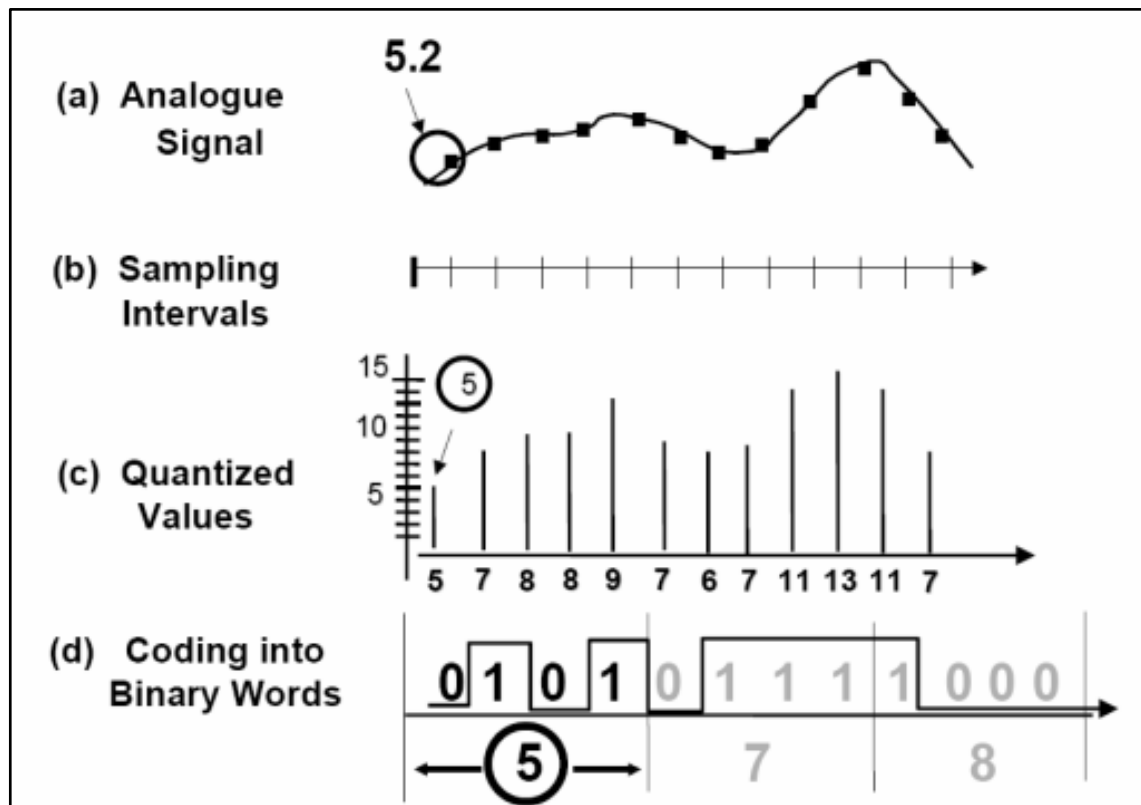
Είναι η διαδικασία λήψης του στιγμιαίου πλάτους του αναλογικού σήματος σε τακτά προκαθορισμένα διαστήματα. Η ταχύτητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από τη μεγαλύτερη συχνότητα που περιέχεται στο αναλογικό σήμα. Βέβαια η ταχύτητα μπορεί να είναι και μεγαλύτερη πράγμα το οποίο οδηγεί σε καλύτερη πιστότητα, αυξάνοντας όμως τις απαιτήσεις εύρους ζώνης.

β. Κβαντικοποίηση (Quantizing)

Είναι η διαδικασία αντιστοίχισης της τιμής του δείγματος σε μια διακριτή τιμή. Όσο πιο πολλές τιμές μπορεί να πάρει ένα δείγμα τόσο πιο κοντά θα είναι οι κβαντικοποιημένες τιμές στα πραγματικά δείγματα, αυξάνοντας όμως τις απαιτήσεις του εύρους ζώνης ή του χρόνου μετάδοσης καθώς απαιτείται η μετάδοση μεγαλύτερων δυαδικών «λέξεων».

γ. Κωδικοποίηση (Encoding)

Τελευταίο βήμα είναι η μετατροπή της κβαντοποιημένης τιμής στον αντίστοιχο δυαδικό κώδικα. Όταν συγκριθούν οι τιμές των δειγμάτων με τις αντίστοιχες κβαντικοποιημένες τιμές, παρατηρούνται σφάλματα (σφάλματα κβαντικοποίησης ή θόρυβος κβαντικοποίησης) και προκαλούνται από το γεγονός ότι οι κβαντικοποιημένες τιμές είναι προσεγγιστικές των πραγματικών τιμών.



Εικ. 5.14

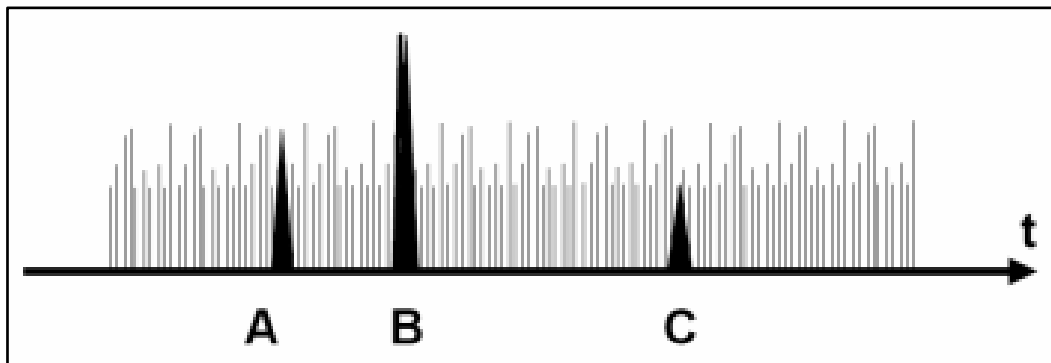
Βήματα PCM

5.10 Θόρυβος

Ο όρος θόρυβος, περιγράφει οποιαδήποτε μη επιθυμητά σήματα τα οποία λαμβάνονται από έναν δέκτη ή παράγονται από τον ίδιο και επηρεάζουν τα επιθυμητά σήματα. Ο θόρυβος υπάρχει πάντα και περιορίζει την απόδοση κάθε επικοινωνιακού συστήματος.

Ο θόρυβος μπορεί να είναι εξωτερικός, δηλαδή να προέρχεται από πηγές η οποίες βρίσκονται εκτός του συστήματος επικοινωνιών (ατμοσφαιρικός θόρυβος, θόρυβος από καιρικές συνθήκες, βιομηχανικός θόρυβος) ή εσωτερικός, να προέρχεται δηλαδή από τα ίδια τα συστήματα που βρίσκονται στο σύστημα αυτό καθαυτό (θερμικός θόρυβος, ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος κ.τ.λ.).

Ο θόρυβος, ανεξαρτήτως από πού προέρχεται έχει την ίδια συνολική επίδραση «επικάλυψης» των σημάτων.



Εικ. 5.15

Επίδραση του θορύβου, οι παλμοί A και C επικαλύπτονται από τον θόρυβο και δεν είναι αρκετά ισχυροί για να επεξεργαστούν από τον δέκτη

5.11 Ποσοτικοποίηση Θορύβου

Ο λόγος της ισχύος του σήματος προς την ισχύ του θορύβου στην είσοδο του δέκτη (ή και στην έξοδο) είναι ένας σημαντικός παράγοντας καθορισμού της απόδοσης του συστήματος. Δύο τέτοιες μέθοδοι είναι οι Signal to Noise Ratio – SNR και Noise Figure.

SNR: Μετριέται σε Decibels και εκφράζεται μαθηματικά ως:

$$SNR_{dB} = 10 * \log \left(\frac{P_S}{P_N} \right)$$

Σε ένα σύστημα με $SNR = 0$ το επίπεδο θορύβου είναι ίσο με του σήματος. Μεγαλύτερο SNR συνεπάγεται και ισχυρότερο σήμα προς θόρυβο. Όπως είναι λογικό το SNR μειώνεται όταν η απόσταση αυξάνεται.

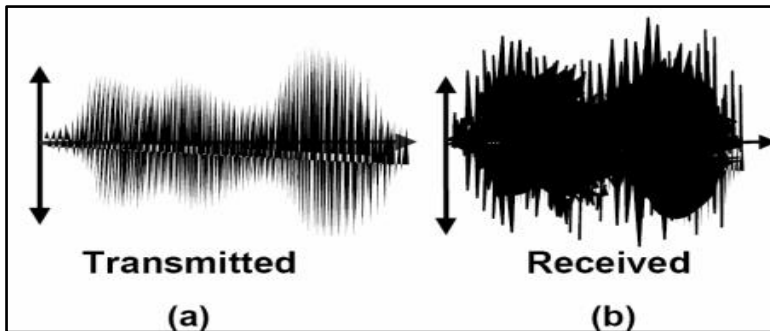
Noise Figure: Το NF χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αποδοτικότητας του δέκτη και ορίζεται ως το SNR εισόδου προς το SNR εξόδου. Σε έναν ιδανικό δέκτη – σύστημα ο οποίος δεν παράγει καθόλου θόρυβο το NF ισούται με 1.

5.12 Συνέπειες Θορύβου

Η επίδραση του θορύβου στα αναλογικά συστήματα εξαρτάται από τον τύπο διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται. Τα σήματα με διαμορφώσεις πλάτους επηρεάζονται περισσότερο από τα σήματα με διαμόρφωση συχνότητας ή φάσης. Ο λόγος είναι ότι στα AM σήματα η πληροφορία βρίσκεται στο πλάτος το οποίο και επηρεάζεται

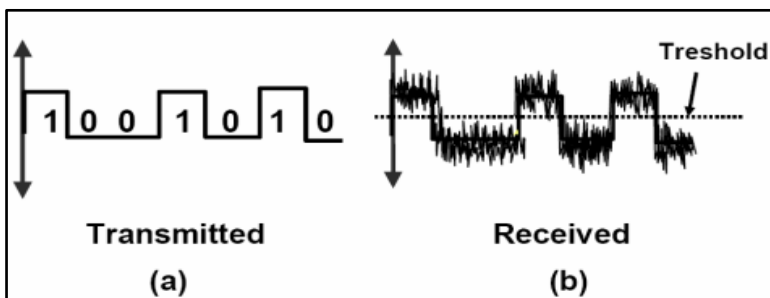
πολύ πιο εύκολα από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά όταν υπάρχει θόρυβος.

Στα ψηφιακά σήματα από την άλλη, ο θόρυβος έχει πολύ μικρότερη επίδραση από τα αναλογικά διότι η πληροφορία στο ψηφιακό σήμα δεν βρίσκεται στην κυματομορφή ή στο πλάτος του σήματος αλλά στην παρουσία ή όχι σήματος (1 και 0). Για να είναι δυνατή η λήψη αυτής της «απόφασης» τα ψηφιακά συστήματα χρησιμοποιούν το λεγόμενο «κατώφλι» (Threshold) το οποίο στην ουσία είναι μια τιμή την οποία εάν το δείγμα ξεπερνά, ο δείκτης θεωρεί το μεταδιδόμενο σήμα σαν «1», εάν όχι σαν «0».



Εικ. 5.16

Επίδραση θορύβου σε αναλογικό σήμα AM



Εικ. 5.17

Επίδραση θορύβου σε ψηφιακό σήμα, διαμόρφωσης παλμού

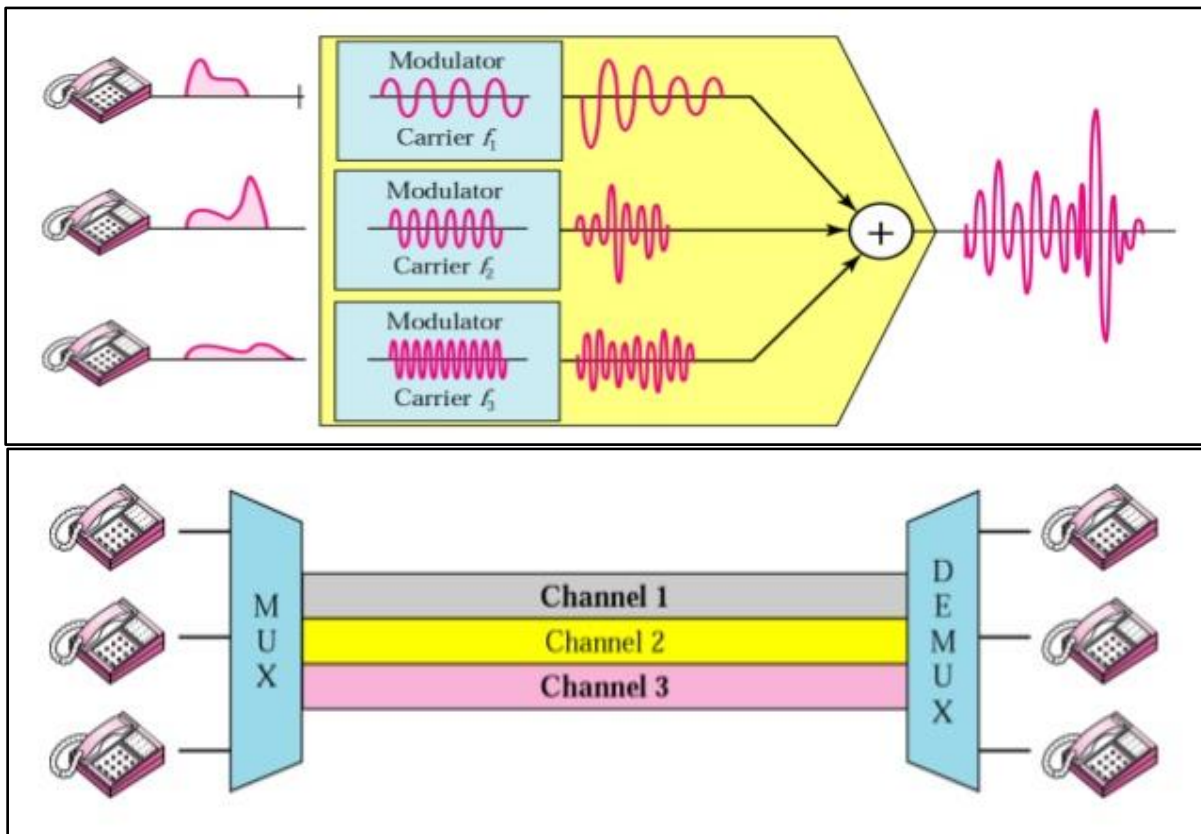
5.13 Πολυπλεξία (Multiplexing/Muxing)

Πολυπλεξία λέγεται η μέθοδος, η οποία επιτρέπει σε ψηφιακά ή αναλογικά σήματα να διέλθουν μέσα από το ίδιο φυσικό μέσο (ένα καλώδιο, στην ενσύρματη επικοινωνία. Με αυτόν τον τρόπο κάποιος πόρος, ο οποίος είναι σπάνιος, διαμοιράζεται σε πολλαπλούς χρήστες. Η πολυπλεξία διαιρεί τη χωρητικότητα του τηλεπικοινωνιακού καναλιού (Bandwidth) σε λογικά κανάλια, ένα για κάθε μεταδιδόμενο πακέτο δεδομένων ή για κάθε σήμα αντίστοιχα, τα οποία διέρχονται συνδυασμένα από το κανάλι. Η αντίστροφη διαδικασία εκτελείται από τον κάθε παραλήπτη, για να απομονωθεί το ζητούμενο πακέτο ή σήμα, και ονομάζεται αποπολυπλεξία.

Το σήμα WiFi, το Bluetooth, η ψηφιακή και η δορυφορική τηλεόραση και τηλεφωνο, σταθμοί ασυρμάτου οι οποίοι ταυτόχρονα λειτουργούν ως αναμεταδότες (π.χ. ο ασύρματος TRC-9210 του Ε.Σ) είναι μερικά παραδείγματα τα οποία χρησιμοποιούν την πολυπλεξία.

α. Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing)

Η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας είναι τεχνολογία για την μετάδοση αναλογικών σημάτων. Το εύρος ζώνης του επικοινωνιακού καναλιού διαιρείται σε ζώνες συχνοτήτων που ονομάζονται κανάλια. Η μετάδοση των σημάτων γίνεται ταυτόχρονα στα κανάλια που έχουν καθοριστεί.

**Εικ. 5.18**

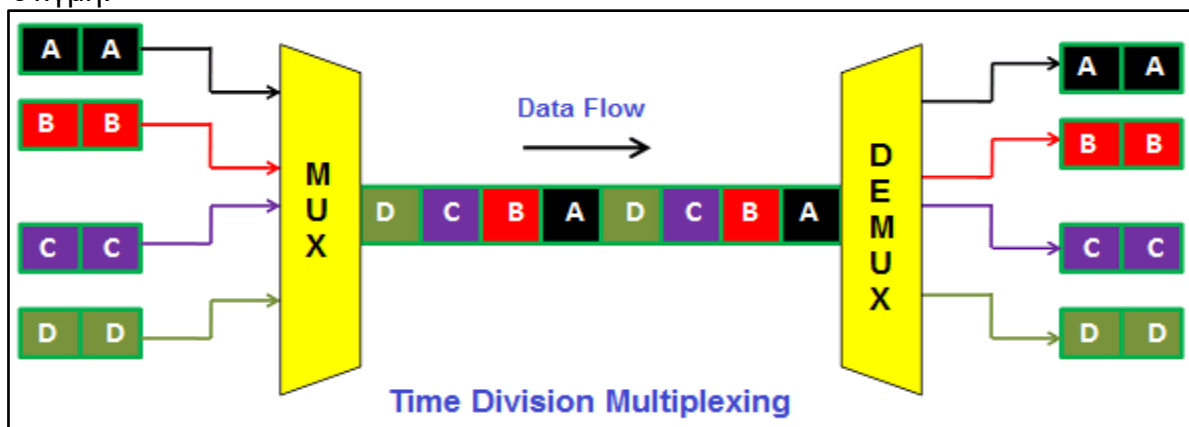
Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας

β. Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (Time Division Multiplexing)

Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου είναι τεχνολογία ψηφιακής μετάδοσης σημάτων. Ο χρόνος διαιρείται σε χρονοθυρίδες (timeslots) και η μεταφορά των σημάτων γίνεται κυκλικά. Αν θέλουμε να στείλουμε αναλογικά σήματα με την πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου, κάνουμε δειγματοληψία των σημάτων και αποστέλλουμε κυκλικά τα δείγματα (δεν χρησιμοποιείται συχνά αυτή η μέθοδος). Με αυτόν το τρόπο δεδομένα διαφορετικών πηγών πολυπλέκονται χρονικά και μεταδίδονται στην ίδια γραμμή (μέσο μετάδοσης).

Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου μπορεί να είναι σύγχρονη ή ασύγχρονη. Στην

σύγχρονη πολυπλεξία κάθε σήμα μπορεί να μεταδοθεί μόνο σε μια συγκεκριμένη χρονοθυρίδα, ανεξάρτητα αν μεταφέρει πληροφορία ή όχι. Στην ασύγχρονη πολυπλεξία, η κάθε χρονοθυρίδα μπορεί να διατεθεί για να μεταφέρει πληροφορία από διαφορετικά σήματα, εφόσον κάποιο από τα υπόλοιπα δεν μεταφέρει πληροφορία τη δεδομένη στιγμή.



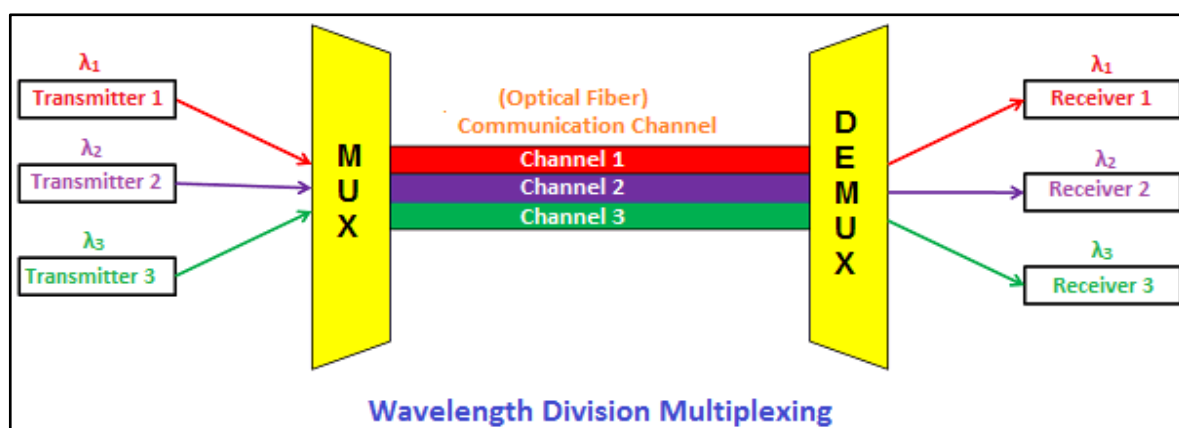
Εικ. 5.19

Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου

γ. Λοιπές Μέθοδοι Πολυπλεξίας

(1) Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος (Wavelength Division Multiplexing)

Παρόμοια με τη πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για τις επικοινωνίες μέσω οπτικής ίνας και τα σήματα διαχωρίζονται αναλόγως του μήκους κύματος.



Εικ. 5.20

Πολυπλεξία Διαίρεσης Μήκους Κύματος

(2) Πολυπλεξία Διαίρεσης Πόλωσης (Polarization Division Multiplexing)

Η ταυτόχρονη μετάδοση πραγματοποιείται με τον διαχωρισμό των σημάτων αναλόγως της πόλωσης τους. Χρησιμοποιείται τόσο στις ασύρματες ραδιοεπικοινωνίες, όσο και στις επικοινωνίες μέσω οπτικής ίνας.

(3) Πολυπλεξία Κώδικα ή Πολυπλεξία Διασποράς Φάσματος

Χρησιμοποιούνται οι τεχνικές Frequency Hopping ή Direct sequence spread spectrum, οι οποίες αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

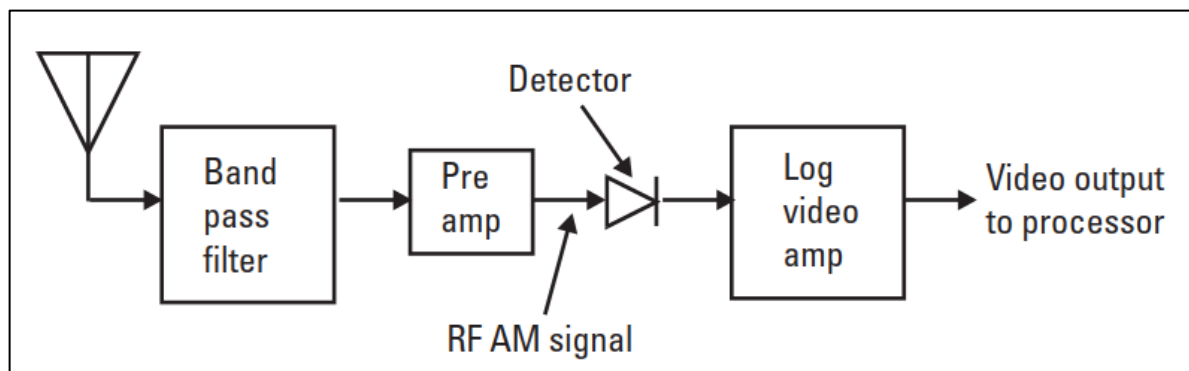
Κεφάλαιο 6° : Ο Ηλεκτρονικός Πόλεμος στις Τηλεπικοινωνίες

6.1 Είδη Δέκτη

Υπάρχουν αρκετά διαφορετικά είδη δεκτών που χρησιμοποιούνται τόσο σε συστήματα επικοινωνιών όσο και σε συστήματα ΗΠ (ιδιαίτερα σε επιχειρήσεις Ηλεκτρονικής Υποστήριξης). Για λόγους πληρότητας παρακάτω θα γίνει μια σύντομη περιγραφή των κυριότερων εξ αυτών.

α. Κρυσταλλικός (Crystal Video Receiver - CVR)

Ονομάζεται έτσι διότι ο ανιχνευτής του σήματος αρχικά ήταν κατασκευασμένος από κρύσταλλο. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των δεκτών είναι ότι μπορούν να λειτουργήσουν σε πολύ μεγάλο εύρος συχνοτήτων (μέχρι και αρκετά GHz) με υψηλή πιθανότητα ανίχνευσης σήματος. Το μειονέκτημα τους είναι ότι αποδιαμορφώνουν όλα τα σήματα τα οποία βρίσκονται σε μια μπάντα, το οποίο σε πυκνές μπάντες όπως HF-VHF-UHF αποτελεί πρόβλημα. Οι κρυσταλλικοί δέκτες μπορούν μόνο να αποδιαμορφώσουν ένα σήμα χωρίς να καθορίσουν τη συχνότητά του. Σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα RWR (Radar Warning Receiver).



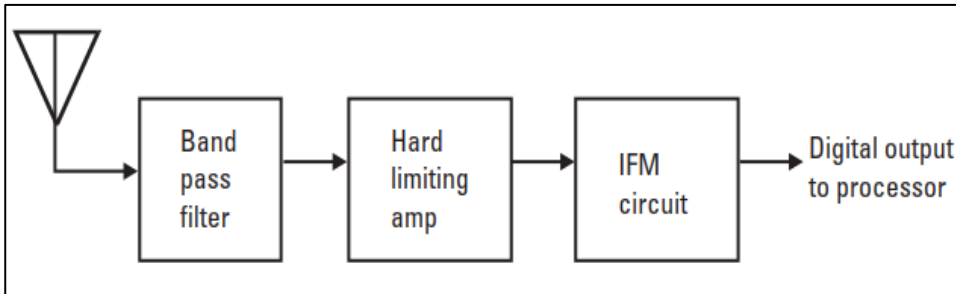
Εικ. 6.1

Δέκτης Crystal Video

β. Δέκτης Στιγμιαίας Μέτρησης Συχνότητας (Instantaneous Frequency Measurement Receiver - IFM)

Ο δέκτης IFM μπορεί να μετρήσει τη συχνότητα σημάτων σχεδόν άμεσα (ένας παλμός διάρκειας μόλις 50 ns μπορεί να μετρηθεί). Οι δέκτες IFM πολύ συχνά τοποθετούνται μαζί με τους CVR. Το κύκλωμα ενός IFM δειγματοληπτεί το σήμα σε δύο σημεία. Απαιτείται ξεχωριστός IFM για τη λειτουργία σε διαφορετικά εύρη συχνοτήτων. Το μειονέκτημα αυτών των δεκτών είναι η αδυναμία εξαγωγής στοιχείων

εάν 2 ή παραπάνω σήματα φτάσουν ταυτόχρονα σε αυτόν, ενώ η συνεχής ύπαρξη ενός σήματος CW (Continuous Wave) πρακτικά καθιστά τον δέκτη άχρηστο. Όπως και ο CVR, ο IFM χρησιμοποιείται σε συστήματα RWR.

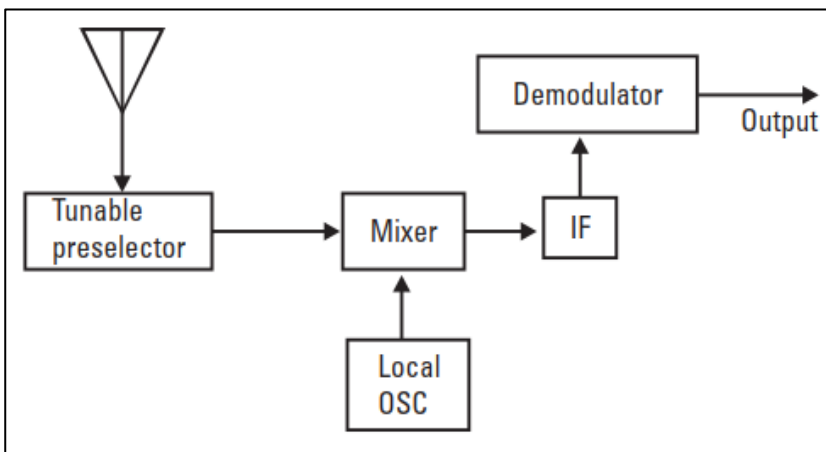


Εικ. 6.2
Δέκτης IFM

γ. Υπερετερόδυνος (Super heterodyne Receiver)

Πρόκειται για τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο τύπο δέκτη με μια ευρεία γκάμα εφαρμογών από συστήματα πολιτικού τύπου μέχρι συστήματα ΗΠ στρατιωτικών εφαρμογών (RWR, συστήματα στοχοποίησης, ELINT, COMINT). Μπορεί να λειτουργήσει σε πυκνό Η/Μ περιβάλλον για κάθε τύπου διαμόρφωση και με πολύ καλή ευαισθησία.

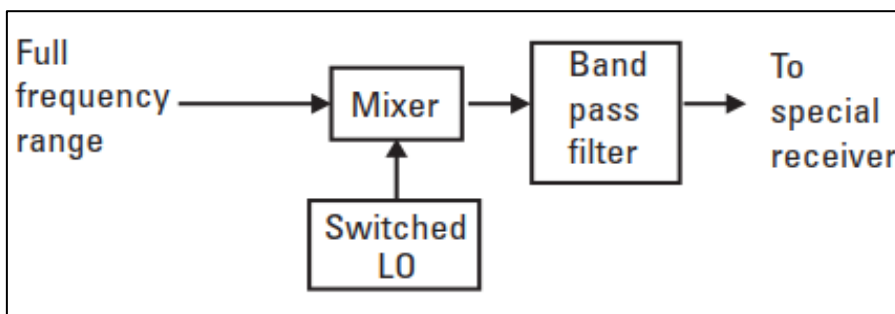
Η λειτουργία του δέκτη βασίζεται στην ετεροδύνηση (αλλαγή συχνότητας) η οποία λαμβάνει χώρα από έναν τοπικό ταλαντωτή (Oscillator) ο οποίος τροφοδοτεί το αρχικό σήμα με ένα σήμα διαφορετικής συχνότητας, τέτοιας ώστε η συχνότητα του ενδιαμέσου σήματος που θα προκύψει να έχει καθορισμένη τιμή (Ενδιάμεση συχνότητα – Intermediate Frequency – IF). Στη συνέχεια γίνεται ενίσχυση και αποδιαμόρφωση της IF, με πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με άλλους δείκτες. Η αποτελεσματική λειτουργία αυτού του δέκτη βασίζεται στο σωστό συντονισμό στο αρχικό σήμα.



Εικ. 6.3
Υπερετερόδυνος Δέκτης

δ. Δέκτες Συντονισμού

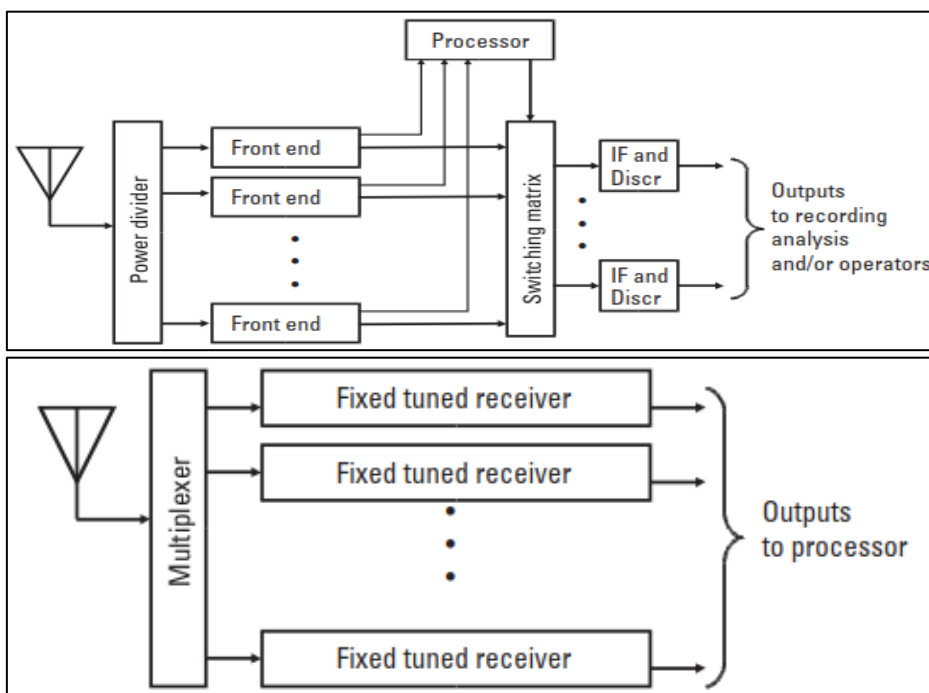
Πολύ απλοί στη λειτουργία δέκτες για χρήση σε περιβάλλον πυκνό σε Η/Μ σήματα, οι οποίοι σπάνια χρησιμοποιούνται πλέον σε εφαρμογές ΗΠ καθώς η διαδικασία συντονισμού (στον απλό δέκτη) είναι αρκετά δύσκολη. Μια παραλλαγή των δεκτών συντονισμού, είναι οι δέκτες συντονισμού σταθερής συχνότητας, οι οποίοι κατασκευάζονται έτσι ώστε να είναι δυνατός ο συντονισμός τους σε σήματα συγκεκριμένης συχνότητας μόνο. Η λειτουργία τους είναι ίδια με τους απλούς δέκτες συντονισμού με τη διαφορά ύπαρξης ενός φίλτρου στην είσοδο του μίκτη, το οποίο επιτρέπει τη «διέλευση» σημάτων συγκεκριμένης συχνότητας μόνο.



Εικ. 6.4
Δέκτης Συντονισμού

ε. Δέκτες Πολλαπλών Καναλιών (Channelized Receiver)

Πρόκειται για δέκτες οι οποίοι διαθέτουν αριθμό δεκτών συντονισμού σταθερής συχνότητας, για σχετικά κοντινές συχνότητες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη λήψη σημάτων με υψηλή ποιότητα. Οι εν λόγω δέκτες χρησιμοποιούνται συχνά σε συστήματα τα οποία λειτουργούν με πολυπλεξία.

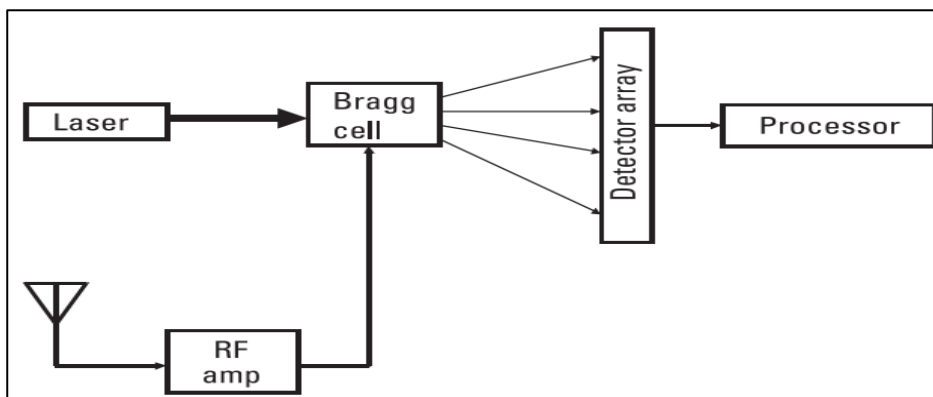


Εικ. 6.5
Δέκτες Καναλιού

στ. Ηλεκτρο-οπτικοί Δέκτες (Brag Cell Receiver)

Ένας τέτοιος δέκτης μπορεί να διακρίνει την συχνότητα κάθε σήματος που εισέρχεται σε αυτόν (μέσα σε ένα εύρος συχνοτήτων) και μέσω ενός άλλου δέκτη να συντονιστεί σε κάθε σήμα που απαιτείται. Η λειτουργία τους βασίζεται σε μια ακτίνα Laser η οποία διαπερνά ένα πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο. Ο κρύσταλλος επίσης διεγείρεται από τα ληφθέντα Η/Μ σήματα τα οποία προηγουμένως έχουν ενισχυθεί, με αποτέλεσμα την ταλάντωσή του. Η ταλάντωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα η ακτίνα laser να διαθλάται σε συγκεκριμένες γωνίες αναλόγως την συχνότητα των σημάτων. Με κατάλληλη διάταξη είναι δυνατό να μετρηθούν οι διαθλώμενες γωνίες και να υπολογιστεί έτσι η συχνότητα του κάθε σήματος. Ένας άλλος δέκτης έπειτα αναλαμβάνει το συντονισμό σε κάθε συχνότητα.

Το μεγάλο μειονέκτημα αυτών των δεικτών είναι ότι μπορούν να διακρίνουν σήματα με δυναμικό εύρος περίπου 20 dB ενώ τουλάχιστο 60 dB έως 120 dB απαιτούνται για έναν δέκτη ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για σκοπούς αναγνώρισης σημάτων σε εφαρμογές ΗΠ (ELINT, COMINT) καθιστώντας τους χρήσιμους μόνο σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η εύρεση συχνότητας ενός ισχυρού σήματος το οποίο είναι τουλάχιστον κατά 10 dB ισχυρότερο από τα υπόλοιπα που λαμβάνονται από τον δέκτη αυτόν.



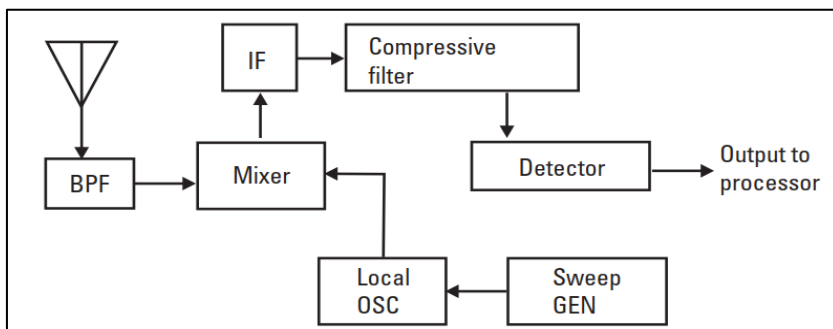
Εικ. 6.6
Brag Cell Δέκτης

ζ. Δέκτες Συμπίεσης (Compressive Receiver - CR)

Σύγχρονοι δέκτες οι οποίοι λειτουργούν με τρόπο παρόμοιο με τον υπερ-ετερόδυνο δέκτη με τη διαφορά ότι μετά την δημιουργία του IF σήματος, όπως και στον υπερετερόδυνο δέκτη, εφαρμόζεται σε αυτό καθυστέρηση ανάλογα με τη συχνότητα των σημάτων που περιέχονται σε ένα εύρος συχνοτήτων. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η εξαγωγή και ο διαχωρισμός όλων των σημάτων που περιέχονται σε μία μπάντα. Η πιθανότητα «αποκάλυψης» (Probability of Interception) μάλιστα για έναν τέτοιου τύπου δέκτη πλησιάζει το 100%. Ο δέκτες CR μπορούν μόνο να ανιχνεύσουν την συ-

χνότητα των σημάτων οι οποίες έπεται είτε απεικονίζονται σε κάποια οθόνη (και ανατίθεται ο έλεγχος σε κάποιον χειριστή) είτε μεταφέρονται σε άλλη ηλεκτρονική διάταξη για επεξεργασία.

Ο δέκτης αυτός, λόγω της πολύ καλής ευαισθησίας και της ικανότητας να διακρίνει σχεδόν πάντα όλα τα σήματα ακόμη και σε πυκνό Η/Μ περιβάλλον, χρησιμοποιείται ευρέως στον ΗΠ και ειδικά σε συστήματα ELINT, COMINT.

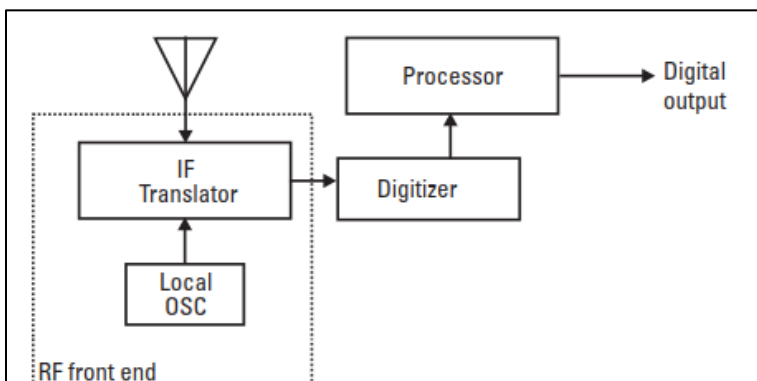


Εικ. 6.7
Compressive Receiver

η. Ψηφιακοί Δέκτες (Digital Receivers)

Οι ψηφιακοί δέκτες είναι οι πιο κοινοί δέκτες στα σύγχρονα συστήματα ΗΠ καθώς και σε κάθε αναβάθμιση παλαιότερων συστημάτων. Οι ψηφιακοί δέκτες δεν μπορούν να λειτουργήσουν από μόνοι τους καθώς τα σήματα που λαμβάνονται από την κεραία δεν μπορούν να επεξεργασθούν απευθείας από αυτούς. Για τον λόγο αυτό πριν από κάθε ψηφιακό δέκτη υπάρχει κατάλληλη διάταξη (RF Front End), η οποία μπορεί και να περιλαμβάνει κάποιον από τους δέκτες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ώστε τα λαμβανόμενα σήματα να τροποποιούνται με τρόπο τον οποίο να είναι δυνατή η επεξεργασία τους από τον δέκτη.

Οι ψηφιακοί δέκτες στην ουσία «ψηφιοποιούν» το αναλογικό σήμα το οποίο στη συνέχεια οδηγείται σε έναν επεξεργαστή για περαιτέρω επεξεργασία αναλόγως της χρήσης. Τεχνολογίες όπως οι επικοινωνίες spread spectrum και αναπήδησης συχνότητων, όπως θα αναλυθούν παρακάτω, δεν θα ήταν δυνατές χωρίς τους ψηφιακούς δέκτες.



Εικ. 6.8
Απλό Διάγραμμα ενός
ψηφιακού Δέκτη

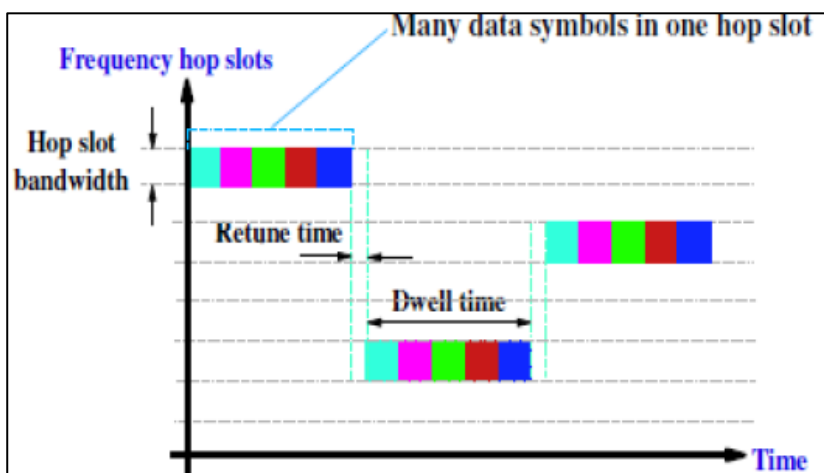
6.2 Ηλεκτρονική Προστασία - Electronic Protection (EP)

α. Σήματα Χαμηλής Πιθανότητας Υποκλοπής (Low Probability of Intercept Signals – LPI)

Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει σήματα τα οποία χρησιμοποιούν ειδικές διαμορφώσεις οι οποίες αυξάνουν το BW καθιστώντας τα δύσκολα ανιχνεύσιμα. Για να είναι δυνατή η επικοινωνία των LPI σημάτων, τα οποία αναφέρονται επίσης ως σήματα διασποράς φάσματος (spread spectrum) απαιτείται η ύπαρξη ενός ψηφιακού κλειδιού το οποίο αποτελεί μια ψευδοτυχαία ακολουθία ασυσχέτιστη με τα δεδομένα αποστολής και είναι εκ των προτέρων γνωστό σε πομπό και δέκτη. Τα bits του κλειδιού συχνά αναφέρονται ως «Chips». Οι τεχνικές Spread Spectrum είναι οι παρακάτω:

(1) Αναπήδηση Συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS): Στην τεχνική αυτή υπάρχει ταχεία και συγχρονισμένη αλλαγή της συχνότητας εκπομπής και λήψης με «ψευδοτυχαίο» τρόπο. Ανάλογα με τον ρυθμό μεταπήδησης, τα συστήματα FHSS διαχωρίζονται σε **Slow**, **Medium** και **Fast Hop Rate**. Ο διαχωρισμός αυτός δεν έχει να κάνει με το πόσο γρήγορα γίνεται η αναπήδηση των συχνοτήτων αλλά με το ρυθμό μετάδοσης συμβόλων (Data Symbol Rate), όπου ως σύμβολο, ορίζεται ο ελάχιστος αριθμός Bits που περιέχουν πληροφορία (π.χ. σε ένα σύστημα 8 bit, τα 8 bit αποτελούν ένα σύμβολο).

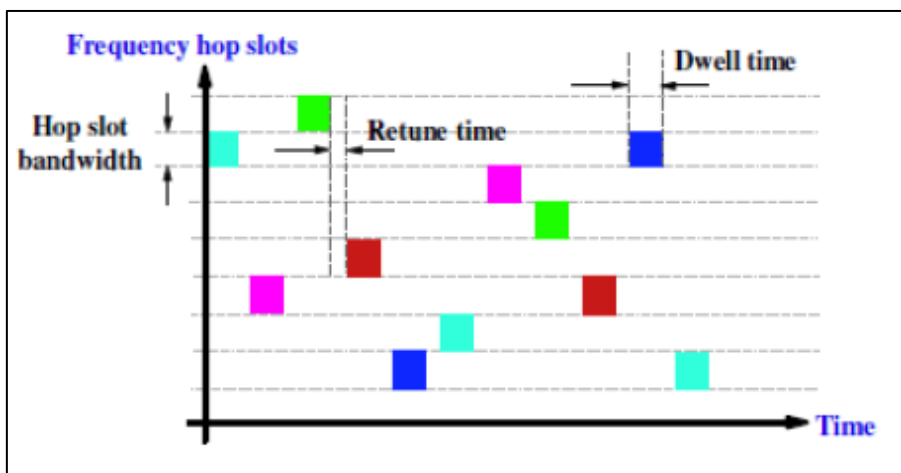
(α) Slow Hop Rate: Στα συστήματα αυτά ο ρυθμός μεταπήδησης είναι μικρότερος από το ρυθμό μετάδοσης των συμβόλων (σε μια συχνότητα δηλαδή μεταδίδονται πάνω από 1 σύμβολο).



Εικ. 6.9

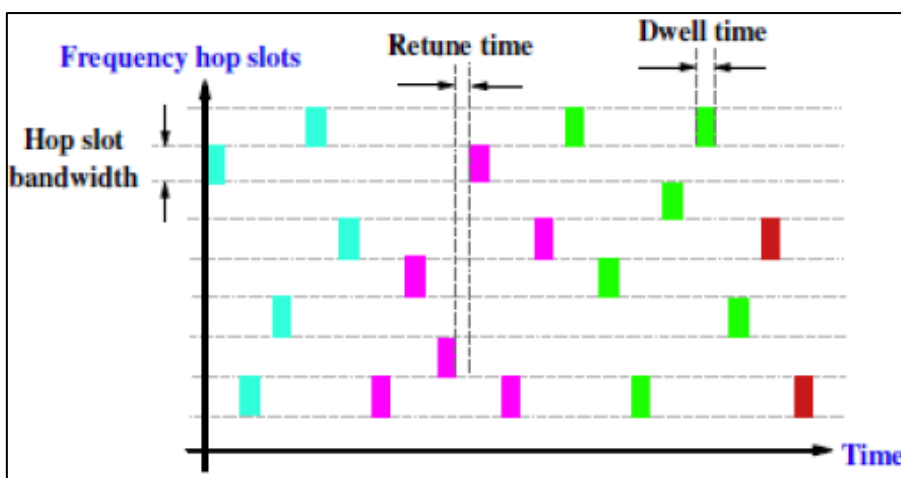
Σύστημα Slow FH.
Κάθε χρωματιστό τετράγωνο αναπαριστά και ένα σύμβολο

(β) **Medium Hop Rate:** Ο ρυθμός αναπήδησης είναι ίσος με τον αριθμό των συμβόλων.



Εικ. 6.10
Medium Hop Rate

(γ) **Fast Hop Rate:** Ο ρυθμός αναπήδησης είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των συμβόλων (Ένα σύμβολο «διασκορπίζεται» σε διαφορετικές συχνότητες).

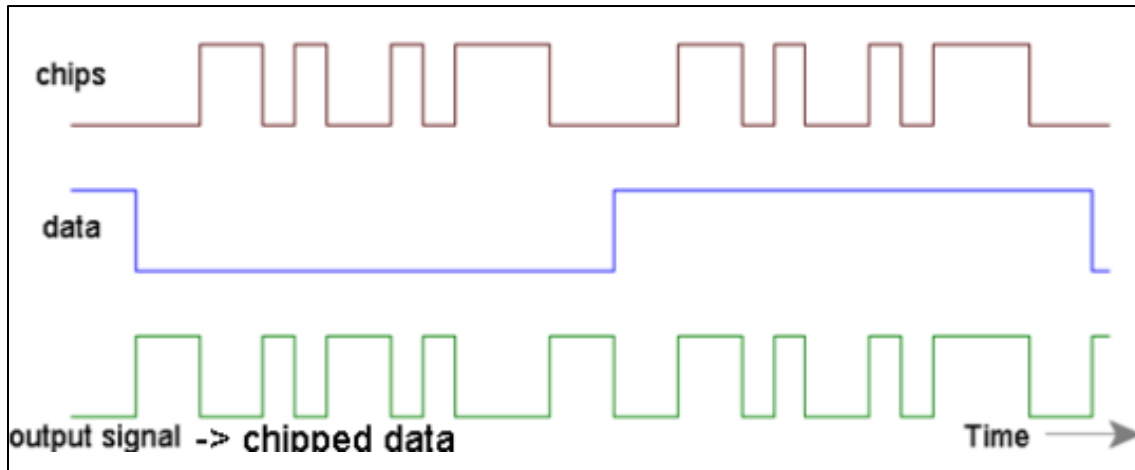


Εικ. 6.11
Fast Hop Rate

(2) **Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS):** Στην τεχνική αυτή ένα συμβατικό σήμα διαμορφώνεται κατάλληλα με τη βοήθεια ενός ψευδοτυχαίου κώδικα. Το σήμα που προκύπτει είναι πιο πολύπλοκο από το αρχικό και απαιτεί πολύ μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων για να εκπεμφθεί. Με δεδομένο ότι η ισχύς εξόδου παραμένει η ίδια, η συνολική ισχύς θα «μοιραστεί» σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων.

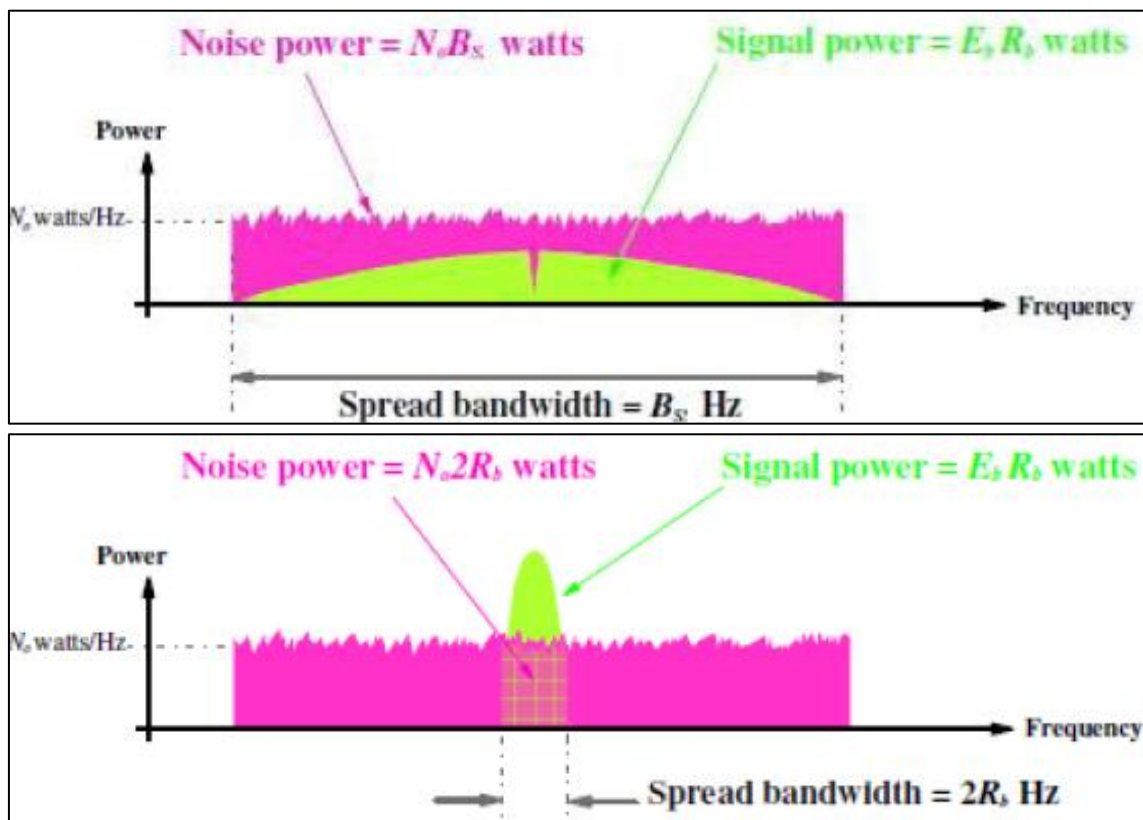
Η σημαντική διεύρυνση του φάσματος της σήματος DSSS πρακτικά σημαίνει ότι η ενέργεια του εκπεμπόμενου σήματος είναι διεσπαρμένη σε ένα μεγάλο εύρος ζώνης και συνεπώς το σήμα ενδέχεται να φτάσει στο δέκτη με ισχύ κατά πολύ μικρότερη ακόμη και από την αντίστοιχη του θορύβου στο ίδιο εύρος ζώνης.

Το πλεονέκτημα της DSSS είναι ότι ο δέκτης μπορεί να ανακτήσει την αρχική πληροφορία εφόσον είναι απόλυτα συγχρονισμένος με τον πομπό. Το λαμβανόμενο σήμα DSSS επανέρχεται στο αρχικό εύρος ζώνης, ενώ ο τυχαίος θόρυβος καθώς και τα σήματα παρεμβολής παραμένουν αμετάβλητα.



Εικ. 6.12

Συνδυασμός Chips και δεδομένων



Εικ. 6.13

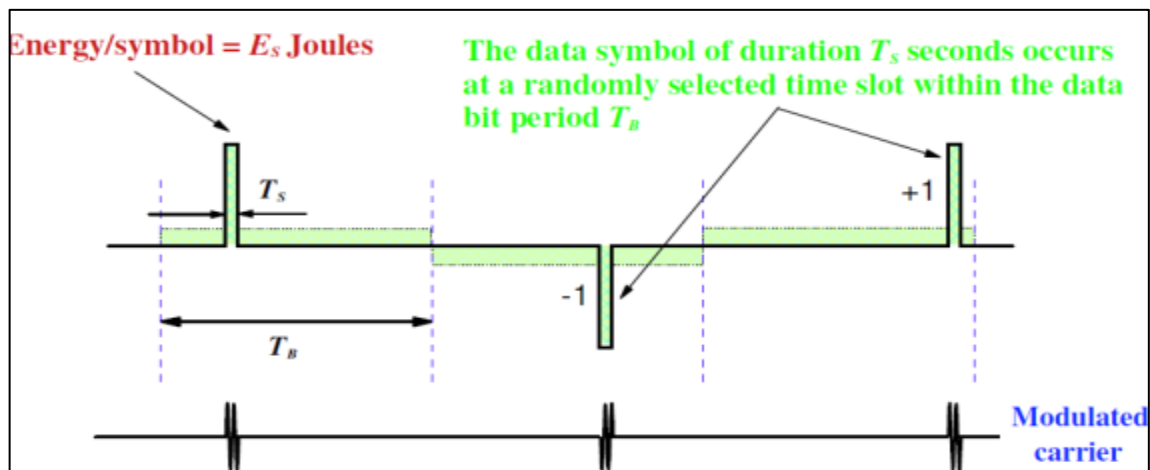
(Επάνω) Το λαμβανόμενο σήμα DSSS (κίτρινο χρώμα) στο δέκτη με ένταση χαμηλότερη του αντίστοιχου θορύβου.

(Κάτω) Αναδομημένο σήμα DSSS μετά από επεξεργασία

(3) Time Hopping Spread Spectrum (THSS):

Σε αντίθεση με της προηγούμενες τεχνικές, δεν υπάρχει συνεχής εκπομπή σήματος, αλλά αυτή γίνεται σε μη συνεχόμενα τμήματα μικρής χρονικής διάρκειας (ριπές) οι οποίες ακολουθούν ψευδοτυχαία χρονική ακολουθία, τα chips δηλαδή σε αυτή τη τεχνική χαρακτηρίζουν τη χρονοθυρίδα (time slot) κατά την οποία ο πομπός θα εκπέμψει το επόμενο Data Bit. Η τεχνική THSS μοιάζει με την τεχνική PPM της η τελευταία περιεγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η δυσκολία στην υλοποίηση της τεχνικής THSS έγκειται στην απαίτηση για πολύ υψηλότερη μέγιστη ισχύ του εκπεμπόμενου σήματος προκειμένου να διατηρηθεί η ίδια ενέργεια ανά εκπεμπόμενο bit. Για τον λόγο αυτό η τεχνική αυτή σπάνια χρησιμοποιείται μόνη της και συνήθως χρησιμοποιείται σε υβριδικά συστήματα σε συνδυασμό με την DSSS.



Εικ. 6.14

Σήμα εκπομπής THSS

β. Μεγιστοποίηση SNR

Μια παραδοσιακή τεχνική ΕΡ είναι η μεγιστοποίηση του SNR στα κυκλώματα του δέκτη. Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο τη χρήση κεραιών υψηλής κατευθυντικότητας στον πομπό και τον δέκτη, προκειμένου τα υψηλά κέρδη των εν λόγω κεραιών αφενός να μεγιστοποιήσουν την ισχύ του λαμβανομένου σήματος και αφετέρου η ισχύς του σήματος παρεμβολής που φτάνει σε κάποιον δέκτη από πλευρικούς λοβούς, να απομειώνεται σημαντικά.

Η χρήση τέτοιων κεραιών δυσχεραίνει της τη λήψη του σήματος από ανεπιθύμητους χρήστες. Βέβαια όλοι οι σύγχρονοι δέκτες EWS είναι τόσο ευαίσθητοι ώστε να μπορούν να ανιχνεύσουν σήματα τα οποία έχουν εκπεμφθεί από πλευρικούς λοβούς

παρόλο που αυτά είναι πολύ πιο αδύναμα από αυτά του κύριου λοβού.

Άλλοι τρόποι, περιλαμβάνουν την ελεγχόμενη αύξησης της ισχύος εκπομπής αναλόγως της ύπαρξης παρεμβολών ή θορύβου στο σήμα.

γ. Έλεγχος Εκπομπών (Emission Control – EMCON)

Ο έλεγχος εκπομπών έχει ως σκοπό την αποφυγή άσκοπων εκπομπών, ή την αποφυγή εκπομπών μεγαλύτερης έντασης από την απαιτούμενη ώστε να στερήσει από τον αντίπαλο την δυνατότητα εντοπισμού της θέσης του πομπού ή του περιεχόμενο της σήματος.

6.3 Ηλεκτρονική Υποστήριξη – Electronic Warfare Support (EWS)

Όπως αναλύθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας, με τον όρο EWS στις επικοινωνίες αναφερόμαστε στη δυνατότητα ανίχνευσης - εντοπισμού των εκπομπών του αντιπάλου, την εύρεση της θέσης του πομπού και την ανάλυση των λαμβανόμενων σημάτων ώστε να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες (COMINT).

Όταν αναφερόμαστε στα χαρακτηριστικά της επικοινωνίας (συχνότητα, είδος διαμόρφωσης, θέση πομπού) τότε οι επιχειρήσεις αναφέρονται ως **External COMINT**, ενώ όταν αναφερόμαστε στο περιεχόμενο των σημάτων, χρησιμοποιείται ο όρος **Internal COMINT**.

Με τη χρήση συμβατικών μέσων επικοινωνίας από τον αντίπαλο, είναι σχετικά εύκολο να γίνει ακρόαση και ανάλυση των σημάτων και μάλιστα σε πραγματικό χρόνο. Όταν όμως χρησιμοποιούνται σύγχρονες τεχνικές, η ακρόαση σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να είναι γνωστό το κλειδί που χρησιμοποιήθηκε για αποκρυπτογράφηση, είναι σχεδόν αδύνατη. Ακόμα και με τη χρήση ισχυρών υπολογιστικών συστημάτων, απαιτείται συνήθως πολύς χρόνος, πράγμα το οποίο τις περισσότερες φορές καθιστά τις πληροφορίες που ανακτώνται πρακτικά άχρηστες.

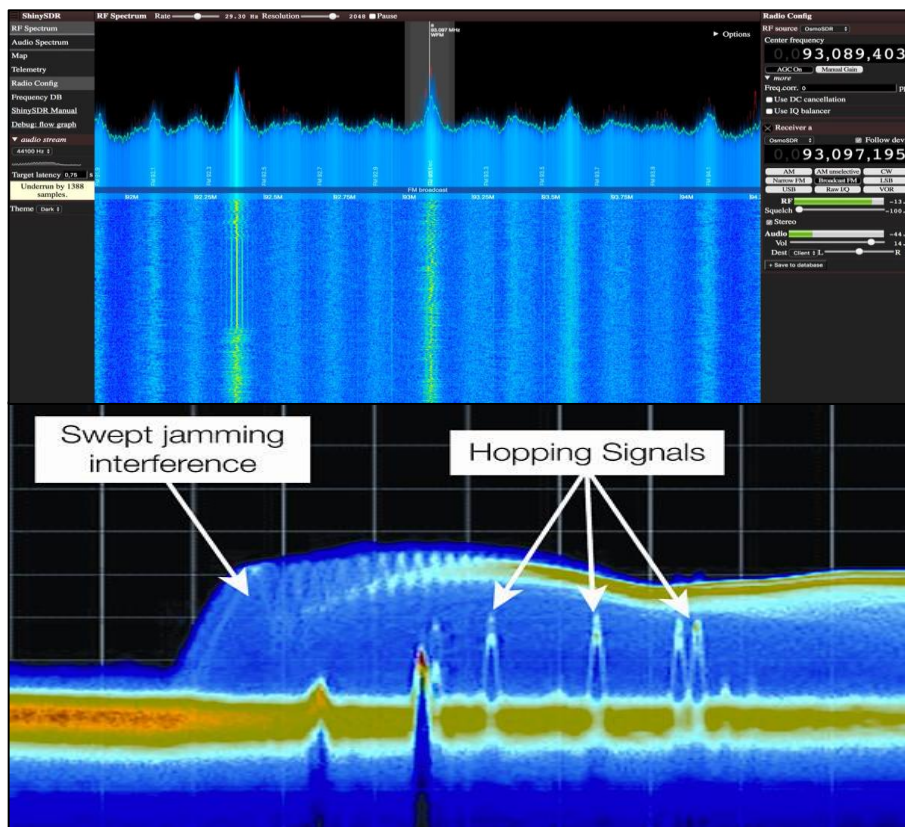
α. Ανίχνευση Εκπομπών

Για την ανίχνευση απαιτείται η χρήση δέκτη ή συνδυασμού δεκτών όπως αυτοί περιεγράφηκαν στην παράγραφο 6.1. Για την ανίχνευση των σημάτων LPI χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τεχνικές, οι οποίες όπως γίνεται ευκολά κατανοητό από τον τρόπο ανίχνευσης, απαιτούν σημαντικό χρόνο για να είναι αποτελεσματικές:

(1) **Τεχνική FHSS:** Γίνεται εκμετάλλευση του γεγονότος ότι το σύνολο της εκπεμπόμενης ισχύος είναι συγκεντρωμένο σε κάθε χρονική στιγμή. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι:

(α) **Έρευνα στενής ζώνης** με γρήγορη σάρωση σε όλο το διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων (π.χ. έρευνα σε βήματα των 8,33 KHz, το οποίο είναι το BW του NATO σε σταθμούς ασυρμάτου VHF), (Sweeping Narrowband Receiver). Με τον τρόπο αυτό στατιστικά ο δέκτης θα καταφέρει να ανιχνεύσει τουλάχιστον ένα ποσοστό των συχνοτήτων μεταπήδησης του πομπού. Ενώ η ταχύτητα σάρωσης στους σύγχρονους δέκτες είναι αρκετά μεγάλη, εντούτοις κάθε φορά που ανιχνεύεται η ύπαρξη σήματος, υπάρχει καθυστέρηση της τάξης msec προκειμένου να γίνει ανάλυση αυτού.

(β) **Έρευνα με επεξεργασία FFT (Fast Fourier Transform).** Ειδικό δέκτες οι οποίοι ενσωματώνουν επεξεργασία Fast Fourier, μέσω τεχνικών όπως «παράθυρα» επεξεργασίας (ώστε να είναι δυνατή η να πραγματοποιηθεί ανάλυση και σε μη περιοδικά σήματα), μπορούν να δώσουν αρκετά ακριβή αποτελέσματα σε ελάχιστο χρόνο σε σχέση με τον αντίστοιχο χρόνο που απαιτεί η έρευνα στενής ζώνης.



Εικ. 6.15

Παράδειγμα ανάλυσης σήματος Spread Spectrum

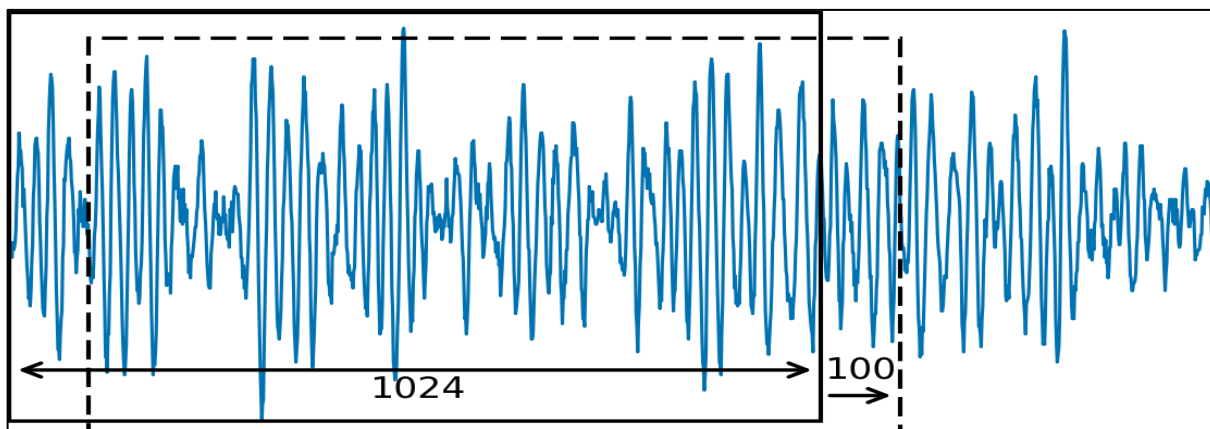
Για παράδειγμα μια σάρωση σε εύρος συχνοτήτων 30-1000 MHz που απαιτεί χρόνο πάνω από μία ώρα με την διαδικασία έρευνας στενής ζώνης, με τη μέθοδο FFT ολοκληρώνεται σε χρόνο περίπου 1 sec.

(2) Τεχνική DSSS: Τα συγκεκριμένα σήματα είναι εξαιρετικά δύσκολο να ανιχνευθούν και την δεδομένη στιγμή, δεν υπάρχει καμία τεχνική που να εξασφαλίζει την ανίχνευση τέτοιων σημάτων. Μια πρώτη τεχνική που αναπτύχθηκε ήταν η ανίχνευση της εκπεμπόμενης ενέργειας των σημάτων. Στην ουσία το αρχικό σήμα περνούσε από ένα βασικό φιλτράρισμα και στη συνέχεια γινόταν ανάλυση των συχνοτήτων που περιείχαν μεγαλύτερη ενέργεια από τις άλλες. Η τεχνική αυτή δεν αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική διότι απαιτεί ο δέκτης να βρίσκεται κοντά στον πομπό ώστε να το εκπεμπόμενο σήμα DSSS να μην έχει εξασθενήσει πολύ (να μην έχει καλυφθεί από θόρυβο).

Άλλες τεχνικές που αναπτύσσονται, βασίζονται στην αυτοσυσχέτιση (autocorrelation), τη συσχέτιση – σύγκριση δηλαδή του σήματος με τον εαυτό του. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με τη λήψη του σήματος από 2 ή παραπάνω κεραίες, οι οποίες βρίσκονται σε ικανή απόσταση μεταξύ τους και έπειτα τη σύγκριση των σημάτων αυτών μεταξύ τους, είτε με εφαρμογή καθυστέρησης στο ίδιο το σήμα που λαμβάνεται από το δέκτη. Με την τεχνική αυτή γίνεται προσπάθεια εύρεσης επαναλαμβανόμενων προτύπων (repeating patterns) τα οποία μετά από κατάλληλη επεξεργασία, μπορούν να οδηγήσουν στην εύρεση ενός περιοδικού σήματος είτε στην αποκάλυψη συχνοτήτων (μέσω εύρεσης των αρμονικών συχνοτήτων). Η τεχνική αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι οι συχνότητες (ή και η ένταση) του λευκού θορύβου (όπως και του σήματος DSSS) είναι πάντα σχεδόν σταθερές ενώ οι αντίστοιχες του θορύβου από άλλες πηγές είναι δυνατό να μεταβάλλονται. Οι παραπάνω τεχνικές απαιτούν χρόνο και μεγάλη επεξεργαστική ισχύ καθώς η επεξεργασία και ανάλυση δεν γίνεται σε ένα μόνο σήμα αλλά σε πολλαπλά και σε διαφορετικά «παράθυρα» επεξεργασίας. Σε σύνθετο Η/Μ περιβάλλον με ταυτόχρονη ύπαρξη πολλών σημάτων η ανίχνευση σημάτων DSSS είναι μια εξαιρετικά δύσκολη υπόθεση.

(3) Τεχνική THSS: Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η τεχνική αυτή σπάνια χρησιμοποιείται μόνη της, λόγω της απαίτησης μεγαλύτερης ισχύος εκπομπής και σε συνδυασμό με την εκπομπή σε ίδια συχνότητα, την καθιστά εύκολα ανιχνεύσιμη ειδικά σε σύγχρονους ψηφιακούς δέκτες, παρόλο του πολύ μικρότερου

χρόνου εκπομπής. Υβριδικά συστήματα TH-FHSS, TH-DSSS είναι πολύ πιο συνηθισμένα. Η εφαρμογή TH σε συστήματα FHSS και DSSS αυξάνει ακόμη περισσότερο την πολυπλοκότητα των σημάτων αυτών και κατά προέκταση της επεξεργαστικής ισχύος και του απαιτούμενου χρόνου επεξεργασίας καθώς αφενός τα «pattern» εκπομπής γίνονται ακόμη πιο πολύπλοκα και αφετέρου, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως τα ο χρόνος εκπομπής ελαττώνεται κατά πολύ.



Εικ. 6.16

Απεικόνιση της μεθόδου επεξεργασίας κυλιόμενου παραθύρου (Sliding Window). Η γνώση των συστημάτων του αντιπάλου ακόμη και η εμπειρία του χειριστή παίζουν καθοριστικό ρόλο σε αυτή την τεχνική (χρόνος δειγματοληψίας παραθύρου, ποσοστό επικάλυψης)

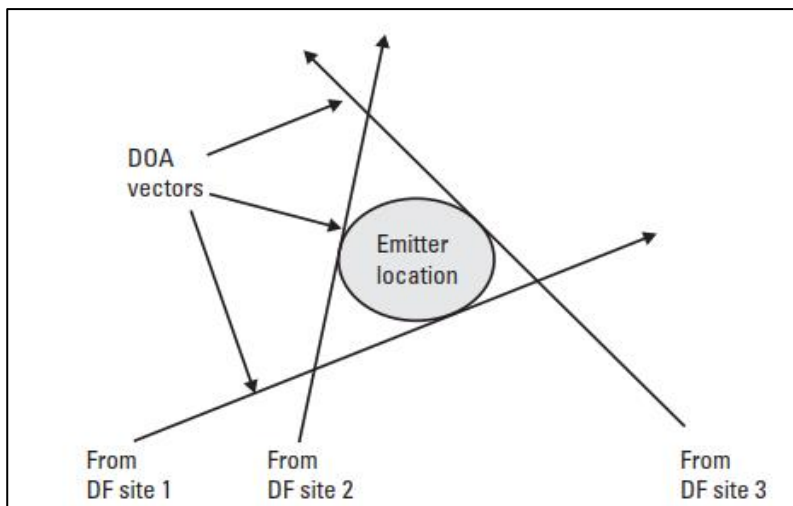
β. Εντοπισμός Θέσης Πομπού

Ο εντοπισμός θέσης πομπού συχνά αναφέρεται (λανθασμένα) και ως τριγωνισμός και μπορεί να γίνει με επίγεια, εναέρια ή συνδυασμό των μέσων αυτών. Σχεδόν όλα τα συστήματα ανίχνευσης εκπομπών, έχουν την δυνατότητα εντοπισμού θέσης πομπού.

Ο εντοπισμός θέσης πομπού (διαδικασία External COMINT) είναι πολύ ευκολότερος να πραγματοποιηθεί από την ανάλυση του περιεχόμενου σήματος και είναι η βάση για την αναπαράσταση της Ηλεκτρονικής Διάταξης Μάχης – ΗΔΜ (EOB) του αντιπάλου, την απεικόνιση δηλαδή της εχθρικής διάταξης σε χάρτη, χωρίς να έχει προηγηθεί οπτική αναγνώριση. Οι χρησιμοποιούμενοι μέθοδοι είναι οι παρακάτω:

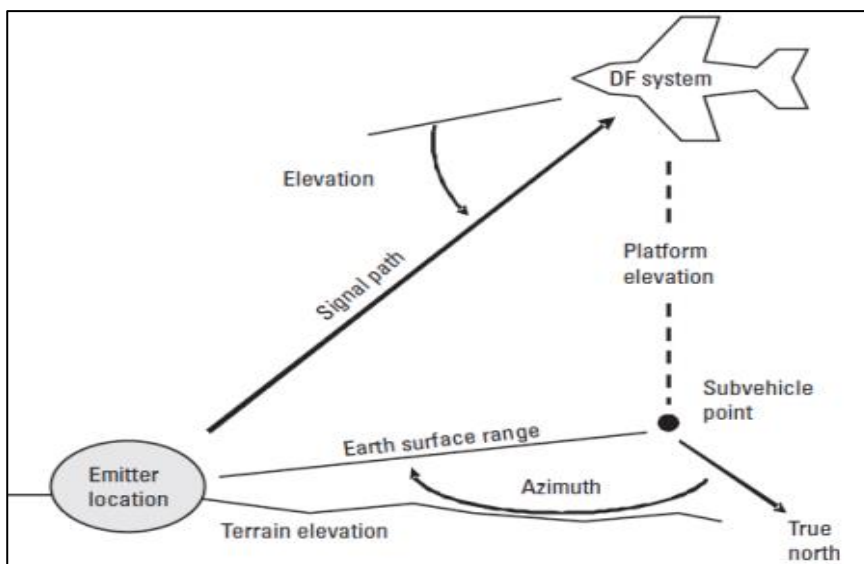
(1) Τριγωνισμός: Είναι η πιο διαδεδομένη τεχνική εντοπισμού θέσης. Η τεχνική αυτή απαιτεί 2 ή περισσότερα (τα 3 θεωρούνται ο ελάχιστος αριθμός για σχετικά ακριβή αποτελέσματα) συστήματα λήψης τοποθετημένα σε διαφορετικές

τοποθεσίες οι συντεταγμένες των οποίων είναι γνωστές. Σε περίπτωση ιπτάμενων μέσων είναι απαραίτητη η γνώση της θέσης του αεροσκάφους (συνήθως μέσω GPS) τη στιγμή καταγραφής της εκπομπής. Τα συστήματα εντοπισμού επίσης, πέρα από την δυνατότητα υπολογισμού των ακριβών συντεταγμένων τους θα πρέπει να μπορούν να υπολογίζουν το γεωγραφικό αζιμούθιο (δεξιόστροφη γωνία του πραγματικού βορρά με κάποια κατεύθυνση) της διόπτευσης (κατεύθυνσης) της εκπομπής (πυξίδα ή γυροσκόπιο είναι κάποια συνηθισμένα μέσα).

**Εικ. 6.17**

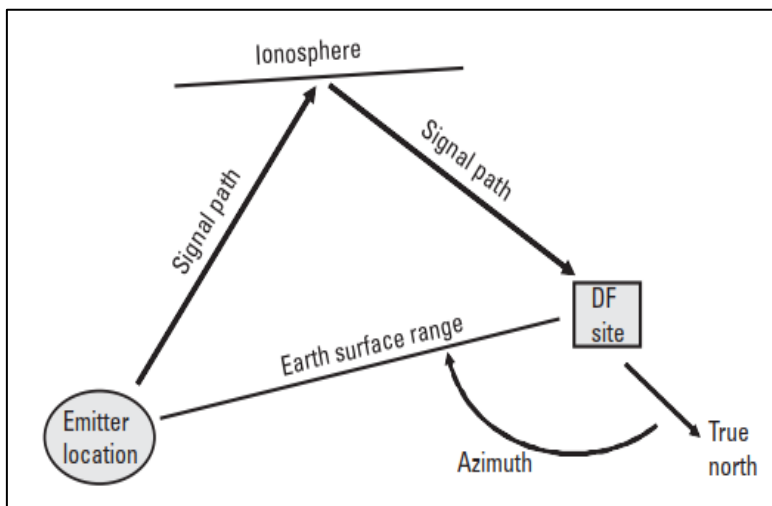
Τριγωνισμός από σταθερές θέσεις

(2) Τριγωνισμός από αεροσκάφος: Όταν ένας δέκτης ESM ενός αεροσκάφους μετρήσει τη διόπτευση του εκπεμπόμενου σήματος ενός πομπού εδάφους, γνωρίζοντας πάντα την δική του θέση μπορεί να υπολογίσει τη θέση του πομπού μετά από συγκεκριμένο αριθμό μετρήσεων, ενώ αυτό κινείται. Εάν το Α/Φ διαθέτει και ψηφιακά δεδομένα χάρτη, τότε μπορεί να γίνει απεικόνιση της θέσης του πομπού με μεγαλύτερη ακρίβεια.

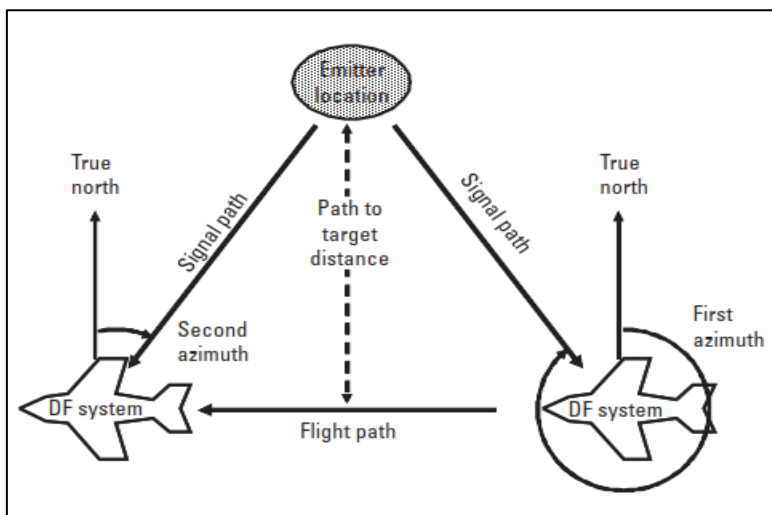
**Εικ. 6.18**

Τριγωνισμός από Α/Φ

(3) Εντοπισμός με έναν μόνο σταθμό εδάφους: Σε περίπτωση σημάτων συχνότητας κάτω των 30 MHz (ιονοσφαιρικά κύματα) είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης του πομπού (συνήθως όχι με μεγάλη ακρίβεια) μέσω της σύγκρισης των κυμάτων που φτάνουν στον δέκτη από το έδαφος και αυτών που φτάνουν από την ιονόσφαιρα. Το δυσκολότερο σημείο αυτής της τεχνικής είναι ο υπολογισμός του ύψους του σημείου καμπής του κύματος στην ιονόσφαιρα (εξαρτάται από τη συχνότητα, τον καιρό και την ώρα της ημέρας).

**Εικ. 6.19**

Εντοπισμός με έναν μόνο σταθμό εδάφους

**Εικ. 6.20**

Τριγωνισμός από κινούμενο μέσο

γ. Τεχνικές Εύρεσης Θέσης Πομπού – Διόπτεισης

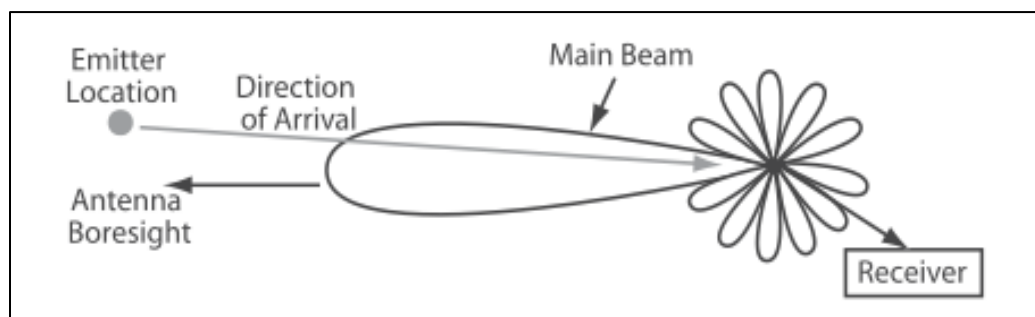
(1) Περιστρεφόμενη κεραία υψηλού κέρδους

Χρησιμοποιώντας μια κεραία με υψηλό κέρδος στον κύριο λοβό και περιστρέφοντας την κεραία μέχρι τη λήψη της μέγιστης έντασης του σήματος (το κέντρο του κυρίου λοβού) είναι ένας εύκολος τρόπος εύρεσης της διόπτεισης. Μεγάλες κεραίες με στενό κύριο λοβό είναι ικανές να πετύχουν σχετικά υψηλή ακρίβεια στη

διόπτευση. Αυτή η προσέγγιση είναι πολύ κοινή σε συστήματα ΗΠ πλοίων στα οποία δεν υπάρχει περιορισμός για το μέγεθος της κεραίας.

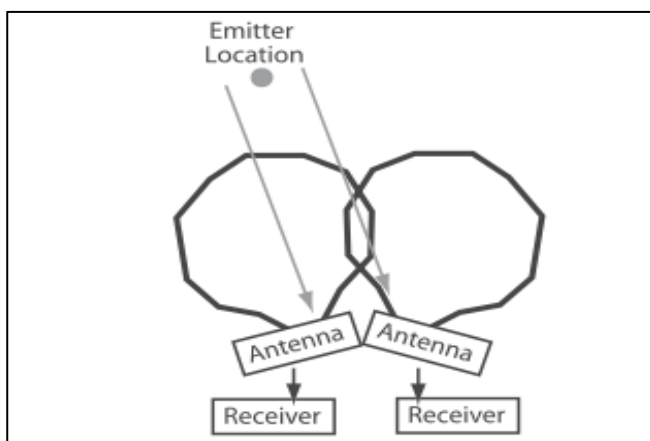
(2) Σύγκριση Πλάτους από Διαφορετικές Κεραίες

Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται 2 ή περισσότερες κεραίες με διαφορετικό προσανατολισμό μεταξύ τους. Η εύρεση της διόπτευσης γίνεται με τη σύγκριση του πλάτους από ένα σήμα που προσπίπτει σε αυτές. Παρέχουν σχετικά χαμηλή ακρίβεια ($5^\circ - 15^\circ$) και χρησιμοποιούνται κυρίως σε δέκτες RWR Α/Φ ή μικρών πλοίων λόγω των μικρών απαιτήσεων χώρου και της ταχύτητα εύρεσης της διεύθυνσης



Εικ. 6.21

Το κέρδος μεταβάλλεται σε σχέση με τη περιστροφή της κεραίας. Η υψηλότερη τιμή του βρίσκεται στο κέντρο του κυρίου λοβού. Όσο στενότερος είναι αυτό ο λοβός τόσο μεγαλύτερη η ακρίβεια της μέτρησης



Εικ. 6.22

Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας συστημάτων σύγκρισης πλάτους

(3) Τεχνική Watson-Watt

Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη και από τις πιο παλιές τεχνικές εύρεσης διόπτευσης. Τα συστήματα που εκμεταλλεύονται την τεχνική αυτή χρησιμοποιούν 3 δέκτες εκ των οποίων ο ένας είναι συνδεδεμένος σε μια κεραία, η οποία χρησιμοποιείται ως κεραία αναφοράς, και βρίσκεται στο κέντρο ενός συστήματος κεραιών

(4 ή περισσότερων – ζυγός αριθμός). Οι υπόλοιποι δέκτες συνδέονται σε ζεύγη κεραίων οι οποίες βρίσκονται αντιδιαμετρικά.

Η εναλλαγή των δεκτών με το σύνολο των κεραίων που βρίσκονται αντιδιαμετρικά και στη συνέχεια η σύγκριση του πλάτους του λαμβανόμενου σήματος από κάθε δέκτη με το σήμα από τον δέκτη της κεραίας αναφοράς, οδηγεί στην εύρεση της διόπτευσης. Η τεχνική αυτή παρέχει μέτρια ακρίβεια (5° - 10°).



Εικ. 6.23

Κεραίες τύπου *adcock* βρίσκονται σχεδόν στη πλειονότητα των συστημάτων εντοπισμού θέσης, πράγμα που δείχνει πόσο διαδεδομένη είναι η τεχνική *Watson – Watt*.



Εικ. 6.24

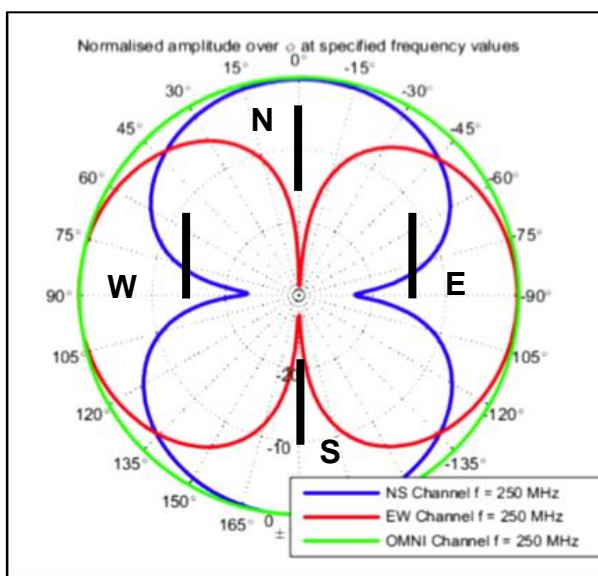
Διάγραμμα ακτινοβολίας τυπικής κεραίας *adcock* τεσσάρων στοιχείων.

Κόκκινο: Διάγραμμα των κεραίων *WE*

Μπλε: Διάγραμμα των κεραίων *NS*

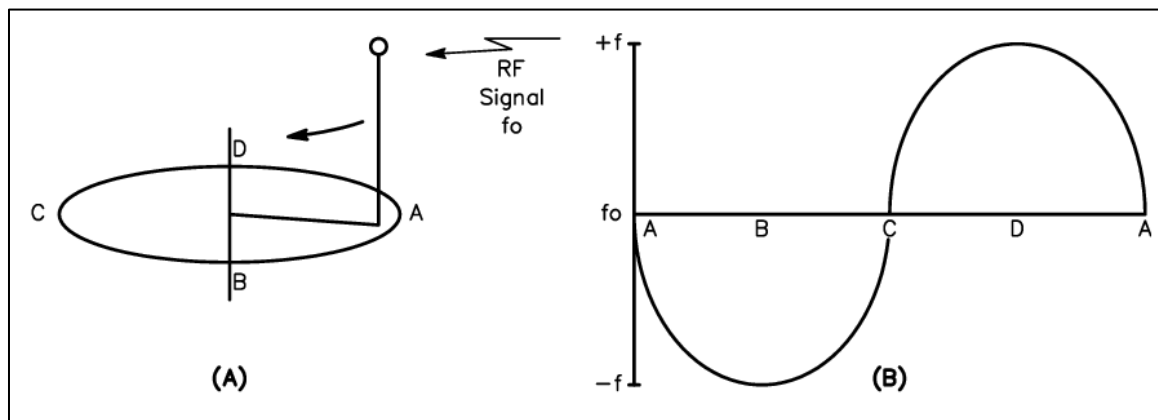
Πράσινο : Διάγραμμα της κεραίας αναφοράς.

Η σύγκριση των τιμών πλάτους ενός λαμβανόμενου σήματος από τα κανάλια λήψης *EW* και *NS* και έπειτα η σύγκριση της διαφοράς φάσης σε σχέση με την κεραία αναφοράς, οδηγεί στην εύρεση της διόπτευσης.



(4) Τεχνική Doppler

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί δύο κεραίες από τις οποίες η πρώτη είναι σταθερή και η δεύτερη κινείται γύρω από τη πρώτη. Το σήμα λαμβάνεται και από τις δύο κεραίες αλλά λόγω της κίνησης της μίας από αυτές το λαμβανόμενο σήμα από την κινούμενη παρουσιάζει διαφορά στη συχνότητα λόγω του φαινομένου doppler (η συχνότητα αυξάνει όταν η κεραία κινείται προς την κατεύθυνση του σήματος και μειώνεται όταν απομακρύνεται από αυτή). Στη μέγιστη τιμή της συχνότητας η κατεύθυνση της περιστρεφόμενης κεραίας δείχνει και την κατεύθυνση του πομπού. Η τεχνική αυτή παρέχει μέτρια ακρίβεια (3°) αλλά δεν είναι πολύ αποτελεσματική σε μη συνεχόμενα σήματα.

**Εικ. 6.25**

Στο παραπάνω παράδειγμα η κατεύθυνση του πομπού είναι η D, διότι σε εκείνο το σημείο η λαμβανόμενη συχνότητα έχει την μέγιστη θετική τιμή. Στο δεξί διάγραμμα η τιμή f_0 είναι η συχνότητα που λαμβάνεται από τη σταθερή κεραία.

**Εικ. 6.26**

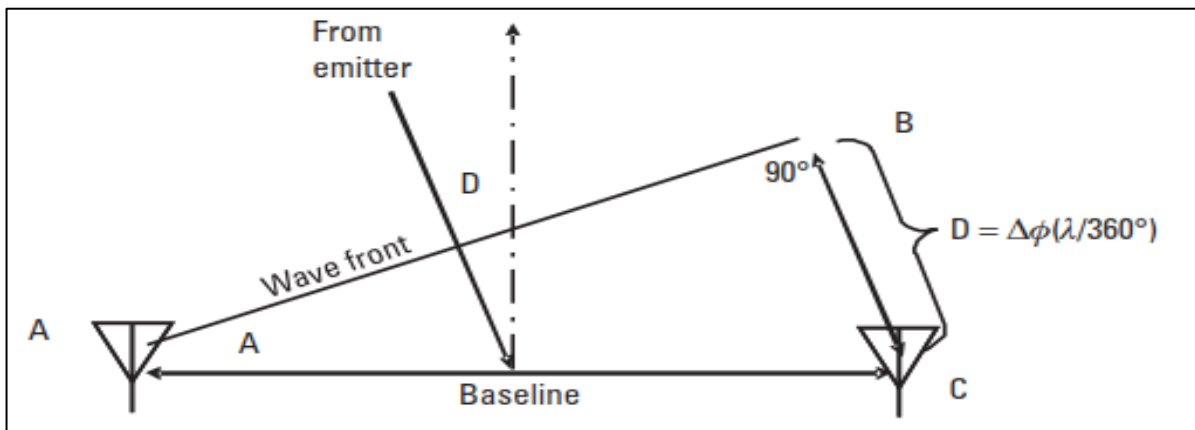
Συστήματα pseudo-doppler πολιτικού τύπου

Στις σύγχρονη εκδοχή της παραπάνω τεχνικής χρησιμοποιούνται κεραίες σε κυκλική διάταξη οι οποίες ενεργοποιούνται με τη σειρά μέσω ενός ελεγκτή με πολύ μεγάλη ταχύτητα (500 περιστροφές το δευτερόλεπτο). Συχνά αναφέρονται ως ανιχνευτές ψευδο-doppler και χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολιτικά πλοία.

(5) Ιντερφερόμετρα

Τα ιντερφερόμετρα είναι ικανά να επιτύχουν υψηλή ακρίβεια διόπτευσης ($<1^\circ$). Ο τρόπος υπολογισμού της κατεύθυνσης ενός σήματος είναι μέσω της σύγκρισης της φάσης από το λαμβανόμενο σήμα από 2 κεραίες.

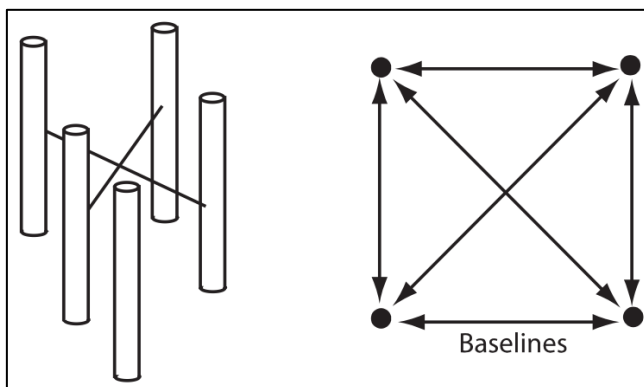
Για την εξάλειψη της αβεβαιότητας, η οποία είναι μεγάλη για σύστημα με ένα μόνο baseline, τα ιντερφερόμετρα χρησιμοποιούν κεραίες (συνήθως adcock) οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν πολλαπλά baselines.



Εικ. 6.27

Τρόπος λειτουργίας απλού ιντερφερόμετρου: Οι κεραίες A και C έχουν τοποθετηθεί σε συγκεκριμένη απόσταση και σχηματίζουν τη λεγόμενη baseline. Το σήμα που έρχεται από μια κατεύθυνση λαμβάνεται αρχικά από την κεραία A στο εν λόγω παράδειγμα και έπειτα από την κεραία C.

Η χρονική διαφορά στη λήψη του σήματος χρησιμοποιείται για την εύρεση του σημείου B, πόσο μακριά δηλαδή βρισκόταν το σήμα από την κεραία C τη στιγμή που λαμβανόταν από την κεραία A. Υπολογίζοντας έτσι την απόσταση C-B υπολογίζεται μαθηματικά η κατεύθυνση του σήματος.



Εικ. 6.28

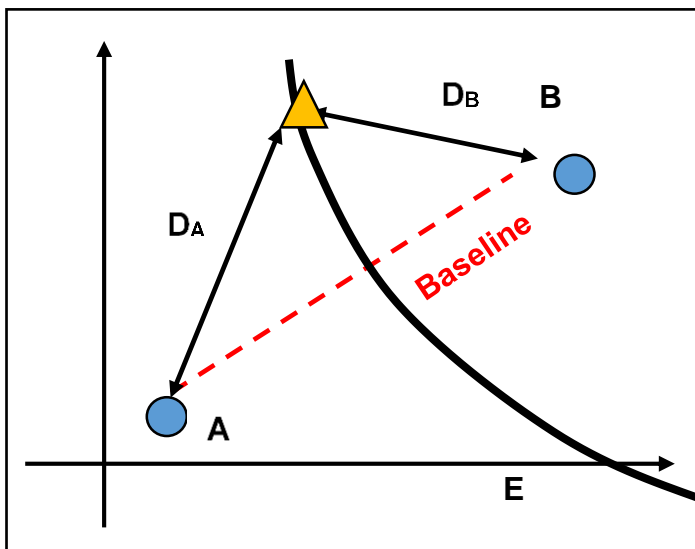
Μια απλή κεραία adcock, δημιουργεί 6 baselines

(6) Τριγωνισμός Υψηλής Ακρίβειας

Για την δημιουργία ΕΟΒ, μια ακρίβεια της τάξης 1 – 2 χιλιομέτρων στη θέση ενός πομπού μπορεί να είναι ανεκτή. Για ανάγκες στοχοποίησης όμως η ακρίβεια αυτή δεν μπορεί να ξεπερνά το 1 μέτρο. Για την επίτευξη τριγωνισμού τέτοιας ακρίβειας χρησιμοποιείται η μέθοδος διαφοράς χρόνου και η μέθοδος διαφοράς συχνότητας στην άφιξη ενός σήματος.

(α) Διαφορά Χρόνου (Time Difference of Arrival - TDOA)

Σε περίπτωση λήψεως ενός σήματος δεν υπάρχει τρόπος ώστε να είναι γνωστός ο χρόνος που αυτό εκπέμφθηκε. Το μόνο που μπορεί να μετρηθεί είναι η χρονική διαφορά στη λήψη αυτού του σήματος από σταθμούς λήψεως που βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία (με ακριβή στοιχεία θέσης) και πλήρως συγχρονισμένους. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια καμπύλη (παραβολή) η οποία περιέχει όλα τα πιθανά σημεία στα οποία μπορεί να βρίσκεται ο πομπός για τα οποία αντιστοιχεί συγκεκριμένη χρονική διαφορά στη λήψη. Η καμπύλη αυτή καλείται ισόχρονη (isochrone).



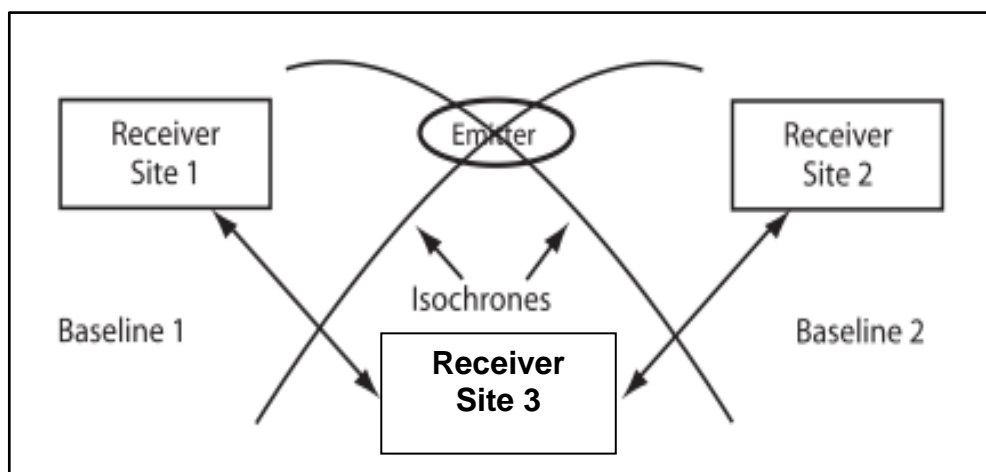
Εικ. 6.29

Για τους δέκτες A και B η καμπύλη E (ισόχρονη καμπύλη) αντιπροσωπεύει όλα τα πιθανά σημεία του πομπού για τα οποία η διαφορά $D_B - D_A$ παραμένει σταθερή.

Όπως διαπιστώνεται εύκολα η χρήση δύο μόνο δεκτών δεν είναι δυνατή να εξακριβώσει την θέση ενός πομπού, ακόμη και με τη χρήση τεχνικών της προηγούμενης παραγράφου που περιορίζουν σημαντικά το μήκος της καμπύλης, η αβεβαιότητα παραμένει μεγάλη. Η χρήση ενός ακόμη δέκτη ώστε να διαμορφωθεί μια επιπλέον baseline είναι απαραίτητη. Με τη χρήση τρίτου δέκτη, θα προκύψουν όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2 ισόχρονες καμπύλες οι οποίες θα τέμνονται σε ένα σημείο

τομής το οποίο θα είναι και το σημείο που βρίσκεται ο πομπός. Η τεχνική TDOA μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε 3 διαστάσεις (δεδομένα υψομέτρου πομπού) το οποίο όμως δεν είναι πάντα απαραίτητο εφόσον υπάρχουν ψηφιακά δεδομένα χάρτη.

Για ψηφιακά σήματα, όπου υπάρχει στην ουσία εκπομπή παλμού η τεχνική αυτή είναι πολύ εύκολο να πραγματοποιηθεί. Για τα αναλογικά σήματα, όπου συνήθως γίνεται συνεχώς εκπομπή ενός σήματος, το μόνο που μπορεί να μετρηθεί είναι η διαμόρφωση του σήματος ώστε να υπολογιστεί η χρονική διαφορά. Τεχνικές «παραθύρου», ελεγχόμενης καθυστέρησης και ψηφιοποίησης, όπως περιεγράφηκαν προηγουμένως, εφαρμόζονται ώστε να βρεθεί κάποιο χαρακτηριστικό του σήματος με βάση το οποίο θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση. Για τα αναλογικά σήματα επομένως, η τεχνική αυτή είναι αρκετά αργή, προϋποθέτει τη συλλογή μεγάλου όγκου δειγμάτων και απαιτεί αρκετά μεγάλο BW.



Εικ. 6.30

Το σημείο τομής των ισόχρονων καμπυλών είναι και η θέση του πομπού

(β) Διαφορά Συχνότητας (Frequency Difference of Arrival – FDOA)

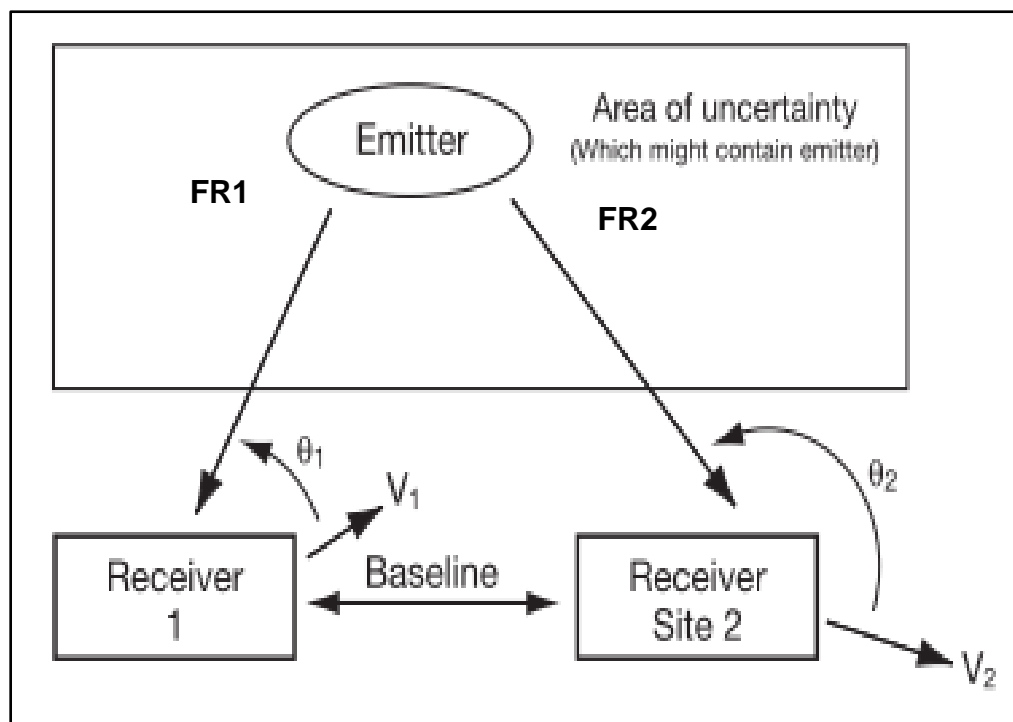
Σε αντιστοιχία με την προηγούμενη τεχνική, η FDOA βασίζεται στη μέτρηση της συχνότητας από 2 ή παραπάνω κινούμενους δέκτες από μία μοναδική πηγή (γενικά ακίνητη). Η διαφορά στην συχνότητα προκαλείται από το φαινόμενο doppler, για το λόγο αυτό πολλές φορές αυτή η τεχνική αναφέρεται και ως DD (Differential Doppler). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια καμπύλη μεταξύ των δυο δεκτών η οποία καλείται isofreq και περιέχει όλα εκείνα τα σημεία στα οποία θα μπορούσε να βρίσκεται ο πομπός ώστε να η ΔF να είναι ίδια. Όπως και προηγουμένως,

απαιτείται ένας επιπλέον δέκτης ώστε να δημιουργηθούν 3 baselines για να υπολογιστεί η θέση του πομπού (σημείο τομής).

Η τεχνική FDOA εφαρμόζεται σε ακίνητους ή αργά κινούμενους πομπούς. Σε περίπτωση που και ο πομπός κινείται, τότε υπάρχει άλλη μια μεταβλητή η οποία είναι η ταχύτητα του πομπού και ακόμη και αν η μαθηματική επίλυση είναι δυνατή, η επεξεργαστική ισχύς, ο χρόνος που απαιτείται και ο πολύ μεγάλος όγκος των δεδομένων που πρέπει να συλλεχθούν, δεν επιτρέπουν τη χρησιμοποίησή της.

Η FDOA λόγω των παραπάνω, αλλά και των μεγαλύτερων απαιτήσεων υπολογισμών και όγκου δεδομένων, που έχει σε σχέση με την TDOA, εφαρμόζεται συνήθως σε ακίνητους πομπούς και κυρίως από εναέριους δέκτες.

Πολύ συχνά η FDOA συνδυάζεται με την TDOA (στα σύγχρονα συστήματα εντοπισμού θέσης) πράγμα που επιτρέπει τον υπολογισμό της θέσης ενός πομπού από μία μόνο baseline (Δύο δέκτες).



Εικ. 6.31

$\Delta F = FR1 - FR2$ (Η διαφορά των λαμβανομένων συχνοτήτων)

F_t : Η συχνότητα εκπομπής

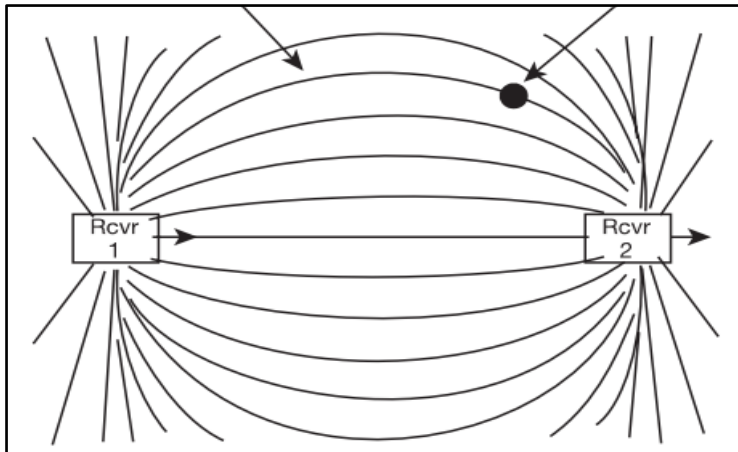
$\theta_{1,2}$: Η γωνία λήψης της εκπομπής για κάθε δέκτη

$V_{1,2}$: Η ταχύτητα κάθε δέκτη

C : η ταχύτητα μετάδοσης του Η/Μ κύματος

Η διαφορά μεταξύ των λαμβανόμενων συχνοτήτων δίνεται από:

$$\Delta F = F_t (V_2 \cos(\theta_2) - (V_1 \cos(\theta_1)) / C$$



Εικ. 6.32

Isofreq καμπύλες μεταξύ 2 δεικτών. Η κάθε καμπύλη αναπαριστά και διαφορετική ΔF

6.4 Ηλεκτρονική Επίθεση (ΕΑ)

Με τον όρο ηλεκτρονική επίθεση στις επικοινωνίες, αναφερόμαστε στη προσπάθεια απαγόρευσης ή υποβάθμισης χρήσης του Η/Μ φάσματος από τα συστήματα επικοινωνιών του αντιπάλου. Τα συστήματα τα οποία αποτελούν «στόχο» είναι συνήθως, επικοινωνίες φωνής, τακτικά δίκτυα δεδομένων (TDL), τμήματα σύζευξης (downlink) με δορυφόρους ή UAV.

α. Joint Restricted Frequency List (JRFL)

Κατά την εκτέλεση/σχεδίαση παρεμβολών επικοινωνιών θα πρέπει να διασφαλίζεται και η εκμετάλλευση των φίλιων επικοινωνιών. Για το λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί από το NATO το εργαλείο διαχείρισης JRFL με σκοπό τη συμβατότητα μεταξύ των φίλιων επικοινωνιών και συστημάτων παρεμβολών. Το JRFL περιλαμβάνει καταγραφές ανά γεωγραφική περιοχή και χρονική περίοδο και η λίστα συχνοτήτων ανανεώνεται καθ' όλη τη διάρκεια των επιχειρήσεων. Οι συχνότητες διαχωρίζονται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

(1) **TABOO:** Είναι οι κρίσιμες συχνότητες φίλιων συστημάτων και δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να παρεμβληθούν ή να παρενοχληθούν κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων.

(2) **PROTECTED:** Είναι οι συχνότητες που είναι επιθυμητό να μην παρεμβληθούν ή παρενοχληθούν εκτός και αν είναι απολύτως απαραίτητο. Σε περίπτωση που υπάρξει ανάγκη παρεμβολής PROTECTED συχνότητας, είναι υποχρεωτική η έγκυρη ενημέρωση.

(3) GUARDED: Είναι οι συχνότητες του αντιπάλου που παρακολουθούνται από τα φίλια συστήματα ΗΠ και πρέπει να προστατευτούν από παρεμβολή για όσο χρόνο είναι απαραίτητο για την υποκλοπή κρίσιμων πληροφοριών.

β. Συμβατικές Τεχνικές Παρεμβολών Επικοινωνιών

Αυτές οι τεχνικές εφαρμόζονται σε παλαιότερα συστήματα επικοινωνιών ή σε συστήματα τα οποία δεν έχουν μεγάλες δυνατότητες ΕΡ. Αυτές είναι:

(1) Παρεμβολές παραπλάνησης – σύγχυσης: Στο κανάλι επικοινωνίας του αντιπάλου, εισάγονται εσκεμμένα φωνητικά μηνύματα (φωνές, διαταγές, μουσική κ.λπ.) με σκοπό τη σύγχυση. Ο Παρεμβολέας πρέπει να εκπέμπει σήματα με πανομοιότυπα χαρακτηριστικά ως προς το σήμα του αντιπάλου (συχνότητα, διαμόρφωση κ.λπ.).

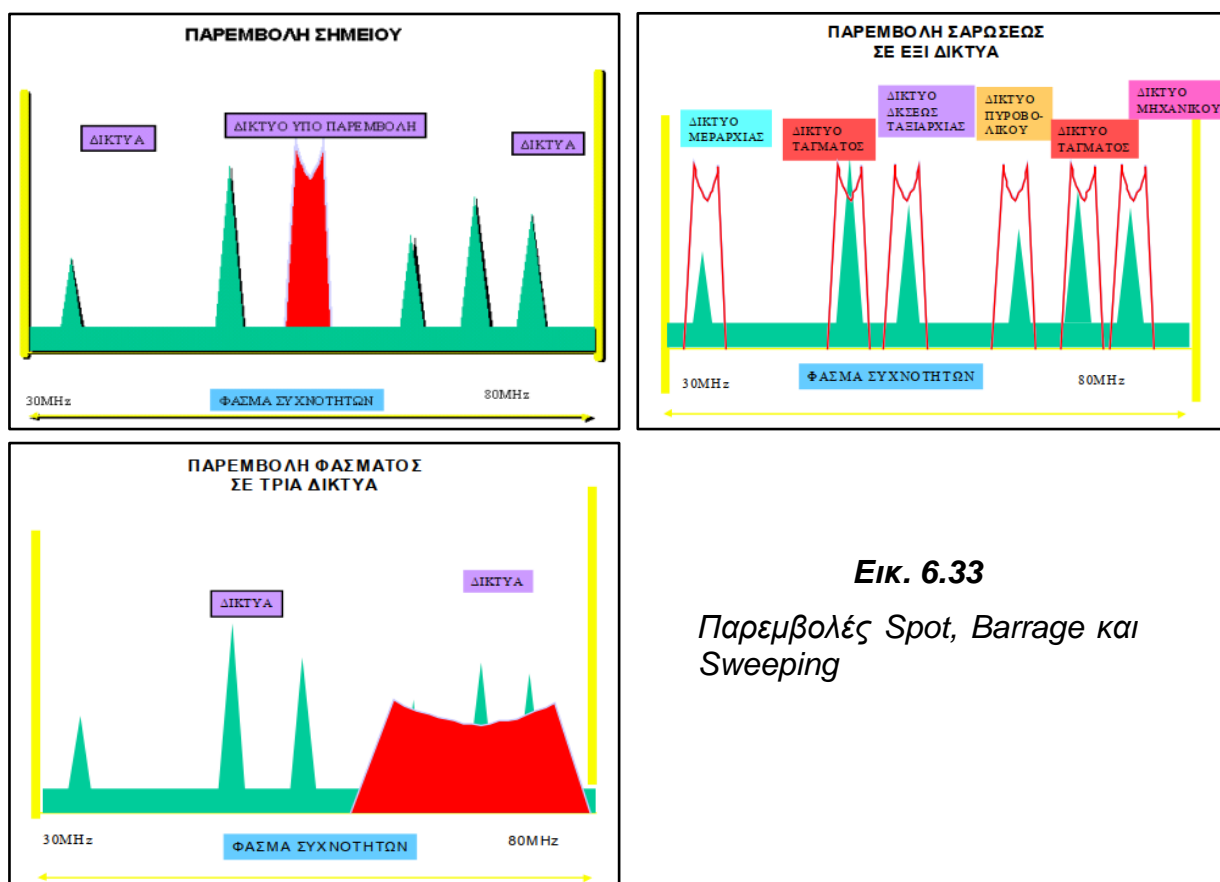
(2) Παρεμβολές Θορύβου: Στο κανάλι επικοινωνίας του αντιπάλου, εισάγονται σήματα θορύβου υψηλής έντασης. Στις παρεμβολές θορύβου, ανάλογα με το αν ο αντίπαλος χρησιμοποιεί μία ή περισσότερες συχνότητες καθορίζεται και το εύρος ζώνης των συχνοτήτων του εκπεμπόμενου θορύβου.

Όσο πιο στενό είναι το εύρος ζώνης των συχνοτήτων του παρεμβολέας τόσο μεγαλύτερη ενέργεια μπορεί να αποδώσει ο παρεμβολέας. Οι κυριότερες τύποι στοχευμένων παρεμβολών θορύβου είναι η παρεμβολή σημείου (spot), φάσματος (barage) και σαρώσεως (sweeping) η οποία είναι «κυλιόμενη» παρεμβολή.

Οι πιο κοινοί τρόποι δημιουργίας παρεμβολών θορύβου είναι οι παρακάτω:

(α) Τυχαίος θόρυβος: Σε αυτή τη παρεμβολή παράγεται θόρυβος τυχαίας συχνότητας και πλάτους. Σκοπός είναι να προσομοιάσει τον πραγματικό θόρυβο του περιβάλλοντος αποτρέποντας έτσι τον χειριστή να λάβει μέτρα αντιμετώπισης του.

(β) Stepped: Πρόκειται για σήματα οι οποίοι εκπέμπονται με αυξομείωση του τόνου (pitch) και χρησιμοποιούνται κυρίως σε δέκτες AM – FM.



Εικ. 6.33

Παρεμβολές Spot, Barrage και Sweeping

(γ) **Spark:** Από τους πιο αποτελεσματικούς τύπους παρεμβολής θορύβου. Πρόκειται για σήματα μικρής διάρκειας και πολύ μεγάλου πλάτους. Τα σήματα αυτά επαναλαμβάνονται με πολύ μεγάλο ρυθμό.

(δ) **Gulls:** Πρόκειται για σήματα με απότομη αύξηση και αργή μείωση της συχνότητας. Προκαλούν ενόχληση και ονομάστηκαν έτσι γιατί μοιάζουν με κραυγή γλάρου.

(ε) **Τυχαίοι Παλμοί:** Σήματα παλμών με μεταβλητό πλάτος, διάρκεια και ρυθμό. Χρησιμοποιούνται για να παρεμβάλουν συστήματα δεδομένων (π.χ. Data Link) και όχι τόσο φωνής.

(στ) **Wobbler:** Σήμα μιας συχνότητας διαμορφωμένο από πολύ χαμηλό και αργά μεταβαλλόμενο σήμα.

(ζ) **Ηχογραφημένοι ήχοι:** Μουσική, κραυγές, χειροκροτήματα, σφύριγμα, θόρυβος μηχανών κ.τ.λ., είναι μερικά παραδείγματα θορύβων που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για μια παρεμβολή θορύβου.

(η) **Σιωπηλή Παρεμβολή:** Αυτού του τύπου η παρεμβολή εκμεταλλεύεται τη λειτουργία SQUELCH που έχουν όλοι οι σύγχρονοι σταθμοί ασυρμάτου. Η λειτουργία squelch επιτρέπει σε έναν ασύρματο να φιμώνει τον στατικό (λευκό) θόρυβο. Για να γίνει άρση του squelch και να είναι δυνατή η λήψη ενός σήματος πληροφορίας πριν από αυτό εκπέμπεται κάποιο σήμα το οποίο όταν ληφθεί από τον δέκτη, αυτός απενεργοποιεί προσωρινά το squelch και έπειτα λαμβάνει το σήμα πληροφορίας. Στη σιωπηλή παρεμβολή, ο παρεμβολέας απαγορεύει τη μετάδοση του σήματος άρσης squelch με αποτέλεσμα τόσο να μη γίνεται λήψη του σήματος πληροφορίας, όσο και στη μη ένδειξη ύπαρξης παρεμβολής στον χειριστή του σταθμού ασυρμάτου, ο οποίος είναι και ο λόγος που ονομάστηκε έτσι.

(3) Τεχνικές παρεμβολών σε συστήματα Spread Spectrum

(α) Partial Band Noise – Pulsed Barrage Noise

Θεωρητικά μια παρεμβολή barrage θα μπορούσε να καλύψει όλα τα κανάλια ενός FHSS συστήματος. Λόγω όμως της χαμηλής ισχύος, αποδεικνύεται αναποτελεσματική.

Μια τεχνική που ενδέχεται να αποβεί αποτελεσματική εναντίον FHSS σημάτων είναι η Partial Band Noise. Στη τεχνική αυτή γίνεται παρεμβολή Barrage σε εύρος μικρότερο από το εύρος της ζώνης του σήματος FHSS. Με τον τρόπο αυτό είναι γνωστό ότι κάποια κανάλια θα βρίσκονται εκτός εύρους παρεμβολής, αλλά για τα υπόλοιπα κανάλια ο παρεμβολέας θα είναι αποτελεσματικός διότι θα εκπέμπει θόρυβο μεγαλύτερης ισχύος από το σήμα FHSS. Η αποτελεσματικότητα αυτής της τεχνικής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εκμετάλλευση των δεδομένων ESM ώστε να υπολογιστεί η ισχύ που φτάνει στο δέκτη ώστε η παρεμβολή να είναι ισχυρότερη. Βέβαια σε συστήματα FHSS που χρησιμοποιούν μεγάλο εύρος συχνοτήτων ή σε συστήματα Medium και Fast FH, αυτή η παρεμβολή δεν είναι αποτελεσματική καθώς θα είναι αποτελεσματική για ένα πολύ μικρό ποσοστό του χρόνου.

Για τα σήματα THSS ο παρεμβολέας εκπέμπει σε μικρές χρονικές στιγμές σήμα υψηλής ισχύος αλλά και μεγάλου εύρους ζώνης. Η τεχνική αυτή καλείται Pulsed

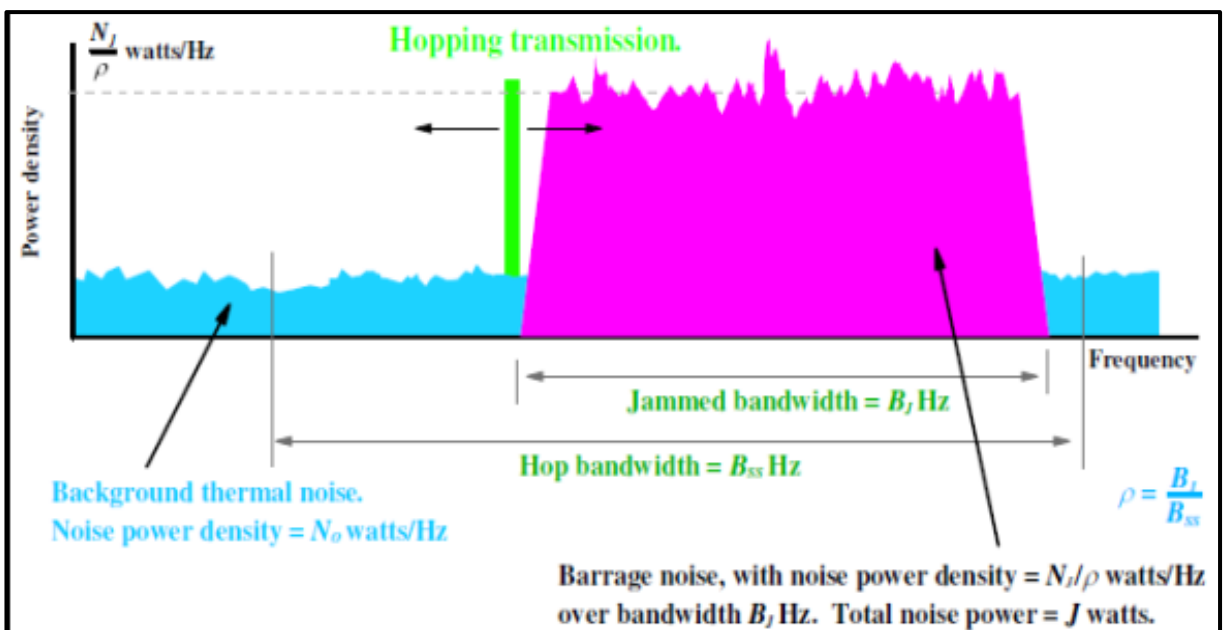
Barrage Noise .

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η επιτυχία των παραπάνω παρεμβολών εξαρτάται από την ισχύ που μπορεί να εκπέμψει ο παρεμβολέας (μεγαλύτερη ισχύς = μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων) αλλά κυρίτερα από τις πληροφορίες ESM. Σε υβριδικά συστήματα (THSS-FHSS, THSS-DSSS) οι παραπάνω παρεμβολές είναι άσκοπες.



Εικ. 6.34

Σήμα FHSS (πράσινο) σε παρεμβολή Barrage (μωβ)

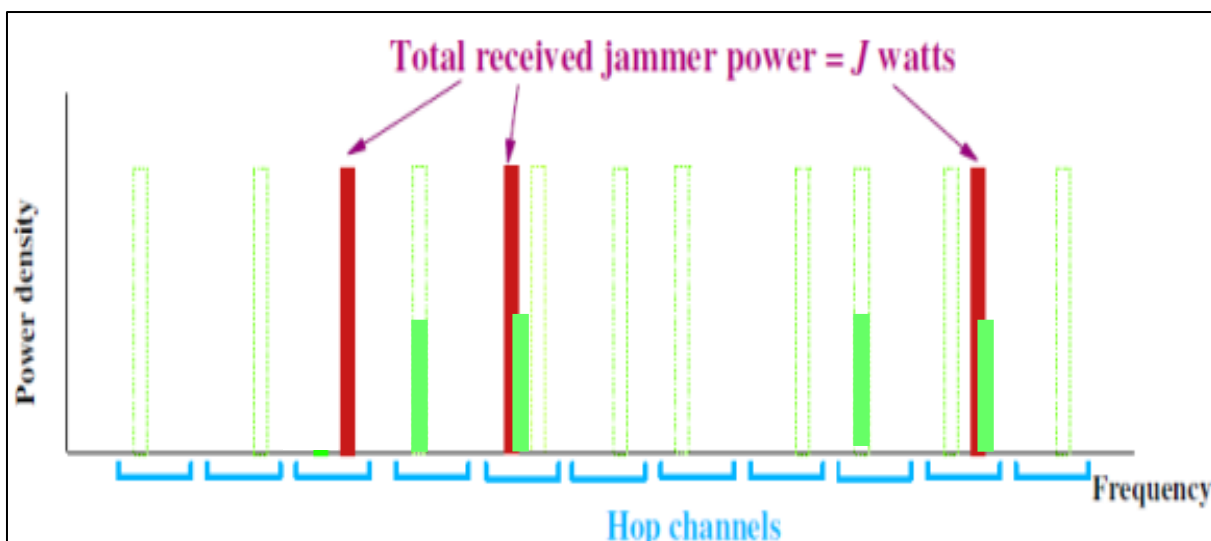


Εικ. 6.35

Σήμα FHSS (πράσινο) σε παρεμβολή Partial Band Noise (μωβ)

(β) **Follower Jamming:** Η σύγχρονοι παρεμβολείς μπορούν να συντονιστούν ταχύτατα στις αναπηδήσεις συχνοτήτων. Έτσι όλη η ισχύς τους συγκεντρώνεται σε μία μόνο συχνότητα κάθε φορά. Για να είναι αποτελεσματική η παρεμβολή FHSS θα πρέπει να καλύπτει με θόρυβο το σήμα FHSS κατά το 1/3 του χρόνου που αυτό εκπέμπεται, άρα ο παρεμβολέας έχει στη «διάθεσή» του τα 2/3 του χρόνου για να «βρει» και να παρεμβάλει τη συχνότητα FHSS. Αυτή τεχνική είναι πολύ αποτελεσματική σε συστήματα FHSS

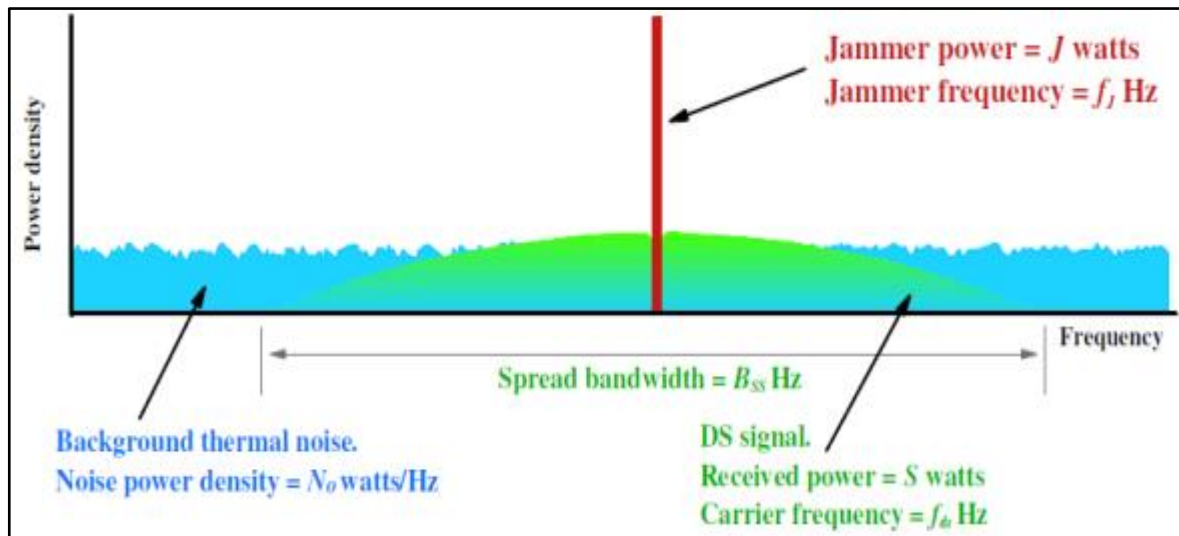
(γ) **Tone Jamming:** Στη τεχνική αυτή έχει σκοπό να εκπέμψει παραπλανητικά σήματα (Tone) σε ψηφιακά σήματα δεδομένων, με σκοπό τη μείωση της ποιότητας της ζεύξης και κατά προέκταση τη διακοπή της λόγω πολλαπλών σφαλμάτων. Αν και τα σύγχρονα ψηφιακά επικοινωνιακά συστήματα έχουν κάποιου είδους κώδικα ανίχνευσης / διόρθωσης σφαλμάτων, δεν είναι σε θέση να αντιμετωπίσει υπερβολικά σε αριθμό σφάλματα.



Εικ. 6.36

Τα σήματα Tone (κόκκινα) είναι ισχυρότερα από τα σήματα FHSS (πράσινα) με αποτέλεσμα σε ένα σύστημα HFSS και διαμόρφωσης BFSK να εισάγονται πολλαπλά λάθη.

Η τεχνική αυτή έχει καλά αποτελέσματα και σε σήματα DSSS εφόσον ταυτιστεί η συχνότητα παρεμβολής με την φέρουσα. Κατά συνέπεια είναι πολύ σημαντική η ανίχνευση του σήματος DSSS από τους δέκτες ESM προκειμένου να προγραμματιστεί κατάλληλα η τεχνική παρεμβολής, όπως στο παρακάτω σχήμα.



Εικ. 6.37

Tone jamming σε σύστημα DSSS

(δ) Predictor Jammer: Η εξέλιξη των συστημάτων παρεμβολών είναι να προβλέπουν την επόμενη επιλογή ενός συστήματος SS και να κάνει τη βέλτιστη εκμετάλλευση της διαθέσιμης ισχύος. Το «ξεκλείδωμα» του κώδικα, εξαρτάται από τον τύπο του κλειδιού και όχι από την τεχνική που χρησιμοποιείται (FHSS, DSSS, THSS). Ειδικά για τα DSSS συστήματα, ο υπολογισμός της φέρουσας συχνότητας και στη συνέχεια εκπομπή σήματος παρεμβολής με αντίστοιχες παραμέτρους τυχαίου κώδικα ώστε να εισαχθούν εσφαλμένα δεδομένα κατά την αποδιαμόρφωση, παραμένει η αποτελεσματικότερη τεχνική.

Οι predictor jammers είναι ένας συνδυασμός ESM και παρεμβολέα, απαιτούν μεγάλη υπολογιστική ισχύ, βρίσκονται ακόμη στη φάση της έρευνας και ανάπτυξης και προς το παρόν περιορίζονται σε ένα μικρό εύρος συχνοτήτων.

Σελίδα Κενή

Κεφάλαιο 7^ο : Θεωρία Ραντάρ

7.1 Κατηγορίες Ραντάρ

Τα ραντάρ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με τα παρακάτω:

α. Βασική Αρχή Λειτουργίας:

(1) **Παλμικά (Pulse):** Είναι RADAR που εκπέμπει μια επαναλαμβανόμενη ακολουθία τετραγωνικών παλμών. Μπορεί να θεωρηθεί ως η αντιπροσωπευτικότερη κατηγορία RADAR, αυτή που έρχεται στο μυαλό κάποιου για την έννοια του RADAR ως ορισμός, όταν καμιά άλλη πληροφορία δεν υπάρχει γι' αυτό.

(2) **Συνεχούς κύματος (Continuous Wave, CW):** Χρησιμοποιεί ένα συνεχές ημιτονοειδές H/M κύμα και εκμεταλλεύεται το φαινόμενο Doppler για την απόρριψη ακίνητων στόχων, τον εντοπισμό κινούμενων στόχων και την μέτρηση της ταχύτητας των τελευταίων.

(3) **Διαμορφωμένου Συνεχούς Κύματος (Modulated CW)** Είναι RADAR συνεχούς κύματος το οποίο χρησιμοποιεί διαμόρφωση (συνήθως συχνότητας) με σκοπό τον υπολογισμό της απόστασης. Χρησιμοποιείται συχνά σε RADAR μέτρησης του ύψους πτήσης των Α/Φ

(4) **Παλμικά Ντόπλερ (Pulse Doppler):** Χρησιμοποιούν είτε υψηλές τιμές PRF (Pulse Repetition Frequency) είτε μεσαίες. Εκμεταλλεύονται τις μετατοπίσεις συχνότητας Doppler για τον διαχωρισμό των κινούμενων στόχων από τις παρασιτικές επιστροφές του περιβάλλοντος. Η χρήση υψηλών τιμών PRF αποτρέπει την εμφάνιση ασαφειών στη συχνότητα Doppler (τυφλές ταχύτητες) αλλά παρουσιάζει ασάφειες στον υπολογισμό της απόστασης. Η χρήση μεσαίων τιμών PRF παρουσιάζει ασάφειες τόσο στον υπολογισμό της απόστασης όσο και στον υπολογισμό της ταχύτητας· μπορούν όμως εύκολα να επιλυθούν με τη χρήση δύο ή και περισσότερων τιμών PRF.

β. Αποστολή:

(1) RADAR επιτήρησης (surveillance RADAR) Ανιχνεύει στόχους (αέρος, επιφανείας, εδάφους) και καθορίζει την θέση κατά την απόσταση και κατά τη γωνία (διόπτρευση). Επίσης, είναι δυνατόν να παρακολουθεί το στόχο για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, με σκοπό την απόκτηση στοιχείων εγκλωβισμού αυτού.

(2) RADAR ιχνηλάτησης (tracking RADAR) Παρέχει πληροφορίες του ίχνους (track) ή της τροχιάς (trajectory) ενός στόχου. Διακρίνονται περαιτέρω στις ακόλουθες κατηγορίες:

(α) Ιχνηλάτηση μονού στόχου (Single Target Tracker, STT): Εγκλωβίζει ένα μόνο στόχο τη φορά και παρέχει ανανέωση δεδομένων με μεγάλη συχνότητα με σκοπό την παροχή ακριβή στοιχείων εγκλωβισμού για τον ελυσσόμενο στόχο. Μια αντιπροσωπευτική τιμή ανανέωσης των στοιχείων του στόχου είναι της τάξης των 10 μετρήσεων το δευτερόλεπτο (χρόνος ανανέωσης 0,1 sec). Είναι δυνατόν να χρησιμοποιεί μονοπαλμικό εγκλωβισμό για ακριβείς πληροφορίες εγκλωβισμού κατά τη διόπτρευση.

(β) Αυτόματης ανίχνευσης και ιχνηλάτησης (Automatic Detection and Tracking, ADT). Εγκλωβισμός από RADAR επιτήρησης. Είναι δυνατόν να έχει εγκλωβισμένο έναν μεγάλο αριθμό στόχων χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις των θέσεων των στόχων οι οποίοι λαμβάνονται μετά από πολλαπλές σαρώσεις της κεραίας. Η συχνότητα ανανέωσης των δεδομένων δεν είναι τόσο μεγάλη όσο στον εγκλωβισμό STT. Ο χρόνος ανανέωσης των δεδομένων κυμαίνεται από 1 έως 12 δευτερόλεπτα, ανάλογα με την εφαρμογή.

(γ) Ιχνηλάτηση κατά τη σάρωση (Track While Scan, TWS): Συνήθως, ένα RADAR το οποίο παρέχει επιτήρηση σε μια στενή περιοχή διοπτρεύσεων σε μια ή δύο διαστάσεις, με σκοπό την παροχή πληροφοριών θέσεως με μεγάλη συχνότητα ανανέωσης για όλους τους στόχους μέσα σε μια περιορισμένη περιοχή γωνιακής παρακολούθησης. Έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για RADAR εδάφους που καθοδηγούσαν Α/Φ για προσγείωση, σε κάποια RADAR ελέγχου ενώ χρησιμο-

ποιείται κατά κόρον σε στρατιωτικά RADAR Α/Φ αλλά και σε παράκτια RADAR επιτήρησης.

(δ) Εγκλωβισμός φασικών στοιχείων (Phased Array Tracker): Μια συστοιχία φασικών στοιχείων ηλεκτρονικής σάρωσης είναι δυνατόν να διατηρεί τον εγκλωβισμό (σχεδόν) συνεχώς για πάνω από έναν στόχους με μεγάλη συχνότητα ανανέωσης. Είναι επίσης δυνατός ο ταυτόχρονος εγκλωβισμός πολλαπλών στόχων με μικρότερη συχνότητα ανανέωσης παρόμοια με αυτή που επιτυγχάνεται με την ADT.

(3) RADAR εικόνας (Imaging RADAR). Παράγει δυσδιάστατη εικόνα RADAR ενός στόχου ή μιας περιοχής, όπως ένα τμήμα της επιφάνειας της γης και ότι υφίσταται πάνω σε αυτό. Αυτά τα RADAR βρίσκονται συνήθως πάνω σε κινούμενους φορείς. Υποκατηγορίες αυτών είναι:

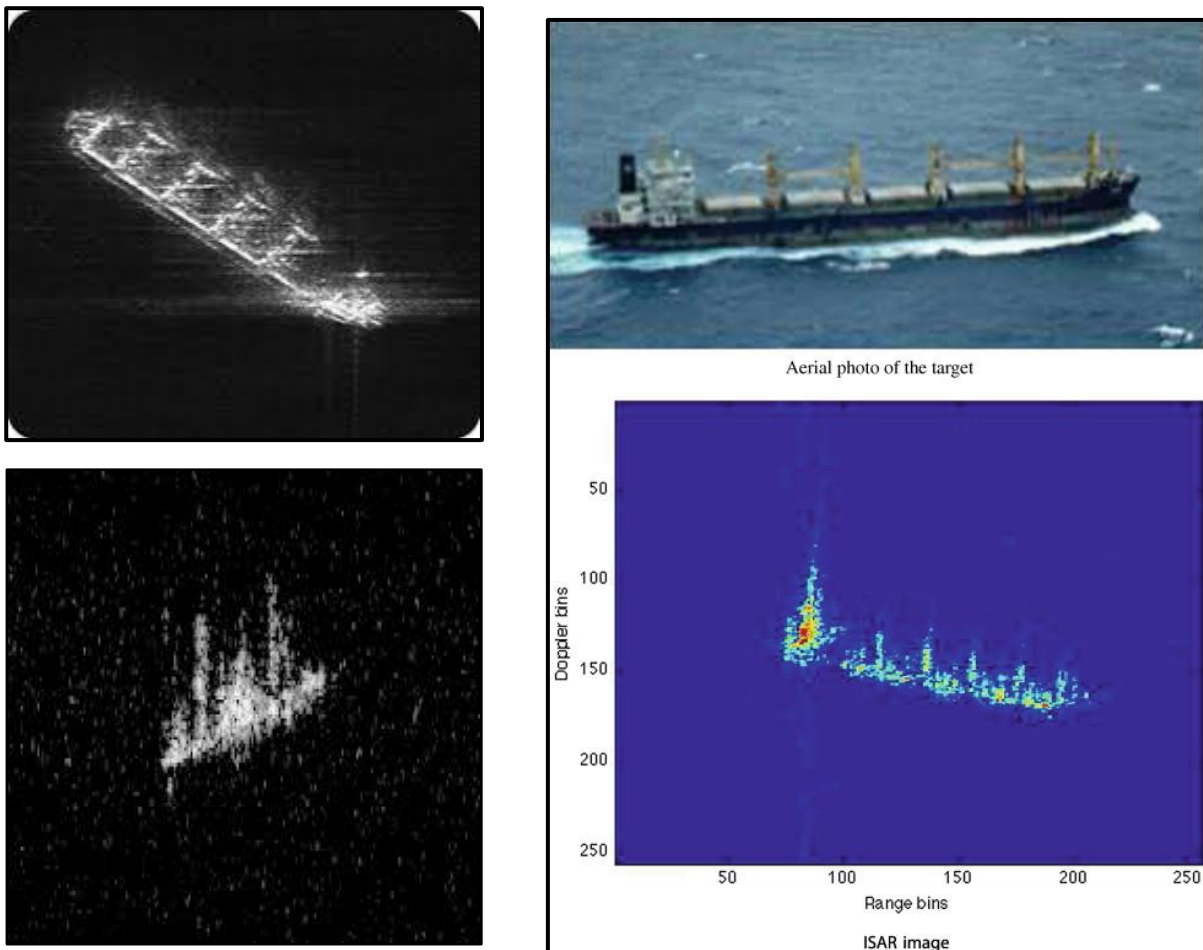
(α) Πλευρικής σάρωσης εναέρια RADAR (Side looking airborne RADAR, SLAR). Παρέχει εικόνα υψηλής ανάλυσης κατά την απόσταση και επιτυγχάνει κατάλληλη ανάλυση κατά τη διόπτρευση χρησιμοποιώντας κεραία στενού εύρους δέσμης.

(β) RADAR συνθετικής απεικόνισης (Synthetic Aperture RADAR, SAR) Είναι RADAR εικόνας συμφωνίας φάσης (coherent) των εκπεμπόμενων παλμών πάνω σε κινούμενους φορείς τα οποία χρησιμοποιούν την πληροφορία των επιστρεφόμενων Η/Μ σημάτων σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler (διαφορές στην επιστρεφόμενη συχνότητα) με σκοπό την δημιουργία εικόνας του εδάφους με υψηλή ανάλυση τόσο κατά την απόσταση όσο και κατά τη διόπτρευση.

(γ) RADAR αντίστροφης συνθετικής απεικόνισης (Inverse Synthetic Aperture RADAR, ISAR) Παρόμοια με τα προηγούμενα RADAR SAR, αλλά αυτά εκμεταλλεύονται την κίνηση του στόχου και όχι την κίνηση του φορέα για τη δημιουργία εικόνας σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler (διαφορές στην επιστρεφόμενη συχνότητα). Μπορεί να είναι ακίνητα ή να βρίσκονται σε κινούμενους φορείς. Η κυριότερη χρήση είναι σε θαλάσσιες αποστολές επιτήρησης – αναγνώρισης. Συνήθως τα RADAR SAR μπορούν να λειτουργήσουν και σαν ISAR.

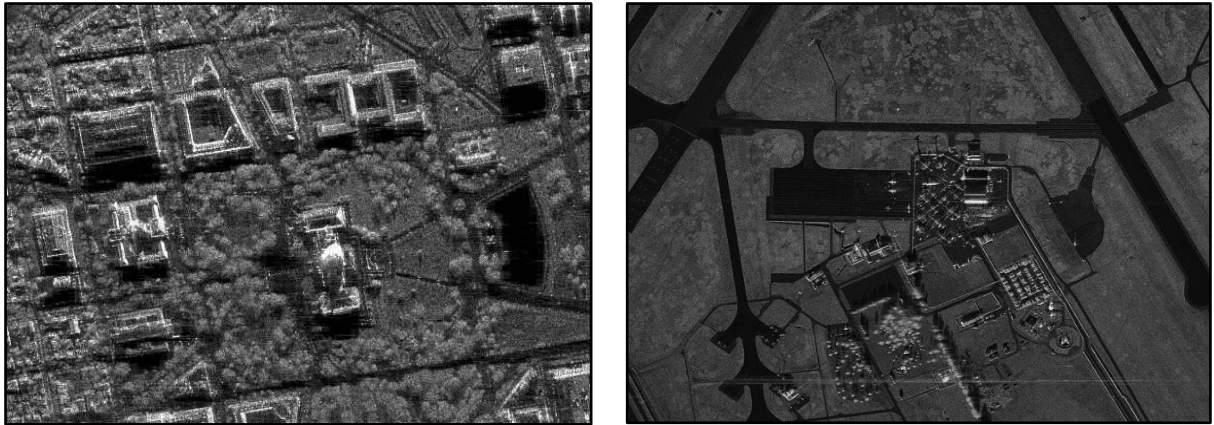
(4) **RADAR ελέγχου πυρός (Weapon/Fire control RADAR).** Είναι συνήθως RADAR εγκλωβισμού ενός στόχου τα οποία χρησιμοποιούνται για άμυνα εναντίον αεροπορικής επιδρομής.

(5) **RADAR κατεύθυνσης (guidance RADAR):** Είναι ραντάρ τα οποία χρησιμοποιούνται για την καθοδήγηση βλημάτων – πυραύλων προς το στόχο. Μπορούν να βρίσκονται πάνω στον πύραυλο οπότε και αυτός καθοδηγείται από αυτά αυτόνομα, ή σε άλλον φορέα από τον οποίο καθοδηγείται το βλήμα είτε μέσω εντολών κατεύθυνσης είτε μέσω εκπομπής στενής δέσμης την οποία ακολουθούν τα βλήματα.



Εικ. 7.1


Παραδείγματα ISAR απεικόνισης




Εικ. 7.2

Εικόνα SAR από ραντάρ Α/Φ παλαιότερης γενιάς (αριστερά) και από ραντάρ AN/APG-83 σε Α/Φ F-16V (δεξιά)

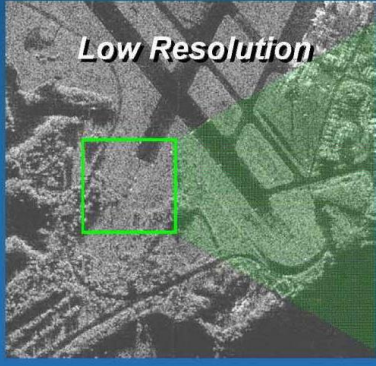
F-35 APG-81 Radar Performance



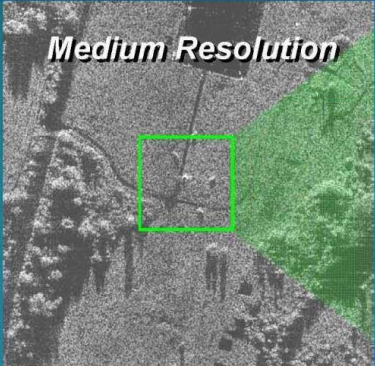
Northrop Grumman Electronic Systems Completed the First Two Radar Flights on 23-25 August 2005 using their BAC-111 Aircraft at Baltimore, MD




Legacy Resolution



Low Resolution



Medium Resolution

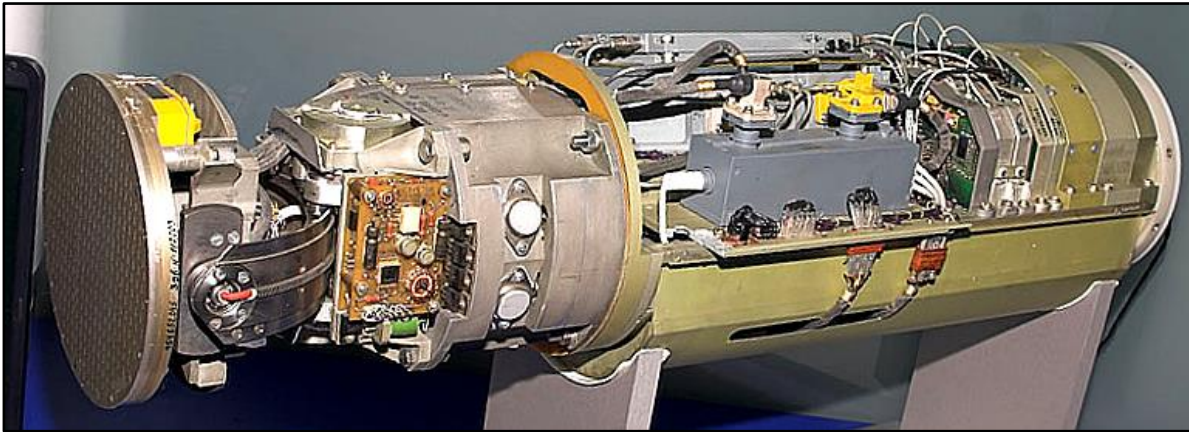


High Resolution

Lockheed Martin Aeronautics Company
DISTRIBUTION STATEMENT A. Approved for public release; distribution is unlimited.
30 Apr 06 - 16
Public Release

Εικ. 7.3

Η ανάλυση των SAR πλέον φτάνει σε επίπεδα δεκάδων εκατοστών



Εικ. 7.4

Radar κατεύθυνσης του ρωσικού πυραύλου αέρος-επιφανείας Kh-25MAE

(6) Μετεωρολογικά RADAR (meteorological RADAR): Αυτά τα RADAR ανιχνεύουν, αναγνωρίζουν και μετρούν το ρυθμό βροχόπτωσης, την ταχύτητα του ανέμου και την διεύθυνσή του και παρακολουθούν άλλα σημαντικά καιρικά φαινόμενα για μετεωρολογικούς σκοπούς. Αυτά είναι δυνατόν να είναι ειδικά RADAR για το σκοπό αυτό ή να είναι συγκεκριμένη λειτουργία ενός RADAR επιτήρησης.

(7) RADAR αναγνώρισης στόχου (target recognition RADAR): Σε μερικές περιπτώσεις, είναι σημαντικό να αναγνωρισθεί το είδος του στόχου που παρακολουθείται από το RADAR. Όταν χρησιμοποιείται για στρατιωτικές εφαρμογές, συνήθως ονομάζεται μη-συνεργατική αναγνώριση στόχου (Non-Cooperative Target Recognition, NCTR), σε αντίθεση με την συνεργατική αναγνώριση στόχων, όπως είναι το IFF (Identification Friend or Foe).

(8) RADAR πολλαπλών χρήσεων (multifunction RADAR). Εάν κάθε ένα από τα παραπάνω RADAR μπορεί να θεωρηθεί ότι εκτελούν κάποια συγκεκριμένη λειτουργία, τότε ένα RADAR πολλαπλών ρόλων είναι αυτό που σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εκτελεί περισσότερες από μία λειτουργίες (συνήθως μία λειτουργία τη φορά με καταμερισμό χρόνου).

γ. Υπάρχουν πολλοί άλλοι τρόποι για την περιγραφή των RADAR, οι οποίοι περιλαμβάνουν : RADAR ξηράς (land), θάλασσας (sea), εναέρια (airborne), δια-

στήματος (spaceborne), κινητά (mobile), φορητά (transportable), ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας (air-traffic control), στρατιωτικά (military), διείσδυσης εδάφους (ground-penetrating), υπέρ-ευρείας ζώνης συχνοτήτων (ultra-wideband), πέραν του ορίζοντα (Over The Horizon, OTH), laser (ή lidar), ανάλογα με τη συχνότητα λειτουργίας τους (UHF, L, S, κ.λπ.), με την εφαρμογή τους, ανάλογα με τις κεραίες εκπομπής και λήψης που χρησιμοποιούν [μονοστατικά (monostatic) (μία κεραία για εκπομπή και λήψη), διστατικά (bistatic) (ξεχωριστή κεραία εκπομπής και λήψης) πολυστατικά (polystatic) (πολλαπλές κεραίες λήψης και μία ή περισσότερες εκπομπής)].

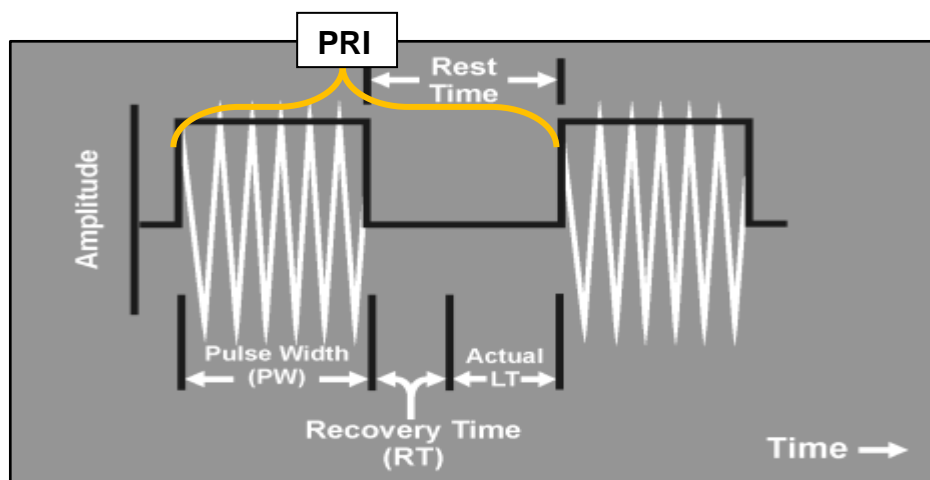
7.2 Ορολογία Ραντάρ

α. Πλάτος Παλμού (Pulse Width – PW)

Πολλές φορές αναφέρεται και ως διάρκεια παλμού και είναι ο χρόνος στον οποίο εκπέμπεται ακτινοβολία. Το πλάτος παλμού μετρείται σε msec και επηρεάζει τόσο την εμβέλεια όσο και την διακριτική ικανότητα ενός παλμικού ραντάρ.

β. Περίοδος Επανάληψης Παλμών (Pulse Repetition Time, PRT ή Pulse Repetition Interval, PRI)

Ο χρόνος από την έναρξη εκπομπής ενός παλμού, μέχρι την αρχή του επομένου, καλείται περίοδος επανάληψης παλμών και μετρείται σε υποδιαιρέσεις του δευτερολέπτου συνήθως σε msec. Η PRT περιλαμβάνει το PW και το Resting Time.



Εικ. 7.5

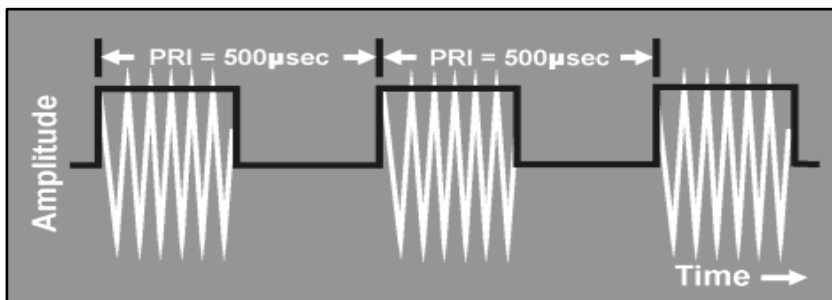
Βασικά χαρακτηριστικά παλμού ραντάρ

γ. Χρόνος Σιγής (Resting Time)

Ο χρόνος κατά τον οποίο το RADAR δεν εκπέμπει, ονομάζεται χρόνος σιγής (rest time) και είναι της τάξης μερικών χιλιάδων msec. Ο χρόνος σιγής περιλαμβάνει ένα ελάχιστο χρόνο που απαιτείται ώστε το ραντάρ να έρθει σε «ηρεμία» μετά την εκπομπή του παλμού ο οποίος ονομάζεται χρόνος αποκατάστασης (Recovery Time) και το χρόνο τον οποίο το ραντάρ «ακροάται» για επιστρεφόμενους παλμούς ο οποίος ονομάζεται Χρόνος Ακρόασης (Listening Time).

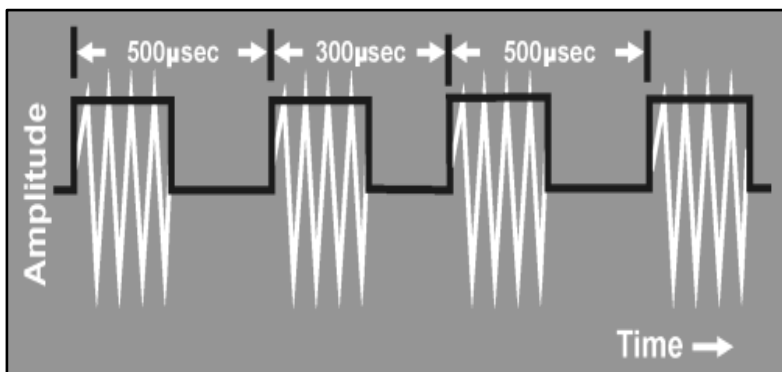
δ. Συχνότητα Επανάληψης Παλμών (Pulse Repetition Frequency – PRF)

Από τα βασικότερα χαρακτηριστικά ενός παλμικού ραντάρ είναι η PRF, η οποία εκφράζει τον ρυθμό μετάδοσης παλμών. Γενικά η PRF είναι ο αριθμός των παλμών που παράγονται σε 1 δευτερόλεπτο και εκφράζεται σε Hz. Η PRF μπορεί να είναι σταθερή ή μεταβαλλόμενη οπότε έχουμε την PRF Staggered και PRF Jittered.

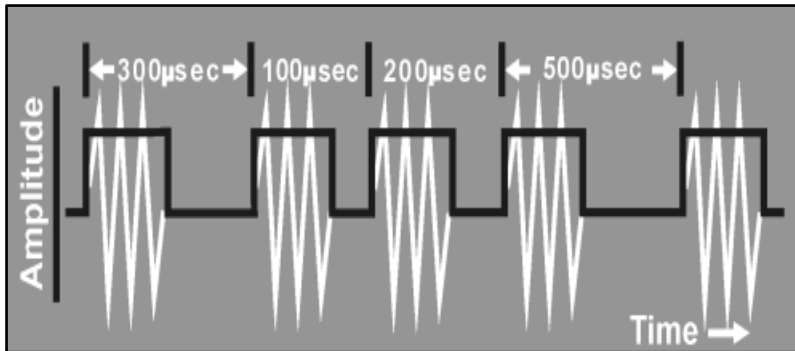


Εικ. 7.6
Σταθερή PRF 2 KHz

Ένα σύστημα παλμικού ραντάρ που μπορεί να αλλάζει την PRF έτσι ώστε δύο γειτονικές PRI να μην είναι ίσες τότε καλείται ραντάρ μεταβλητής PRF. Αν η αλλαγή αυτή γίνεται με συγκεκριμένο τρόπο (από πριν προγραμματισμένο με ή χωρίς δυνατότητα επιλογής από κάποιο καθορισμένο αριθμό τρόπου εκπομπής) τότε μιλάμε για ένα σύστημα Staggered PRF, ενώ αν αυτή η αλλαγή γίνεται με ψευδοτυχαίο τρόπο τότε το σύστημα λέγεται Jittered PRF.



Εικ. 7.7
PRF Staggered 2 θέσεων (Το 2 υποδηλώνει τον αριθμό εναλλαγών της PRI)

**Εικ. 7.8**

PRF Jittered. Όπως φαίνεται και στην αριστερή εικόνα στη *Jittered PRF* δεν υπάρχει προκαθορισμένο πρότυπο αλλαγής της *PRI*.

ε. Κύκλος Εργασίας (Duty Cycle)

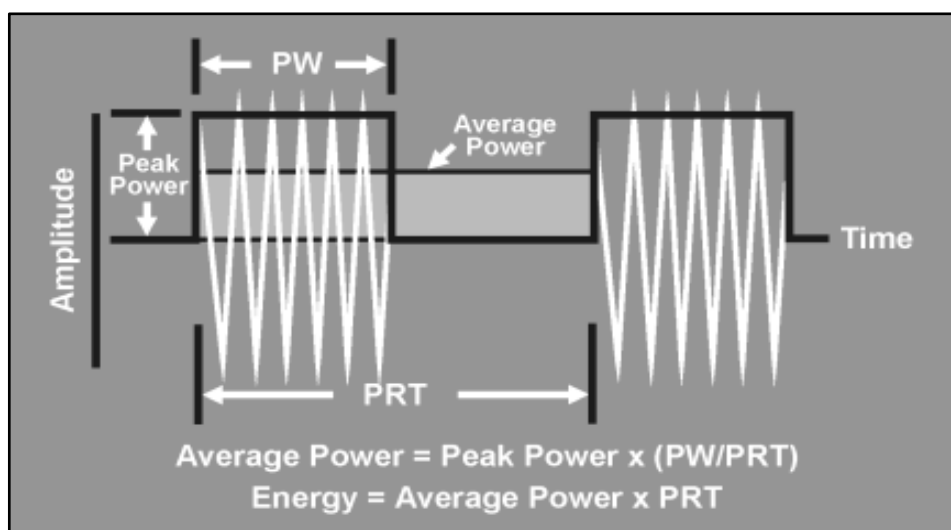
Ο κύκλος εργασίας (Duty Cycle) ενός RADAR μας δείχνει το ποσοστό του χρόνου που εκπέμπει το RADAR σε έναν πλήρη κύκλο (εκπομπή + ακρόαση) και δίνεται από τον λόγο του PW προς το PRI.

$$\text{Duty Cycle: } \frac{PW}{PRI} = PW \times PRF$$

στ. Ισχύς Πομπού

Η ισχύς του RADAR διακρίνεται σε μέγιστη (Peak) και μέση (Average) ισχύ του πομπού. Μέγιστη ισχύς, P_t , είναι η μέση τιμή της ισχύος κατά τη διάρκεια του παλμού εκπομπής, ενώ μέση ισχύς, P_{avg} , είναι η μέση τιμή της ισχύος θεωρούμενη σε όλο το χρονικό διάστημα της PRI και η σχέση της με τη μέγιστη ισχύ δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$P_{avg} = P_t \times \frac{PW}{PRI}$$

**Εικ. 7.9**

Μέγιστη και μέση ισχύς

η. Ελάχιστη Εμβέλεια Ραντάρ

Ένα παλμικό RADAR μπορεί να λάβει επιστροφές κατά την διάρκεια του χρόνου ακρόασης, ενώ κατά την διάρκεια που εκπέμπει παλμούς (PW), δεν μπορεί να λάβει επιστροφές, αφού ο δέκτης κατά τη διάρκεια της εκπομπής του RADAR δεν μπορεί να βρίσκεται σε διαδικασία λήψης. Έτσι, αν ένας στόχος βρίσκεται τόσο κοντά στο RADAR ώστε η H/M του ηχώ να φτάσει στην κεραία πριν ολοκληρωθεί η εκπομπή του παλμού (πριν την έναρξη του χρόνου ακρόασης), τότε ο στόχος δεν θα εντοπιστεί από τον δέκτη του RADAR. Υπό αυτή την έννοια ορίζεται η ελάχιστη εμβέλεια RADAR, R_{\min} , η οποία εξαρτάται μόνο από το εύρος παλμού, PW, και υπολογίζεται από την σχέση:

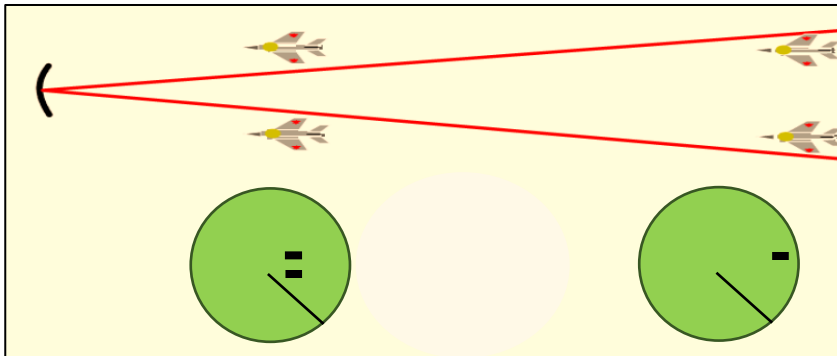
$$R_{\min} = c \chi \frac{PW}{2}$$
ζ. Διαχωριστική ικανότητα RADAR**(1) Διαχωρισμός ως προς αζιμούθιο και ύψος**

Διαχωριστική (ή διακριτική) ικανότητα ενός RADAR ως προς αζιμούθιο ή ύψος είναι η ικανότητα του RADAR να διακρίνει δύο διαφορετικούς στόχους, οι οποίοι βρίσκονται στην ίδια απόσταση, αλλά σε διαφορετικές διοπτεύσεις. Εάν υποθέσουμε ότι το οριζόντιο εύρος δέσμης της κεραίας ενός RADAR είναι 1° , τότε σε απόσταση 60 NM η γωνία 1° υποτείνει σε τόξο χορδής 1 NM. Άρα στα 120 NM η δέσμη θα έχει πλάτος 2 NM κ.ο.κ. Στο RADAR ένα αντικείμενο θα εμφανιστεί στην οθόνη του με μέγεθος ανάλογο της δέσμης που το «χτυπά», δηλαδή ένα Α/Φ που αποκαλύφθηκε από RADAR δέσμης 1° στα 60 NM θα απεικονιστεί στην οθόνη με αναλογία πλάτους 1 NM, άσχετα από το φυσικό του μέγεθος (φυσικά στα νέα RADAR η απεικόνιση είναι ψηφιακή ή επεξεργασμένη, ώστε να είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος του στόχου).

Η καθαρότητα της διόπτευσης, αλλά και του ύψους (καθόσον υπάρχει και κατακόρυφη γωνία δέσμης), είναι συνάρτηση των γωνιών του λοβού της κεραίας. Όσο μεγαλύτερες είναι οι γωνίες, τόσο χειρότερη είναι η ακρίβεια αζιμούθιου και ύψους, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι μία διάσταση της κεραίας, τόσο στενότερη είναι η δέσμη που αντιστοιχεί σε αυτή την διάσταση (καλύτερη ακρίβεια).

Τα RADAR δε μπορούν να κάνουν διαχωρισμό μεταξύ δύο ή περισσότερων στόχων που βρίσκονται στην ίδια απόσταση και μέσα στη γωνία της δέσμης του RADAR και συνεπώς θα απεικονιστούν στην οθόνη ως ένας στόχος. Όπως φαίνεται στη παραπάνω εικόνα, αν τα Α/Φ συνεχίζουν να πλησιάζουν ακτινικά το RADAR,

κάποια στιγμή θα πέσουν σε διαφορετική δέσμη και θα διαχωριστούν σε δύο στόχους (angle resolution).

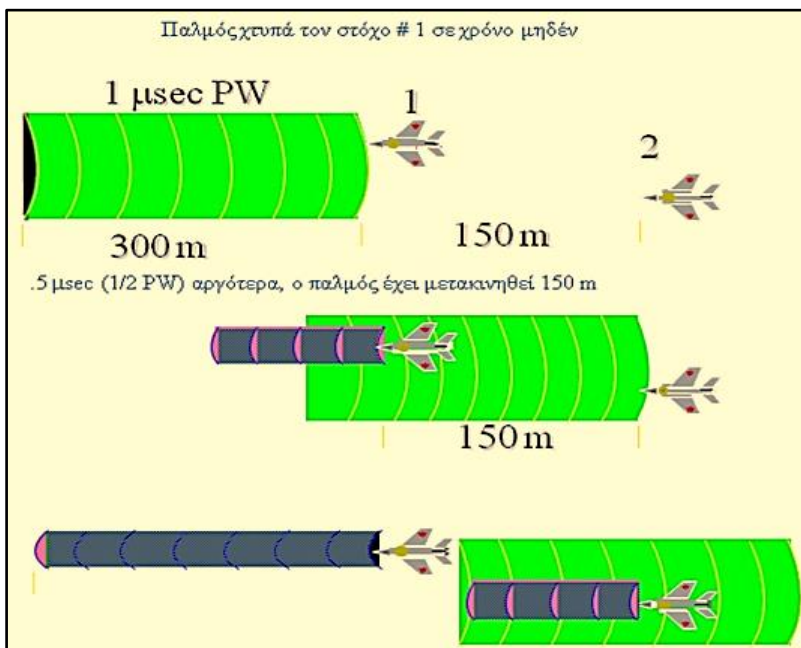


Εικ. 7.10

Διαχωρισμός ως προς Αζιμούθιο.

(2) Διαχωρισμός ως προς Απόσταση

Διαχωριστική (ή διακριτική) ικανότητα ενός RADAR ως προς απόσταση είναι η ικανότητα του RADAR να διακρίνει δύο διαφορετικούς στόχους, οι οποίοι βρίσκονται στην ίδια διόπτρευση (αζιμούθιο και ύψος) αλλά σε διαφορετικές αποστάσεις.



Εικ. 7.11

Η διαχωριστική ικανότητα κατά την απόσταση εξαρτάται από το πλάτος του παλμού

Ας υποθέσουμε ότι ένα RADAR εκπέμπει παλμό πλάτους 1 μsec ($PW=1 \mu\text{sec}$) (δηλαδή ο παλμός στο χώρο έχει μήκος $c \cdot PW = 3 \times 10^8 \times 10^{-6} = 300\text{m}$) και δύο στόχοι απέχουν μεταξύ τους την μισή απόσταση του παλμού (150 m) ενώ απέχουν από το RADAR απόσταση R (η οποία δεν παίζει ρόλο για την διαχωριστική ικανότητα κατά την απόσταση). Όταν ο παλμός «χτυπήσει» τον πρώτο στόχο θα αρχίσει να ανακλάται Η/Μ ενέργεια προς το RADAR για όσο χρόνο διαρκεί αυτός (1 μsec) ενώ μετά από 0,5 μsec ο παλμός θα φτάσει τον δεύτερο στόχο και θα αρχίσει να ανακλάται

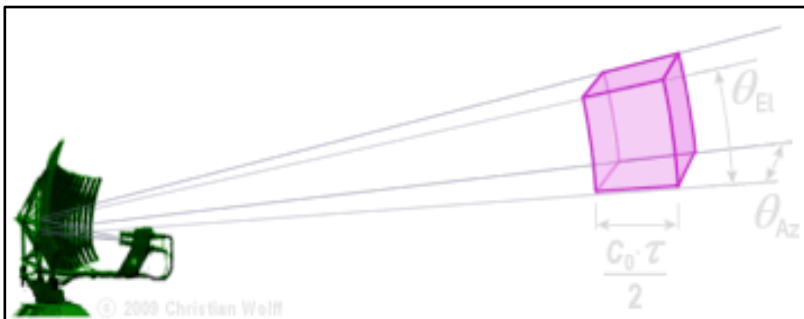
Η/Μ ενέργεια προς τον RADAR και από αυτόν. Επειδή η απόσταση μεταξύ των στόχων είναι το μισό πλάτος παλμού, η επιστροφή από τον δεύτερο στόχο θα είναι προέκταση της επιστροφής του πρώτου στόχου και επομένως στο RADAR θα επιστρέψει μια ενιαία ποσότητα Η/Μ ενέργειας, από την οποία το RADAR δεν θα μπορεί να διακρίνει δύο στόχους αλλά μόνο έναν. Αν όμως η απόσταση μεταξύ των στόχων είναι μεγαλύτερη από 150 m, τότε οι δύο επιστροφές θα ήταν διαχωρισμένες και συνεπώς στο RADAR θα επιστρέψουν δύο ξεχωριστές ποσότητες Η/Μ ενέργειας από τις οποίες είναι δυνατόν να διακρίνει και τους δύο στόχους.

Για να υπάρχει διάκριση μεταξύ δύο ή περισσότερων στόχων στο ίδιο αζιμούθιο θα πρέπει αυτοί να απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από $1/2$ του πλάτους παλμού.

(3) Κέλυφος διαχωριστικής ικανότητας (Κυψέλη Ανάλυσης)

Κέλυφος διαχωριστικής ικανότητας (RADAR Resolution Cell, RRC) είναι ο χώρος εντός του οποίου, όσα αντικείμενα-στόχοι και να βρεθούν, απεικονίζονται ως μία και μόνη ένδειξη στην οθόνη του RADAR. Συνδυάζοντας τα αναφερόμενα για τη διαχωριστική ικανότητα ενός RADAR ως προς το αζιμούθιο, το ύψος και την απόσταση, προκύπτει ότι ο χώρος αυτός είναι μετρήσιμος και έχει συγκεκριμένες διαστάσεις που προσδιορίζονται αφενός από το οριζόντιο και κατακόρυφο εύρος δέσμης της κεραίας του RADAR (BW_{hor} και BW_{ver} , αντίστοιχα), αφετέρου δε από πλάτος του παλμού εκπομπής.

Συμπερασματικά, η διαχωριστική ικανότητα κατά την απόσταση ενός RADAR εξαρτάται μόνο από τη χρονική διάρκεια του παλμού, PW , ενώ η διαχωριστική ικανότητα κατά το αζιμούθιο και το ύψος εξαρτάται από το αντίστοιχο εύρος δέσμης, BW , της κεραίας του RADAR και την απόσταση R του στόχου.



Εικ. 7.12
Radar Resolution Cell

(4) Ασάφεια Απόστασης

Όπως αναφέρθηκε ήδη στην αρχή του κεφαλαίου, για την μέτρηση της απόστασης ενός στόχου, το RADAR υπολογίζει τον χρόνο από την

εκπομπή ενός παλμού μέχρι την επιστροφή της «ηχούς» αυτού. Αν όμως αυτή η «ηχώ» επιστρέψει στο RADAR αφού έχει γίνει εκπομπή δεύτερου, τρίτου ή επιπλέον παλμών, τότε δημιουργείται το πρόβλημα ότι υπολογίζοντας τον χρόνο με βάση την τελευταία εκπομπή, η απόσταση που θα εξαχθεί θα είναι εσφαλμένη (μικρότερη της πραγματικής). Αν το RADAR υπολογίσει τον χρόνο με βάση κάθε μία από τις τελευταίες εκπομπές παλμών, θα εξαγάγει διαφορετικές αποστάσεις χωρίς να γνωρίζει ποια από αυτές είναι η σωστή.

Συνεπώς υπάρχει μία απόσταση από το RADAR, πέρα από την οποία αν υπάρχει στόχος, αυτός θα εμφανίζεται εσφαλμένα πιο κοντά από την πραγματική του θέση. Διαπιστώνεται ότι:

1. Αν ο υπολογιζόμενος χρόνος, είναι μικρότερος από την PRI, δηλαδή ο στόχος είναι σε απόσταση τέτοια ώστε ο παλμός τον «χτυπά» και επιστρέφει στο RADAR πριν γίνει εκπομπή του επόμενου παλμού, τότε η μέτρηση της απόστασης είναι ακριβής.

2. Αν ο υπολογιζόμενος χρόνος είναι μεγαλύτερος από την PRI, δηλαδή ο στόχος είναι σε απόσταση τέτοια ώστε πριν η «ηχώ» του επιστρέψει στο RADAR, έχει γίνει εκπομπή επόμενου ή επόμενων παλμών, τότε η μέτρηση της απόστασης είναι μη ακριβής.

Η μέγιστη απόσταση που μπορεί το RADAR να υπολογίζει με ακρίβεια την θέση ενός στόχου, ονομάζεται μέγιστη σαφής απόσταση (maximum unambiguous range) και είναι προφανές ότι εξαρτάται μόνο από την PRF. Αύξηση της PRF σημαίνει μείωση της και το αντίθετο.

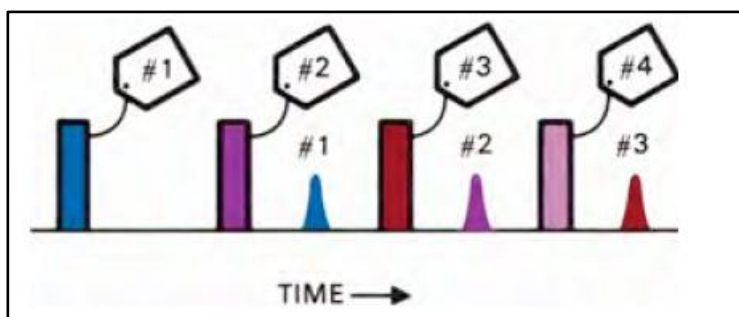
Η μέγιστη σαφής απόσταση είναι τις περισσότερες φορές διαφορετική από την μέγιστη απόσταση αποκάλυψης ενός RADAR (η οποία προκύπτει με την εξίσωση RADAR). Με βάση τις συνήθεις τιμές PRF των RADAR, στο μεγαλύτερο μέρος των περιπτώσεων, η μέγιστη σαφής απόσταση είναι πολύ μικρότερη από την μέγιστη απόσταση αποκάλυψης. Αυτό σημαίνει ότι ενώ η επιστροφή από έναν στόχο φτάνει στο RADAR και αποτελεί στόχο, δεν είναι σαφής ο υπολογισμός της απόστασης του από το RADAR. Ο τύπος υπολογισμού της μέγιστης σαφούς απόστασης ενός παλμικού ραντάρ δίνεται από τον τύπο:

$$R_u = c \chi \frac{PRI}{2} = c \chi \frac{2}{PRF}$$

Οι βασικές μέθοδοι επίλυσης του προβλήματος της ασάφειας κατά την απόσταση είναι οι εξής:

(α) **Επιλογή χαμηλής PRF.** Επιλέγοντας μία αρκετά χαμηλή τιμή της PRF (έχοντας υπόψη και τη μέγιστη ισχύ του RADAR), μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την μέγιστη σαφή απόσταση. Όμως, πρακτικά αυτή η λύση δεν προτιμάται διότι περιορίζει σημαντικά τις επιδόσεις ενός RADAR που χρειάζεται υψηλές τιμές PRF (π.χ. για καλύτερη ακρίβεια στη μέτρηση Doppler ή για μεγαλύτερη απόσταση αποκάλυψης).

(β) **Διαχωρισμός των εκπεμπόμενων παλμών** (tagging pulses). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται όταν ο κάθε εκπεμπόμενος παλμός, διακρίνεται από τους υπόλοιπους με τη χρήση διαμόρφωσης κατά πλάτος (AM), κατά φάση (PM) και συνηθέστερα κατά συχνότητα (FM). Συνεπώς, η κάθε επιστρεφόμενη ηχώ ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες και αντιστοιχεί σε κάποιο συγκεκριμένο παλμό. Πρακτικά δεν επιλέγεται διότι είναι δύσκολα υλοποιήσιμη και θέτει σοβαρούς περιορισμούς στο σχεδιασμό της λειτουργίας του RADAR.



Εικ. 7.13
Διαχωρισμός Παλμών

(γ) **Χρήση διαφορετικών PRF.** Εφαρμόζοντας μικρές αλλαγές στη τιμή της PRF (PRF Jittering) μεταξύ διαδοχικών παλμών, η φαινόμενη απόσταση του στόχου θα αλλάζει όταν υπερβαίνει την μέγιστη σαφή απόσταση. Επεκτείνοντας την ανωτέρω τεχνική, η PRF ενός RADAR μπορεί να μεταβάλλεται μεταξύ n τιμών. Γνωρίζοντας κάθε φορά την τιμή της PRF είναι δυνατό να μετρηθούν με ακρίβεια αποστάσεις πέρα της μέγιστης σαφούς απόστασης που έχει η κάθε μία PRF ξεχωριστά, όπως παρουσιάζεται στο επόμενο παράδειγμα.

Έστω ότι ένα RADAR εκπέμπει παλμούς με δύο διαφορετικές PRF, $PRF_1 = 8$ KHz και $PRF_2 = 7$ KHz. Οι παρατηρούμενες (ασαφείς) αποστάσεις του στόχου είναι $R_{a1} = 8$ NM με βάση την PRF_1 και $R_{a2} = 5,2$ NM με βάση την PRF_2 (προφανώς και οι δύο υπολογιζόμενες αποστάσεις είναι μικρότερες της πραγματικής· εάν οι παρατηρούμενες αποστάσεις είναι ίδιες και με τις δύο PRF, τότε αυτή είναι η πραγματική απόσταση του στόχου). Υπολογίζουμε την διαφορά (απόλυτη τιμή) των

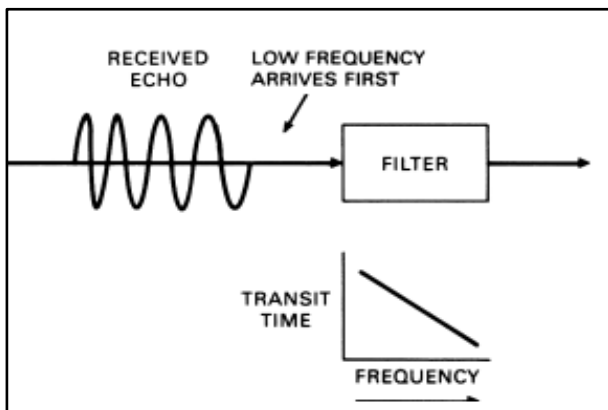
δύο αποστάσεων ($\Delta R_a = |R_{a2} - R_{a1}| = |5,2 - 8| = 2,8 \text{ NM}$). Υπολογίζουμε τις μέγιστες σαφείς αποστάσεις για κάθε PRF ($R_{u1} = 10 \text{ NM}$, $R_{u2} = 11,4 \text{ NM}$) και την απόλυτη διαφορά τους ($\Delta R_u = |R_{u2} - R_{u1}| = |11,4 - 10| = 1,4 \text{ NM}$). Υπολογίζουμε τον συντελεστή n ($n = \Delta R_a / \Delta R_u = 2,8/1,4 = 2$). Τέλος, πολλαπλασιάζουμε τον συντελεστή με την μέγιστη σαφή απόσταση R_u και προσθέτουμε την ασαφή απόσταση R_a ($R = n R_u + R_a$). Το αποτέλεσμα είναι η πραγματική απόσταση του στόχου και, όπως είναι αναμενόμενο, για κάθε χρησιμοποιούμενη PRF η πραγματική απόσταση θα είναι η ίδια [$(R = n R_{u1} + R_{a1} = 2 \times 10 + 8 = 28 \text{ NM})$ ή $(R = n R_{u2} + R_{a2} = 2 \times 11,4 + 5,2 = 28 \text{ NM})$].

η. Συμπίεση Παλμών (Pulse Compression)

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, ένα ιδανικό σύστημα παλμικού RADAR θα έπρεπε να εκπέμπει παλμούς πολύ μικρής διάρκειας (με σκοπό την καλή διαχωριστική ανάλυση κατά την απόσταση) και πολύ μεγάλης ισχύος (για αύξηση της μέγιστης απόστασης αποκάλυψης) οι οποίοι επιπλέον θα είχαν, λόγω των βελτιωμένων τιμών SNR, μεγάλη ανθεκτικότητα στις παρεμβολές. Επειδή όμως ένα τέτοιο σύστημα παρουσιάζει τεχνικές δυσκολίες ως προς την υλοποίησή του, οι κατασκευαστές RADAR ανακάλυψαν κάποιες τεχνικές οι οποίες παρέχουν τα ανωτέρω πλεονεκτήματα χωρίς να απαιτείται η κατασκευή δύσκολα υλοποιήσιμων RADAR. Οι τεχνικές αυτές ονομάζονται συμπίεση παλμών (pulse compression).

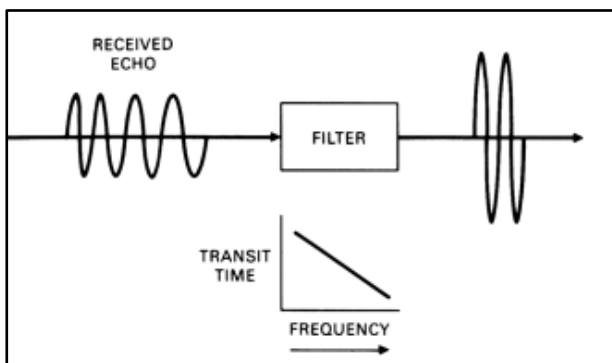
Η συμπίεση παλμού χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της διακριτικής ικανότητας κατά την απόσταση, ενός RADAR το οποίο χρησιμοποιεί μεγάλους παλμούς. Η αύξηση στο πλάτος του παλμού προκαλεί αύξηση στην ενέργεια του παλμού και κατά συνέπεια αύξηση της μέσης εκπεμπόμενης ισχύος, η οποία βελτιώνει την ικανότητα ενός RADAR για αποκάλυψη ενός στόχου. Όμως, η αύξηση στο πλάτος του παλμού, PW, μειώνει την διαχωριστική ικανότητα του RADAR ως προς την απόσταση. Με την συμπίεση παλμού μπορούμε να εκπέμπουμε μεγάλους παλμούς αλλά στον δέκτη, με κατάλληλη επεξεργασία, να έχουμε μικρότερους παλμούς. Αυτό επιτυγχάνεται με ειδική διαμόρφωση των εκπεμπόμενων παλμών, κατά συχνότητα ή φάση, και στην συνέχεια με επεξεργασία της λαμβανόμενης κυματομορφής με κατάλληλο κύκλωμα. Οι βασικότερες τεχνικές συμπίεσης παλμών είναι:

(1) **Γραμμική διαμόρφωση συχνότητας** Στη γραμμική διαμόρφωση συχνότητας (linear FM), η συχνότητα της εκπεμπόμενης Η/Μ ενέργειας μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο κατά τη διάρκεια του εκπεμπόμενου παλμού και ο δέκτης προκαλεί μια καθυστέρηση που είναι συνάρτηση της συχνότητας (όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα τόσο πιο μικρή θα είναι η καθυστέρηση). Το αποτέλεσμα θα είναι ένα πολύ στενότερο εύρος παλμού σε σχέση με το πλάτος του εκπεμπόμενου παλμού.



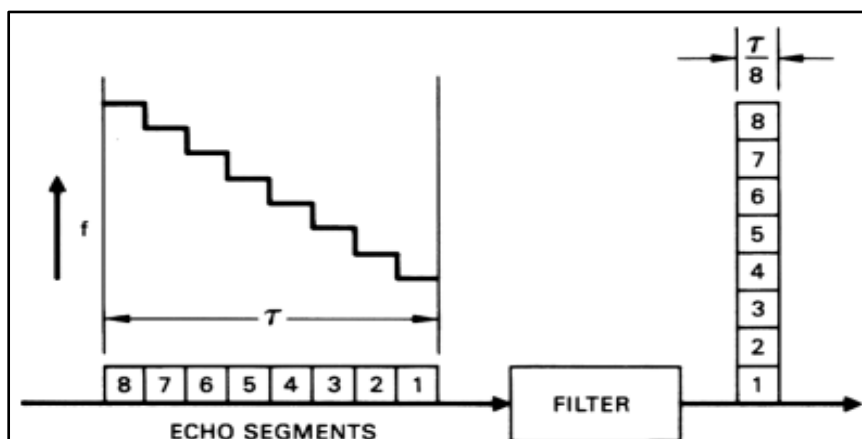
Εικ. 7.14

Στη συμπίεση παλμών με γραμμική διαμόρφωση συχνότητας, η συχνότητα του πομπού αυξάνεται γραμμικά σε όλη τη διάρκεια του παλμού. Η επιστροφή διέρχεται μέσω φίλτρου που εισάγει μια χρονική καθυστέρηση, αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας



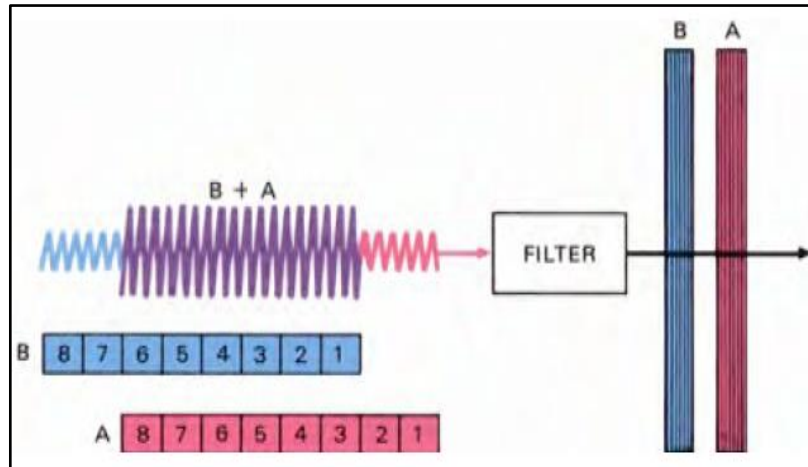
Εικ. 7.15

Από τη στιγμή που το πίσω μέρος του παλμού επιστροφής χρειάζεται λιγότερο χρόνο για να διέλθει από το φίλτρο, παρατηρείται συσσώρευση του παλμού προς το ένα άκρο.



Εικ. 7.16

Ο γραμμικώς διαμορφωμένος κατά συχνότητα παλμός είναι δυνατόν να ιδωθεί ότι αποτελείται από τμήματα διαδοχικά αυξανόμενης συχνότητας. Με τη διέλευση του παλμού επιστροφής από το φίλτρο, το δεύτερο τμήμα προλαβαίνει το πρώτο, το τρίτο το δεύτερο, κ.ο.κ.



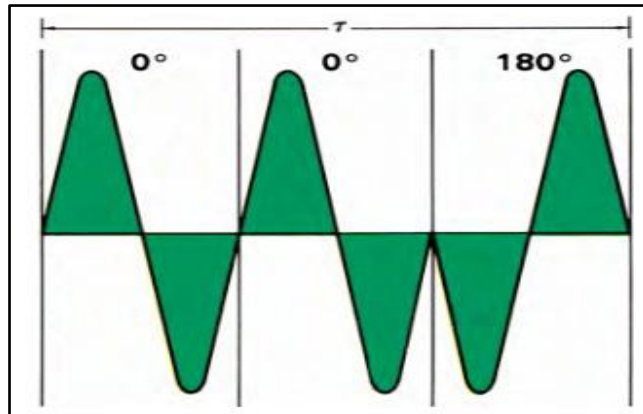
Εικ. 7.17

Οι επιστροφές από στόχους, A και B , που βρίσκονται σε κοντινές μεταξύ τους αποστάσεις, παρουσιάζονται συγχωνευμένες σε έναν παλμό echoes, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα διάκρισής τους από ένα RADAR που δεν χρησιμοποιεί συμπίεση παλμών. Με την κωδικοποίηση με γραμμική διαμόρφωση συχνότητας, οι δύο παλμοί και, κατ' επέκταση οι στόχοι, παρουσιάζονται διαχωρισμένοι στη έξοδο του φίλτρου.

(2) Δυαδική κωδικοποίηση φάσης

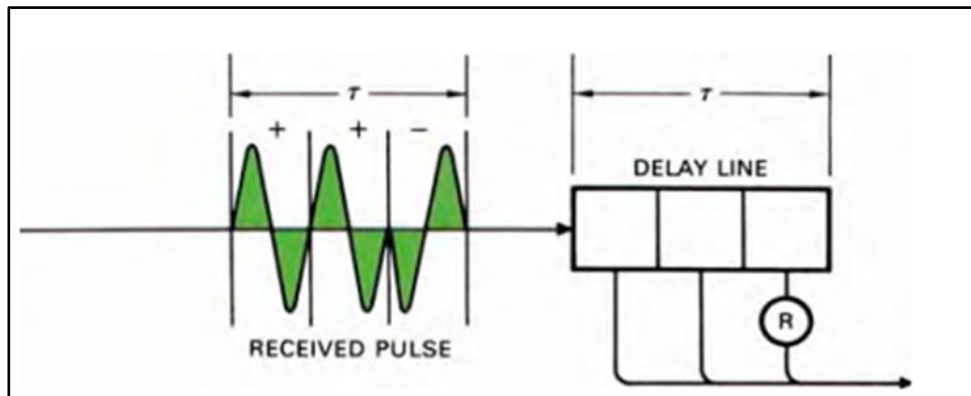
Στη δυαδική κωδικοποίηση φάσης (binary phase coding) το μήκος του παλμού υποδιαιρείται σε ίσα τμήματα, στα οποία το κύμα διαμορφώνεται κατά φάση, έτσι ώστε αυτή να μεταβάλλεται μεταξύ δύο διακριτών τιμών (συνήθως 0° ή 180°). Για ευκολία, κάθε μεταβολή φάσης κατά 0° (δηλαδή ουσιαστικά δεν πραγματοποιείται μεταβολή φάσης) συμβολίζεται με «+» ή «+1», ενώ κάθε μεταβολή φάσης κατά 180° (αντιστροφή φάσης) συμβολίζεται με «-» ή «-1» δημιουργώντας έτσι συγκεκριμένο κώδικα μεταβολής της φάσης εντός του παλμού. Όταν ο παλμός, που έχει κωδικοποιηθεί κατ' αυτόν τον τρόπο, διέλθει μέσα από μία γραμμή καθυστέρησης του δέκτη, τότε η έξοδος θα αποτελεί τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, η διαχωριστική ικανότητα του RADAR κατά την απόσταση βελτιώνεται N φορές, όπου N είναι ο αριθμός των τμημάτων στα οποία υποδιαιρείται ο παλμός εκπομπής, διότι όσο περισσότερα είναι τα τμήματα στα οποία διαιρείται ο παλμός εκπομπής, τόσο περισσότερο αυξάνεται το πλάτος της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης. Συνηθέστερες τιμές συμπίεσης του παλμού με την παραπάνω διαδικασία είναι $N = 2, 3, 4, 5, 7, 11$ και 13 . Αποτέλεσμα αυτού, είναι η ευκολότερη ανάδειξη των στόχων μέσα σε περιβάλλον θορύβου και παρεμβολών.



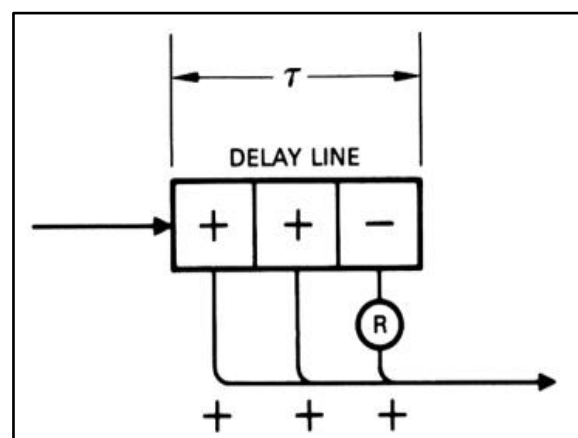
Εικ. 7.18

Διαδική κωδικοποίηση φάσης ενός εκπεμπόμενου παλμού. Ο παλμός χωρίζεται σε τρία τμήματα και έχουμε μεταβολή φάσης 0° από το πρώτο τμήμα στο δεύτερο και μεταβολή φάσης 180° από το δεύτερο τμήμα στο τρίτο.



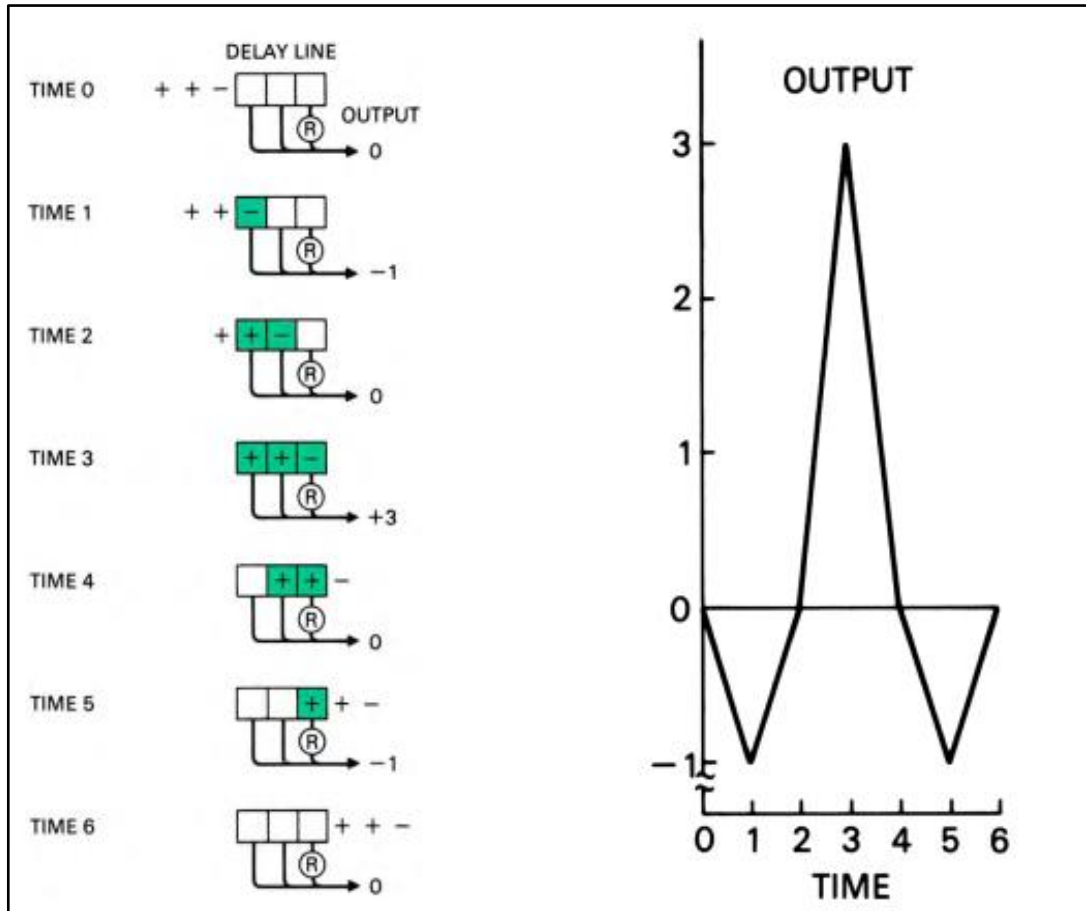
Εικ. 7.19

Οι λαμβανόμενοι παλμοί διέρχονται μέσω γραμμής καθυστέρησης η οποία αποτελείται από τόσα τμήματα όσα και τα τμήματα του παλμού εκπομπής.



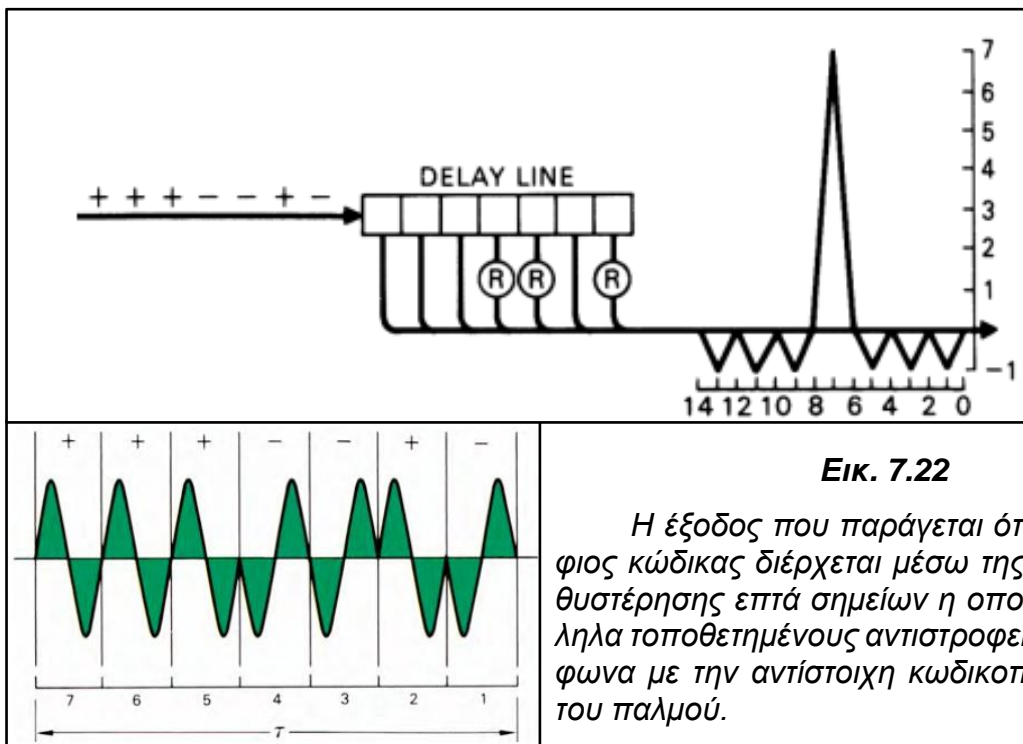
Εικ. 7.20

Μία αντιστροφή φάσης, R , είναι έτσι τοποθετημένη ώστε, όταν ένας παλμός βρίσκεται ολόκληρος εντός της γραμμής καθυστέρησης, οι εξοδοί από όλα τα τμήματα της γραμμής να είναι σε φάση.



Εικ. 7.21

Βήμα προς βήμα διαδικασία διέλευσης του διαμορφωμένου κατά φάση, επι-στρεφόμενου παλμού μέσω της γραμμής καθυστέρησης τριών σημείων.



Εικ. 7.22

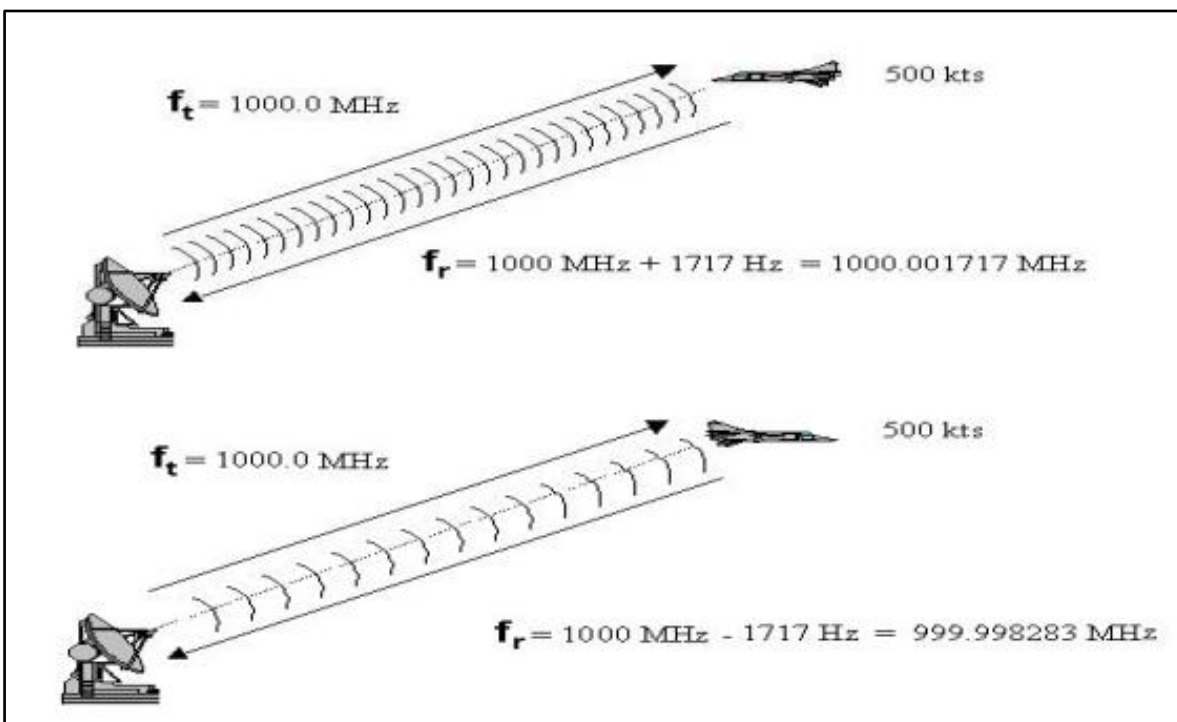
Η έξοδος που παράγεται όταν ο επταψή-φιος κώδικας διέρχεται μέσω της γραμμής κα-θυστέρησης επτά σημείων η οποία έχει κατάλ-ληλα τοποθετημένους αντιστροφείς φάσης σύμ-φωνα με την αντίστοιχη κωδικοποίηση φάσης του παλμού.

θ. Φαινόμενο Doppler

Προκειμένου να είναι δυνατή η εξαγωγή της πληροφορίας της ταχύτητας ενός στόχου έχουν αναπτυχθεί τα RADAR των οποίων η λειτουργία βασίζεται στο φαινόμενο Doppler. Σύμφωνα με αυτό, όταν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ παρατηρητή και πηγής κυμάτων (ακουστικών ή ηλεκτρομαγνητικών) σταθερής συχνότητας f , τότε η συχνότητα των κυμάτων που λαμβάνει ο παρατηρητής διαφέρει από αυτήν της πηγής. Πιο συγκεκριμένα, όταν η απόσταση μεταξύ παρατηρητή - πηγής μειώνεται, τότε η συχνότητα που δέχεται ο παρατηρητής είναι μεγαλύτερη από αυτή της πηγής ($f + f_d$), ενώ όταν η απόσταση αυξάνεται, η λαμβανόμενη συχνότητα είναι μικρότερη ($f - f_d$)

Η μέτρηση της συχνότητας καθιστά ικανό ένα ραντάρ να διακρίνει έναν κινούμενο ήχο από άλλα σταθερά ήχνη. Έτσι για παράδειγμα ένα ελικόπτερο το οποίο πετά μπροστά από την πλαγιά ενός βουνού, δεν θα ήταν δυνατό να βρεθεί από ένα μη Doppler ραντάρ καθώς θα κρυβόταν από τις επιστροφές του βουνού.

Εάν κάποιο ήχος κινείται κυκλικά από το ραντάρ (χωρίς να πλησιάζει ή να απομακρύνεται από αυτό) τότε δεν υπάρχει μετατόπιση Doppler.



Εικ. 7.23

Διαφορές στη λαμβανόμενη συχνότητα λόγω του φαινομένου Doppler για προσερχόμενο (επάνω) και απερχόμενο (κάτω) ήχος.

Ι. Τυφλές Ταχύτητες

Στα ραντάρ που χρησιμοποιούν Doppler για τη μέτρηση ταχύτητας, παρατηρείται το φαινόμενο των τυφλών ταχυτήτων. Το φαινόμενο αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απορρίπτονται (εκτός από τους μη κινούμενους) και ορισμένοι κινούμενοι στόχοι για τους οποίους συμβαίνει η συχνότητα ολίσθησης Doppler να είναι ίση με ακέραιο πολλαπλάσιο της PRF.

Το φαινόμενο αυτό παύει να υπάρχει, όπως είναι φυσικό, για συστήματα Staggered ή Jittered PRF.

ια. Ολοκλήρωση Παλμών

Το RADAR εκπέμπει και λαμβάνει πολλαπλούς παλμούς καθώς ο στόχος βρίσκεται εντός του κύριου λοβού της κεραίας, οι οποίοι επεξεργάζονται από κοινού στο δέκτη του RADAR. Αν BW_{hor} είναι το οριζόντιο εύρος δέσμης εκπομπής της κεραίας του RADAR και ω η ταχύτητα περιστροφής της κεραίας, τότε σε κάθε σάρωση της κεραίας στον στόχο ανακλώνται και επιστρέφουν στο RADAR n παλμοί

$$n = \frac{BW_{hor} * PRF}{6 * \omega}$$

Η πρόσθεση των επιστροφών, η οποία σκοπό έχει την βελτίωση της απόδοσης του RADAR, ονομάζεται ολοκλήρωση παλμών (pulse integration). Με την ολοκλήρωση παλμών επιτυγχάνεται η αύξηση του λόγου σήμα-προς-θόρυβο και κατ' επέκταση η πιθανότητα αποκάλυψης του στόχου.

Η ολοκλήρωση παλμών μπορεί να είναι σύμφωνη (coherent), όταν οι παλμοί εκπέμπονται με την ίδια φάση και συνεπώς μπορούν απλά να αθροιστούν λόγω συμφασικότητας και μη σύμφωνη (non-coherent), όταν οι παλμοί δεν εκπέμπονται με την ίδια φάση και συνεπώς το άθροισμά τους δεν είναι γραμμικό. Έτσι, ορίζεται ο βαθμός απόδοσης ολοκλήρωσης παλμών, όπου στην ιδανική περίπτωση της σύμφωνης ολοκλήρωσης ισούται με την μονάδα, ενώ στην μη σύμφωνη ολοκλήρωση είναι μικρότερος της μονάδας (πρακτικά ισούται με $\frac{\sqrt{n}}{n}$). Γενικά, η μη σύμφωνη ολοκλήρωση είναι απλούστερη σε υλοποίηση και πιο οικονομική σε κόστος και γι' αυτό είναι περισσότερο προτιμητέα.

ιβ. Ενεργός διατομή στόχου

Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του RADAR, η Η/Μ ενέργεια που εκπέμπεται από την κεραία προσπίπτει στο στόχο και στη συνέχεια τμήμα αυτής επιστρέφει προς την κατεύθυνση του RADAR. Το μέτρο της ανακλώμενης ενέργειας από ένα αντικείμενο, περιγράφεται από το μέγεθος που είναι γνωστό ως διατομή του στόχου (ή ενεργός διατομή σκέδασης RADAR ή ραδιοτομή, RADAR Cross Section, RCS).

Η ενεργός διατομή του στόχου αντιπροσωπεύει το μέγεθος της ανακλαστικής ικανότητας του στόχου, στην συγκεκριμένη Η/Μ ακτινοβολία που δέχεται από το RADAR. Ειδικότερα, η ενεργός διατομή (συναντάται και απλά ως ραδιοδιατομή ή ραδιοτομή) ενός στόχου είναι εξ ορισμού η προβαλλόμενη επιφάνεια ιδανικής σφαίρας ακτίνας R , η οποία έχει την ιδιότητα να επιστρέφει στο RADAR ποσότητα ισχύος ίση με αυτή που επιστρέφει ο συγκεκριμένος στόχος.

Βάσει του IEEE Standard Dictionary of Electrical And Electronic Terms «η ενεργός διατομή σκέδασης RADAR (RADAR Cross Section, RCS) αποτελεί μέτρο της ανακλαστικότητας ενός στόχου και ορίζεται ως 4π φορές ο λόγος της ισχύος ανά μονάδα στερεάς γωνίας που σκεδάζεται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση προς την ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας ενός επιπέδου κύματος που προσπίπτει στον στόχο από μια δεδομένη διεύθυνση». Η ραδιοδιατομή ενός στόχου έχει επικρατήσει διεθνώς να αναφέρεται με την Αγγλική ορολογία (RCS) και να συμβολίζεται στους μαθηματικούς τύπους Ελληνικό γράμμα σ . Οι μονάδες μέτρησης του RCS είναι τα τετραγωνικά μέτρα (m^2), αν και συνήθως εκφράζεται σε decibels (dB) σε σχέση με το ένα τετραγωνικό μέτρο (dBsm ή dBm^2). Με βάση τον ορισμό του IEEE, το RCS ενός αντικειμένου προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\sigma = \frac{\text{ανακλώμενη ισχύς ανά στερεακτίνιο}}{\text{προσπίπτουσα ισχύς} / 4\pi}$$

Η ανακλαστική επιφάνεια ενός στόχου δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από παράγοντες που έχουν σχέση με τα χαρακτηριστικά της Η/Μ ακτινοβολίας (συχνότητα και πόλωση), τα φυσικά χαρακτηριστικά του στόχου (μέγεθος, σχήμα, υλικό κατασκευής) καθώς και τη γωνία πρόσπτωσης της Η/Μ ακτινοβολίας (aspect angle), εκτός της ειδικής περίπτωσης που το σώμα είναι απολύτως συμμετρικό ως προς τους τρεις άξονες (π.χ. σφαίρα). Επισημαίνεται ότι το RCS δεν εξαρτάται από την απόσταση R μεταξύ στόχου και πηγής και από την ισχύ P της πηγής.

Ο προσδιορισμός της τιμής του RCS με αναλυτικές μεθόδους μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στην περίπτωση απλών γεωμετρικών σχημάτων (π.χ. σφαίρα, κύλινδρος, κλπ.), ενώ για πιο πολύπλοκα σχήματα απαιτείται προσέγγιση μέσω σύγχρονων αριθμητικών μεθόδων, χρησιμοποιώντας πειραματικά μοντέλα ή πειραματικές μετρήσεις μέσω εκπομπών RADAR και χρησιμοποίηση καταγραφικών συσκευών.

Στην πράξη το RCS ενός αντικειμένου υπολογίζεται σε ανηχοϊκό θάλαμο όπου το αντικείμενο τοποθετείται σε διάφορες θέσεις και ακτινοβολείται από Η/Μ κύμα, ενώ στη συνέχεια μετριέται η ανακλώμενη ακτινοβολία σε κάθε διεύθυνση. Εναλλακτικά, το RCS μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά με μοντελοποίηση του αντικειμένου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και εφαρμογή στη συνέχεια κάποιας από τις θεωρητικές μεθόδους υπολογισμού.

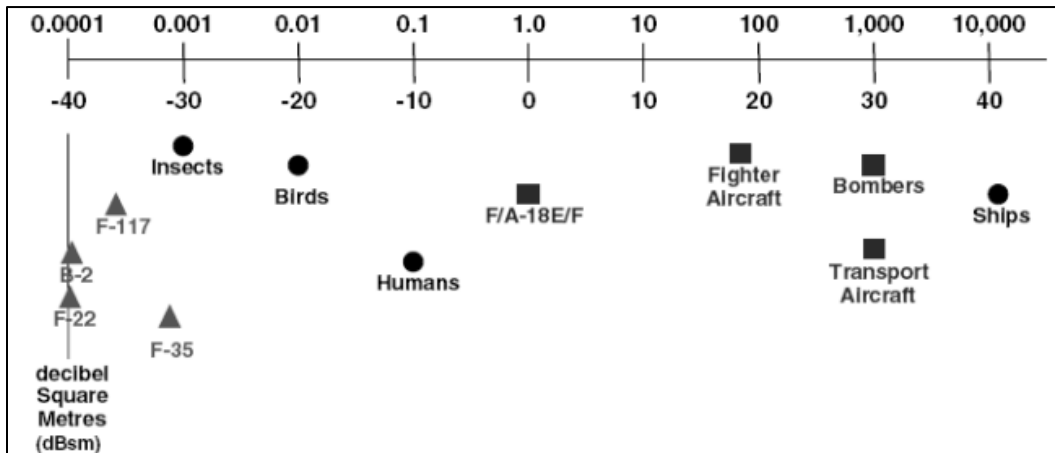
Η ελάχιστη ανακλαστική επιφάνεια ενός Α/Φ παρουσιάζεται κατά κανόνα σε ακτινικές πορείες σε σχέση με την κεραία RADAR, ενώ η μέγιστη όταν η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι κάθετη στο επίπεδο που σχηματίζουν ο διαμήκης και ο εγκάρσιος άξονας του στόχου.



Εικ. 7.24

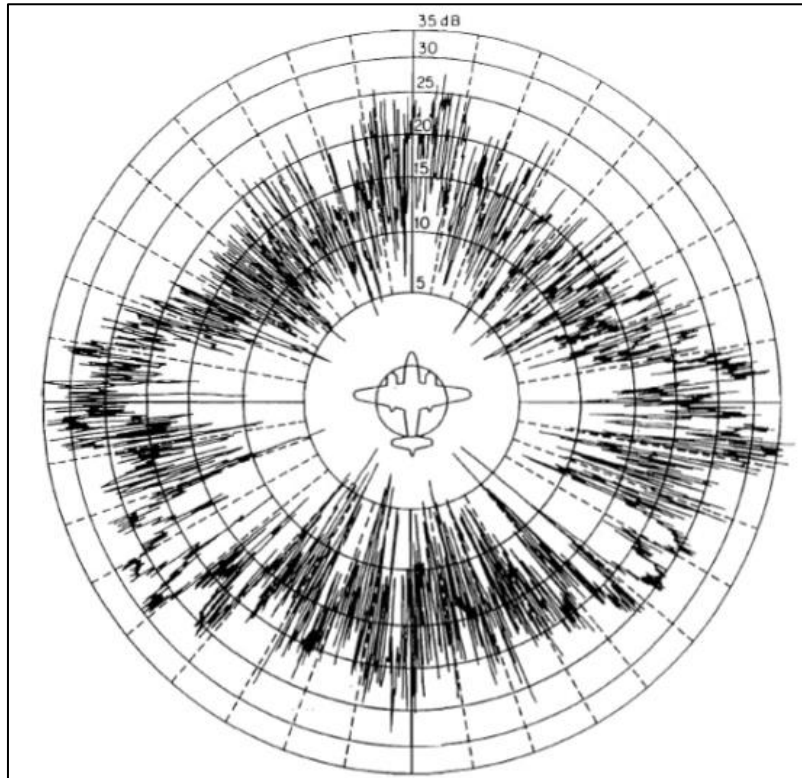
Μετρήσεις RCS σε ειδικούς ανηχοϊκούς θαλάμους.

Η μέγιστη απόσταση αποκάλυψης ενός RADAR, εξαρτάται από το RCS, σ , και μάλιστα είναι ανάλογη της τέταρτης ρίζας αυτού, $\sigma^{1/4}$. Αυτό σημαίνει ότι, αν για παράδειγμα το RCS ενός στόχου υποδεκαπλασιαστεί, η μέγιστη απόσταση αποκάλυψης του RADAR μειώνεται κατά 56%, οπότε και ο διαθέσιμος χρόνος αντίδρασης του οπλικού συστήματος που φέρει το συγκεκριμένο RADAR μειώνεται περίπου κατά το ήμισυ.



Εικ. 7.25

Συγκριτικές τιμές RCS για RADAR συχνότητας εκπομπής 3 GHz



Εικ. 7.26

Τυπικό διάγραμμα RCS. Για κάθε μεταβολή της Η/Μ ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται (συχνότητα, πόλωση) μεταβάλλεται και το διάγραμμα.

7.3 Radar Συνεχούς Κύματος (Continuous Wave – CW)

Το βασικό χαρακτηριστικό των RADAR συνεχούς κύματος (CW), όπως δηλώνει και το όνομά του, είναι ότι η εκπομπή τους είναι συνεχής σε μια σταθερή συχνότητα f_0 και δεν διακόπτεται με σκοπό να περάσει σε διαδικασία λήψης. Γι' αυτό το λόγο, τα RADAR CW χρησιμοποιούν διαφορετικές κεραίες για εκπομπή και λήψη. Ο δέκτης πρέπει να έχει τέτοιο εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) το οποίο να επιτρέπει τη διέλευση των αναμενομένων συχνοτήτων Doppler, οι οποίες είναι ανάλογες των ταχυτήτων των στόχων, τους οποίους το RADAR προορίζεται να εντοπίσει. Δεν συνίσταται να χρησιμοποιείται δέκτης ευρείας ζώνης (που θα καλύπτει όλο το φάσμα των συχνοτήτων), γιατί ελαττώνεται ο λόγος σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio, SNR).

Το CW RADAR, στην απλή του μορφή, δεν μπορεί να μετρήσει απόσταση γιατί εκπέμπει ένα συνεχές αμετάβλητο ημιτονοειδές σήμα και ως εκ τούτου δεν υφίσταται κάποιο χαρακτηριστικό ως βάση για τη μέτρηση του χρόνου (όπως το παλμικό RADAR μετράει το χρόνο από τη στιγμή εκπομπής κάθε παλμού). Έχει όμως το πλεονέκτημα ότι είναι σχετικά απλή κατασκευή, επιτυγχάνει υψηλές τιμές μέσης ισχύος εκπομπής και SNR και λειτουργεί ουσιαστικά μέχρι μηδενικής απόστασης του στόχου. Τα CW RADAR βρίσκουν εφαρμογή στους ανιχνευτές κατευθυνόμενων βλημάτων, στις φορητές συσκευές ανίχνευσης και στα αστυνομικά RADAR.

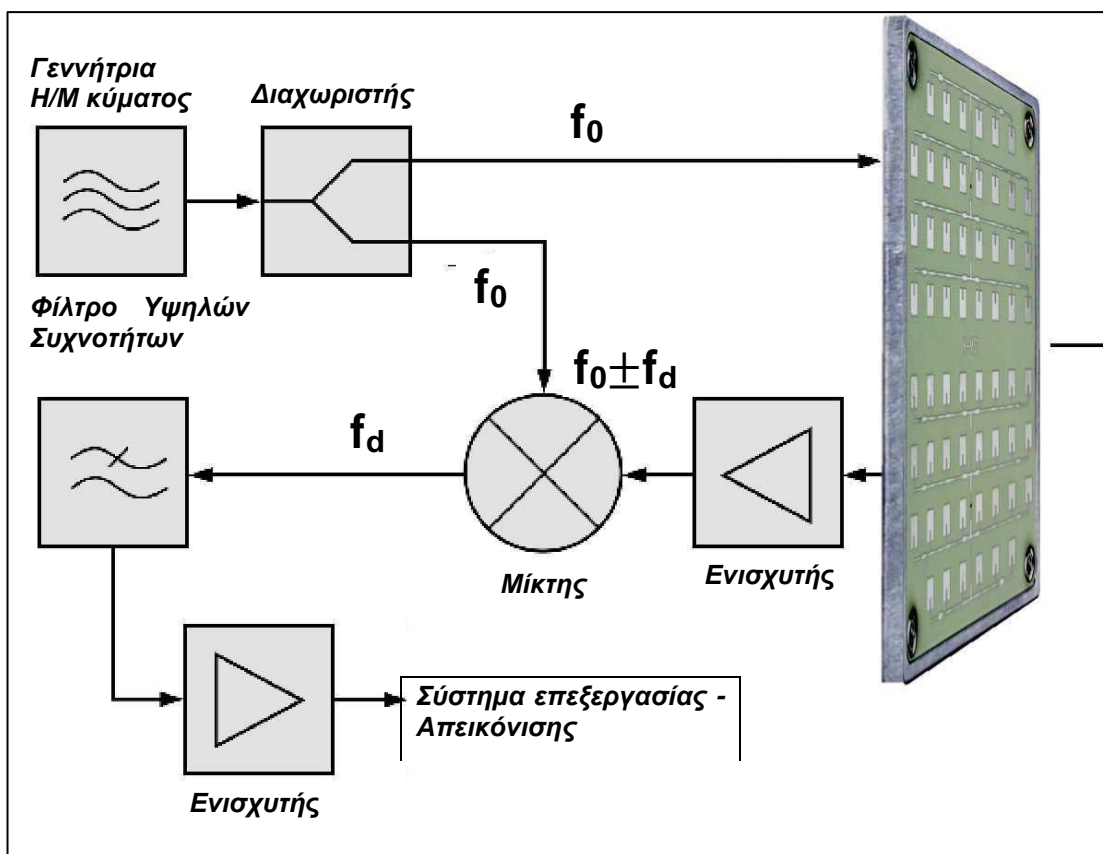
α. RADAR Συνεχούς Κύματος με Ομόδυνο Δέκτη

Το απλουστευμένο δομικό διάγραμμα ενός RADAR συνεχούς κύματος απεικονίζεται στην Εικ. 7.27. Ένας πομπός παράγει συνεχές ημιτονοειδές κύμα με σταθερή συχνότητα f_0 . Το κύμα αυτό, εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα μέσω κάποιας κεραίας, κοινής για εκπομπή και λήψη (μονοστατική διάταξη). Μετά από την ανάκλαση σε κάποιο κινούμενο στόχο, το κύμα επιστρέφει στην κεραία του RADAR, ενώ η συχνότητά του θα έχει υποστεί μετατόπιση Doppler, από f_0 σε $f_0 \pm f_d$. Η μετατόπιση f_d είναι προσθετική στην περίπτωση κατά την οποία ο στόχος προσεγγίζει το RADAR, ενώ στην αντίθετη περίπτωση είναι αφαιρετική.

Στη συνέχεια, το λαμβανόμενο σήμα συχνότητας $f_0 \pm f_d$ διέρχεται από το μίκτη (mixer), ο οποίος δέχεται ταυτόχρονα ως σήμα αναφοράς και τη συχνότητα εκπομπής f_0 απευθείας από τον πομπό. Από το μίκτη εξέρχεται μόνο το σήμα συχνότητας f_d (χωρίς το πρόσημο), το οποίο στη συνέχεια οδηγείται στον ενισχυτή διαφοράς συχνοτήτων (beat frequency amplifier) για ενίσχυση και απαλοιφή των σταθερών στόχων. Ο ενισχυτής αυτός είναι χαμηλών συχνοτήτων και θα πρέπει να έχει τέτοια απόκριση, ώστε

να απορρίπτει τους σταθερούς στόχους ($f_d = 0$), ενώ παράλληλα να ανιχνεύει στόχους που κινούνται με χαμηλές ταχύτητες (χαμηλές τιμές f_d). Επειδή, οι δύο παραπάνω συνθήκες δεν είναι δυνατό να ικανοποιούνται απόλυτα, γι' αυτό και η εκλογή της απόκρισης συχνοτήτων γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτει κάποια συμβιβαστική λύση. Παράλληλα, η άνω συχνότητα αποκοπής του ενισχυτή (upper cut-off frequency) επιλέγεται με κριτήριο τη μέγιστη αναμενόμενη μετατόπιση συχνότητας f_d .

Τελικά, μετά από τον ενισχυτή διαφοράς συχνοτήτων, το σήμα εισέρχεται στα κυκλώματα του ενδείκτη απεικόνισης (indicator), τα οποία μπορεί να είναι είτε ένα απλό ζευγάρι ακουστικά, είτε κάποιο σύστημα μέτρησης συχνότητας. Τα ακουστικά χρησιμοποιούνται όταν δεν απαιτείται η ακριβής γνώση της ολίσθησης συχνότητας και με την προϋπόθεση ότι η παρατηρούμενη ολίσθηση ευρίσκεται μέσα στο ακουστικό φάσμα συχνοτήτων.

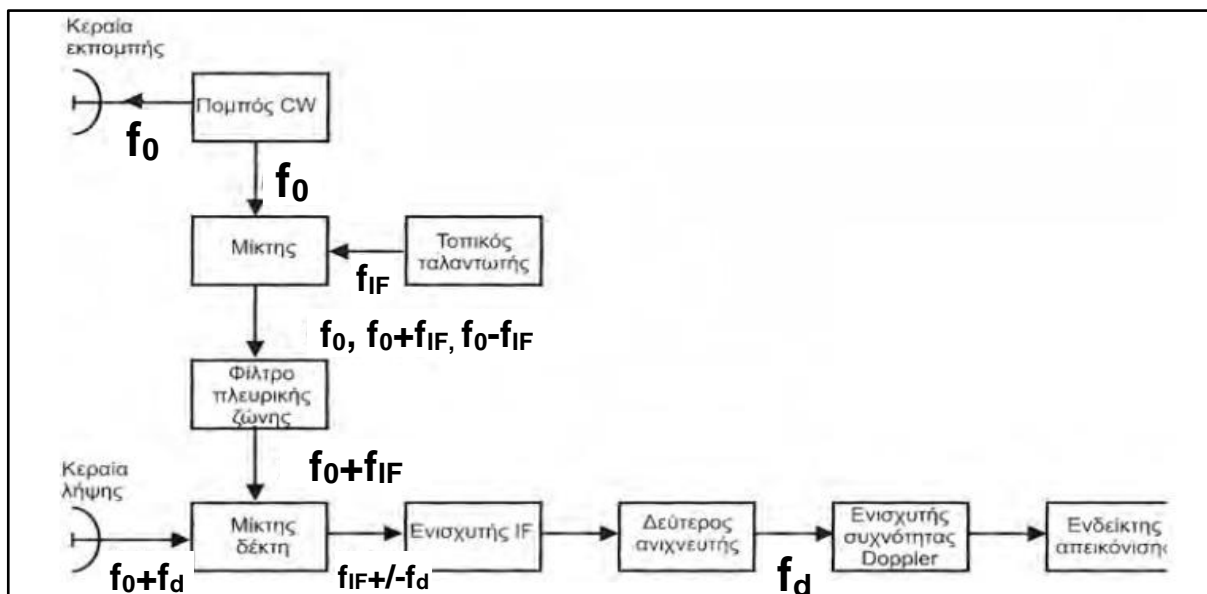


Εικ. 7.27

Διάγραμμα λειτουργίας μονοστατικού ραντάρ Συνεχούς Κύματος με Ομόδουνο Δέκτη.

β. RADAR Συνεχούς Κύματος με Δέκτη Ενδιάμεσης Συχνότητας

Το απλουστευμένο RADAR συνεχούς κύματος, παρουσιάζει δύο βασικά μειονεκτήματα. Το πρώτο είναι ότι η χρήση κοινής κεραίας για την απευθείας εκπομπή και λήψη δεν παρέχει τον επιθυμητό διαχωρισμό-απομόνωση των σημάτων κατά τη διάρκεια των λειτουργιών αυτών (υπάρχει κίνδυνος κορεσμού ή ακόμη και καταστροφής του δέκτη από το ισχυρό σήμα εκπομπής του πομπού). Για το σκοπό αυτό, στην πράξη συνήθως χρησιμοποιούνται δύο ανεξάρτητες κεραίες για εκπομπή και λήψη, σε ικανή μεταξύ τους απόσταση και κατάλληλα υπολογισμένη κατευθυντικότητα. Το δεύτερο μειονέκτημα είναι, ότι η ευαισθησία λήψης του δέκτη που χρησιμοποιεί το απλουστευμένο αυτό RADAR, περιορίζεται εξαιτίας του λεγόμενου θορύβου αναλαμπών (flicker noise). Ο θόρυβος αυτός, ο οποίος προέρχεται από τις ηλεκτρονικές διατάξεις του δέκτη (οφειλόμενος στις προσμίξεις των ημιαγωγών ή στις καθόδους των λυχνιών κενού), είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογος της συχνότητας. Γι' αυτό, και στις χαμηλότερες συχνότητες αυτός ο θόρυβος παρουσιάζεται αρκετά ισχυρός με αποτέλεσμα να μειώνει την ευαισθησία λήψης του δέκτη. Το πρόβλημα αυτό, αντιμετωπίζεται μετατοπίζοντας αρχικά τη συχνότητα ενδιαφέροντος f_d σε κάποια υψηλότερη συχνότητα (στην περιοχή της ενδιάμεσης συχνότητας), στην οποία ο θόρυβος αναλαμπών είναι αμελητέος. Εκεί, το σήμα ενισχύεται και στη συνέχεια υποβιβάζεται σε χαμηλότερες συχνότητες, μέσω ενός κατάλληλου μίκτη για την τελική εξαγωγή της f_d . Ο δέκτης αυτού του τύπου, καλείται υπερετερόδυνος (superheterodyne receiver).



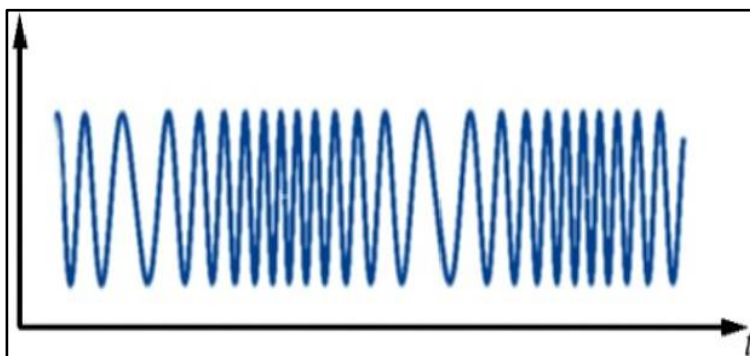
Εικ. 7.28

Διάγραμμα λειτουργίας διστατικού ραντάρ Συνεχούς Κύματος με Υπερετερόδυνο Δέκτη.

Σε αντίθεση με τον ομόδικο δέκτη, στον οποίο μέρος του σήματος εκπομπής αναμιγνύεται απευθείας με το λαμβανόμενο σήμα, στον υπερτεροδίκιο δέκτη το σήμα εκπομπής f_0 αρχικά υφίσταται μία μετατόπιση συχνότητας $f_0 + f_{IF}$, όπου f_{IF} είναι η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή. Από το μίκτη, εξέρχονται οι συχνότητες f_0 , $f_0 + f_{IF}$ και $f_0 - f_{IF}$, ενώ στη συνέχεια ένα φίλτρο πλευρικής ζώνης επιτρέπει την έξοδο μόνο της συνιστώσας συχνότητας $f_0 + f_{IF}$. Το σήμα αυτό, μιξάρεται με το επιστρεφόμενο σήμα συχνότητας $f_0 \pm f_d$, με αποτέλεσμα το τελικό σήμα εξόδου από το μίκτη να περιέχει μόνο τη συνιστώσα $f_{IF} \pm f_d$. Το τελευταίο αυτό σήμα, ενισχύεται στον ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας με αποτέλεσμα τον περιορισμό του θορύβου αναλαμπών, που εμφανίζεται όπως προαναφέρθηκε στις χαμηλές. Μετά από την ενίσχυση αυτή, η συχνότητα του σήματος υποβιβάζεται, έτσι ώστε στην έξοδο να λαμβάνουμε μόνον τη ζητούμενη συχνότητα μετατόπισης f_d . Ο ακριβής προσδιορισμός της f_d μπορεί να εκτελεστεί με τη χρήση αναλογικών ή ψηφιακών φίλτρων.

γ. RADAR Συνεχούς Κύματος με Διαμόρφωση Συχνότητας

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, ένα βασικό μειονέκτημα των RADAR συνεχούς κύματος είναι η αδυναμία μέτρησης της απόστασης των στόχων. Την λύση σε αυτό το μειονέκτημα, παρέχει η τεχνική συνεχούς κύματος με διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulated CW, FM-CW). Ο τρόπος αυτός υπολογισμού της απόστασης είναι γνωστός ως μέτρηση της απόστασης με βάση τη διαμόρφωση της συχνότητας (FM ranging)



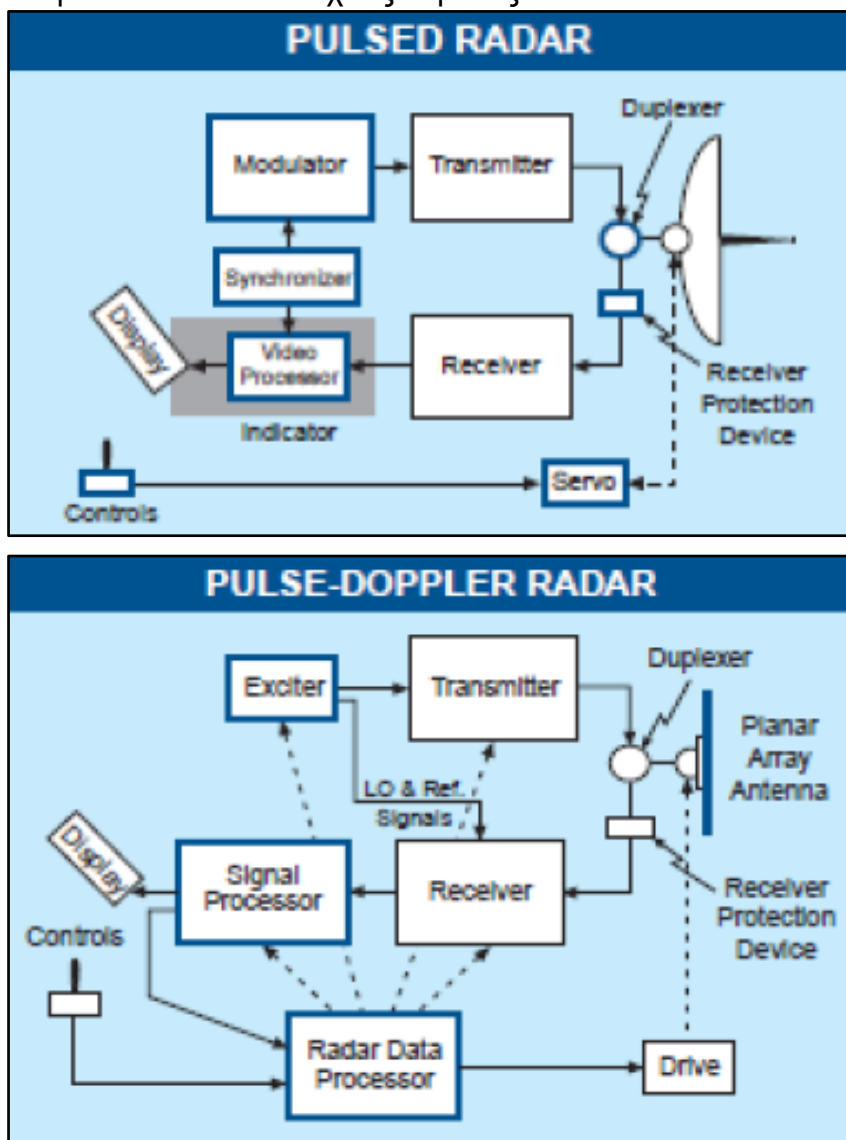
Εικ. 7.29

Κυματομορφή χρησιμοποιούμενη από RADAR FM-CW

Στην τεχνική FM, η χρονική διαφορά μεταξύ εκπομπής και λήψης αντιστοιχεί σε ολίσθηση συχνότητας. Μετρώντας αυτή την ολίσθηση υπολογίζουμε την απόσταση του στόχου. Τυπικά η συχνότητα εκπομπής μεταβάλλεται γραμμικά με σταθερό ρυθμό. Η συχνότητα της ηχούς όταν επιστρέψει στο δέκτη, συγκρινόμενη με τη συχνότητα εκπομπής εκείνη τη στιγμή θα είναι διαφορετική.

7.4 Παλμικό Ραντάρ Doppler

Παλμικό Doppler (Pulse Doppler, PD) ονομάζεται ένα παλμικό RADAR το οποίο έχει την δυνατότητα να εκπέμπει συμφασικούς (coherent) παλμούς, με σκοπό η δυνατότητα υπολογισμού της σχετικής ακτινικής ταχύτητας των στόχων, χρησιμοποιώντας το φαινόμενο Doppler. Επιπλέον, αξιοποιώντας τους διαμορφωμένους κατά συχνότητα παλμούς επιτυγχάνει δυνατότητες συμπίεσης παλμών (pulse compression) καθώς και μέτρηση της απόστασης με βάση τη διαμόρφωση συχνότητας (FM ranging). Τα παλμικά Doppler RADAR χρησιμοποιούνται για την αποκάλυψη κινητών στόχων και την απαλοιφή σταθερών επιστροφών (ξηρά, θάλασσα, chaff, κλπ.). Τα RADAR των σύγχρονων μαχητικών αεροσκαφών, των αντιαεροπορικών μέσων και τα ραντάρ καθοδήγησης βλημάτων, είναι ως επί το πλείστο παλμικά Doppler εκμεταλλευόμενα τα σημαντικά πλεονεκτήματα που αυτά παρουσιάζουν τόσο σε σχέση με τα παλμικά όσο και με τα RADAR συνεχούς κύματος.



Εικ. 7.30

Απλοποιημένα διαγράμματα λειτουργίας παλμικού (επάνω) και παλμικού-doppler ραντάρ (κάτω).

Ένα απλοποιημένο διάγραμμα λειτουργίας του παλμικού Doppler RADAR φαίνονται στη παραπάνω εικόνα. Συγκρίνοντάς το με το αντίστοιχο απλοποιημένο διάγραμμα για το παλμικό RADAR, διαπιστώνουμε τις ακόλουθες διαφορές:

- α. Πρόσθεση ενός Η/Υ ο οποίος ονομάζεται επεξεργαστής δεδομένων του RADAR (RADAR data processor).
- β. Πρόσθεση ενός τμήματος, το οποίο ονομάζεται διεγέρτης (exciter).
- γ. Αφαίρεση του συγχρονιστή (synchronizer), με τη λειτουργία του να απορροφάται μερικώς από τον διεγέρτη αλλά περισσότερο από τον επεξεργαστή δεδομένων.
- δ. Αφαίρεση του διαμορφωτή (modulator), με τη λειτουργία του να συρρικνώνεται τόσο που να μπορεί να εκτελεσθεί από τον πομπό.
- ε. Πρόσθεση ενός ψηφιακού επεξεργαστή σήματος (digital signal processor).
- στ. Αφαίρεση του ενδείκτη (indicator), με τις λειτουργίες του να απορροφώνται μερικώς από τον επεξεργαστή σήματος και μερικώς από τον επεξεργαστή δεδομένων.

Παρακάτω, περιγράφονται εν συντομία, τα νέα τμήματα που ενσωματώθηκαν στο παλμικό Doppler RADAR καθώς και οι σημαντικές τροποποιήσεις που προήλθαν στον πομπού, τον δέκτη και την κεραία.

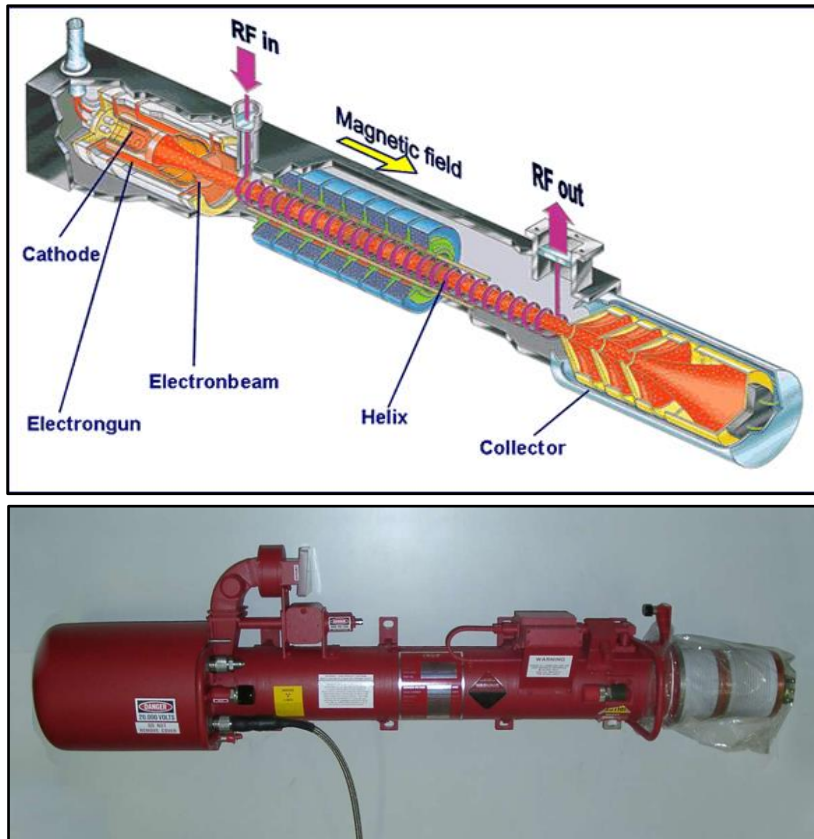
α. Διεγέρτης

Ο διεγέρτης παράγει ένα συνεχές σήμα, χαμηλής ισχύος αλλά εξαιρετικά σταθερό, στην επιθυμητή συχνότητα και φάση με σκοπό την χρήση του από τον πομπό. Επιπλέον, παράγει συμφασικά σήματα για τον τοπικό ταλαντωτή (LO) και ένα σήμα αναφοράς για χρήση από τον δέκτη.

β. Πομπός

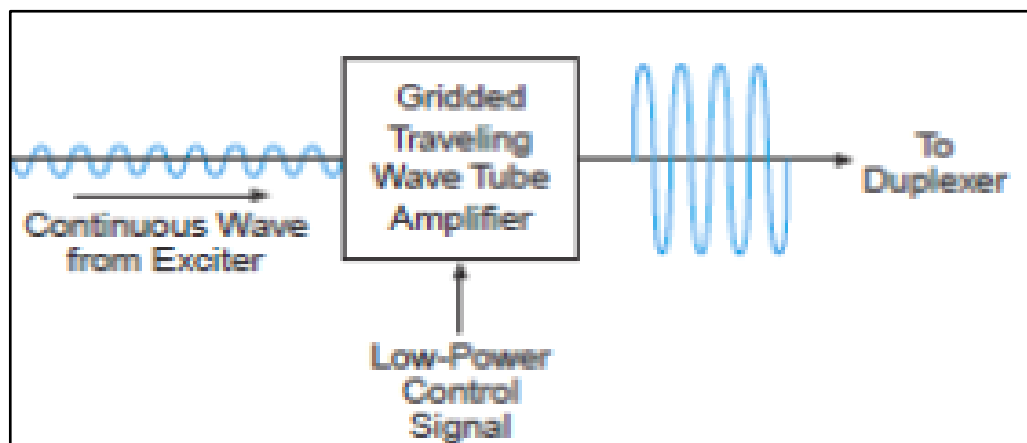
Ο πομπός είναι ένας ενισχυτής υψηλής ισχύος ο οποίος ονομάζεται λυχνία οδεύοντος κύματος (Traveling Wave Tube, TWT). Η TWT ενισχύει τους συμφασικούς παλμούς από τον διεγέρτη μέχρι το επιθυμητό επίπεδο που απαιτείται για την εκπομπή. Έχει τη δυνατότητα να σταματήσει και να ενεργοποιηθεί άμεσα με ένα σήμα ελέγχου χαμηλής ισχύος. Μεταβάλλοντας κατάλληλα αυτό το σήμα, το πλάτος και η συχνότητα επανάληψης των εκπεμπόμενων παλμών υψηλής συχνότητας μπορούν εύ-

κολα να αλλάξουν για να ικανοποιηθεί ουσιαστικά οιαδήποτε απαίτηση. Παρόμοια, μεταβάλλοντας το σήμα χαμηλής συχνότητας του διεγέρτη, μπορεί να μεταβληθεί, να διαμορφωθεί ή να κωδικοποιηθεί (για επίτευξη συμπίεσης παλμών) άμεσα, η συχνότητα, η φάση και το επίπεδο ισχύος των παλμών υψηλής ισχύος.



Εικ. 7.31

Η λυχνία οδεύοντος κύματος (TWT) ενισχύει το χαμηλής ισχύος σήμα από τον διεγέρτη έως το επίπεδο ισχύος που απαιτείται για την εκπομπή.



Εικ. 7.32

Τροφοδοτώντας την TWT με ένα σήμα ελέγχου χαμηλής ισχύος, μπορούν να μεταβληθούν άμεσα το πλάτος και η PRF των παλμών υψηλής ισχύος είναι δυνατόν να μεταβληθεί άμεσα. Και μεταβάλλοντας το σήμα εισόδου χαμηλής ισχύος που παρέχεται από τον διεγέρτη, είναι δυνατή η αλλαγή ή η διαμόρφωση της συχνότητας, της φάσης και της ισχύος των εκπεμπόμενων παλμών.

γ. Κεραία

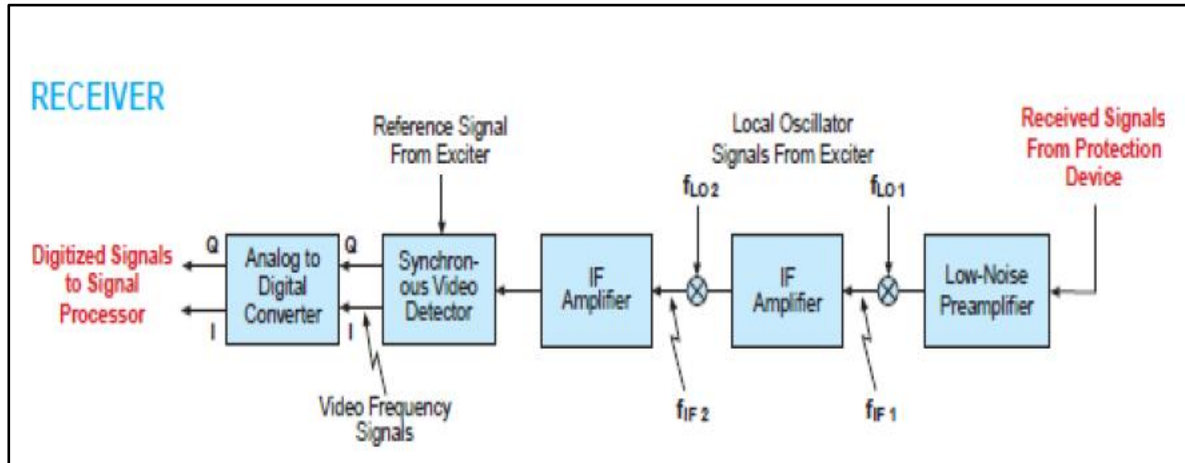
Η κεραία είναι ως επί το πλείστον φασικής διάταξης στοιχείων. Αντί να χρησιμοποιείται ένας κεντρικός τροφοδότης που εκπέμπει το H/M κύμα στον ανακλαστήρα, αυτού του είδους η κεραία αποτελείται από μια δισδιάστατη συστοιχία πολλών μεμονωμένων στοιχείων εκπομπής, η οποία βρίσκεται κατανεμημένη πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια. Τα στοιχεία εκπομπής είναι εγκοπές πάνω σε ένα σύμπλεγμα κυματοδηγών πίσω από την επιφάνεια της κεραίας.

Αν και η κεραία φασικών στοιχείων είναι πιο ακριβή από μια κεραία που χρησιμοποιεί παραβολικό ανακλαστήρα, η τροφοδοσία της μπορεί να σχεδιασθεί έτσι που να κατανέμει την εκπεμπόμενη ισχύ στο σύνολο των στοιχείων εκπομπής, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι εκπεμπόμενοι πλευρικοί λοβοί, όπως απαιτείται σε κάποιους τρόπους λειτουργίας του MTI. Επίσης, η τροφοδοσία μπορεί να προσαρμοσθεί άμεσα έτσι ώστε να κάνει εφικτή την μονοπαλμική λειτουργία μέτρησης των γωνιακών αποκλίσεων εγκλωβισμού των στόχων.

δ. Δέκτης

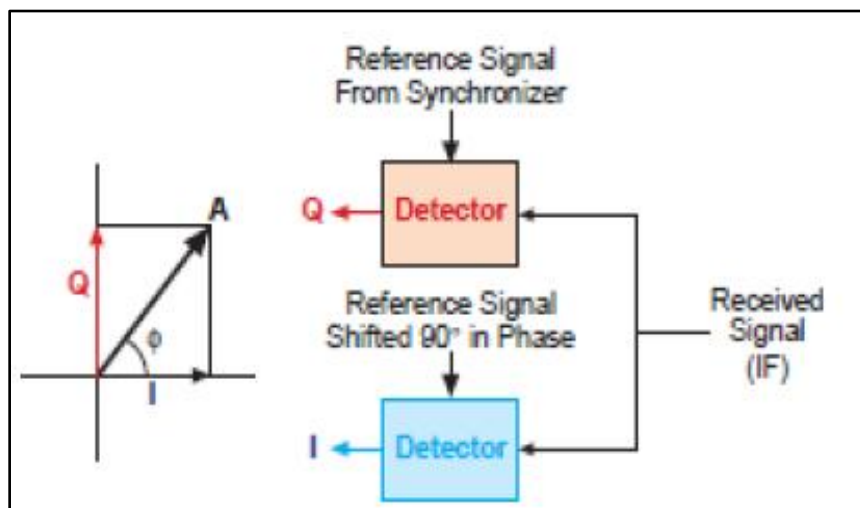
Ο δέκτης διαφέρει κατά πολλές απόψεις από τον δέκτη ενός απλού παλμικού RADAR. Πρώτον, ένας προενισχυτής χαμηλού θορύβου πριν τον μίκτη αυξάνει την ισχύ των εισερχόμενων παλμών H/M ενέργειας, έτσι που να ξεχωρίζουν καλύτερα από τον θερμικό θόρυβο που παράγεται στον μίκτη. Δεύτερον, πραγματοποιούνται στη γενική περίπτωση περισσότερες από μία ενδιάμεσες μετατοπίσεις συχνότητας για να αποφεύγονται προβλήματα δημιουργίας ψευδών συχνοτήτων (image frequencies) στον τοπικό ταλαντωτή. Τρίτον, ο ανιχνευτής σήματος video είναι ειδικού τύπου και ονομάζεται **σύγχρονος ανιχνευτής**. Για την ανίχνευση μετατοπίσεων συχνοτήτων Doppler (οι οποίες εμφανίζονται ως μετατοπίσεις φάσης από παλμό σε παλμό), συγκρίνει τις μετατοπισμένες κατά Doppler επιστροφές H/M ενέργειας με ένα σήμα αναφοράς από τον διεγέρτη. Παράγονται έτσι δύο διπολικά (bipolar) σήματα video στην έξοδο: το συμφασικό (I) και το ορθογώνιο (Q) σ' αυτό. Τα πλάτη δειγματοληπτούνται σε χρονικά διαστήματα τάξης ενός πλάτους παλμού. Το διανυσματικό άθροισμα των δειγμάτων I και Q είναι ανάλογο της ενέργειας του σήματος που δειγματοληπτείται ενώ ο λόγος τους δείχνει τη φάση του σήματος. Τα δείγματα μετατρέπονται σε αριθμούς μέσω ενός μετατροπέα σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό (Analog-to-Digital (A/D) converter) και εισάγονται στον επεξεργαστή σήματος (signal processor). Τέλος, για να καταστεί δυνατός ο μονοπαλμικός εγκλωβισμός, πρέπει να υφίστανται

τουλάχιστον δύο παράλληλα κανάλια λήψης.



Εικ. 7.33

Δέκτης Παλμικού Doppler Ραντάρ



Εικ. 7.34

Σύγχρονος ανιχνευτής. Το διανυσματικό άθροισμα των συνιστωσών I και Q είναι ανάλογο με το πλάτος, A , του λαμβανόμενου σήματος. Ο λόγος των ίδιων συνιστωσών δείχνει τη φάση του σήματος, φ , ενώ η κατεύθυνση κατά την οποία μεταβάλλεται η φάση με το χρόνο δείχνει εάν η συχνότητα του σήματος είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από το σήμα αναφοράς

ε. Επεξεργαστής σήματος

Ο επεξεργαστής σήματος είναι ένας ψηφιακός Η/Υ ο οποίος είναι ειδικά σχεδιασμένος για να διεκπεραιώνει αποτελεσματικά τον τεράστιο αριθμό των συνεχώς επαναλαμβανόμενων πράξεων της πρόσθεσης, αφαίρεσης και πολλαπλασια-

σμού, οι οποίες απαιτούνται για επεξεργασία σήματος σε πραγματικό χρόνο. Στον επεξεργαστή σήματος φορτώνεται το πρόγραμμα από τον επεξεργαστή δεδομένων για τον παρούσα λειτουργία (mode) του RADAR. Όπως απαιτείται από αυτό το πρόγραμμα, ο επεξεργαστής σήματος ταξινομεί την εισερχόμενη ακολουθία αριθμών από τον μετατροπέα A/D συναρτήσει του χρόνου άφιξης, ως εκ τούτου την απόσταση· αποθηκεύει τους αριθμούς για κάθε διάστημα απόστασης σε θέσεις μνήμης, οι οποίες ονομάζονται θέσεις απόστασης (range bins) και απορρίπτει φιλτράροντας τον τεράστιο όγκο των παρασιτικών επιστροφών εδάφους βάσει της μετατόπισης συχνότητας Doppler. Σχηματίζοντας μια συστοιχία φίλτρων στενής ζώνης διέλευσης για κάθε θέση απόστασης, ο επεξεργαστής στη συνέχεια ολοκληρώνει την ενέργεια διαδοχικών παλμών από τον ίδιο στόχο (δηλαδή στόχους οι οποίοι έχουν την ίδια μετατόπιση συχνότητας Doppler) και ακόμη ελαττώνει περαιτέρω τον θερμικό θόρυβο και τις παρασιτικές επιστροφές (clutter) μέσα από τα οποία πρέπει να αποκαλυφθεί ο πραγματικός στόχος.

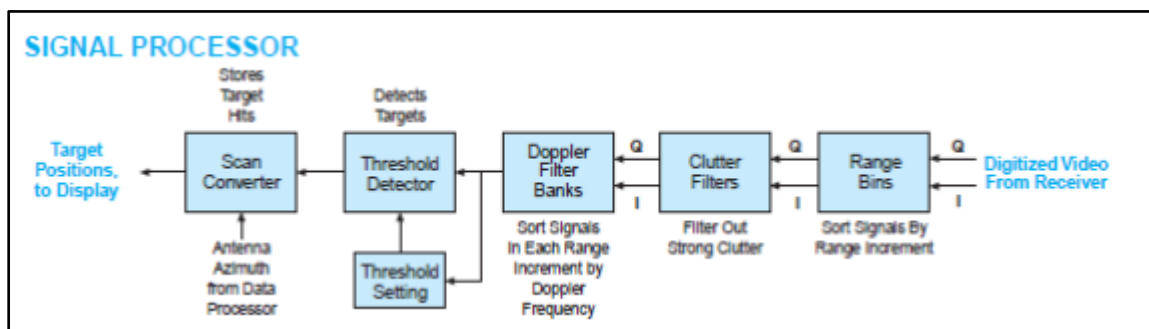


Εικ. 7.35
Επεξεργαστής Σήματος

Αντί να παρέχει τις επιστροφές κατ' ευθείαν στον ενδείκτη, ο επεξεργαστής αποθηκεύει προσωρινά τις θέσεις των στόχων στην μνήμη του. Εν τω μεταξύ, σαρώνει συνεχώς τη μνήμη με μεγάλη ταχύτητα και παρέχει στον χειριστή του RADAR συνεχείς φωτεινές ενδείξεις στον ενδείκτη απεικόνισης των θέσεων όλων των στόχων. Αυτό το χαρακτηριστικό, το οποίο ονομάζεται ψηφιακή μετατροπή σάρωσης (digital scan conversion), αντιμετωπίζει το πρόβλημα των στόχων που ξεθωριάζουν στον ενδείκτη κατά

τη διάρκεια των συγκριτικά μεγάλων χρόνων σάρωσης κατά το αζιμούθιο. Οι θέσεις των στόχων δείχνονται με συνθετικά σημεία (blips) ομοιόμορφης φωτεινότητας σε καθαρό υπόβαθρο, καταστρώντας τους εξαιρετικά εύκολα να γίνουν ορατοί.

Στις λειτουργίες χαρτογράφησης εδάφους SAR, οι επιστροφές από το έδαφος δεν είναι πλέον ανεπιθύμητες, αντίθετα, αποτελεί ωφέλιμο σήμα και επομένως δεν πρέπει να απαλείφεται μέσω των φίλτρων. Για να παρέχεται υψηλή διαχωριστική ανάλυση κατά την απόσταση χωρίς να περιορίζεται η μέγιστη απόσταση αποκάλυψης, το RADAR εκπέμπει μεγάλους παλμούς και χρησιμοποιεί υψηλού λόγου συμπίεση παλμών. Για να παρέχεται υψηλή διαχωριστική ανάλυση κατά το αζιμούθιο, ο επεξεργαστής αποθηκεύει τις επιστροφές χιλιάδων παλμών από κάθε στοιχειώδες τμήμα απόστασης (range increment) και τους ολοκληρώνει με σκοπό τη δημιουργία πολύ μεγάλων συστοιχιών φίλτρων συχνοτήτων Doppler, τα οποία έχουν εξαιρετικά στενό εύρος ζώνης διέλευσης. Οι έξοδοι των φίλτρων αποθηκεύονται στον μετατροπέα σάρωσης, ο οποίος παράγει έναν έγχρωμο χάρτη πάνω στην οθόνη απεικόνισης του RADAR.



Εικ. 7.36

Ο επεξεργαστής σήματος ταξινομεί τις επιστροφές RADAR κατ' απόσταση, αποθηκεύοντας αυτούς σε θέσεις απόστασης, αφαιρεί τα clutter και στη συνέχεια, ταξινομεί τις επιστροφές κάθε θέσης απόστασης κατά τη μετατόπιση συχνότητας Doppler. Οι στόχοι ανιχνεύονται αυτόματα.

στ. Επεξεργαστής δεδομένων

Ένας ψηφιακός Η/Υ γενικής χρήσεως, ο επεξεργαστής δεδομένων (data processor) ελέγχει και εκτελεί υπολογισμούς ρουτίνας για όλες τα τμήματα του RADAR. Παρακολουθώντας τις θέσεις των διακοπών επιλογής στον πίνακα οργάνων (control panel), δρομολογεί και εκτελεί την επιλογή των τρόπων λειτουργίας (operating modes), δηλαδή, έρευνα μεγάλης απόστασης, εγκλωβισμός κατά τη σάρωση (Track While Scan, TWS), χαρτογράφηση SAR, κλειστής αερομαχίας, κλπ.

Λαμβάνοντας σήματα από το αδρανειακό σύστημα πλοήγησης του φορέα που

είναι τοποθετημένος (Αεροσκάφος, εποχούμενο ραντάρ, πλοίο), σταθεροποιεί και ελέγχει την κεραία κατά τις λειτουργίες έρευνας και εγκλωβισμού. Βάσει των σημάτων από τον επεξεργαστή σήματος, ελέγχει την διαδικασία πρόσκτησης των στόχων, καθιστώντας απαραίτητο από τον χειριστή του RADAR μόνο να τοποθετήσει το στόχο εντός αγκυλών για εγκλωβισμό, με το αντίστοιχο σύμβολο πάνω στην οθόνη.

Κατά τον αυτόματο εγκλωβισμό, ο επεξεργαστής δεδομένων υπολογίζει τα σήματα σφάλματος εγκλωβισμού κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προβλέπονται οι επιδράσεις όλων των μετρήσιμων και προβλέψιμων μεταβλητών (η ταχύτητα και η επιτάχυνση του Α/Φ που φέρει το RADAR, τα όρια μέσα στα οποία είναι λογικά πιθανό να μεταβάλλεται η ταχύτητά του στόχου, ο λόγος σήμα προς θόρυβο (signal to noise ratio) και ούτω καθ' εξής. Αυτή η διαδικασία παρέχει εξαιρετικά ομαλό και ακριβή εγκλωβισμό.

Σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του RADAR, ο επεξεργαστής δεδομένων παρακολουθεί όλες τις λειτουργίες του RADAR, συμπεριλαμβανομένου και τις ίδιες τις λειτουργίες του. Σε περίπτωση δυσλειτουργίας, προειδοποιεί τον χειριστή για το πρόβλημα και μέσω ενσωματωμένων ελέγχων, απομονώνει τη βλάβη σε συγκεκριμένο εξάρτημα το οποίο μπορεί άμεσα να αντικατασταθεί.

7.5 Επεξεργασία MTI

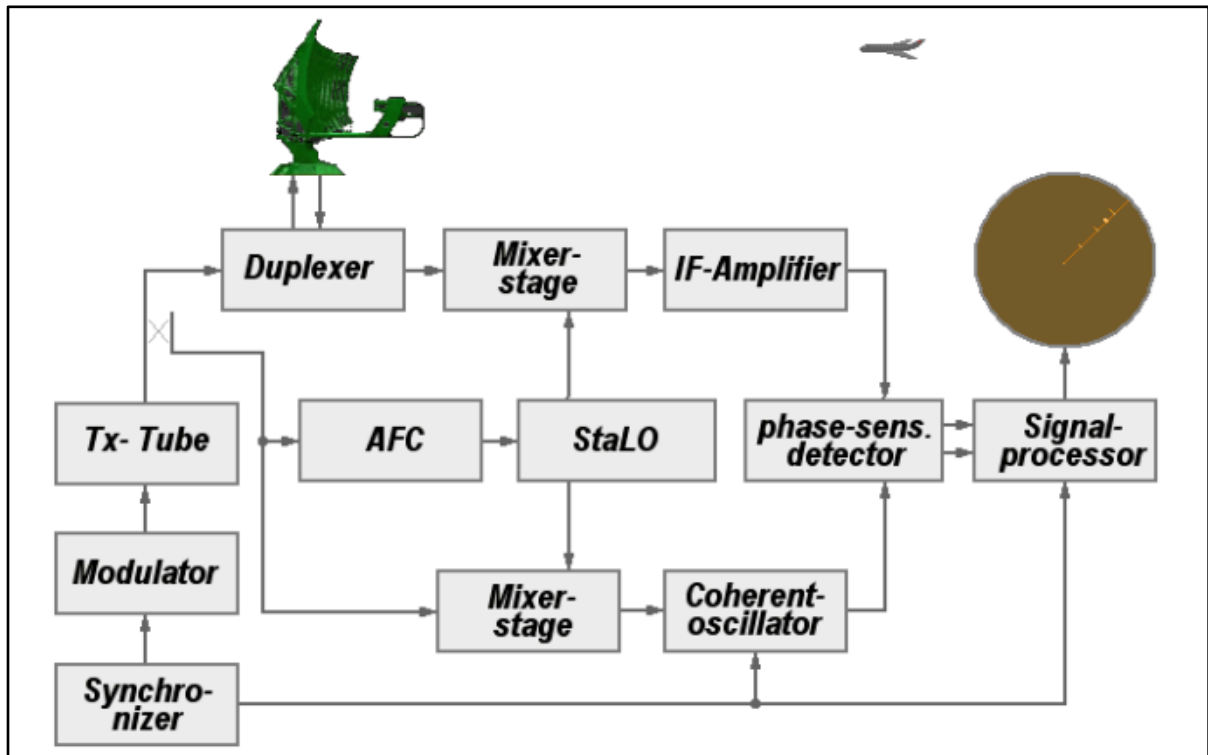
Η αδυναμία διαχωρισμού ενός στόχου από τις παρασιτικές επιστροφές (clutter) αντιμετωπίζεται με την τεχνική απεικόνισης κινούμενων στόχων (MTI), η οποία βασίζεται στο φαινόμενο Doppler. Ο διαχωρισμός των επιστροφών από κινούμενους και ακίνητους στόχους, βασίζεται στο διαφορετικό πλάτος των δημιουργούμενων μετατοπίσεων Doppler. Οι στόχοι που κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες επιφέρουν μεταβολή της απόστασης RADAR-στόχου με διαφορετικούς ρυθμούς, ενώ οι ακίνητοι στόχοι (π.χ. ξηρά, έδαφος) επιφέρουν μηδενικές ολισθήσεις Doppler (στην περίπτωση των επίγειων RADAR).

Τα RADAR MTI μπορεί να είναι:

α. Ψευδοσύμφωνα (ή ψευδοσυνεκτικά)

Η λειτουργία τους στηρίζεται στη συμφωνία φάσης. Πριν τη εκπομπή του παλμού, ένα σήμα αναφοράς δημιουργείται σε έναν τοπικό ταλαντωτή (Coherent Oscillator, COHO), ώστε να εξασφαλίζεται η συμφασικότητα. Στη συνέχεια, ένας δεύτερος τοπικός ταλαντωτής (Stable Local Oscillator, StaLO) δημιουργεί κατάλληλο

σήμα το οποίο θα προστεθεί στο λαμβανόμενο σήμα ώστε να δημιουργηθεί η ενδιάμεση συχνότητα (IF). Το επιστρεφόμενο σήμα ελέγχεται για μετατόπιση φάσης, (με σύγκριση της φάσης του CoHo και της IF) η οποία υποδεικνύει κινούμενο ίχνος. Τα παραπάνω ραντάρ αναφέρονται και ως Coherent-On-Receive/Coherent-On-Transmit (Αναλόγως της θέσης του StaLO), θεωρούνται πλέον παρωχημένης τεχνολογίας καθώς δεν είναι δυνατή η παραπάνω τεχνική σε ραντάρ frequency agility και βρίσκονται πλέον είτε σε παλαιά ραντάρ είτε σε ραντάρ MTI χαμηλού κόστους.



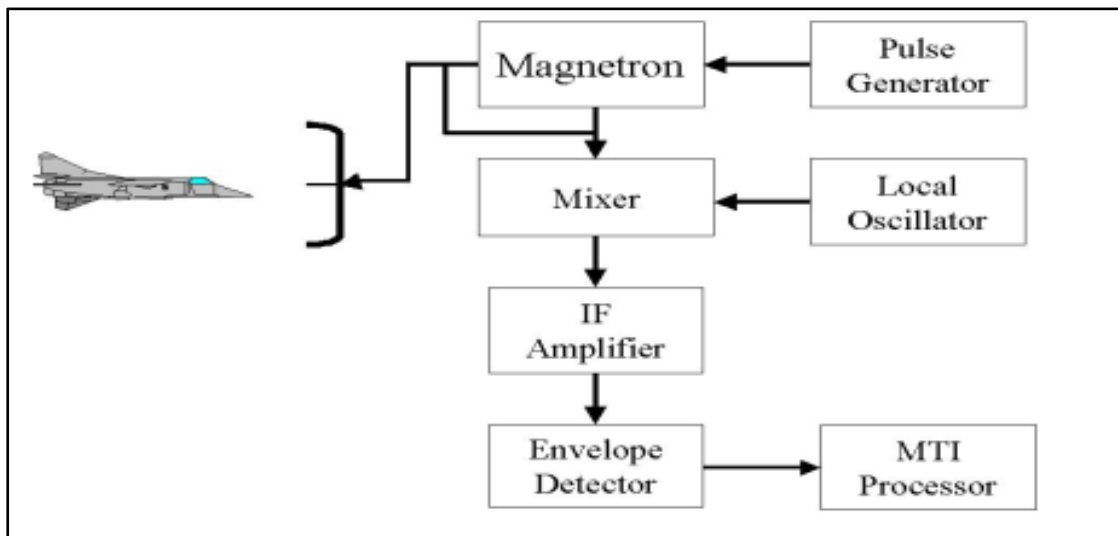
Εικ. 7.37

Απλοποιημένο διάγραμμα λειτουργίας Ψευδο-συνεκτικού MTI Ραντάρ

β. Μη σύμφωνα

Η αναγνώριση ολίσθησης Doppler επιτυγχάνεται μέσω μεταβολών ή διακυμάνσεων πλάτους, απορρίπτοντας την πληροφορία φάσης. Τα μη σύμφωνα MTI Ραντάρ χρησιμοποιούν μια «πύλη απόστασης» η οποία επιτρέπει την είσοδο δεδομένων από μια μικρή απόσταση γύρω από συγκεκριμένο ίχνος. Τα μη σύμφωνα MTI Ραντάρ χρησιμοποιούν τα clutter (επιστροφές εδάφους, αερόφυλλα κτλ.) ως σημείο αναφοράς για ξεχωρίσουν ένα κινούμενο ίχνος, συνεπώς δεν είναι δυνατή η λειτουργία τους σε περιβάλλον απουσίας clutter. Τα παραπάνω ραντάρ έχουν σαν πλεονέκτημα ότι είναι απλά και φθηνά στη κατασκευή, χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις περιορισμένου χώρου ή βάρους αλλά δεν έχουν την απόδοση ενός σύμφωνου ραντάρ ενώ η

καθορισμένη κάθε στιγμή «πύλη απόστασης» δεν επιτρέπει την ταυτόχρονη έρευνα μεγάλου εύρους.

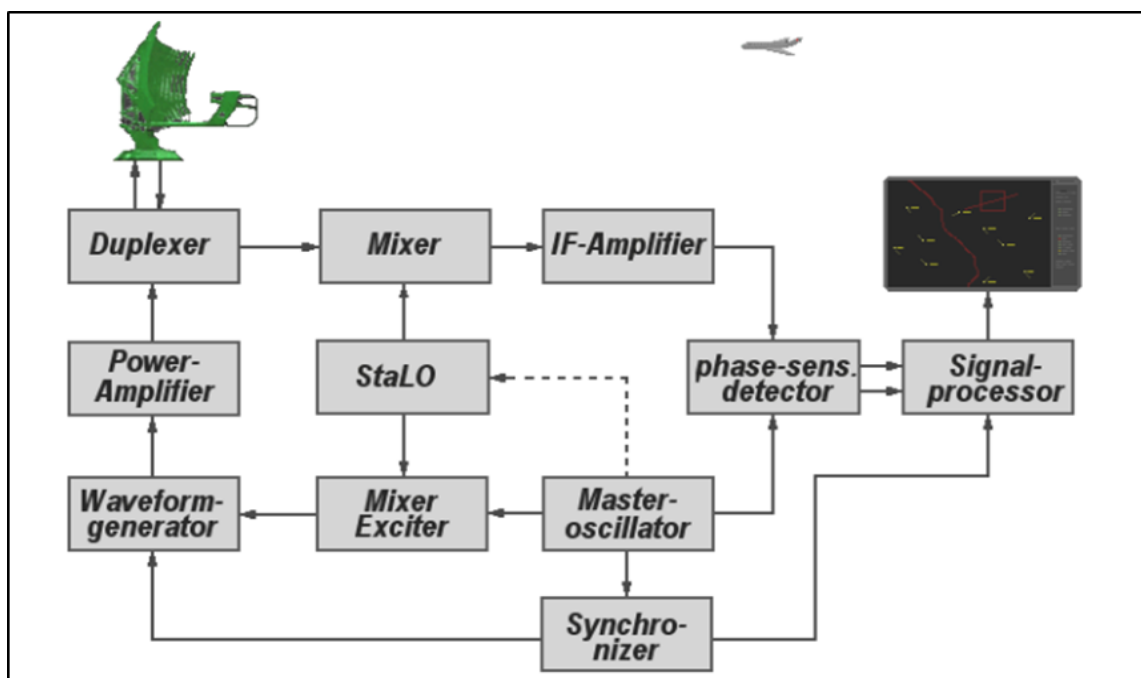


Εικ. 7.38

Απλοποιημένο διάγραμμα λειτουργίας μη συνεκτικού MTI Ραντάρ

γ. Σύμφωνα:

Τα σύμφωνα ραντάρ λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τα Ψευδο-σύμφωνα αλλά χρησιμοποιείται ένα κεντρικός ταλαντωτής (Master Oscillator) τόσο στη λήψη όσο και στην εκπομπή, εξασφαλίζοντας έτσι τη συμφασικότητα.

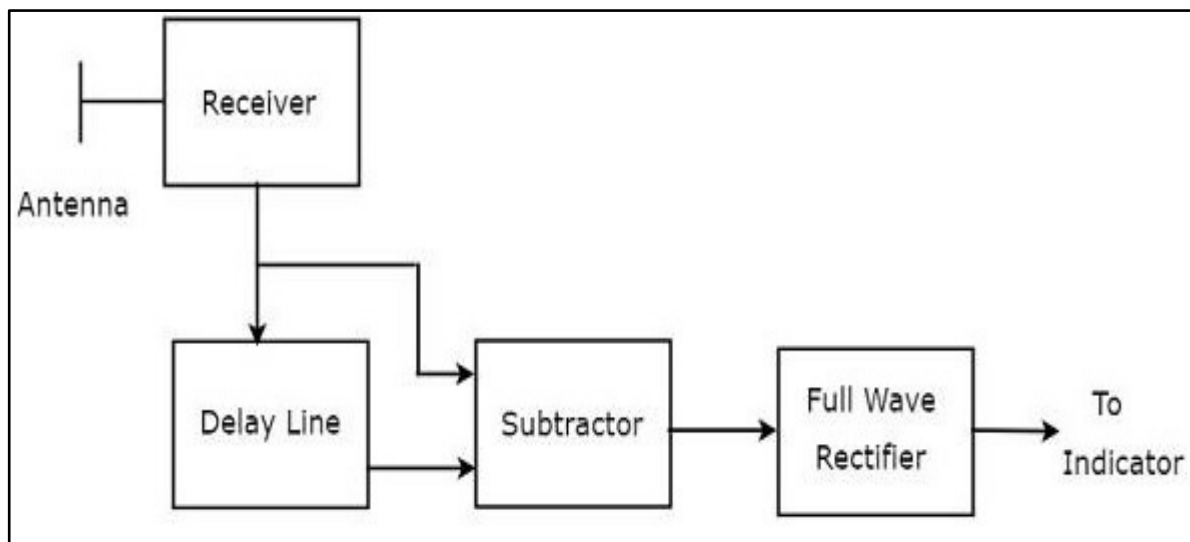


Εικ. 7.39

Απλοποιημένο διάγραμμα λειτουργίας πλήρους συνεκτικού MTI Ραντάρ

δ. Ψηφιακά

Η βασικότερη βελτίωση έγκειται στον ακυρωτή γραμμής καθυστέρησης (delay line canceller). Είναι περισσότερο αξιόπιστοι και λιγότερο ευπαθείς (π.χ. στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος) και κατά την λειτουργία τους γίνεται διαχωρισμός του σήματος σε δύο κανάλια, εκ των οποίων το ένα είναι συμφασικό (In-phase channel, I) και το άλλο είναι ορθογώνιο (Quadrature Channel, Q), όπως περιεγράφηκε στην § 7.4.δ

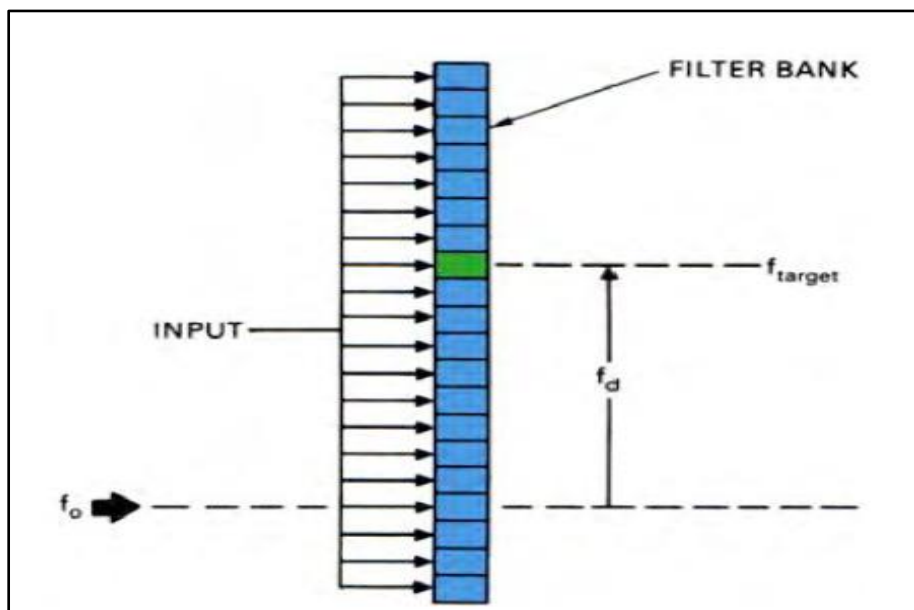


Εικ. 7.40

Το 1^ο κανάλι (σήμα προηγούμενου παλμού) οδηγείται απευθείας στην είσοδο κυκλώματος αφαιρέτη ενώ το 2^ο κανάλι (σήμα νέου παλμού) οδηγείται στην είσοδο του αφαιρέτη, αφού διέλθει από γραμμή καθυστέρησης (delay line) με καθυστέρηση $t=T=1/PRF$. Στη συνέχεια, στην έξοδο του αφαιρέτη λαμβάνεται η πληροφορία της φάσης, οπότε οι ακίνητοι στόχοι απορρίπτονται καθώς, από παλμό σε παλμό ($1/PRF$), το συνολικό πλάτος, $V_{mix-out}$, παραμένει σταθερό, ενώ στους κινούμενους στόχους, από παλμό σε παλμό ($1/PRF$), το συνολικό πλάτος, $V_{mix-out}$, μεταβάλλεται και συνεπώς, μετά την αφαίρεση, παραμένει υπόλοιπο σήματος. Κατόπιν το διπολικό σήμα από την έξοδο του αφαιρέτη, οδηγείται σε ανορθωτή και μετατρέπεται σε μονοπολικό σήμα. Η παραπάνω τεχνική εφαρμόζεται και στα CW Radar.

Τα παλμικά RADAR που ενσωματώνουν τη τεχνική MTI γενικά διαχωρίζονται σε MTI RADAR και Pulse Doppler RADAR, ανάλογα την PRF την οποία χρησιμοποιούν και την υλοποίηση του κυκλώματος MTI που περιέχουν. Τα RADAR MTI γενικά χρησιμοποιούν μικρές τιμές PRF και delay line cancellers (DLC), προκειμένου να υλοποιήσουν την τεχνική MTI. Οι DLC λειτουργούν ως φίλτρο στο δέκτη του RADAR που επιτρέπει τη διέλευση των σημάτων που αντιστοιχούν στους κινούμενους στόχους και αποκόπτει τη διέλευση των ακίνητων στόχων.

Από την άλλη, τα παλμικά Doppler RADAR γενικά χρησιμοποιούν υψηλές τιμές PRF και ενσωματώνουν πύλες απόστασης και συστοιχίες φίλτρων Doppler (Doppler filter banks) προκειμένου να υλοποιήσουν την τεχνική MTI. Ο διαχωρισμός των ακίνητων από τους κινούμενους στόχους γίνεται μέσα από την συστοιχία φίλτρων Doppler (συστοιχία ζωνοπερατών φίλτρων). Τα ζωνοπερατά φίλτρα υποδιαιρούν το φάσμα συχνοτήτων του αποδιαμορφωμένου σήματος, f_d , σε πλήθος γειτονικών υποπεριοχών συχνοτήτων. Με τον τρόπο αυτό, οι κινούμενοι στόχοι ταξινομούνται ανάλογα με την ολίσθηση συχνότητας Doppler που προκαλούν. Η λειτουργία της τράπεζας των φίλτρων υλοποιείται στο πεδίο της συχνότητας και η πληροφορία της απόστασης εξάγεται μέσω της διαίρεσης του χρόνου σε μικρά παράθυρα (range gates), ενώ η ακρίβεια της μέτρησης της απόστασης εξαρτάται από το πλήθος (άρα και το εύρος) των range gates.



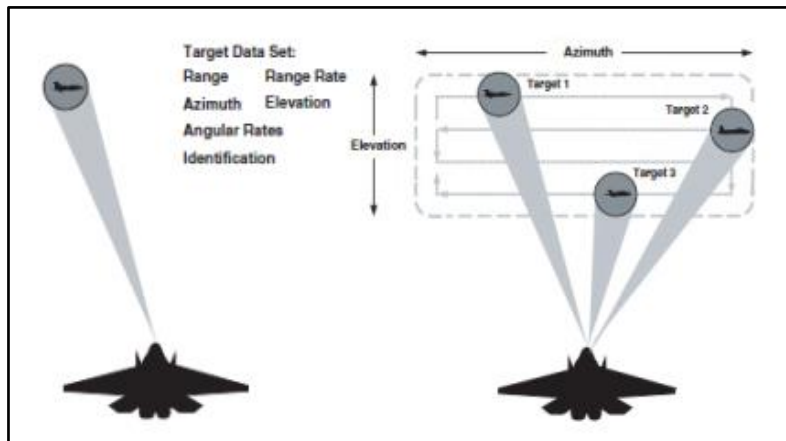
Εικ. 7.41

Μέτρηση της ταχύτητας ενός στόχου με το παλμικό Doppler RADAR. Η συχνότητα f_d του ίχνους καθορίζεται από τη θέση που θα καταλάβει το επιστρεφόμενο σήμα στη συστοιχία φίλτρων Doppler. Η συχνότητα Doppler ενός στόχου είναι δυνατόν να καθορισθεί εντοπίζοντας απλά τη θέση της επιστροφής Doppler από το στόχο στην συστοιχία φίλτρων.

7.5 Αυτόματος Εγκλωβισμός Radar

Σκοπός του αυτόματου εγκλωβισμού (automatic tracking) με το RADAR είναι ο συνεχής προσδιορισμός της θέσης και της κίνησης ενός στόχου με ακρίβεια. Η λειτουργία αυτή είναι μεγάλης σημασίας σε συστήματα εναερίου κυκλοφορίας, οπτικά συστήματα διεύθυνσης βολής, συστήματα παρακολούθησης δορυφόρων, κτλ. Για την

επίτευξη του σκοπού αυτού, οι παράμετροι των στόχων που μπορεί να μετρήσει ένα τέτοιο σύστημα RADAR, είναι η απόσταση, η ταχύτητα και η γωνία (διόπτευση και ανύψωση). Οι λειτουργίες του αυτόματου εγκλωβισμού με το RADAR διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: συνεχής εγκλωβισμός στόχου (STT) και εγκλωβισμός κατά την έρευνα (TWS).



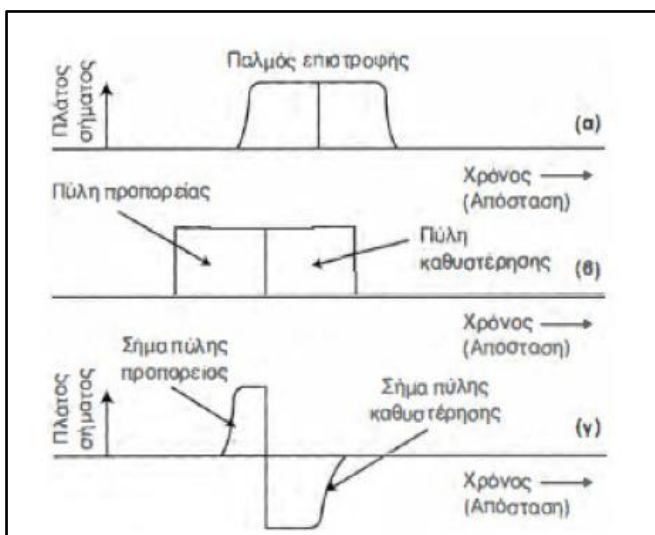
Εικ. 7.42

Εγκλωβισμός STT (Αριστερά) και TWS (Δεξιά)

α. Εγκλωβισμός κατά Απόσταση

Ο αυτόματος εγκλωβισμός κατά την απόσταση πραγματοποιείται με τη βοήθεια κατάλληλου συστήματος αυτόματης παρακολούθησης, π.χ. του κέντρου του παλμού, το οποίο ονομάζεται πύλη απόστασης (range gate), η οποία διαιρείται στην πύλη προπορείας (early gate) και στην πύλη καθυστέρησης (late gate). Το σύστημα παρακολούθησης απόστασης, για να μπορεί να ρυθμίζει συνεχώς την θέση της πύλης, ορίζει ως E την ενέργεια στην πύλη προπορείας, ως L την ενέργεια στην πύλη καθυστέρησης και ως K τον παράγοντα κλίμακας. Τότε, το σφάλμα παρακολούθησης

δίνεται από την παρακάτω σχέση: $Track Error = K \frac{(E-L)}{(E+L)}$



Εικ. 7.43

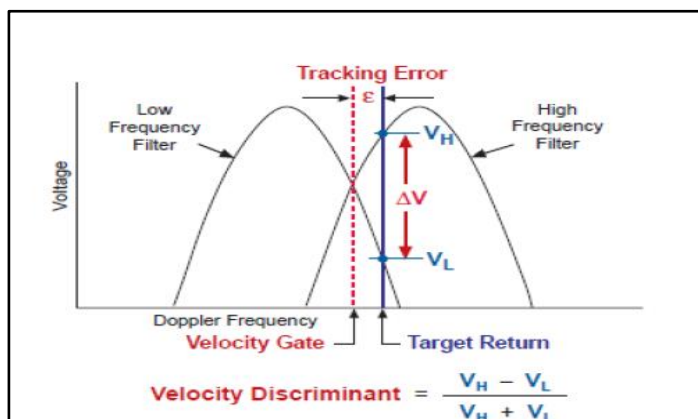
Αρχή λειτουργίας της παρακολούθησης στόχου με πύλη απόστασης:

- (α) παλμός επιστροφής
- (β) πύλη προπορείας και πύλη καθυστέρησης
- (γ) διαφορά μεταξύ των σημάτων των δύο πυλών.

Το αυτόματο σύστημα παρακολούθησης της απόστασης, μετακινώντας την πύλη κατάλληλα σε σχέση με τον παλμό επιστροφής του στόχου, έχει ως σκοπό τη συνεχή εξισορρόπηση των ενεργειών E και L ($E = L$), επομένως τον μηδενισμό του σφάλματος παρακολούθησης.

β. Εγκλωβισμός κατά Ταχύτητα

Ο σκοπός του εγκλωβισμού ταχύτητας είναι να καθοριστεί με ακρίβεια ο ρυθμός μεταβολής της απόστασης του στόχου (σχετική ακτινική ταχύτητα του στόχου), ο οποίος συνδέεται με την μετατόπιση συχνότητας Doppler. Για την επίτευξη του εγκλωβισμού ταχύτητας χρησιμοποιείται η πύλη ταχύτητας (velocity gate) και συνήθως απαιτείται κάποιο συμφασικό (coherent) RADAR, όπως π.χ. τα CW, τα παλμικά Doppler και τα RADAR που χρησιμοποιούν επεξεργασία MTI. Η πύλη ταχύτητας είναι ένα φίλτρο αυτόματης παρακολούθησης της συχνότητας Doppler, το οποίο αποτελείται (όπως και στην πύλη απόστασης) από δύο επιμέρους πύλες (πύλη προπορείας Doppler [higher/upper frequency Doppler filter] και την πύλη καθυστέρησης Doppler [lower frequency Doppler filter]) με σκοπό την αυτόματη τοποθέτηση του κέντρου της πύλης πάνω στη θέση της συχνότητας Doppler του παλμού επιστροφής από το στόχο. Η διαφορά των δύο σημάτων αποτελεί το σήμα σφάλματος, το οποίο οδηγεί την πύλη ταχύτητας στη νέα θέση ισορροπίας και η απόλυτη τιμή και το πρόσημο του σήματος σφάλματος, εκφράζουν την απόκλιση της πύλης.



Εικ. 7.44

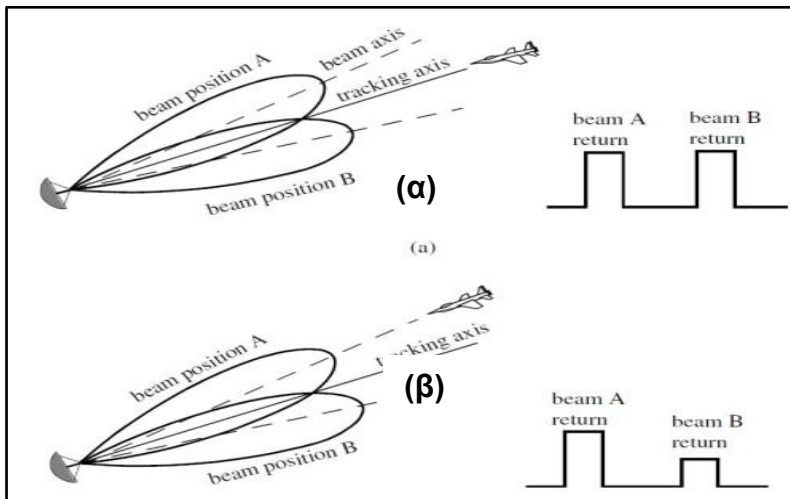
Η απλούστερη πύλη ταχύτητας είναι η τομή δύο γειτονικών φίλτρων Doppler. Αυτό που οδηγεί στον εγκλωβισμό της ταχύτητας είναι η διαφορά μεταξύ της τάσης εξόδου που παράγεται από την επιστροφή του στόχου από τα δύο φίλτρα διά του αθροίσματος των δύο τάσεων.

γ. Γωνιακός Εγκλωβισμός

Ο γωνιακός εγκλωβισμός έπεται του εγκλωβισμού απόστασης, αφού για την επίτευξή του τα κυκλώματα του RADAR επεξεργάζονται αποκλειστικά και μόνο το σήμα που εμπεριέχεται στην πύλη απόστασης, αγνοώντας όλα τα υπόλοιπα. Οι συνήθεις μέθοδοι γωνιακής παρακολούθησης και εγκλωβισμού είναι οι παρακάτω:

(1) Λίκνιση Δέσμης

Τα RADAR συνεχούς εγκλωβισμού χρησιμοποιούν κατά κανόνα κεραίες συμμετρικές και στενής δέσμης (pencil beam), στις οποίες το εύρος δέσμης του λοβού της κεραίας κατά το αζιμούθιο ισούται με το εύρος δέσμης του λοβού της κεραίας καθ' ύψος. Συνεπώς, όταν το γωνιακό σφάλμα (angular error) ισούται με το μηδέν, τότε ο στόχος ευρίσκεται ακριβώς πάνω στη διεύθυνση αναφοράς, ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση απαιτείται κάποια διόρθωση από το RADAR. Για τον εγκλωβισμό των στόχων κατά διόπτευση και καθ' ύψος απαιτείται η λίκνιση της δέσμης σε οριζόντια διεύθυνση και σε ορισμένα RADAR επιπλέον σε κατακόρυφη διεύθυνση (ο λοβός λικνίζεται μεταξύ δύο ή τεσσάρων διακριτών θέσεων).



Εικ. 7.45

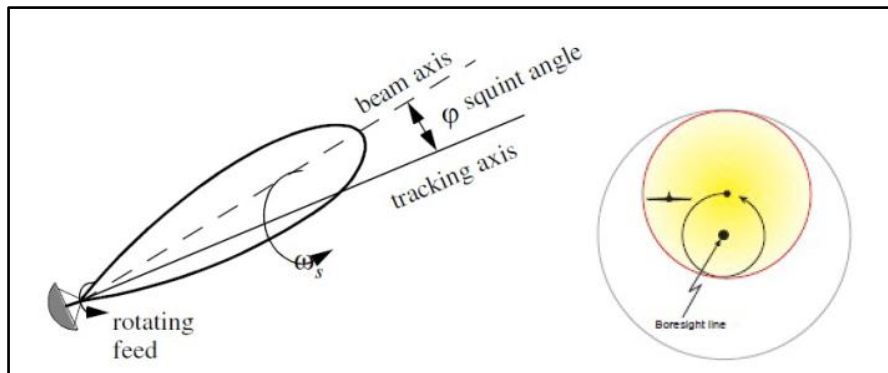
*Λίκνιση δέσμης.
(α) Ο στόχος βρίσκεται πάνω στον άξονα εγκλωβισμού.
(β) Ο στόχος είναι εκτός του άξονα εγκλωβισμού*

(2) Κωνική Σάρωση

Η κωνική σάρωση (conical scan) αποτελεί εξέλιξη της λίκνισης δέσμης και στηρίζει τον προσδιορισμό του γωνιακού σφάλματος σκόπευσης στη συνεχή περιστροφή, μίας έκκεντρης κεραίας. Η γωνία μεταξύ του άξονα περιστροφής του λοβού και του άξονα του λοβού της κεραίας ονομάζεται γωνία εκκεντρότητας ή εκτροπής (squint angle). Σ' αυτή την τεχνική χρησιμοποιούνται κεραίες στενής δέσμης και συμμετρικές και ο άξονας της δέσμης είναι μετατοπισμένος σε σχέση με τον άξονα περιστροφής δημιουργώντας έναν κώνο γύρω από αυτόν. Όταν το σφάλμα ανίχνευσης είναι μηδέν, ο στόχος βρίσκεται πάνω στον άξονα περιστροφής και τα πλάτη των παλμών επιστροφής είναι σταθερά, ενώ όταν το σφάλμα παρακολούθησης δεν είναι μηδέν, τα πλάτη των παλμών αυξάνονται και μειώνονται. Αυτή η διαμόρφωση των πλατών των παλμών επιστροφής παρέχει ένα σήμα σφάλματος για τον έλεγχο της θέσης της κεραίας. Το σήμα σφάλματος παρακολούθησης γωνίας είναι ουσιαστικά ο φάκελος

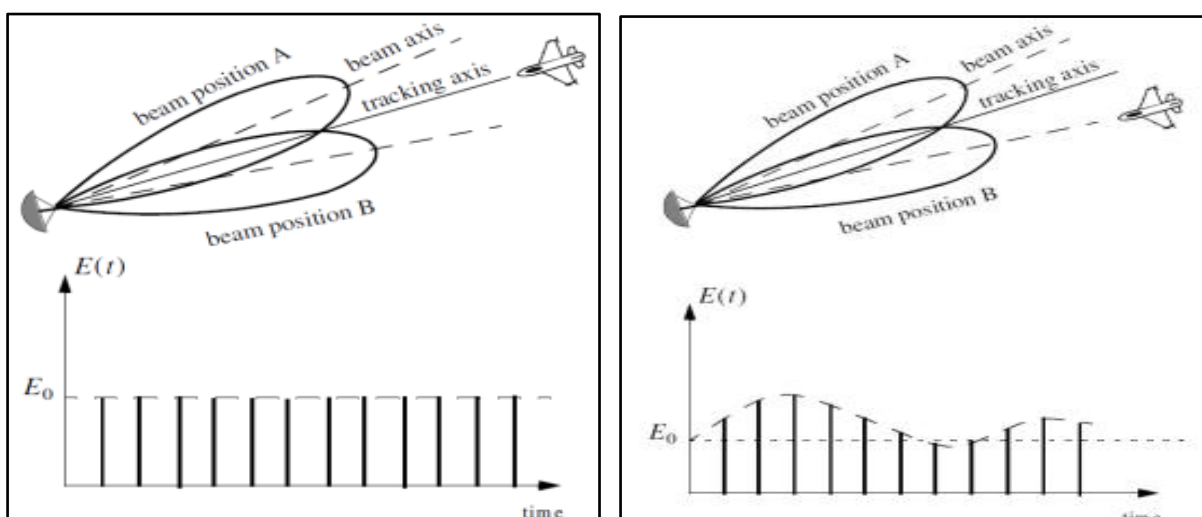
των πλατών της ακολουθίας των παλμών επιστροφής, αφού αφαιρεθεί το στοιχείο DC και έτσι ανιχνεύονται το πλάτος και η φάση του σήματος σφάλματος, τα οποία δίνουν το μέγεθος και την κατεύθυνση του σφάλματος κατεύθυνσης. Έτσι, η κίνηση της δέσμης εγκλωβίζει το στόχο διατηρώντας τον στο κέντρο της κωνικής σάρωσης.

Τα RADAR που χρησιμοποιούν τις τεχνικές κωνικής σάρωσης και λίκνισης δέσμης είναι ευάλωτα σε παρεμβολές γωνιακής παραπλάνησης και γενικά σε σήματα τα οποία είναι διαμορφωμένα κατά πλάτος. Προς αντιμετώπιση αυτών των παρεμβολών, ορισμένα RADAR εφαρμόζουν δύο εξελιγμένες μεθόδους εγκλωβισμού, την λίκνιση κατά την επιστροφή μόνο (Lobe on Receive Only, LORO) και την κωνική σάρωση κατά την επιστροφή μόνο (Conical Scan on Receive Only, COSRO).



Εικ. 7.46

Κωνική σάρωση. Τα σφάλματα γωνιακού εγκλωβισμού γίνονται αντιληπτά με περιστροφή της δέσμης της κεραίας γύρω από τον κεντρικό της άξονα και επεξεργασία της προκύπτουσας διαμόρφωσης των λαμβανόμενων παλμών



Εικ. 7.47

Σήμα σφάλματος που παράγεται όταν ο στόχος είναι πάνω στον άξονα περιστροφής (Αριστερά) και όταν ο στόχος είναι εκτός του άξονα περιστροφής (Δεξιά) για κωνική σάρωση

(α) Lobe on Receive Only, LORO.

Σε αυτή την μέθοδο χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερες κεραίες. Η πρώτη κεραία είναι μόνο για εκπομπή και «φωτίζει» τον στόχο με μία παλμική δέσμη η οποία δεν κινείται – δηλαδή δεν «σκανάρει» τον στόχο - όπως στις προηγούμενες μεθόδους. Για λήψη χρησιμοποιείται είτε μία δεύτερη κεραία η οποία μετακινείται μεταξύ των αντίστοιχων δύο ή τεσσάρων θέσεων (όπως στην λίκνιση δέσμης) γύρω από τον στόχο, είτε δύο κεραίες που αντιστοιχούν στις δύο δέσμες του sequential lobbing. Και στις δύο περιπτώσεις, σκοπός είναι η εξαγωγή του σφάλματος γωνίας. Αφού η κεραία εκπομπής δεν «σκανάρει» τον στόχο, δεν του επιτρέπει να γνωρίζει τον ρυθμό σάρωσης (scan rate) και συνεπώς να εφαρμόσει τεχνικές παρεμβολής γωνιακής παραπλάνησης.

(β) Conical Scan on Receive Only, COSRO.

Αυτή είναι μία εκδοχή του LORO αντίστοιχη για τα RADAR εγκλωβισμού κωνικής σάρωσης. Η κεραία εκπομπής είναι ίδια όπως στην προηγούμενη περίπτωση ενώ στην λήψη χρησιμοποιείται μία κεραία η οποία εκτελεί περιστροφή κωνικής σάρωσης γύρω από τον στόχο. Και αυτή η μέθοδος παρέχει προστασία εναντίον παρεμβολών γωνιακής παραπλάνησης.

(3) Μονοπαλμικός Εγκλωβισμός

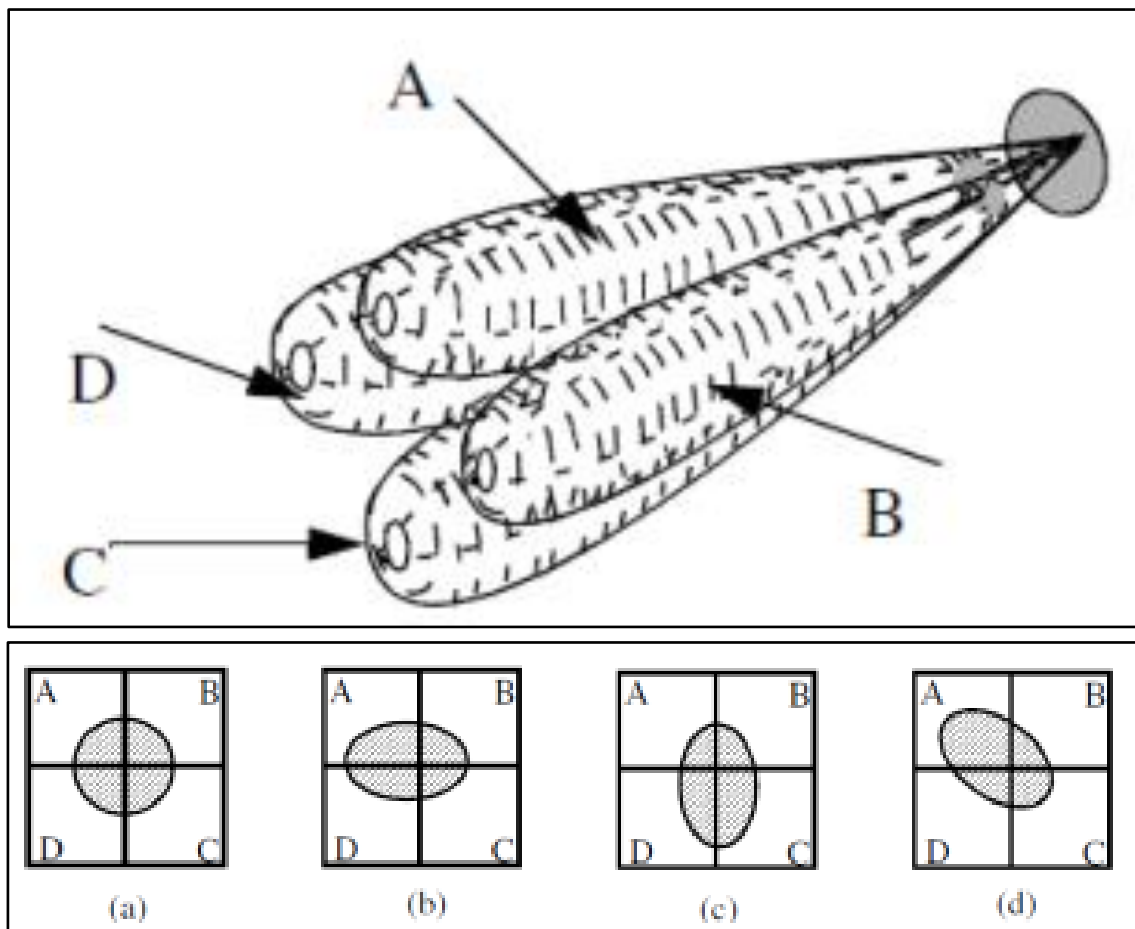
Ο μονοπαλμικός εγκλωβισμός (monopulse tracking) επιτυγχάνει το γωνιακό εγκλωβισμό με την εκπομπή και λήψη ενός και μοναδικού παλμού και στη συνέχεια με την ταυτόχρονη σύγκριση των σημάτων πολλών λοβών. Το επιστρεφόμενο σήμα υφίσταται επεξεργασία σε επί μέρους κανάλια του δέκτη, όπου παράγονται τα σήματα αθροίσματος και διαφοράς, από τα οποία τελικά προσδιορίζονται τα επιθυμητά στοιχεία του εγκλωβισμού.

Τα μονοπαλμικά RADAR διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα μονοπαλμικά σύγκρισης πλάτους (amplitude comparison monopulse) και τα μονοπαλμικά σύγκρισης φάσης (phase comparison monopulse), ανάλογα με τη μέθοδο που εφαρμόζεται για την επίτευξη του εγκλωβισμού. Αν και τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν μία από τις δύο μεθόδους, υπάρχουν και συστήματα που χρησιμοποιούν αρχές και από τις δύο αυτές κατηγορίες ταυτόχρονα.

(α) Μονοπαλμικός εγκλωβισμός σύγκρισης πλάτους.

Σ' αυτή την περίπτωση, υπάρχουν τέσσερα ανεξάρτητα στοιχεία τροφοδοσίας διατεταγμένα συμμετρικά γύρω από την κύρια εστία ενός παραβολοειδούς ανακλαστήρα και εκπέμπονται ταυτόχρονα τέσσερις (ή περισσότερες) μετατοπισμένες δέσμες. Στη συνέχεια, τα σχετικά πλάτη των σημάτων των επιστροφών από τις τέσσερις δέσμες χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τα σφάλματα κατεύθυνσης.

Για να δημιουργηθεί η διαφορά καθ' ύψος, χρησιμοποιείται η διαφορά A-D ή B-C. Εν τούτοις, σχηματίζοντας αρχικά τα αθροίσματα A+B και D+C και στη συνέχεια υπολογίζοντας τη διαφορά (A+B)-(D+C), επιτυγχάνουμε μια ισχυρότερη διαφορά σήματος του σήματος ανύψωσης. Παρόμοια, σχηματίζοντας τα αθροίσματα A+D και B+C και στη συνέχεια υπολογίζοντας τη διαφορά (A+D)-(B+C), προκύπτει ένα ισχυρότερο σήμα διαφοράς κατά το αζιμούθιο.



Εικ. 7.48

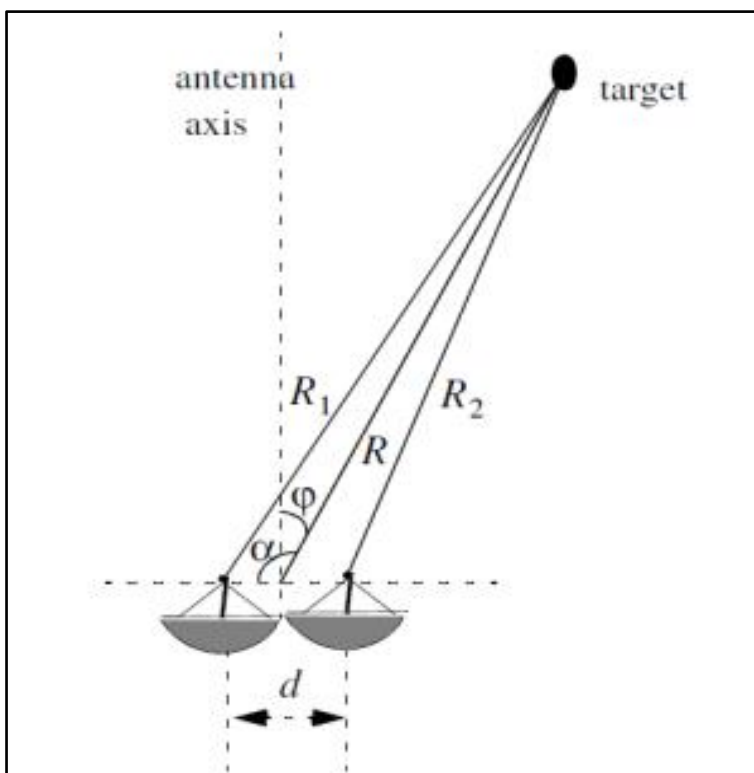
Μονοπαλμική τεχνική εγκλωβισμού.

(α) Ο στόχος είναι πάνω στον άξονα εγκλωβισμού.

(β) - (δ) Ο στόχος είναι εκτός του άξονα εγκλωβισμού

(β) Μονοπαλμικός εγκλωβισμός σύγκρισης φάσης.

Τα περισσότερα RADAR μονοπαλμικού εγκλωβισμού και κυρίως τα RADAR φασικής διάταξης, χρησιμοποιούν σύγκριση φάσης Σ' αυτή τη περίπτωση, υπάρχουν τέσσερις παράλληλες δέσμες οι οποίες εκπέμπονται ταυτόχρονα (συνήθως απαιτούνται διαφορετικές κεραίες για κάθε δέσμη ή μία κεραία φασικών στοιχείων). Οι διαφορές φάσης μεταξύ των τεσσάρων σημάτων επιστροφής - που προκύπτει από την διαφορά της απόστασης που καλύπτει το H/M κύμα λόγω απόκλισης του ίχνους από τον κεντρικό άξονα της κεραίας χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τα σφάλματα κατεύθυνσης όπως και στην περίπτωση της σύγκρισης πλάτους.

**Εικ. 7.49**

Μονοπαλμική κεραία σύγκρισης φάσης μιας διάστασης.

(4) Εγκλωβισμός κατά τη Σάρωση

Τα RADAR συνεχούς εγκλωβισμού εμφανίζουν δύο σημαντικά μειονεκτήματα. Πρώτον, το RADAR δεσμεύεται για την παρακολούθηση ενός και μόνο στόχου και δεύτερον, ο στόχος μπορεί να έχει προειδοποίηση μέσω ενός σύγχρονου δέκτη αναγνώρισης απειλών RADAR (RADAR Warning Receiver, RWR). Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα μειονεκτήματα αναπτύχθηκαν τα RADAR εγκλωβισμού κατά τη σάρωση, τα οποία έχουν την δυνατότητα του ταυτόχρονου εγκλωβισμού πολλών στόχων, ενώ παράλληλα συνεχίζουν την έρευνα για την αποκάλυψη και άλλων. Τα RADAR αυτά, συνήθως χρησιμοποιούν είτε μηχανικά στρεφόμενες κεραίες είτε κεραίες φασικής διάταξης στοιχείων. Στην αρχική της μορφή, η μέθοδος TWS χρησιμοποιούσε

δύο κεραίες (μία για οριζόντια σάρωση και μία για κάθετη). Η διόπτευση και το ύψος του στόχου εξάγονταν από την θέση της δέσμης την στιγμή που υπάρχει η μέγιστη επιστροφή από τον στόχο.

Τα σύγχρονα RADAR που χρησιμοποιούν TWS χρησιμοποιούν μία κεραία ενός τυπικού RADAR έρευνας. Ο τρόπος λειτουργίας του TWS είναι ότι, ενώ το RADAR εκτελεί έρευνα στον χώρο (και χωρίς να σταματήσει αυτή την λειτουργία), όταν ανιχνευτεί ένας στόχος, αρχίζουν να αποθηκεύονται σε μνήμη τα δεδομένα αυτού (απόσταση, ταχύτητα και διόπτευση) δημιουργώντας ένα αρχείο δεδομένων του στόχου (track file). Στη συνέχεια, σε κάθε σάρωση και για κάθε στόχο, γίνεται σύγκριση των νέων στοιχείων του στόχου με το αρχείο δεδομένων του στόχου και αποφασίζεται αυτόματα εάν ο στόχος είναι ο ίδιος με την προηγούμενη σάρωση ή όχι. Έτσι, το TWS μπορεί να διατηρεί στοιχεία εγκλωβισμού πολλών στόχων, ενώ ταυτόχρονα εκτελεί έρευνα του χώρου.

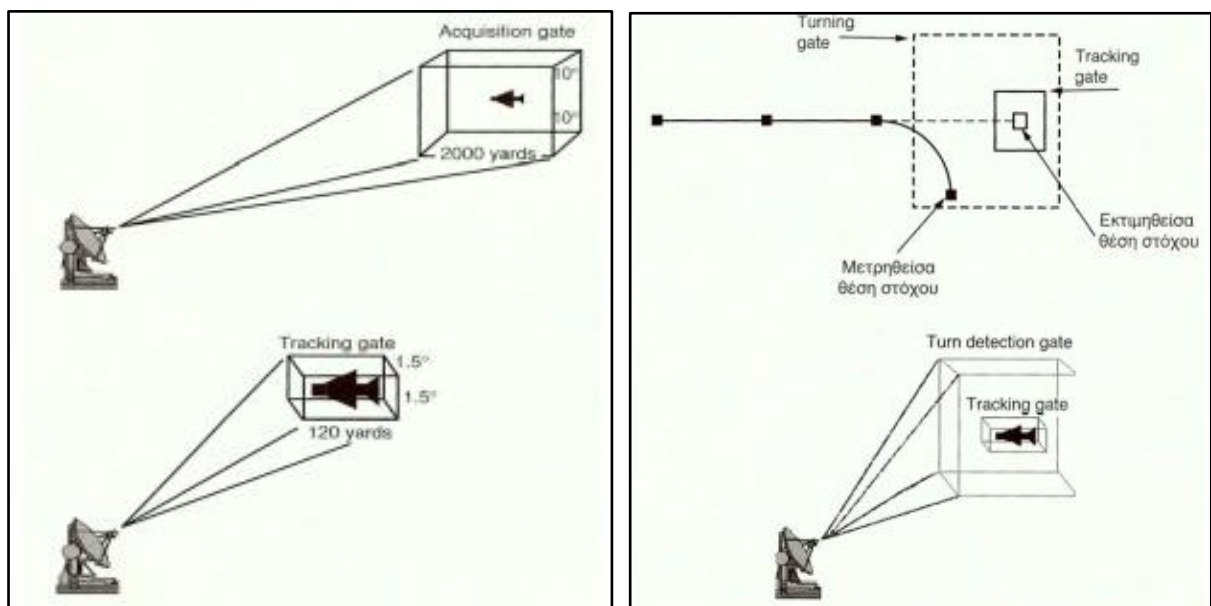
Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών, τα RADAR TWS παρουσιάζουν δύο σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα προηγούμενα RADAR εγκλωβισμού. Πρώτον, τα εχθρικά συστήματα ESM (RWR -Radar Warning Receiver) επεξεργάζονται το σήμα του RADAR ως σήμα σάρωσης και όχι εγκλωβισμού οπότε ο στόχος δεν έχει προειδοποίηση για τον εγκλωβισμό με TWS και κατ' επέκταση για απειλή που ενδεχομένως αντιμετωπίζουν και δεύτερον, ο φορέας του RADAR έχει την δυνατότητα κατεύθυνσης όπλων εναντίον πολλών στόχων ταυτόχρονα.

Για την παρακολούθηση των στόχων τα συστήματα TWS χρησιμοποιούν διάφορες πύλες εγκλωβισμού (γωνίας, απόστασης, ταχύτητας/ Doppler). Μετά τον αρχικό εντοπισμό ενός στόχου, ανατίθεται στο ίχνος αυτού μία πύλη πρόσκτησης (Acquisition gate) μεγάλων διαστάσεων. Όταν, αναλόγως των δυνατοτήτων και της αποστολής του RADAR, σε κάποια επόμενη σάρωση επιτευχθεί επιβεβαίωση και προσδιορισμός των στοιχείων κίνησης του στόχου, τότε ανατίθεται σε αυτόν μία μικρότερων διαστάσεων πύλη εγκλωβισμού (Tracking gate), στη συνέχεια, υπάρχει περίπτωση ένας εγκλωβισμένος στόχος να εκτελέσει κάποια στιγμή απότομο ελιγμό-στροφή και η πραγματική θέση του να μην είναι αυτή που αναμένει το RADAR στην επόμενη σάρωση (η θέση της πύλης παρακολούθησης σε επόμενη σάρωση να μην είναι πάνω στο στόχο). Σ' αυτή την περίπτωση, το RADAR εκτελεί ένα είδος ελέγχου μέσω μιας νέας πύλης, της πύλης στροφής (Turning gate). Αυτή η πύλη είναι μεγαλύτερων διαστάσεων, περιβάλλει την πύλη παρακολούθησης και έχει σκοπό να εντοπίσει τον στόχο, ο οποίος είναι μεν εκτός της πύλης παρακολούθησης, αλλά θεωρητικά θα πρέπει να είναι πλησίον

αυτής. Αφού και εφόσον ο στόχος εντοπισθεί μέσα στην πύλη αυτή, εκτελούνται εκ νέου οι υπολογισμοί από την αρχή ενώ διαφορετικά η παρακολούθηση του στόχου διακόπτεται.

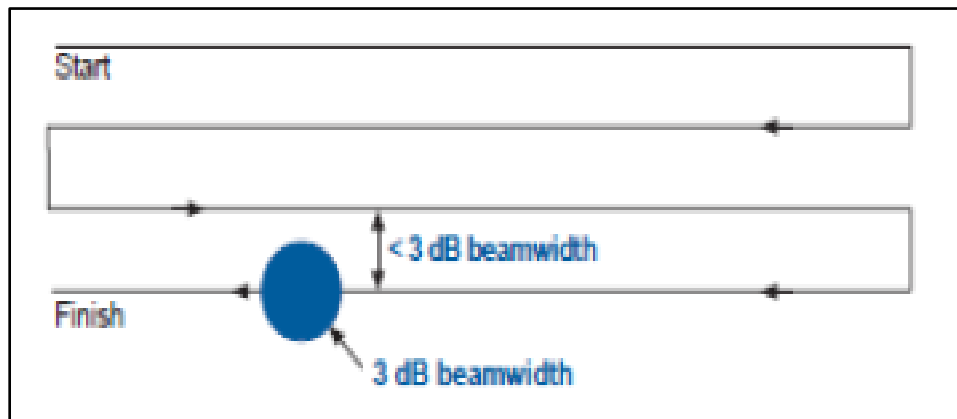
Η αρχική μορφή του TWS με τη χρήση δύο κεραιών παρέχει κάλυψη έρευνας σε αζιμούθιο και ύψος. Για να υπάρχει αντίστοιχη κάλυψη του χώρου από RADAR TWS με μία κεραία, θα πρέπει αυτή να εκτελεί κάποιο είδος (pattern) σάρωσης. Υπάρχουν πολλοί τέτοιοι τρόποι σάρωσης, όπως σπειροειδής, ελικοειδής, raster, κ.α. Η συνηθέστερη εξ' αυτών, η οποία χρησιμοποιείται από πολλά RADAR Α/Φ, είναι η σάρωση raster (raster scan).

Εκτός της μεθόδου Scan-to-Scan, υπάρχει η μέθοδος υλοποίησης του TWS που ονομάζεται Look-to-Look, η οποία εφαρμόζεται από RADAR που διαθέτουν κεραίες στοιχείων φασικής διάταξης. Η έρευνα και ο εγκλωβισμός στόχων γίνεται από ανεξάρτητους μεταξύ τους λοβούς, λόγω της δυνατότητας των συγκεκριμένων κεραιών να εκπέμπουν πολλές και ανεξάρτητες δέσμες (Radar AESA). Ειδικά για τον εγκλωβισμό στόχων, χρησιμοποιούνται δέσμες μικρού εύρους (pencil beams).



Εικ. 7.50

Γραφική απεικόνιση των Πυλών Πρόσκτησης και Εγκλωβισμού (Αριστερά) και της πύλης Στροφής (Δεξιά) σε RADAR που χρησιμοποιούν λειτουργία TWS.

**Εικ. 7.51**

Μια αντιπροσωπευτική περίπτωση σάρωσης *raster* τεσσάρων μπαρών. Για να μην έχουμε απώλεια στόχων, ο διαχωρισμός των μπαρών είναι μικρότερο από 3 dB σε εύρος δέσμης της κεραίας. Συνεπώς, ο ίδιος στόχος είναι δυνατόν να ανιχνευτεί σε περισσότερες από μία μπάρα, θέμα το οποίο επιλύεται κατά την επεξεργασία TWS.

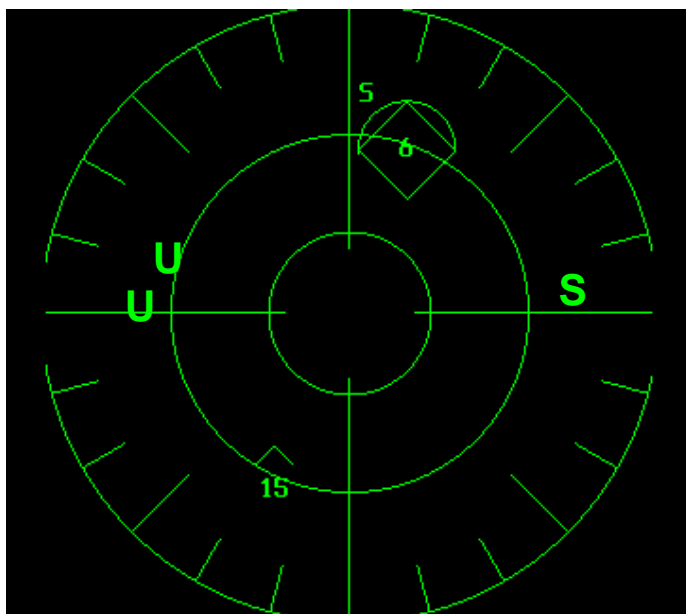
Κεφάλαιο 8ο : Ο Ηλεκτρονικός Πόλεμος στα Ραντάρ

8.1 Ηλεκτρονική Υποστήριξη

Τα συστήματα ηλεκτρονικής υποστήριξης που χρησιμοποιούνται σε σχέση με τα ραντάρ διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες.

α. Δέκτες Προειδοποίησης Ραντάρ (Radar Warning Receiver – RWR)

Πρόκειται για δέκτες οι οποίοι τοποθετούνται κυρίως σε φορείς οπλικών συστημάτων (κυρίως αεροσκάφη και πλοία) οι οποίοι έχουν δυνατότητα ανάλυσης σημάτων ραντάρ, την ταυτοποίηση τους (μέσω μιας βάσης δεδομένων) και τέλος την οπτική απεικόνιση σε κατάλληλη οθόνη με σκοπό την έγκαιρη προειδοποίηση και κατά προέκταση την προστασία του φορέα από κάποια απειλή.



Εικ. 8.1

Τυπική οθόνη απεικόνισης RWR. Στο παραπάνω παράδειγμα το σύστημα έχει ταυτοποιήσει ένα αεροσκάφος F-15 (κάτω αριστερά) και 2 Αντιαεροπορικά συστήματα SA-6 και SA-5 (επάνω), 2 άγνωστα ραντάρ (αριστερά) και ένα επίγειο άγνωστο ραντάρ έρευνας (δεξιά). Επίσης εμφανίζεται η διόπτρευση (κατεύθυνση) των ανιχνευμένων Η/Μ σημάτων αλλά όχι η απόσταση καθώς τα περισσότερα RWR συστήματα «τοποθετούν» την κάθε ανίχνευση τόσο κοντά όσο και ο βαθμός της απειλής που παρουσιάζουν. Για τον λόγο αυτό, συνήθως υπάρχουν δύο δακτύλιοι σε κάθε συσκευή απεικόνισης, ο εσωτερικός στον οποίο «τοποθετούνται» οι ανιχνεύσεις υψηλής επικινδυνότητας και ο εξωτερικός όπου τοποθετούνται οι χαμηλότερες απειλές. Γενικά, όσο πιο μακριά από το κέντρο «τοποθετείται» μια ανίχνευση τόσο πιο μικρή απειλή παρουσιάζει για τον φορέα. Η κυριότερη απειλή εμφανίζεται συνήθως πλαισιωμένη από ένα ρόμβο (SA-6). Αναλόγως της κατασκευάστριας εταιρίας, όπως είναι λογικό, μπορεί να υπάρχουν διαφορές στον τρόπο απεικόνισης.



Εικ. 8.2

Τυπική σύνθεση συστήματος RWR. (Κεραίες λήψης υψηλών συχνοτήτων, κεραίες λήψης χαμηλών συχνοτήτων, δέκτες [συνήθως υπερτερόδυνοι - πολυκάναλοι], κεντρικός επεξεργαστής, οθόνη απεικόνισης)

β. Δέκτες Επιτήρησης (Surveillance Receivers)

Πρόκειται για δέκτες υψηλής ακρίβειας με σκοπό (όπως και οι δέκτες που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες) την αναγνώριση, ανάλυση και προσδιορισμό θέσης των εχθρικών ραντάρ. Οι τύποι των δεκτών που χρησιμοποιούνται είναι crystal video, channelized, super-heterodyne, IFM και Brag-Cell, όπως αυτοί αναλύθηκαν στο κεφάλαιο «6°». Με τη χρήση των παραπάνω δεκτών είναι δυνατή η μέτρηση και η εξαγωγή στοιχείων παραμέτρων ραντάρ όπως διόπτευση, απόσταση, συχνότητα, PRF, πλάτος παλμού, διαμόρφωση, πόλωση, χαρακτηριστικά σάρωσης, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία βάσης δεδομένων ΗΠ, ενημέρωση των RWR των φίλων μέσων και κατά προέκταση για τη διεξαγωγή επιχειρήσεων ΗΠ.



Εικ. 8.3

Σύγχρονοι σταθμοί εργασίας ELINT

8.2 Ηλεκτρονική Επίθεση

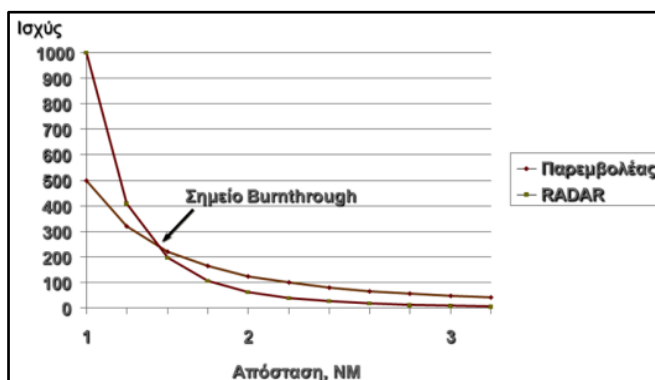
α. Ενεργητικά Μέσα

Ενεργητικά ονομάζονται όλα τα μέσα τα οποία εκπέμπουν Η/Μ ακτινοβολία ώστε να παρεμβάλουν ή/και να παραπλανήσουν τα εχθρικά ραντάρ. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται τεχνικές παρεμβολής θορύβου (στην οποία απαιτείται να είναι γνωστή μόνο η συχνότητα λειτουργίας ενός εχθρικού ραντάρ) οι οποίες εκμεταλλεύονται την πολύ μεγάλη ευαισθησία του δέκτη ενός ραντάρ ώστε να μην είναι δυνατή η εξαγωγή στοιχείων (κυρίως δεδομένα απόστασης) από αυτό και τεχνικές παραπλάνησης όπου απαιτείται η γνώση πολλών ή σε ορισμένες περιπτώσεις όλων των παραμέτρων λειτουργίας ενός ραντάρ ώστε το τελευταίο να εξάγει εσφαλμένα στοιχεία για κάποιο ίχνος.

(1) Παρεμβολές Θορύβου (Noise Jamming)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως για την υλοποίηση μιας παρεμβολής θορύβου, απαιτείται η γνώση της συχνότητας λειτουργίας ραντάρ. Όσο ακριβέστερα συγχρονισμένος είναι ο παρεμβολέας στη συχνότητα του ραντάρ, τόσο μεγαλύτερη επιτυχία έχει η παρεμβολή σε αυτό. Σκοπός της παρεμβολής θορύβου, όπως και στα επικοινωνιακά συστήματα, (κεφάλαιο 6^ο) είναι η μείωση του λόγου SNR.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό που εξετάζεται για την επιτυχή εκτέλεση παρεμβολής θορύβου, είναι το burn-through-range, το οποίο ορίζεται ως η μέγιστη απόσταση στην οποία ένα ραντάρ μπορεί να διακρίνει ένα ίχνος μέσα από μια παρεμβολή θορύβου. Αυτό είναι δυνατό να συμβεί όταν ένα ίχνος είναι σε τόσο κοντινή απόσταση, ώστε η ανακλώμενη από αυτό Η/Μ ενέργεια να έχει αρκετή ισχύ ώστε να υπερισχύσει του σήματος εκπομπής. Όπως είναι λογικό η burn-through-range εξαρτάται καθαρά από την ισχύ του κάθε ραντάρ και του παρεμβολέα. Σε περίπτωση που η ισχύς μεταβάλλεται, μεταβάλλεται και η απόσταση Burn-through-range.



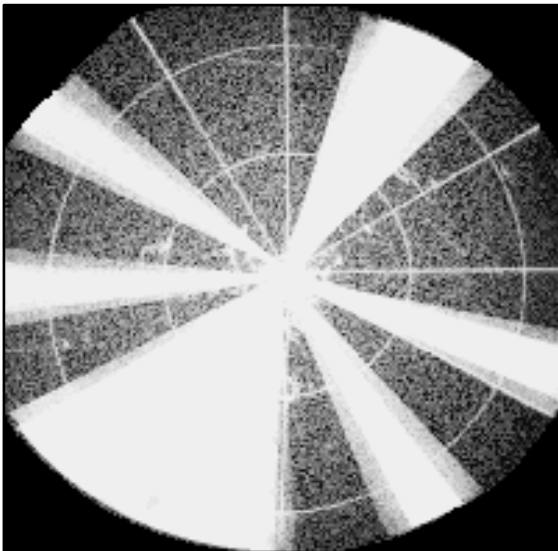
Εικ. 8.4

Διάγραμμα Burn through range

(α) Παρεμβολή Σημείου (Spot Noise)

Είναι η εκπομπή θορύβου μεγάλης ισχύος και στενού Bandwidth «γύρω» από συγκεκριμένη συχνότητα. Αυτός ο τύπος παρεμβολής απαιτεί την ακριβή μέτρηση της συχνότητας λειτουργίας ενός ραντάρ. Είναι αποτελεσματικός σε συστήματα ραντάρ τα οποία λειτουργούν σε σταθερή συχνότητα ή έχουν αργό ρυθμό αναπήδησης.

Μια παραλλαγή αυτού του τύπου παρεμβολής είναι η Cover Pulse (CP) παρεμβολή, η οποία κατά την οποία δεν υπάρχει συνεχής εκπομπή θορύβου αλλά εκπέμπονται «παλμοί» θορύβου ώστε να καλύπτουν χρονικά τους παλμούς ενός ραντάρ. Το πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ο μικρότερος χρόνος λειτουργίας του παρεμβολέα, αλλά όπως γίνεται κατανοητό απαιτείται η γνώση της PRF/PRI του ραντάρ.

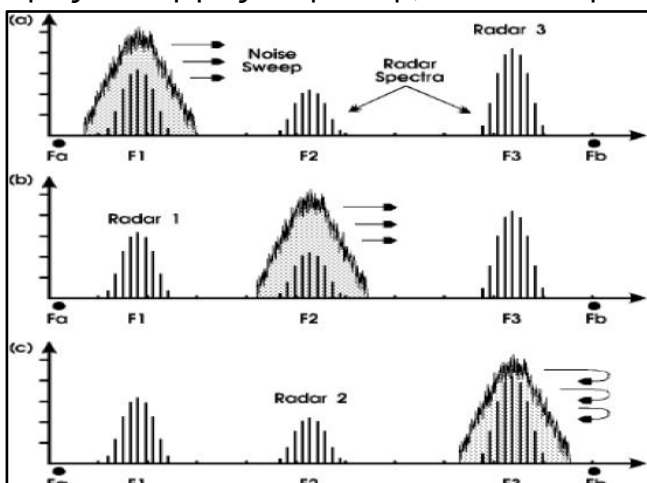
**Εικ. 8.5**

Εικόνα παρεμβολής *spot noise*. Ο παρεμβολέας βρίσκεται στις 210°, οι υπόλοιπες επιστροφές που εμφανίζονται είναι από τους πλευρικούς και τον οπίσθιο λοβό της κεραίας.

(Η εικόνα αυτή είναι από πολύ παλιό- αναλογικό ραντάρ. Στα σύγχρονα συστήματα, η παρεμβολή θορύβου δεν έχει τόσο μεγάλη απόδοση, λόγω των αντιπαρεμβολικών συστημάτων που έχουν πλέον τα ραντάρ και τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω).

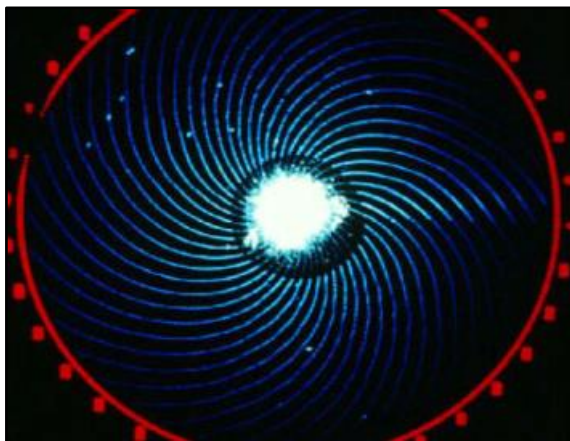
(β) Παρεμβολή Σάρωσης (Sweeping Spot Noise)

Η τεχνική αυτή δεν απαιτεί την γνώση της ακριβούς συχνότητας λειτουργίας του ραντάρ, αλλά του εύρους συχνοτήτων στο οποίο αυτό λειτουργεί.

**Εικ. 8.6**

Παρεμβολή σάρωσης

Στην ουσία πρόκειται για μια παρεμβολή spot η οποία «μετακινείται» σε ένα εύρος συχνοτήτων με αργό ή γρήγορο ρυθμό. Η τεχνική αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να παρεμβάλει πολλά ραντάρ που βρίσκονται σε μια περιοχή και λειτουργούν στο ίδιο εύρος συχνοτήτων, με το μειονέκτημα της μη συνεχόμενης παρεμβολής τους.

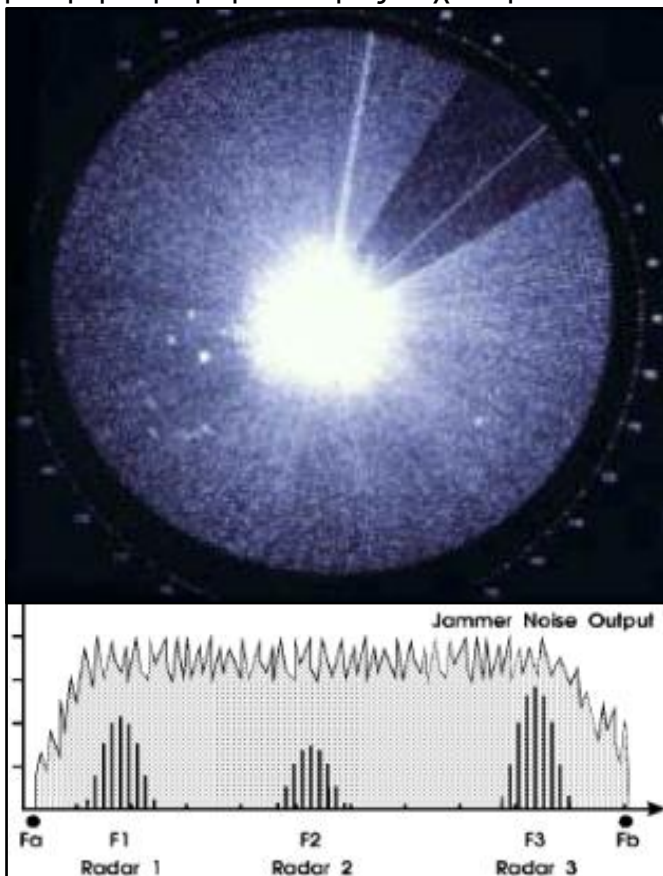


Εικ. 8.7

Εικόνα παρεμβολής σάρωσης γρήγορης εναλλαγής συχνοτήτων.

(γ) Παρεμβολή Φραγμού (Barrage Noise)

Όπως και στη προηγούμενη παρεμβολή, η παρεμβολή φραγμού δεν απαιτεί γνώση της συχνότητας λειτουργίας του ραντάρ αλλά μόνο το εύρος συχνοτήτων λειτουργίας του. Στην ουσία μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια παρεμβολή spot με μεγάλο εύρος συχνοτήτων.



Εικ. 8.8

Εικόνα παρεμβολής φραγμού σε ραντάρ (επάνω) και τρόπος εκτέλεσης (κάτω).

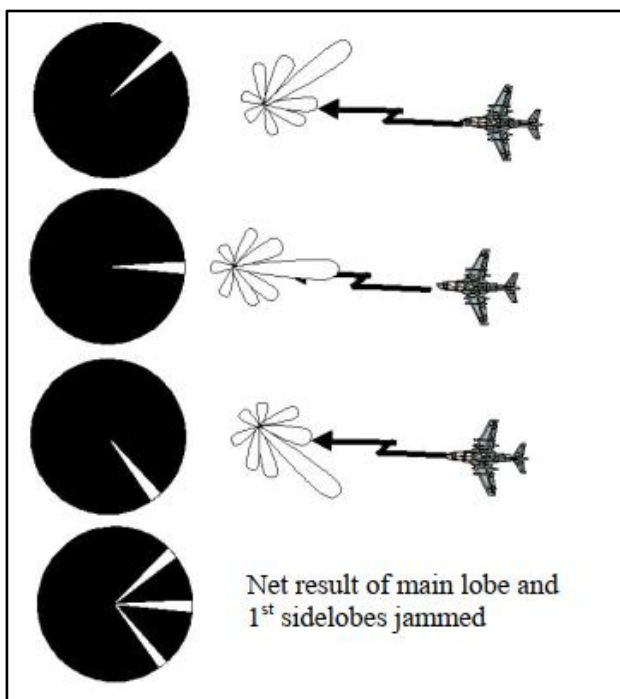
Συνήθως εμφανίζεται σαν ένα φωτεινό φόντο στις οθόνες ραντάρ και εκτός και αν ο παρεμβολέας είναι πολύ κοντά ή έχει πολύ μεγάλη ισχύ, δύσκολα δημιουργεί πρόβλημα στα σύγχρονα ραντάρ καθώς το burn-through-range παραμένει σε μεγάλη απόσταση.

Η παρεμβολή Barrage μπορεί να παρεμβάλει πολλά ραντάρ ταυτόχρονα όμως με μειωμένη ισχύ καθώς αυτή μοιράζεται σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Αν ο παρεμβολέας δεν έχει πολύ μεγάλη ισχύ, συνήθως αυτή η παρεμβολή είναι πολύ εύκολο να αντιμετωπιστεί από τα σύγχρονα ραντάρ.

(δ) Παρεμβολή Πλευρικών Λοβών (Sidelobe Jamming)

Όλες οι παρεμβολές θορύβου μπορούν να επιτύχουν πολύ μεγαλύτερα αποτελέσματα αν ο παρεμβολέας καταφέρει να «περάσει» τον θόρυβο από τους πλευρικούς ή τον οπίσθιο λοβό μιας κεραίας. Αυτό βέβαια θα απαιτούσε πολύ μεγαλύτερη ισχύ από τον παρεμβολέα καθώς το κέρδος των πλευρικών ή οπίσθιου λοβού μιας κεραίας είναι συνήθως από -15dB έως -30dB (50 έως 1000 φορές μικρότερο από τον κύριο λοβό).

Στα σύγχρονα ραντάρ το κέρδος των πλευρικών λοβών είναι ακόμη μικρότερο (PESA-AESA) και επιπλέον οι τεχνικές προστασίας όπως η αμαύρωση πλευρικών λοβών (θα αναλυθεί παρακάτω) καθιστούν το παραπάνω εξαιρετικά δύσκολο και ασύμφορο.



Εικ. 8.9

Παρεμβολή θορύβου στον πρώτο πλευρικό λοβό (το σήμα παρεμβολής έχει τόση ισχύ που μπορεί να ληφθεί τόσο από τον κύριο όσο και από τον πρώτο πλευρικό λοβό).

Η τελευταία εικόνα δείχνει την εικόνα που θα βλέπει ο χειριστής του ραντάρ.

(2) Παρεμβολές Παραπλάνησης (Deception Jamming)

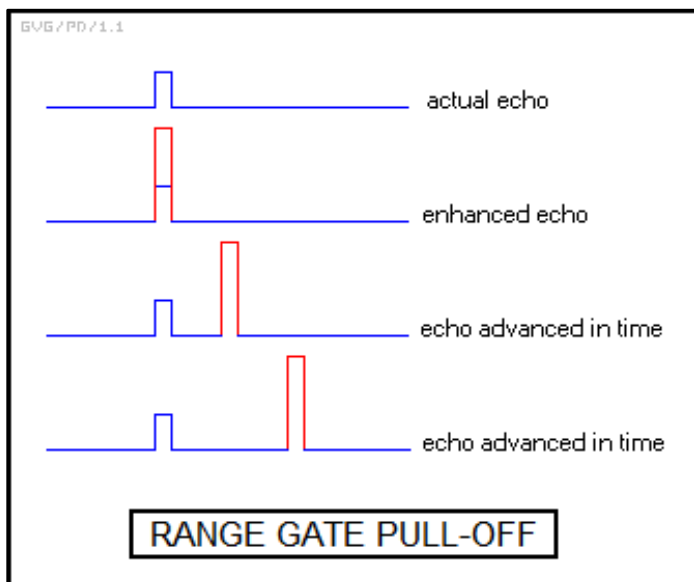
Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι τεχνικές οι οποίες αποσκοπούν στην εξαπάτηση και την εξαγωγή λανθασμένων δεδομένων σχετικά με το ίχνος ενός ραντάρ. Όπως είναι λογικό οι παρακάτω τεχνικές απαιτούν τη γνώση πολλών ή και

όλων των παραμέτρων λειτουργίας του ραντάρ που πρόκειται να παρεμβληθεί προκειμένου η «αλλοίωση» να είναι αρκετά «ρεαλιστική» ώστε να μη γίνει αντιληπτή από τους χειριστές ή τα συστήματα ΕΡ του ραντάρ. Οι βασικές τεχνικές παρεμβολών παραπλάνησης είναι οι ακόλουθες:

(α) Παραπλάνηση Κατά Απόσταση

Προκαλεί στο εχθρικό ραντάρ σφάλματα στον υπολογισμό της απόστασης. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε ραντάρ εγκλωβισμού και η τεχνικές που εφαρμόζονται είναι η «Range gate pull off (RGPO)» και «Range gate pull in (RGPI)».

Κατά την παρεμβολή RGPO ο παρεμβολέας όταν λάβει έναν παλμό από ραντάρ τον επανεκπέμπει με τα ίδια χαρακτηριστικά (συχνότητα και πλάτος παλμού) αλλά με μεγαλύτερη ισχύ. Ο δέκτης του ραντάρ έτσι λαμβάνει 2 επιστροφές και το αυτόματο σύστημα ελέγχου κέρδους (Automatic Gain Control) που βρίσκεται στο δέκτη, ρυθμίζει αυτόματα το κατώφλι (threshold) σε υψηλότερα επίπεδα ώστε να απορρίψει τυχόν θόρυβο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ίδιο το ραντάρ να «κλειδώνει» στη ψευδή επιστροφή και να απορρίπτει την πραγματική.



Εικ. 8.10

Παρεμβολή παραπλάνησης VGPO. Ο παρεμβολέας σταματά την εκπομπή σήματος μετά από περίπου 6 – 10 δευτερόλεπτα. Σε αυτό το χρόνο η πραγματική θέση του ίχνους διαφέρει μέχρι και περίπου 1000 μέτρα από αυτή που είχε εγκλωβίσει το ραντάρ.

Στη συνέχεια ο παρεμβολέας εφαρμόζει σταδιακά μικρή καθυστέρηση στον ψευδή παλμό μετακινώντας έτσι την πύλη απόστασης. Όταν η απόσταση μεταξύ του ψευδούς στόχου και του πραγματικού γίνει ικανοποιητική (μερικές εκατοντάδες μέτρα), τότε ο παρεμβολέας σταματά το σήμα παρεμβολής και το ραντάρ ξαφνικά «μένει» χωρίς στόχο αφού στην απόσταση στην οποία βρίσκεται η πύλη απόστασης δεν δέχεται επιστρεφόμενα σήματα.

Η χρονική καθυστέρηση μέσω της οποίας μετακινείται ο παλμός του παρεμβολέα, πρέπει να είναι τέτοια ώστε να ανταποκρίνεται σε ρεαλιστικά στοιχεία κίνησης του στόχου. Διαφορετικά, υπάρχει περίπτωση το κύκλωμα της πύλης να μην παραπλανηθεί και να εγκλωβίσει ξανά τον πραγματικό στόχο. Έχει αποδειχθεί, ότι εάν η τιμή του σήματος θορύβου είναι τουλάχιστον 3 dB μεγαλύτερη απ' αυτήν του παλμού επιστροφής, η πύλη απόστασης οδηγείται σε τυχαία θέση με αποτέλεσμα τον απεγκλωβισμό του στόχου.

Πέρα από την RGPO τεχνική, υπάρχει και η RGPI (Range gate pull in), στην οποία ο παρεμβολέας εκπέμπει λίγο πριν φτάσει ο παλμός του ραντάρ, μετακινώντας έτσι τη πύλη απόστασης προς τα εμπρός (το ψεύτικο ίχνος βρίσκεται πιο κοντά στο ραντάρ από το πραγματικό). Η τεχνική αυτή είναι πολύ πιο δύσκολο να υλοποιηθεί από την RGPO και απαιτεί ακριβή γνώση του τρόπου λειτουργίας και pattern εκπομπής ενός ραντάρ που επιτυγχάνεται μόνο με τη τεχνολογία DRFM η οποία θα αναλυθεί στη συνέχεια.

(β) Παραπλάνηση Κατά Ταχύτητα

Προκαλεί στο εχθρικό ραντάρ σφάλματα στον υπολογισμό της ταχύτητας του στόχου. Οι τεχνικές Velocity gate pull off (VGPO) και Velocity gate pull in (VGPI) λειτουργούν παρόμοια με τις RGPO και RGPI με τη διαφορά ότι πλέον δεν υπάρχει χρονική μεταβολή στο σήμα παρεμβολής αλλά σταδιακή μετατόπιση της συχνότητας, οδηγώντας έτσι στην μετακίνηση της πύλης ταχύτητας του ραντάρ ώστε ταχύτητα να εμφανίζεται μεγαλύτερη ή μικρότερη της πραγματικής.

(γ) Ψευδείς Στόχοι

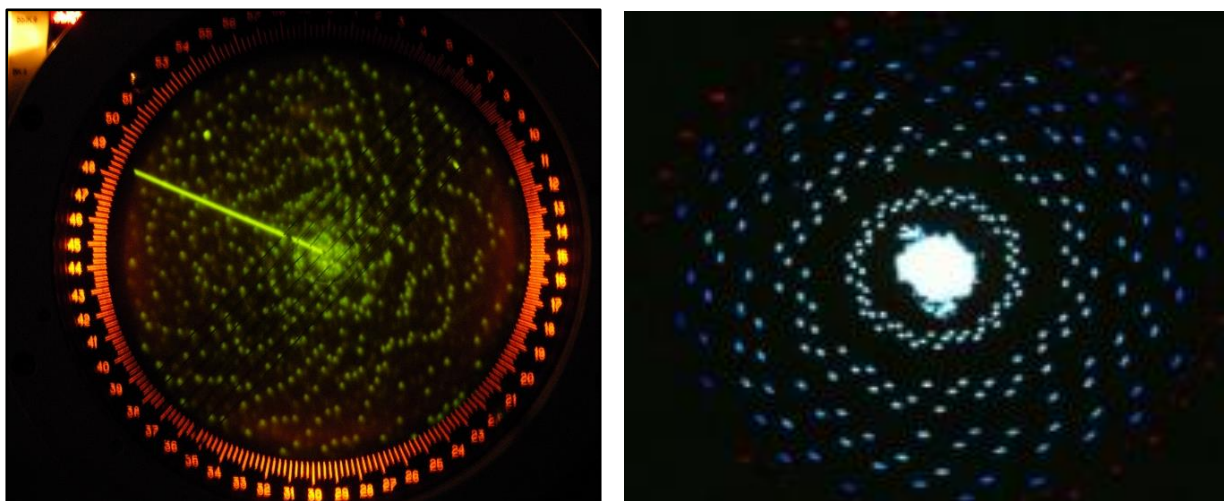
Η τεχνική αυτή αποσκοπεί στην εμφάνιση ψευδών στόχων σε διάφορες αποστάσεις ή διοπτεύσεις. Η παρεμβολή αυτή εφαρμόζεται σε ραντάρ έρευνας και για να είναι εφικτή θα πρέπει ο παρεμβολέας να είναι ικανός να αναλύσει αρχικά την εκπομπή του εχθρικού ραντάρ και στη συνέχεια με τα παραπάνω στοιχεία να εκπέμπει κατάλληλους ψευδείς παλμούς επιστροφής. Ανάλογα με τις δυνατότητες του παρεμβολέα είναι δυνατό να:

1/ Να εμφανίζονται ψευδείς στόχοι σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον πραγματικό. Η παρεμβολή αυτή είναι πολύ εύκολο να υλοποιηθεί και

δεν απαιτεί υψηλή τεχνολογία στον παρεμβολέα καθώς πραγματοποιείται με επανεκπομπή των παλμών του ραντάρ με χρονική καθυστέρηση.

2/ Να πλαισιώνουν τον πραγματικό στόχο (να εμφανίζονται πριν και μετά το στόχο). Οι κοντινότεροι ψευδοί στόχοι για να εμφανιστούν απαιτείται η εκπομπή του παρεμβολέα πριν τη λήψη του παλμού ραντάρ. Για το λόγο αυτό απαιτείται τεχνολογία DRFM.

3/ Να εμφανίζονται ψευδείς στόχοι σε διαφορετικές διοπτύσεις από αυτή του πραγματικού στόχου. Αν οι ψευδείς στόχοι είναι «Μη σύγχρονοι» τότε εμφανίζονται σε τυχαίες θέσεις και δεν απαιτείται από τον παρεμβολέα η ανάλυση των χαρακτηριστικών σάρωσης του ραντάρ. Η υλοποίηση πραγματοποιείται με τυχαία εκπομπή παλμών από τον παρεμβολέα. Για τη δημιουργία «σύγχρονων» ψευδών στόχων απαιτείται χρήση τεχνολογίας DRFM. Και στις δύο περιπτώσεις ο παρεμβολέας πρέπει να έχει αρκετή ισχύ ώστε οι επιστροφές να «περάσουν» από τους πλευρικού λοβούς.



Εικ. 8.11

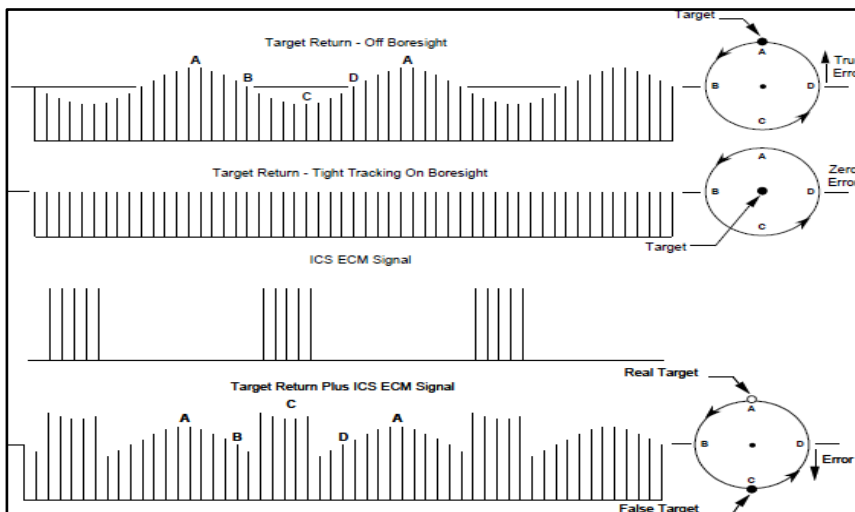
Μη ασύγχρονη (αριστερά) και σύγχρονη (δεξιά) παρεμβολή ψευδών στόχων

(δ) Παραπλάνηση Κατά Γωνία

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται εναντίων ραντάρ εγκλωβισμού προκαλώντας σφάλματα στον υπολογισμό της γωνίας του στόχου (διόπτρευση – ανύψωση). Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι:

1/ Τεχνική αντίστροφου κέρδους (Inverse Gain).

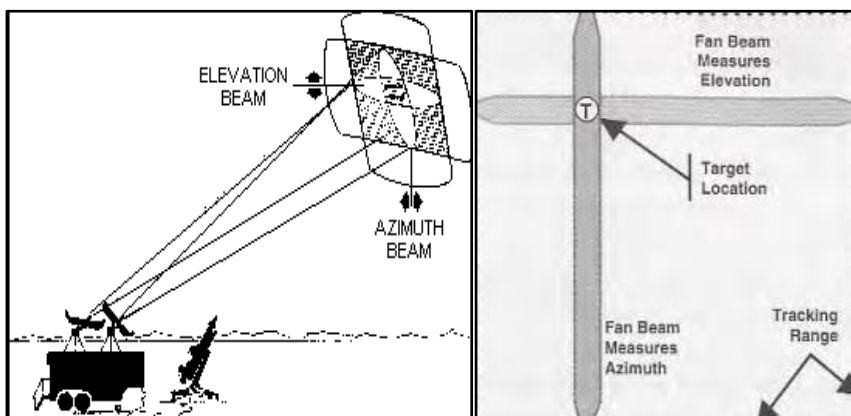
Τα ραντάρ που χρησιμοποιούν τεχνολογία μετακίνησης δέσμης λαμβάνουν επιστροφές από το στόχο διαφορετικής έντασης. Η τεχνική IG ενισχύει τις επιστροφές που φεύγουν από τον ίδιο κατά αντίστροφη αναλογία ως προς την ένταση που αυτός τις λαμβάνει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ραντάρ να εξάγει λανθασμένα διορθώσεις και μετακινεί τη κεραία μακριά από τη περιοχή του στόχου με αποτέλεσμα να μη μπορεί να γίνει ο εγκλωβισμός. Η τεχνική αυτή δεν έχει αποτέλεσμα σε ραντάρ LORO/COSRO και παλμικά καθώς δεν χρησιμοποιούν μετακίνηση δέσμης.



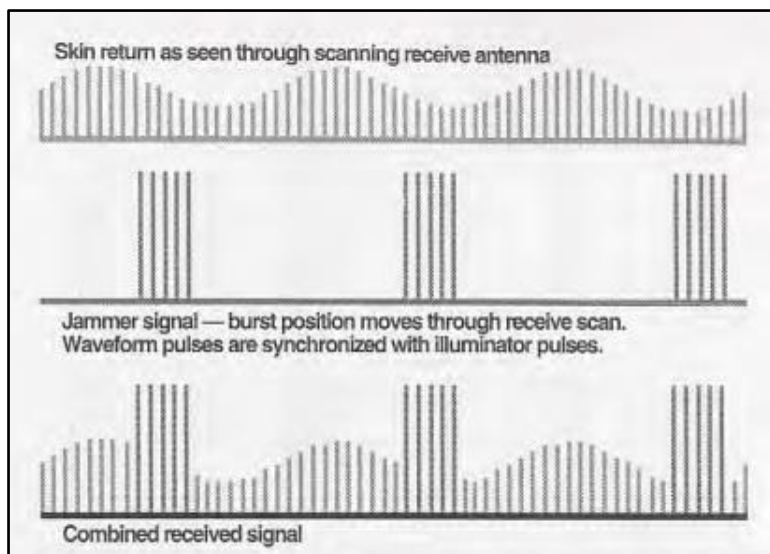
Εικ. 8.12
Τεχνική Inverse Gain

2/ Τεχνική στιγμιαίου αντίστροφου κέρδους

(Instantaneous Inverse Gain, IIG). Για τα ραντάρ LORO/CORPO (Παλαιά αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιούνταν για τα ραντάρ TWS. Στη βιβλιογραφία πολλές φορές τα ραντάρ LORO/COSRO αναφέρονται ως TWS ραντάρ. Τα σύγχρονα ραντάρ TWS όμως χρησιμοποιούν άλλες τεχνικές, όπως αναφέρονται στο κεφάλαιο 7°) ο παρεμβολέας λειτουργεί όπως προηγουμένως αλλά μη έχοντας δεδομένα έντασης ώστε να μπορέσει να τροποποιήσει αντίστοιχα την ένταση της παρεμβολής, εκπέμπει μια σειρά από παλμούς οι οποίοι δημιουργούν ψευδείς στόχους σε κάθε θέση των δεσμών.



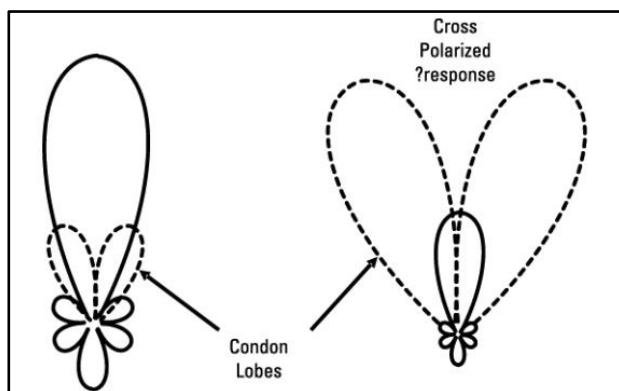
Εικ. 8.13
Λειτουργία LORO /
CORPO ραντάρ



Εικ. 8.14

Τεχνική στιγμιαίου αντί-
στροφου κέρδους

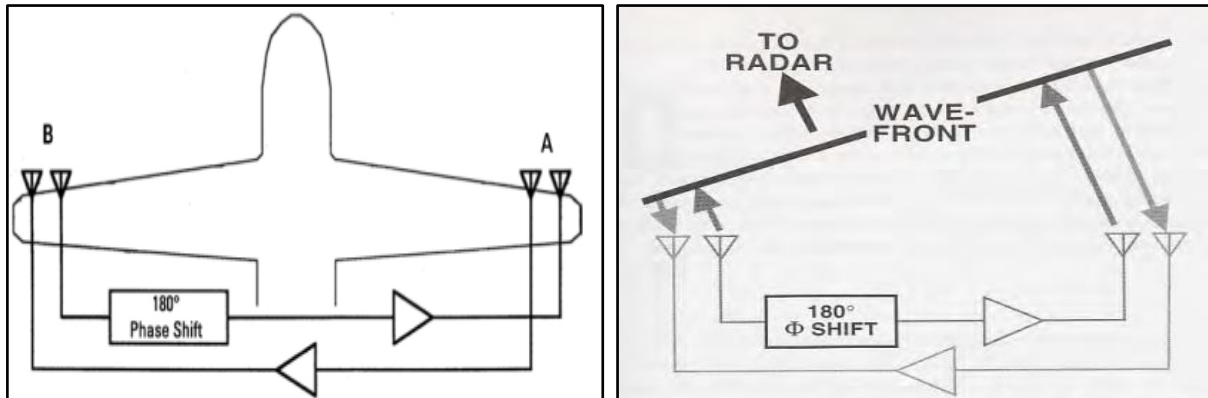
3/ Ορθογώνια/Διασταυρούμενη Πόλωση (Cross Polarization). Η τεχνική εφαρμόζεται σε ραντάρ τα οποία χρησιμοποιούν παραβολικές κεραίες και κατά την οποία ο παρεμβολέας εκπέμπει παλμούς επιστροφής με πόλωση κάθετη σε αυτήν που λαμβάνει. Οι πλευρικοί λοβοί (Condon Lobes) των παραβολικών κεραιών, λόγω κατασκευής της κεραίας, έχουν αντίθετη πόλωση από τον κύριο λοβό. Με τον τρόπο αυτό και με την κατάλληλη ενίσχυση του εκπεμπόμενου σήματος, ο παρεμβολέας οδηγεί στον απεγκλωβισμό του στόχου από το ραντάρ.



Εικ. 8.15

Διαφορά κέρδους των πλευρικών
λοβών όταν το σήμα έχει αντίστροφη
πόλωση

4/ Τεχνική Cross-Eye. Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται 2 ζεύγη κεραιών σε ικανή απόσταση μεταξύ τους. Ο παρεμβολέας λαμβάνει τα σήματα από τη μία κεραία (R1) και τα επανεκπέμπει από την άλλη (T1) έχοντας όμως γίνει τροποποίηση της φάσης κατά 180° . Το αποτέλεσμα είναι τα σήματα που φτάνουν από τους 2 πομπούς (T1, T2) να έχουν διαφορά φάσης 180° με αποτέλεσμα να διαταράσσεται το εκπεμπόμενο «μέτωπο» του Η/Μ κύματος (όπως συμβαίνει στις κεραίες διάταξης φάσης) αποτέλεσμα τον στιγμιαίο απεγκλωβισμό του στόχου από το ραντάρ.



Εικ. 8.16

Τεχνική Cross-Eye. Τα σημεία A και B πρέπει να βρίσκονται σε αρκετή απόσταση ώστε η τεχνική αυτή να έχει αποτέλεσμα, για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνταν αρχικά 2 μακριά καλώδια ακριβώς ίδιου μεγέθους. Επειδή μια διαφορά της τάξης δέκατου του χιλιοστού μεταξύ των καλωδίων (που μπορούσε να δημιουργηθεί από τη θερμοκρασία) επηρέαζε τη φάση, στα σύγχρονα Α/Φ έχουν αντικατασταθεί με ειδικά κυκλώματα.

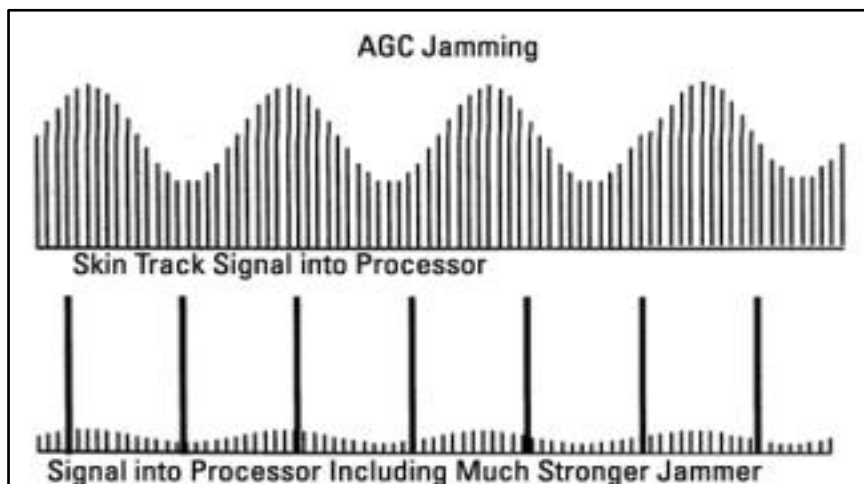
(ε) DRFM (Digital RF Memory)

Η τεχνολογία DRFM διευκολύνει την υλοποίηση των τεχνικών ψευδών στόχων και παραπλάνησης. Τα κυκλώματα των DRFM συστημάτων ψηφιοποιούν της Η/Μ εκπομπές του ραντάρ και τις αποθηκεύουν στη μνήμη σε ελάχιστο χρόνο (συνήθως 50 nsec). Στη συνέχεια μπορούν ανά πάσα στιγμή να ανακαλέσουν από τη μνήμη μια συγκεκριμένη Η/Μ εκπομπή και να την εκπέμψουν πάλι αυτούσια ή αλλάζοντας οποιαδήποτε από τα χαρακτηριστικά της. Με την εξέλιξη των Η/Υ τα συστήματα DRFM αντικαθιστούν σιγά σιγά παλαιότερα κυκλώματα υλοποίησης τεχνικών ΗΠ.

(3) Παρεμβολές AGC

Τα σύγχρονα ραντάρ λειτουργούν σε ένα πολύ μεγάλο δυναμικό. Το στιγμιαίο δυναμικό εύρος ενός ραντάρ είναι η διαφορά μεταξύ του ισχυρότερου και του ασθενέστερου σήματος που το ραντάρ είναι ικανό να δεχθεί την κάθε στιγμή. Για να είναι δυνατή η λήψη σημάτων εκτός του στιγμιαίου δυναμικού εύρους, το ραντάρ χρησιμοποιεί κυκλώματα ελέγχου κέρδους (χειροκίνητα ή αυτόματα) ώστε να είναι σε θέση τη κάθε στιγμή να ελαττώνει (ή αυξάνει) το κέρδος του δέκτη, ώστε να μπορεί να λάβει την δυνατότερη επιστροφή. Στη συνέχεια το κέρδος πρέπει να παραμείνει σε κάποια ορισμένη τιμή ώστε το ραντάρ να μπορέσει να συνεχίσει με τον εγκλωβισμό του στόχου. Τα κυκλώματα AGC για το λόγο αυτό είναι κυκλώματα ιδιαίτερα γρήγορης απόκρισης και αργής επαναφοράς.

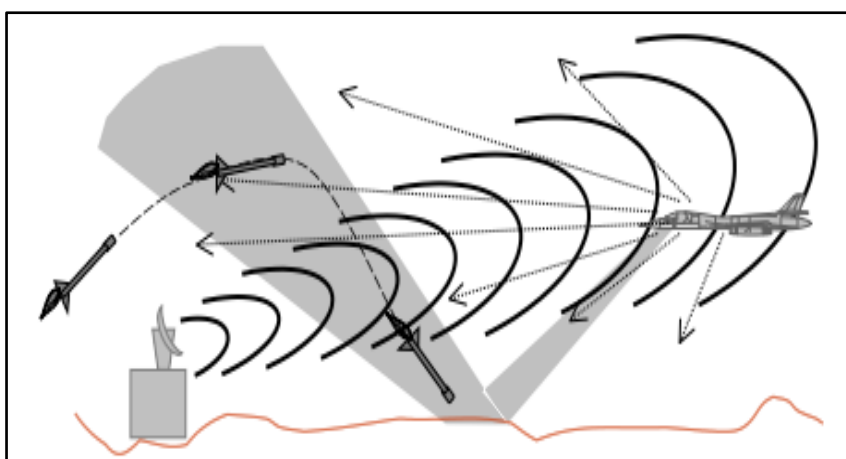
Ένας παρεμβολέας AGC μεταδίδει πολύ δυνατούς παλμούς περίπου σε συγχρονισμό με τον ρυθμό σάρωσης του ραντάρ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ραντάρ να μειώνει απότομα το κέρδος (ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί την πολύ ισχυρή επιστροφή) με αποτέλεσμα να μη λαμβάνει πλέον και τις υπόλοιπες επιστροφές σημάτων που πιθανόν υπάρχουν.



Εικ. 8.17
Παρεμβολή AGC

(4) Terrain Bouncing

Αν ένα αεροσκάφος ή βλήμα (σε χαμηλό ύψος) επανεκπέμπει το λαμβανόμενο σήμα ενισχυμένο αλλά σε κατεύθυνση προς το έδαφος (ή νερό) ώστε αυτό να ανακλαστεί, αναγκάζει στη περίπτωση ενός μονοπαλμικού ραντάρ να «στοχεύσει» χαμηλότερα ή το καθοδηγούμενο από ραντάρ βλήμα να χάσει το στόχο, κατευθυνόμενο προς τη γη.



Εικ. 8.18
Terrain Bouncing

(5) Active Cancellation

Η τεχνική αυτή βασίζεται στην ιδέα της επανεκπομπής ενός σήματος ραντάρ προς το ραντάρ με τροποποιημένη φάση ώστε λόγω της καταστροφικής συμβολής στο ραντάρ να φτάνει από πολύ χαμηλή έως καθόλου ισχύ. Αν και επίσημα δεν

υπάρχει ακόμα σύστημα ηλεκτρονικού πολέμου που να χρησιμοποιεί αυτή τη τεχνική, φημολογείται πως το σύστημα αυτοπροστασίας SPECTRA που υπάρχει στα γαλλικά αεροσκάφη RAFALE καθώς έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν πειράματα σε αυτή τη τεχνική από τις εταιρίες THALES και MBDA οι οποίες και κατασκευάζουν το υπόψη σύστημα, χρησιμοποιεί αυτή την τεχνική.

(6) Τύποι Παρεμβολέων

Ανάλογα με την αποστολή, μπορούμε να έχουμε την ακόλουθη κατηγοριοποίηση:

(α) Παρεμβολείς αυτοπροστασίας

Προστατεύουν την πλατφόρμα από την οποία φέρονται (Αεροσκάφη, Ε/Π ή Πλοία), μέσω τεχνικών θορύβου και παραπλάνησης. Οι περισσότεροι από αυτούς τους παρεμβολείς, σε περίπτωση ταυτοποίησης μιας απειλής, μπορούν να λειτουργήσουν ανεξάρτητα – αυτόματα για να προστατέψουν τον φορέα.



Εικ. 8.19

Παρεμβολείς σε pod και παρεμβολέας για εγκατάσταση στο εσωτερικό του αεροσκάφους

(β) Παρεμβολείς Συνοδείας (Escort Jammer)

Είναι παρεμβολείς που έχουν σκοπό την προστασία των φίλιων μέσων κατά τη διάρκεια μιας αποστολής. Συνήθως οι παρεμβολείς συνοδείας είναι αυξημένων δυνατοτήτων και μεγάλης ισχύος και παρεμβάλουν ρανταρ έρευνας με τεχνικές θορύβου και ψευδών στόχων.

(γ) Παρεμβολείς εξ' Αποστάσεως (Stand-Off Jammers)

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν επίγειοι ή εναέριοι παρεμβολείς οι οποίοι είναι τόσο ικανοί και ισχυροί, ώστε να υποστηρίζουν τα φίλια τμήματα από απόσταση τόσο όση να βρίσκονται εκτός της επικύνδινης εχθρικής περιοχής. Οι παρεμβολείς συνοδεύουν τις περισσότερες φορές είναι και Stand-off παρεμβολείς.

**Εικ. 8.20**

EA-18G Growler. Escort – Standoff Jammer της πολεμικής αεροπορίας των ΗΠΑ

(δ) Επίγειοι Παρεμβολείς (Ground Jammers)

Είναι οι παρεμβολείς που βρίσκονται σε επίγεια οχήματα ή πλοία και δεν χρησιμοποιούνται για αυτοπροστασία αλλά για υποστήριξη άλλων μέσων ή τη διεξαγωγή Η/Π. Λόγω της μη ύπαρξης περιορισμών χώρου (όπως στα αεροσκάφη), η ισχύς αυτών των παρεμβολέων είναι πολλαπλάσια. Όπως είναι λογικό οι επίγειοι παρεμβολείς είναι Stand-off παρεμβολείς.

**Εικ. 8.21**

Επίγειος Παρεμβολέας

β. Μηχανικά Μέσα**(1) Αερόφυλλα (Chaff)**

Τα αερόφυλλα είναι δίπολα κατασκευασμένα από ελαφριά διηλεκτρικά υλικά (αρχικά χρησιμοποιούνταν αλουμίνιο για αυτό και συχνά αναφέρονται και ως αλουμινόφυλλα) πολύ μικρού πλάτους και μήκους $\lambda/2$ (λ είναι το μήκος του κύματος του ραντάρ που θα χρειαστεί να παραπλανήσουν). Εκτοξεύονται από φορέα σε πακέτα, το κάθε ένα από τα οποία περιέχει μεγάλο αριθμό δίπολων (τάξης 10^6).

Μετά την εκτόξευσή τους, δημιουργούν ένα «νέφος» μεγάλης ανακλαστικής επιφάνειας η οποία αυξάνει σταδιακά και στη συνέχεια εξαφανίζεται. Τα αερόφυλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τρόπους όπως:

(α) Δημιουργία διαδρόμου μέσα από τον οποίο θα περάσει σχηματισμός φίλιων μέσων (π.χ. αεροσκάφη). Σε αυτή την περίπτωση γίνεται μαζική άφεση μεγάλου αριθμού chaff σε ευθεία γραμμή δημιουργώντας έτσι έναν «διάδρομο» διάρκειας μερικών λεπτών (αναλόγως του ύψους και της έντασης του αέρα). Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου είναι ιδιαίτερα μικρή πλέον λόγω της δυνατότητας απαλοιφής των chaff από τα σύγχρονα ραντάρ Pulse Doppler.

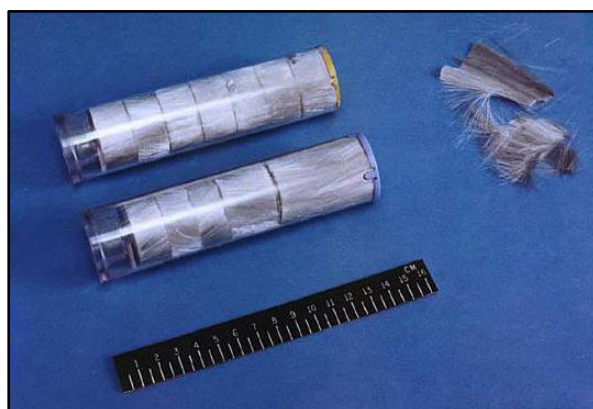
(β) Δημιουργία ψευδών στόχων ώστε να δυσχεράνει τον εγκλωβισμό. Η άφεση γίνεται σε «πακέτα», περιμετρικά του φορέα (π.χ. πλοίο). Και αυτή η μέθοδος έχει μικρή αποτελεσματικότητα στα σύγχρονα Pulse Doppler ραντάρ.

(γ) Απεγκλωβισμός (Break Lock): Έπειτα από ένδειξη εγκλωβισμού (π.χ. μέσω RWR) γίνεται άφεση chaff σε κατάλληλη ποσότητα, κατάλληλο χρονικό διαχωρισμό και σε συνδυασμό με ελιγμό. Εάν αυτό πραγματοποιηθεί μέσα στο κέλυφος του ραντάρ και ο φορέας καταφέρει να μετακινηθεί εκτός αυτού, τότε ο εγκλωβισμός θα παραμείνει στα chaff (αφού αυτά παραμένουν στο αρχικό κέλυφος και έχουν μεγαλύτερο RCS) και ο φορέας θα καταφέρει να διαφύγει. Η κάλλιστη συνθήκη για εκτέλεση του ελιγμού αυτού είναι με αλλαγή πορείας 90° και άφεση των chaff στις 45° περίπου. Αυτή η μέθοδος ακόμη και με τα σύγχρονα ραντάρ, παρουσιάζει αρκετά καλά αποτελέσματα. Στα σύγχρονα συστήματα αυτοπροστασίας, ο τρόπος άφεσης των chaff, αναλόγως της απειλής που ανιχνεύεται, μπορεί να είναι αυτοματοποιημένος. Επίσης τα πακέτα των chaff μπορούν να είναι της κατηγορίας «στενού εύρους ζώνης

συχνοτήτων», όπου τα δίπολα έχουν το ίδιο μήκος $\lambda/2$, ή «ευρείας ζώνης συχνοτήτων», όπου το πακέτο περιέχει δίπολα διαφόρων μηκών με σκοπό την αντιμετώπισης ραντάρ διαφορετικών συχνοτήτων λειτουργίας.

(2) Δολώματα (Decoys)

Τα δολώματα είναι συσκευές διαφόρων διαστάσεων οι οποίες έχουν σα σκοπό να εμφανίζονται ως πιο «ελκυστικοί» στόχοι σε όπλα κατευθυνόμενα με ραντάρ, ώστε να προστατεύσουν τον φορέα από τον οποίο χρησιμοποιούνται. Τα δολώματα μπορεί να είναι παθητικά τα οποία δεν εκπέμπουν ακτινοβολία και κατασκευάζονται έτσι ώστε να έχουν μεγαλύτερο RCS από τον φορέα που προστατεύουν, ή ενεργητικά τα οποία επιπλέον μπορούν να εφαρμόζουν τεχνικές παρεμβολής ή παραπλάνησης αναλόγως της ανιχνευόμενης απειλής από τον φορέα ή εκπέμπουν Η/Μ ακτινοβολία τέτοια ώστε να προσομοιάζει τον φορέα (π.χ. δολώματα πλοίων εκπέμπουν Η/Μ παρόμοια με το ραντάρ πλοήγησης).



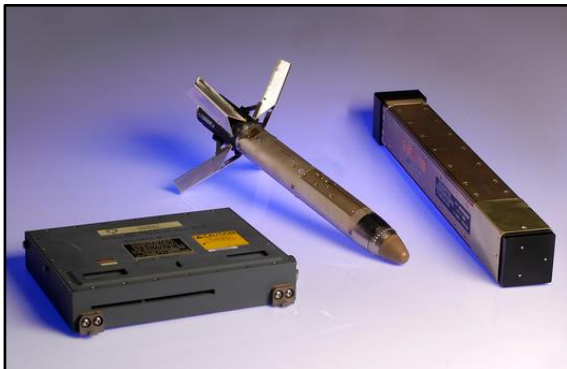
Εικ. 8.22

Επάνω: Σύγχρονα chaffs. Ο αριστερός φορέας περιέχει 3 εκατομμύρια chaffs διαφόρων μηκών.

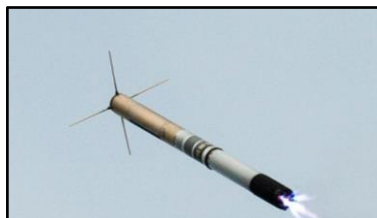
Κάτω: Chaffs Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Λωρίδες αλουμινίου ή ύφασμα με επικάλυψη αλουμινίου ήταν οι πιο διαδεδομένες τεχνικές κατασκευής chaff.

Τα δολώματα μπορεί να είναι αναλώσιμα (expendable decoys) τα οποία εκτοξεύονται από τον φορέα και δεν χρησιμοποιούνται ξανά ή ρυμουλκούμενα (towed decoys) τα οποία σε περίπτωση απειλής, απελευθερώνονται από τον φορέα και παραμένουν

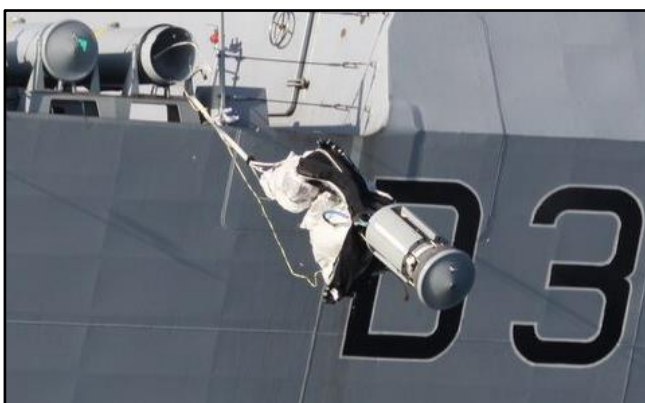
σε μικρή απόσταση από αυτόν, συνδεδεμένα μέσω κάποιου καλωδίου ή συρματοσχοι-
νου και ανασύρονται όταν εκλείψει η απειλή και μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν.

**Εικ. 8.23**

*AN/ALE-55 Towed Decoy. Φέρεται από τα αεροσκάφη F-18 των ΗΠΑ. Συνδέεται με το σύστημα αυτοπροστασίας του αεροσκάφους και μπορεί να εκτελέσει μια πληθώρα ει-
δών παρεμβολών αναλόγως της φύσης της απειλής. Παρόμοια decoy (ANALE-70) κατα-
σκευάζονται για τα αεροσκάφη F-35.*

**Εικ. 8.24**

*Nulka, ενεργητικό decoy που χρησιμοποιείται από ναυτικές δυνάμεις. Όταν τα συστήματα αυτοπροστασίας του πλοίου ανιχνεύσουν την ακτινοβολία από τα ραντάρ εισερχόμενων πυραύλων, το εν λόγω δόλωμα εκτοξεύ-
εται ακολουθώντας μια προδιαγεγραμμένη πορεία στον αέρα κατά τη διάρκεια της οποίας εκπέμπει ίχνος το ο-
ποίο προσομοιάζει το RCS του πλοίου, οδηγώντας έτσι τον πύραυλο μακριά από αυτό.*

**Εικ. 8.25**

FDS (Floating Decoy System). Λειτουργούν με την ίδια λογική των Nulka, όπως περιεγράφηκε παραπάνω, με τη διαφορά ότι επιπλέουν αντί να ίπτανται στον αέρα.

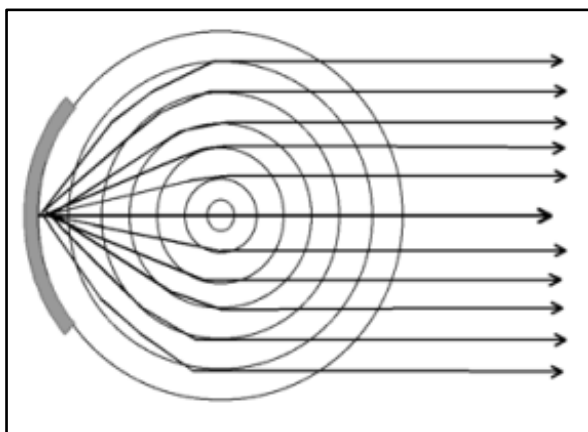
(3) Ανακλαστήρες

Οι ανακλαστήρες χρησιμοποιούνται για την αύξηση της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας σε ένα ραντάρ. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται μεγάλη αύξηση του RCS. Χρησιμοποιούνται με πολλούς τρόπους όπως για παράδειγμα σε φθηνά decoys ή στο έδαφος δημιουργώντας ψευδείς στόχους. Οι συνηθέστεροι είναι οι γωνιακοί ανακλαστήρες και οι φακοί Luneburg.



Εικ. 8.26

Γωνιακός ανακλαστήρας μικροκυμάτων. Τα FDS decoys που αναφέρθηκαν προηγουμένως είναι και γωνιακοί ανακλαστήρες.



Εικ. 8.27

Οι φακοί Luneburg κατασκευάζονται από πολλαπλά σφαιρικά τμήματα διαφορετικών διηλεκτρικών μεγεθών τα οποία ενώνονται σαν τις στρώσεις του κρεμμυδιού. Τα Η/Μ κύματα που προσπίπτουν σε αυτόν, ανακλώνται από μια μεταλλική πλάκα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Το πλεονέκτημα των φακών Luneburg έναντι των γωνιακών ανακλαστήρων είναι ότι η ακτινοβολία ανακλάται ενιαία με 4πλάσια ισχύ από αυτή του γωνιακού ανακλαστήρα.

γ. Όπλα Αντι-ακτινοβολίας (Αντιραντάρ)

Πρόκειται για πυραύλους, βλήματα ή UAV, τα οποία ανιχνεύουν την πηγή της ακτινοβολίας και κατευθύνονται σε αυτή (σχεδόν πάντα αυτόματα) με σκοπό την καταστροφή της πηγής της. Συνήθως έχουν μια βάση δεδομένων ακτινοβολιών στην οποία υπάρχει και μια ιεράρχηση των «απειλών». Τα όπλα αυτά χρησιμοποιούνται κατά κόρον στις επιχειρήσεις SEAD.

**Εικ. 8.28**

AGM-88 HARM. Ίσως το πιο γνωστό όπλο αυτού του είδους. Συχνότητες ανιχνεύσεως 0.5 – 20 GHz. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν δεύτερος δέκτης RWR χωρίς να αφαιρεθεί από τον φορέα. Εκρηκτική κεφαλή 66 Kg.

**Εικ. 8.29**

Harop (Harpy 2) «Αυτοκτονικό» UAV το οποίο μπορεί να ελεγχθεί και από σταθμό εδάφους. Κατευθύνεται αυτόματα στην πηγή της ακτινοβολία ή χειροκίνητα από τον χειριστή εδάφους. Λόγω του μικρού RCS είναι δύσκολα ανιχνεύσιμο. Εκρηκτική κεφαλή 23 kg.

8.3 Ηλεκτρονική Προστασία

Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι ηλεκτρονικής προστασίας έχουν σαν σκοπό να αντιμετωπίσουν την ηλεκτρονική επίθεση του αντιπάλου ενώ παράλληλα επιτρέπουν στο φίλιο ραντάρ να λειτουργεί. Χωρίζονται σε ενεργητικά μέτρα, τα οποία σχετίζονται με χαρακτηριστικά εκπομπής και σε παθητικά στα οποία περιλαμβάνονται ειδικά «αντιπαρεμβολικά» κυκλώματα ή μηχανισμοί τα οποία δεν επηρεάζουν την εκπομπή ενός ραντάρ. Οι σημαντικότερες μέθοδοι είναι:

α. Αύξηση Λαμβανόμενης Ισχύος

Αποσκοπεί στο να καταστήσει το λαμβανόμενο σήμα του ραντάρ, ισχυρότερο από αυτό της παρεμβολής. Χρησιμοποιείται κυρίως εναντίον παρεμβολών θορύβου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

- (1) Αύξηση της εκπεμπόμενης ισχύος
- (2) Χρήση κεραίας – δέκτη υψηλού κέρδους
- (3) Αύξηση της PRF (Μείωση μέγιστης σαφούς απόστασης)
- (4) Αύξηση του PW (Μείωση διαχωριστικής ικανότητας)

β. Frequency Diversity – Frequency Agility

Frequency diversity είναι η ικανότητα ενός ραντάρ να λειτουργεί σε περισσότερες από μία συχνότητες ταυτόχρονα, ενώ Frequency Agility η ικανότητα ενός ραντάρ να αλλάζει τη συχνότητα εκπομπής (είτε με συγκεκριμένο μοτίβο είτε με τη χρήση αλγορίθμου – ψευδοτυχαία). Η αλλαγή της συχνότητας μπορεί να γίνεται είτε κάθε λίγους παλμούς (Pulse Group Agility), είτε σε κάθε παλμό (Pulse to Pulse Agility) είτε με την ολοκλήρωση μιας περιόδου σάρωσης (π.χ. μιας περιστροφής του ραντάρ) (Scan to Scan Agility).

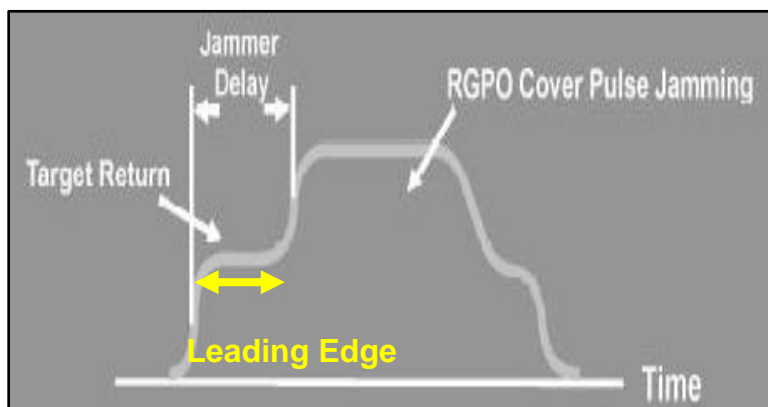
Οι παραπάνω μέθοδοι, αναγκάζουν τους παρεμβολείς, στην πιο απλή περίπτωση να χρησιμοποιούν τεχνικές παρεμβολής ευρείας ζώνης (πιο αδύναμες) όπως Barrage ή Swept, και αφετέρου καθιστούν τη δημιουργία ψευδών στόχων σε απόσταση μικρότερη από την πραγματική, εξαιρετικά δύσκολη (ειδικά στην Pulse to Pulse Agility) καθώς απαιτείται χρόνος από τον παρεμβολέα για να «αντιληφθεί» την συγκεκριμένη εκπομπή, να την επεξεργαστεί και στη συνέχεια να την επανεκπέμψει προς το ραντάρ, κατά τον οποίο το ραντάρ μπορεί να έχει αλλάξει ήδη τη συχνότητα εκπομπής του.

γ. Μεταβλητή PRF

Η μεταβλητή PRF εκτός από την εύρεση απόστασης όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση παρεμβολών ψευδών στόχων που εμφανίζονται σε αποστάσεις μικρότερες του πραγματικού (π.χ. RGPI), καθώς δυσχεραίνει την τοποθέτηση του ψευδούς παλμού εντός της πύλης απόστασης. Η PRF μπορεί να αλλάζει με συγκεκριμένο μοτίβο οπότε καλείται Staggered ή ψευδοτυχαία, οπότε καλείται Jittered.

δ. Leading Edge Range Tracking

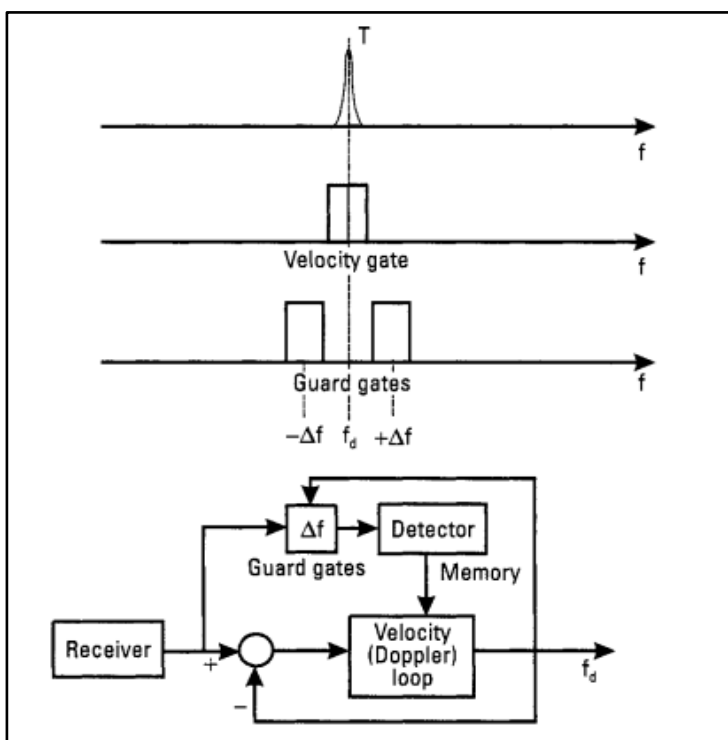
Χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της τεχνικής RGPO. Βασίζεται στο γεγονός ότι η ψευδής παλμική επιστροφή από τον παρεμβολέα έχει χρονική καθυστέρηση ως προς την πραγματική ηχώ. Συνεπώς



αν γίνει «εγκλωβισμός» του μπροστινού άκρου (Leading Edge) από το σύνολο των επιστροφών και απορριφθεί το υπόλοιπο σήμα, το ραντάρ δεν θα εξαπατηθεί. Η τεχνική αυτή ανήκει στα παθητικά μέτρα καθώς αφορά μόνο επεξεργασία από τον δέκτη.

ε. Guard Gates

Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων γύρω από την πύλη ταχύτητας (ή απόστασης). Τη στιγμή που ο δέκτης ανιχνεύσει μια πρόσθετη επιστροφή (από τον παρεμβολέα), τα μέχρι τώρα στοιχεία της πύλης ταχύτητας (απόστασης) αποθηκεύονται προσωρινά στη μνήμη (guard gate) για περιορισμένο χρονικό διάστημα. Μόλις η παρεμβολή σταματήσει, το σύστημα επαναφέρει την πραγματική πύλη ταχύτητας (απόστασης) από τα αποθηκευμένα στοιχεία στη μνήμη. Αν ο παρεμβολέας συνεχίσει να παρεμβάλλει το σύστημα για χρόνο μεγαλύτερο από αυτό που αποθηκεύεται στη μνήμη, το ραντάρ μεταπίπτει συνήθως σε λειτουργία η οποία καλείται Track on Jamming.



Εικ. 8.30

Velocity Guard Gates

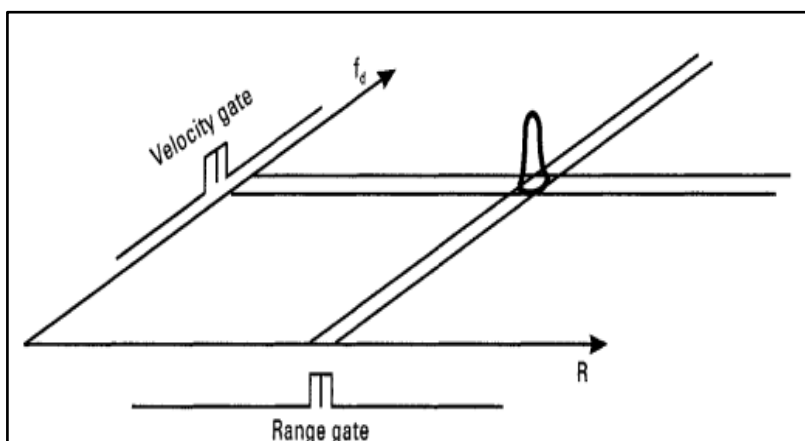
στ. Track on Jam

Σε εξαιρετικές περιπτώσεις που λόγω παρεμβολών το ραντάρ δεν μπορεί να εξαγάγει στοιχεία απόστασης και κατεύθυνσης είναι δυνατή η εξαγωγή μόνο των στοιχείων διόπτευσης από το σήμα του ίδιου του παρεμβολέα. Σε περίπτωση που

πρόκειται για ραντάρ καθοδήγησης βλημάτων, χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι κατεύθυνσης οι οποίες δεν απαιτούν τα δεδομένα ταχύτητας και απόστασης (αλλαγές στο τρόπο κατεύθυνσης και ενεργοποίησης του ραδιοπυροσωλήνα).

ζ. Double Tracking

Στα περισσότερα ραντάρ που χρησιμοποιούν ανάλυση FFT (Fast Fourier Transform) για την επεξεργασία των επιστρεφόμενων σημάτων, κάθε ίχνος χαρακτηρίζεται ταυτόχρονα από την πύλη ταχύτητας και απόστασης (Double Tracking). Σε περίπτωση που ο παρεμβολέας επιχειρήσει να μεταβάλει την πύλη απόστασης (ή την πύλη ταχύτητας) με στοιχεία τα οποία δεν είναι συνεκτικά (coherent) με την πύλη ταχύτητας (απόστασης), το σήμα αυτό αγνοείται. Η επεξεργασία FFT είναι γενικότερα ένα πολύ δυνατό εργαλείο στην ηλεκτρονική προστασία.



Εικ. 8.31

Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας Double Tracking

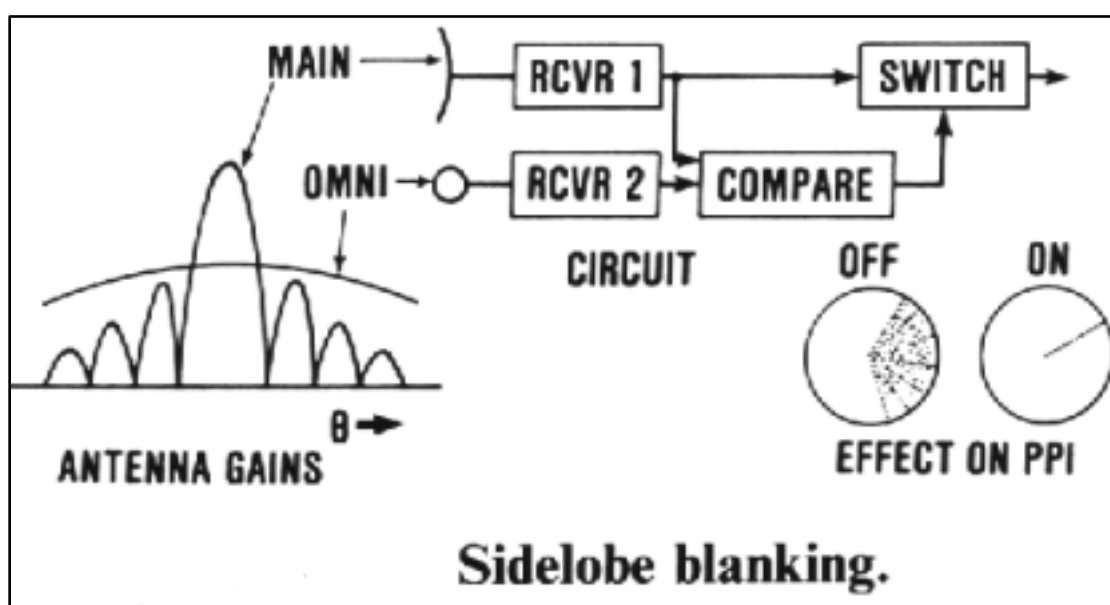
η. Συμπίεση Παλμού

Η συμπίεση παλμού, εκτός από τη βελτίωση στη διακριτική ικανότητα και την απόστασης αποκάλυψης, όπως έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, αποτελεί και ενεργητική τεχνική ηλεκτρονικής προστασίας καθώς αυξάνει την μέση ισχύ εκπομπής.

θ. Αμαύρωση Πλευρικών Λοβών

Η τεχνική «αμαύρωσης πλευρικών λοβών» (Side Lobe Blanking, SLB) χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση των παρεμβολών που εισέρχονται (λόγω έντασης) στον δέκτη από τους πλευρικούς λοβούς της κεραίας. Για την εφαρμογή απαιτείται μια επιπλέον βοηθητική πανκατευθυντική (Omnidirectional) κεραία, με κέρδος μεγαλύτερο από αυτό των πλευρικών αλλά μικρότερο από αυτό του κύριου λοβού της

κύριας κεραίας. Οι ισχύς των λαμβανόμενων σημάτων και από τις δύο κεραίες συγκρίνονται μεταξύ τους και αν το σήμα της βοηθητικής κεραίας είναι ισχυρότερο από αυτό της κύριας, τότε απορρίπτεται ως θόρυβος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην εισέρχονται προς επεξεργασία στο δέκτη σήματα από πλευρικούς ή οπίσθιους λοβούς. Επιπρόσθετα είναι και το μέσο ώστε να είναι δυνατή η εύρεση της διόπτευσης παρεμβολής θορύβου (Track on Jam) όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Η παραπάνω τεχνική δεν ακυρώνει την εκπομπή του ραντάρ από πλευρικούς ή οπίσθιους λοβούς οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν από εχθρικά όπλα αντι-ακτινοβολίας.

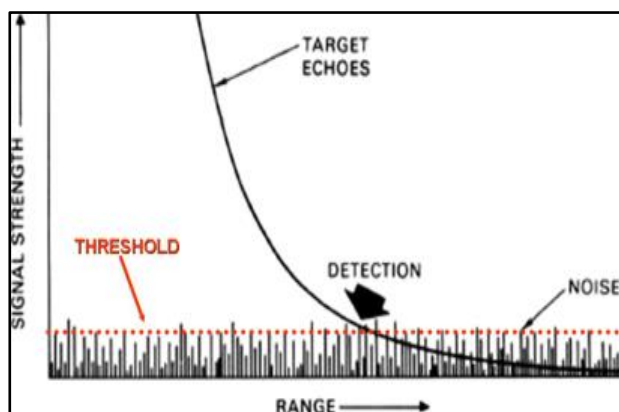


Εικ. 8.32

Απεικόνιση τρόπου αμαύρωσης πλευρικών λοβών

Ι. Constant False Alarm Rate (CFAR)

Η τεχνική CFAR αφορά στη ρύθμιση (με τη χρήση κατάλληλου προσαρμοστικό αλγόριθμο) του ορίου αποδοχής στόχων (Threshold) στο δέκτη ώστε να διατηρείται σταθερός ο ρυθμός εμφάνισης ψευδών στόχων. Ανάλογα με την ένταση του θορύβου ή του αριθμού των ψευδών στόχων που εισέρχονται στο δέκτη, μεταβάλλεται το Threshold με σκοπό να απεικονίζεται στον ενδείκτη του ραντάρ μια πιο «καθαρή» εικόνα. Η τεχνική αυτή έχει αποτέλεσμα κυρίως σε παρεμβολές θορύβου ενώ έχει το μειονέκτημα ότι απαλείφει πραγματικούς στόχους χαμηλού RCS.



Εικ. 8.33

CFAR

ια. Διάκριση Εύρους Παλμού (Pulse Width Discrimination)

Η τεχνική PWD χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση παρεμβολής παραπλάνησης και για την παρεμβολή Cover Pulse. Συνίσταται στη διευκρίνιση και απόρριψη των λαμβανόμενων παλμών που δεν έχουν την ίδια διάρκεια (εύρος) με αυτούς που εκπέμπονται.

ιβ. Φίλτρα Πόλωσης

Με τη κατασκευή κατάλληλης διάταξης κεραιών ή με τη χρήση κατάλληλων φίλτρων πόλωσης, είναι δυνατή η εκπομπή σήματος ραντάρ καθορισμένης πόλωσης. Τα επιστρεφόμενα σήματα σε περίπτωση που έχουν διαφορετική πόλωση από το αρχικό θα έχουν ελάχιστη ισχύ στο δέκτη ενώ σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται φίλτρα, αυτά θα απορριφθούν τελείως.



Εικ. 8.34

Φίλτρα πόλωσης σε ραντάρ αντιαεροπορικών συστημάτων SA-8 (Αριστερά) και Skyguard (Δεξιά)

ιγ. Κεραίες Φασικής Διάταξης

Τα ραντάρ που χρησιμοποιούν κεραίες φασικής διάταξης παρουσιάζουν τόσο μικρό κέρδος στους πλευρικούς λοβούς που η ισχύς που απαιτείται για την παρεμβολή τους είναι τόσο μεγάλη που είναι πρακτικά εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί. Στα σύγχρονα ραντάρ φασικής διάταξης κέρδη των πλευρικών λοβών μπορεί να είναι και της τάξεως του -50dB σε σχέση με τον κύριο.

ιδ. Ειδικά Κυκλώματα Δέκτη

(1) Λογαριθμικός Ενισχυτής (Log Amplifier)

Ο λογαριθμικός ενισχυτής έχει λογαριθμική απόκριση στα σήματα εισόδου. Η έξοδος ενός τέτοιου ενισχυτή είναι ανάλογη του λογαρίθμου της ισχύος εισόδου. Καθώς αυξάνει το επίπεδο των σημάτων, το κέρδος του δέκτη μειώνεται. Το αποτέλεσμα αυτής της διάταξης είναι τα ισχυρά σήματα στον δέκτη να ενισχύονται λιγότερο από τα ασθενή. Τα μικρά σήματα, όπως η επιστροφή του RADAR από ένα στόχο, δέχονται μεγάλη ενίσχυση και τα μεγάλα σήματα, όπως τα σήματα παρεμβολής ή παρασιτικών επιστροφών, δέχονται μικρή ενίσχυση. Με αυτό τον τρόπο, μειώνεται η πιθανότητα ένα ισχυρό σήμα παρεμβολής να προκαλέσει ανεπιθύμητη συμπεριφορά στο δέκτη, όπως κορεσμό ή κωδωνισμό.

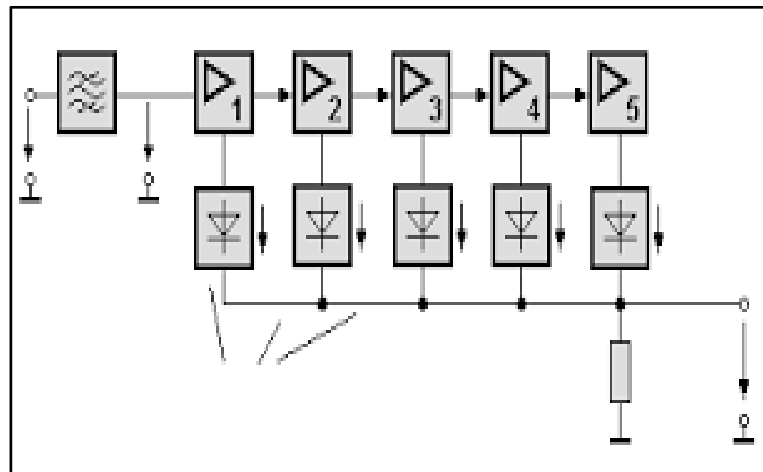
(2) Γραμμικός-Λογαριθμικός Ενισχυτής

Ο γραμμικός -λογαριθμικός ενισχυτής (linear – log amplifier) συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του γραμμικού και του λογαριθμικού δέκτη. Είναι παρόμοιος με τον λογαριθμικό, με την διαφορά ότι ενισχύει λογαριθμικά τα ισχυρά σήματα ενώ τα ασθενή τα ενισχύει γραμμικά. Η λειτουργία του είναι γραμμική για μικρά σήματα, μέχρι ενός ορισμένου επιπέδου σημάτων εισόδου που ονομάζεται σημείο διασταύρωσης. Τα σήματα πάνω από αυτό το επίπεδο υπόκεινται σε λογαριθμική ενίσχυση. Κατ' αυτό τον τρόπο, τα μικρά σήματα λαμβάνουν τη μέγιστη ενίσχυση ενώ τα μεγάλα μικρή. Η δυναμική περιοχή του γραμμικού - λογαριθμικού δέκτη υπερβαίνει εκείνη του γραμμικού δέκτη αλλά είναι μικρότερη από αυτή του λογαριθμικού.

(3) Δέκτης Dicke Fix

Ο δέκτης αυτός, περιλαμβάνει έναν ενισχυτή ευρείας ζώνης, έναν περιοριστή και έναν ενισχυτή στενής ζώνης σε σειρά. Το σήμα παρεμβολής ενισχύεται

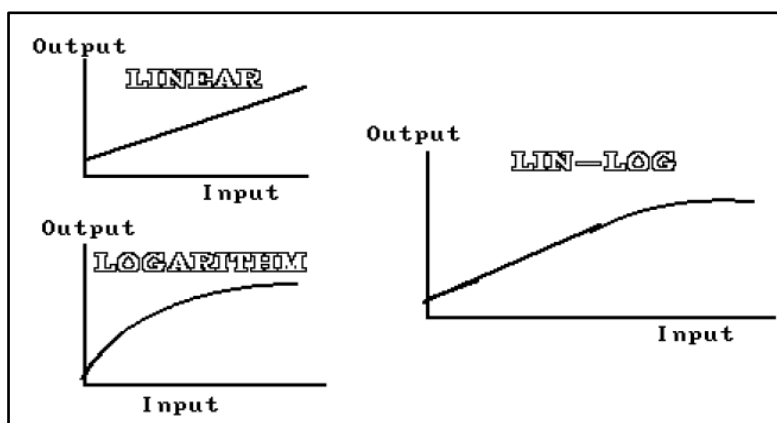
μαζί με την επιστροφή του πραγματικού στόχου στον ενισχυτή ευρείας ζώνης. Μετά την ενίσχυση, τα σήματα περιορίζονται κάτω από ένα ορισμένο πλάτος. Μ' αυτό τον τρόπο, ο θόρυβος και οι επιστροφές του στόχου διατηρούνται κάτω από ένα σταθερό εύρος. Στη συνέχεια τροφοδοτούνται σε έναν ενισχυτή στενής ζώνης. Αυτός ο ενισχυτής είναι συντονισμένος στη κεντρική συχνότητα λειτουργίας του ραντάρ. Έτσι, οι συχνότητες τυχαίου θορύβου ενισχύονται λιγότερο από την ηχώ του στόχου στον ενισχυτή στενής ζώνης. Ο δέκτης Dicke-Fix χρησιμοποιείται για να μειώσει την επίδραση του θορύβου. Ο συγκεκριμένος δέκτης δεν χρησιμοποιείται πλέον στα σύγχρονα ραντάρ καθώς σε περίπτωση συνεχούς (CW) παρεμβολής θορύβου παρουσιάζει κορεσμό αλλά εξακολουθεί να υπάρχει σε πάρα πολλά ραντάρ (κυρίως έρευνας).



Εικ. 8.35

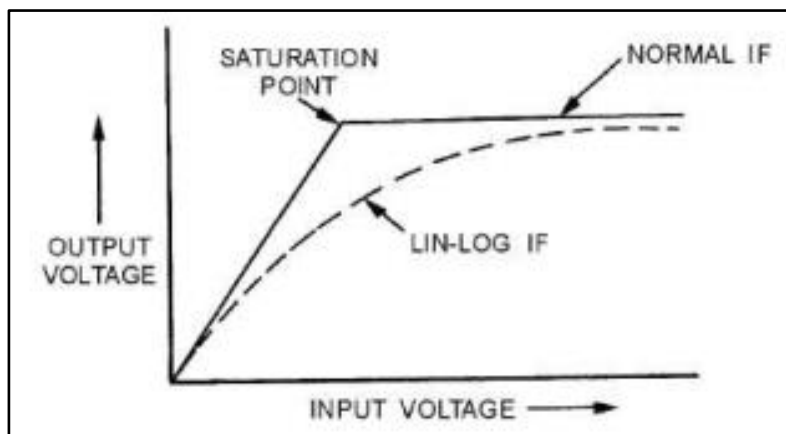
Απλό διάγραμμα λογαριθμικού ενισχυτή. Κάθε βαθμίδα διεγείρεται όταν κορεστεί η προηγούμενη και η τελική έξοδος είναι το άθροισμα των εξόδων κάθε διεγερμένης βαθμίδας.

Η ενίσχυση που γίνεται από κάθε βαθμίδα είναι διαφορετική (λογαριθμικά μειούμενη) ενώ στις αρχικές βαθμίδες (χαμηλή ένταση σήματος) η ενίσχυση είναι γραμμική)



Εικ. 8.36

Είδη ενίσχυσης δέκτη



Εικ. 8.37

Σύγκριση σημείων κο-
ρεσμού γραμμικού και λογα-
ριθμικού ενισχυτή

ιε. LPI Radar

Ο όρος LPI (Low Probability of Intercept) Radar αφορά μια κατηγορία ραντάρ όπου με κατάλληλη επιλογή της εκπεμπόμενης κυματομορφής η οποία προκύπτει από εξελιγμένους αλγόριθμους, στερεί ή δυσχεραίνει κατά πολύ την αποκάλυψη από έναν εχθρικό δέκτη ESM, και καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την αποκωδικοποίησή της σε περίπτωση που αυτή τελικά ανιχνευτεί. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που ενσωματώνονται στα ραντάρ LPI είναι:

(1) Κεραίες Χαμηλών Πλευρικών Λοβών

Η ύπαρξη χαμηλών λοβών ελαττώνει την πιθανότητα αποκάλυψης και παρεμβολής του ραντάρ από διοπτρεύσεις εκτός του κυρίως λοβού. Με χρήση παραβολικών κεραιών αλλά κυρίως κεραιών φασικής διάταξης είναι δυνατό να επιτευχθεί μεγάλη μείωση των πλευρικών λοβών. Το κέρδος των πλευρικών λοβών για ένα ραντάρ LPI πρέπει να είναι τουλάχιστον -45 dB.

(2) Ψευδοτυχαία Μεταβολή Ρυθμού Σάρωσης

Με τη χρήση ψευδοτυχαίων pattern σάρωσης γίνεται εξαιρετικά δύσκολο να ανιχνευτεί (καθώς ο χρόνος είναι πολύ μικρός) και να ταυτοποιηθεί ένα ραντάρ. Αυτή η μέθοδος αφορά τα σύγχρονα ραντάρ AESA τα οποία έχουν την ικανότητα σάρωσης ενός χώρου με τη χρήση διαφορετικών δεσμών και μάλιστα και σε διαφορετικές συχνότητες, όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

(3) Ισχύς Εκπομπής

Στα LPI Παλμικά ραντάρ ο παλμός έχει πολύ μεγαλύτερη διάρκεια από τα συμβατικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μέση ισχύ να παραμένει η ίδια με

αυτή ενός συμβατικού αλλά με το δεύτερο να έχει πολλαπλάσια μέγιστη ισχύ με συνέπεια να είναι πολύ πιο εύκολα ανιχνεύσιμο. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι πως με τον τρόπο αυτό, ελαττώνεται η μέγιστη απόστασης αποκάλυψης.

Οι τεχνικές συμπίεσης παλμού (όπως αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο) συμβάλουν κατά μεγάλο βαθμό στη μείωση της μέγιστης ισχύς εκπομπής.

Μια άλλη τεχνική είναι η δυνατότητα ενός ραντάρ να ρυθμίζει την ένταση εκπομπής αναλόγως της απόστασης που βρίσκονται τα ίχνη. Η τεχνική αυτή ονομάζεται DPC (Dynamic Power Control) ή TPC (Transmit Power Control) και ένα παράδειγμα εφαρμογής της είναι το αντιαεροπορικό σύστημα CROTALE το οποίο αφού ανιχνεύσει και εγκλωβίσει έναν στόχο, τότε αυτόματα μειώνει την ένταση της εκπομπής στο ελάχιστο δυνατό όριο που μπορεί να διατηρηθεί ο εγκλωβισμός.



Εικ. 8.38

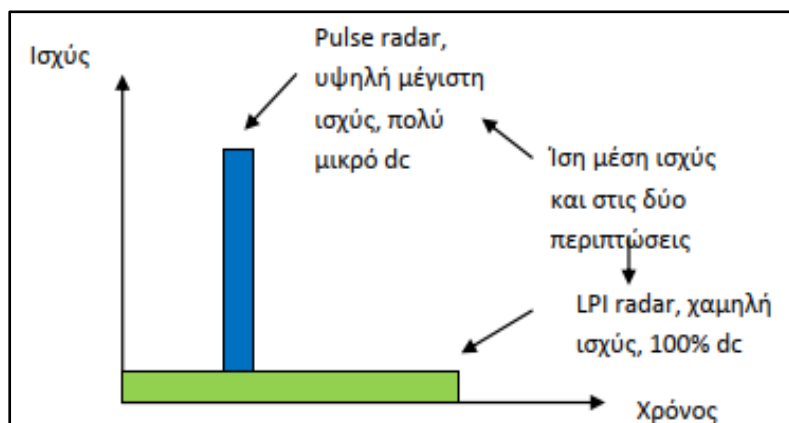
Crotale NG. Το σύστημα διαθέτει και η Ελλάδα σε ΠΑ και ΠΝ.

(4) Κυματομορφές

Οι κυματομορφές που χρησιμοποιούνται στα LPI ραντάρ γενικά περιλαμβάνουν επιπλέον χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα υψηλή κωδικοποίηση ώστε ακόμη και αν αποκαλυφθεί η εκπομπή να ελαχιστοποιείται η δυνατότητα αποκωδικοποίησης από παρεμβολείς DRFM και ταυτοποίησης από τα εχθρικά συστήματα ELINT.

Όσον αφορά τα ραντάρ CW, χρησιμοποιούνται ραντάρ με διαμόρφωση συχνότητας (FM-CW) στα οποία η μετατόπιση μπορεί να συμβαίνει με ψευδοτυχαίο τρόπο ή με μετατόπιση φάσης (Phase Shift Keying) με τη χρήσης κάποιου κώδικα όπως από τον απλό κώδικα Barker (τιμές +1 και -1) μέχρι πιο περίπλοκους κώδικες (Polyphase codes).

Στα παλμικά ραντάρ οι τεχνικές συμπίεσης παλμού κατά συχνότητα με γραμμική, μη γραμμική ή μεταβαλλόμενη με το χρόνο διαμόρφωση (όπως η διαμόρφωση Costas Code) ή με διαμόρφωση κατά φάση είναι οι κυριότερες τεχνικές. Στα σύγχρονα ραντάρ χρησιμοποιείται η υβριδική διαμόρφωση PSK/FSK κατά την οποία το σήμα εκπέμπεται σε πολλές διαφορετικές συχνότητες με βάση κάποιο κώδικα αναπήδησης (Frequency Agility) και συμπίεση παλμού διαμόρφωσης φάσης.



Εικ. 8.39

Σύγκριση παλμικού και LPI ραντάρ

(5) Πολυστατικά Ραντάρ

Μια ιδιαίτερη κατηγορία LPI ραντάρ είναι αυτά που χρησιμοποιούν διαφορετικές κεραίες εκπομπής και διαφορετική λήψης η οποίες διαχωρίζονται φυσικά με μεγάλη απόσταση. Η πιο απλή υλοποίηση είναι τα διστατικά ραντάρ τα οποία χρησιμοποιούν μία κεραία εκπομπής και μια λήψης. Τα ραντάρ που έχουν περισσότερες από μία κεραίες λήψης ή εκπομπής καλούνται πολυστατικά. Η γενικότερη ιδέα πίσω από αυτά τα ραντάρ είναι η εκπομπή μιας φαρδιάς δέσμης χαμηλής συχνότητας της τάξης VHF η οποία αφενός είναι δύσκολα ανιχνεύσιμη (λόγω χαμηλής ισχύος αλλά και μπάντας συχνοτήτων) και αφετέρου λόγω πολλαπλών κεραιών λήψης είναι πιθανή η λήψη από κάποια από αυτές επιστροφής κατάλληλης ισχύος ώστε να είναι δυνατή η ανίχνευση αεροσκαφών STEALTH. Στη πράξη τέτοια ραντάρ είναι ελάχιστα και λόγω του μήκους κύματος και της ακρίβειας που παρέχουν, χρησιμοποιούνται μόνο για παροχή έγκαιρης προειδοποίησης.

Μα άλλη κατηγορία είναι τα λεγόμενα «παθητικά» ραντάρ τα οποία στην ουσία είναι κατάλληλοι δέκτες οι οποίοι ανιχνεύουν τις ανακλάσεις των αεροσκαφών (ή πλοίων) από άλλες πηγές Η/Μ ακτινοβολίας (π.χ. σήμα τηλεόρασης, ραδιοφώνου, τηλεφωνίας). Με χρήση τεχνολογιών συσχέτισης μεταξύ ενός σήματος που προέρχεται απευθείας από την πηγή και αυτού που ανακλάται είναι σε θέση να εντοπίσουν τη θέση του στόχου αλλά με μικρή μέχρι τώρα ακρίβεια.

**Εικ. 8.40**

52E6MU Struna-1MU. Επάνω διακρίνεται η κεραία εκπομπής και η κεραία λήψης (οι αποστάσεις δεν είναι πραγματικές) και κάτω ο σταθμός ελέγχου.

Το ραντάρ αυτό λειτουργεί με ισχύ μόλις 1-10W και σε συχνότητα γύρω από 450 MHz. Τέθηκε σε επιχειρησιακή χρήση το 2000 και είναι από τα ελάχιστα παραδείγματα λειτουργικού διστατικού ραντάρ.

**Εικ. 8.41**

Επάνω δεξιά: Κινέζικο παθητικό ραντάρ DWL-002

Επάνω αριστερά: Παθητικά ραντάρ TwInvis της εταιρίας HENSOLDT

Κάτω: Τσέχικο παθητικό ραντάρ VERA-NG



A/A	ΕΙΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΕΠΙΘΕΣΗΣ	ΑΝΤΙΜΕΤΡΑ
1	Spot Noise Jamming	1. Αλλαγή συχνότητας εκπομπής 2. Frequency agility
2	Barrage Noise Jamming	1. Αύξηση πλάτους παλμού 2. Αύξηση κέρδους δέκτη 3. Αύξηση ισχύος εκπομπής
3	Sweep Noise Jamming	1. Αλλαγή συχνότητας εκπομπής 2. Frequency agility 3. Αύξηση πλάτους παλμού 4. Αύξηση κέρδους δέκτη 5. Αύξηση ισχύος εκπομπής
4	RGPO	1. PRF Jitter/Staggered 2. Frequency agility 3. Leading edge tracking 4. Double tracking
5	VGPO	1. PRF Jitter/Staggered 2. frequency agility 3. Leading edge tracking 4. Double tracking, 5. Guard gate
6	Cover Pulse Jamming	1. Αύξηση πλάτους παλμού 2. Αύξηση κέρδους δέκτη 3. Αύξηση ισχύος εκπομπής
7	Inverse Gain Jamming	1. Monopulse 2. LORO/COSRO 3. Frequency agility 4. PRF Jitter/Staggered 5. Random conical scan frequency
8	Cross Eye	1. Αλλαγή συχνότητας εκπομπής 2. Frequency agility 3. Αύξηση πλάτους παλμού 4. Αύξηση κέρδους δέκτη 5. Αύξηση ισχύος εκπομπής
9	Cross Polarization	1. Φίλτρο πόλωσης 2. Φασικές κεραίες 3. Αμαύρωση πλευρικών λοβών
10	Active Cancelation	1. Frequency agility 2. PRF Jitter/Staggered 3. Πολλαπλά ραντάρ
11	Κορεσμός Δέκτη (AGG)	Χειροκίνητος έλεγχος κέρδους
12	RGI/VGPI	1. Ψευδοτυχαίο frequency agility 2. Ψευδοτυχαία αλλαγή PRF 3. Ψευδοτυχαία συμπίεση παλμού

Εικ. 8.42

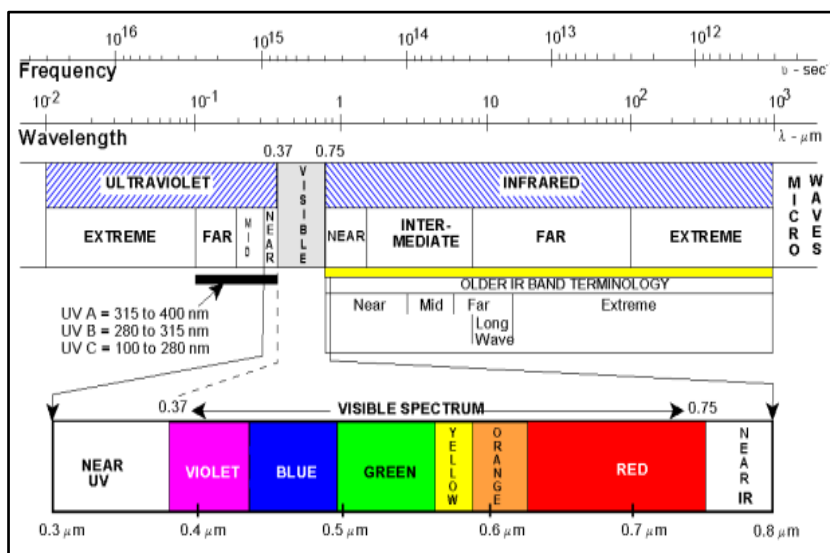
Κυριότερες παρεμβολές και τρόποι αντιμετώπισής τους

Κεφάλαιο 9^ο: Ηλεκτρο-οπτικά και Laser

9.1 Ηλεκτρο-οπτικά

Ηλεκτρο-οπτικά ονομάζονται όλα τα συστήματα τα οποία λειτουργούν στο εύρος του Η/Μ φάσματος μεταξύ υπεριώδους ακτινοβολίας (Ultraviolet, UV) και υπέρυθρης ακτινοβολίας (Infrared, IR) στο οποίο βεβαίως περιλαμβάνεται και το ορατό φως.

Τα ηλεκτρο-οπτικά αποτελούν ένα ξεχωριστό κλάδο το ηλεκτρονικού πολέμου λόγω της ιδιότητας των υλικών να εκπέμπουν διαφορετική ακτινοβολία UV και IR αναλόγως της θερμοκρασίας που έχουν, γεγονός το οποίο μπορεί να εκμεταλλευτεί για τον εντοπισμό, ανίχνευση, κατάδειξη στόχων ή και την κατεύθυνση όπλων σε αυτούς.



Εικ. 9.1

Το ηλεκτρο-οπτικό φάσμα

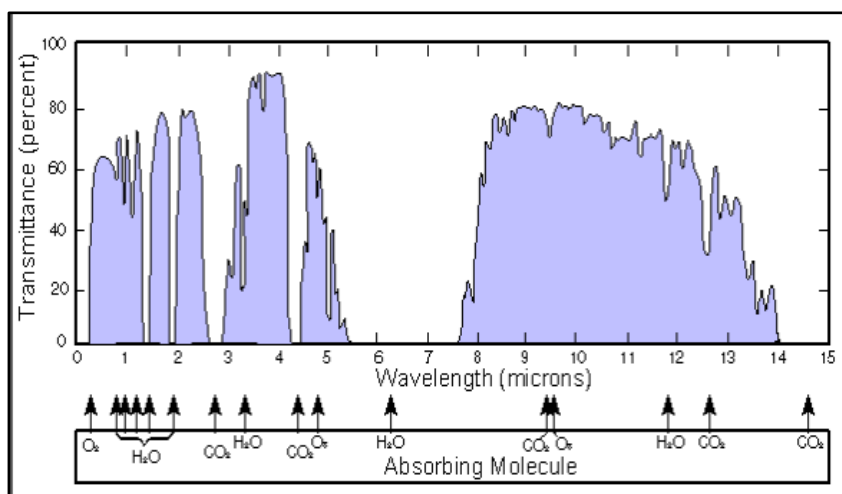
Συνηθίζεται για συχνότητες μεγαλύτερων των 300 GHz να αναφερόμαστε σε μήκη κύματος και όχι σε Hertz. Για το λόγο αυτό, στο ηλεκτρο-οπτικό φάσμα το μέγεθος αναφοράς είναι το μικρόμετρο (10^{-6} μέτρα) και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα μ. Οι συνηθέστερες υποδιαιρέσεις (οι οποίες είναι όμως υποκειμενικές) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΟΝΟΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (μm)
Extreme UV	0.01 – 0.10
Far UV	0.10 – 0.20
Intermediate UV	0.20 – 0.30
near UV	0.30 – 0.39
Visible Region	0.39 – 0.77
Near IR	0.77 – 1.5
Intermediate IR	1.5 - 8
Far IR	8 - 100
Extreme IR	100 - 1000

α. Χαρακτηριστικά IR Ακτινοβολίας

(1) Εξασθένηση Λόγω Απορρόφησης και Σκέδασης

Το ποσό της εξασθένησης εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας σε σχέση με το φυσικό μήκος των σωματιδίων ή των μορίων. Ειδικά στην υπέρυθη ακτινοβολία υπάρχουν περιοχές του φάσματος όπου η απορρόφηση είναι σχεδόν καθολική. Η περιοχή από 5,5 μm μέχρι 7,5 μm για παράδειγμα θεωρείται τυφλή, κυρίως λόγω της υγρασίας.



Εικ. 9.2

Απορρόφηση IR ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα

(2) Εξασθένηση λόγω Διάθλασης

Η διάθλαση επηρεάζει τόσο την ένταση της ακτινοβολίας που φτάνει σε ένα δέκτη, όσο και την γωνία άφιξης, δημιουργώντας προβλήματα απόκρυψης αλλά και ακρίβειας στα ΕΟ συστήματα.

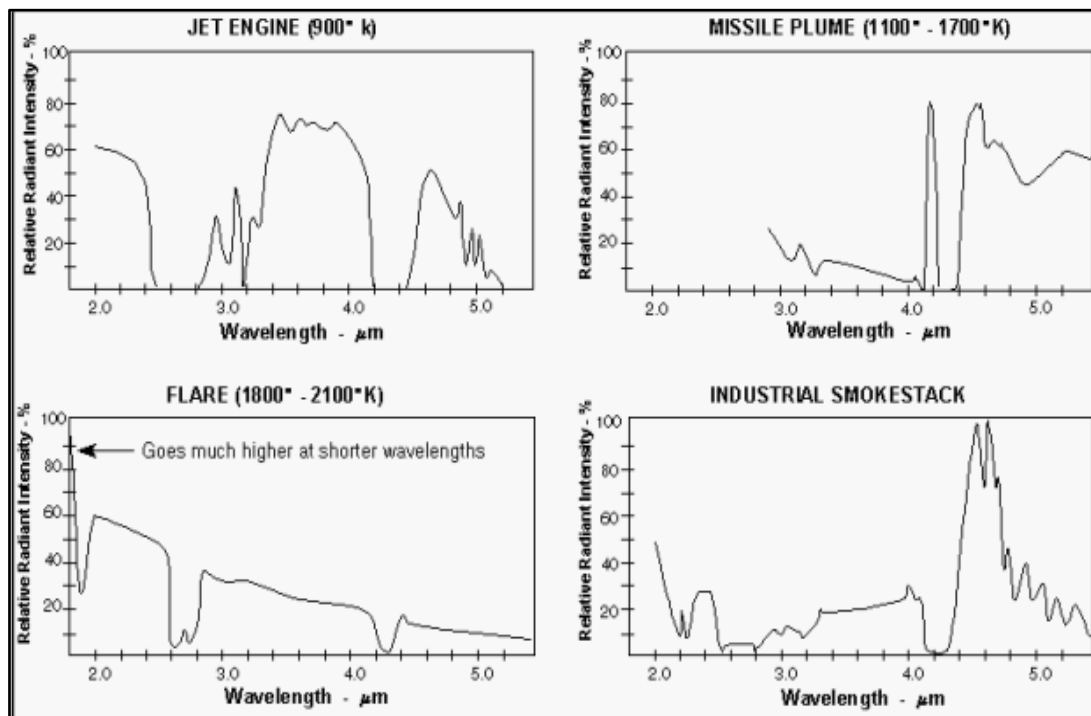
(3) Επίδραση του Περιβάλλοντος (Background)

Ο στόχος για να είναι δυνατό να εντοπιστεί, θα πρέπει να «ακτινοβολεί» εντονότερα από το περιβάλλον. Σε διαφορετική περίπτωση δεν είναι δυνατό να γίνουν αντιληπτοί.

(4) «Υπογραφή» Αντικειμένων

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες H/M ακτινοβολίες, η μέγιστη ένταση ακτινοβολίας κάθε αντικειμένου βρίσκεται στο φάσμα των IR ακτινοβολιών. Επιπλέον σε αυτό το φάσμα βρίσκεται και η μέγιστη αντίθεση μεταξύ περιβάλλοντος και αντικειμένου. Αυτό είναι πολύ σημαντικό από στρατιωτικής απόψεως καθώς είναι με

αυτόν τον τρόπο αυτό δυνατή η ταυτοποίηση ενός αντικειμένου με βάση την «υπογραφή» του, την αντίθεση με άλλα λόγια της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας του σε σχέση με ένα συγκεκριμένο περιβάλλον.



Εικ. 9.3

Υπογραφή IR (Πολλές φορές αναφέρεται και ως θερμική υπογραφή) διαφόρων αντικειμένων. Το περιβάλλον θεωρείται η ατμόσφαιρα και σε κάθε μεταβολή του περιβάλλοντος (π.χ. αύξηση υψομέτρου) η υπογραφή είναι διαφορετική.

9.2 Ηλεκτροοπτικά Συστήματα

Τα ηλεκτροοπτικά συστήματα αναλόγως αν λειτουργούν στην περιοχή του ορατού φωτός ή σε αυτή των UV/IR διαφέρουν στο τρόπο λειτουργία τους. Στα μεν πρώτα είναι απαραίτητη κάποια πηγή φωτισμού η οποία συνήθως συλλέγεται και ενισχύεται ενώ τα δεύτερα προσπαθούν να διακρίνουν συγκεκριμένη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον στόχο. Γενικότερα ένα ηλεκτρο-οπτικό σύστημα αποτελείται από:

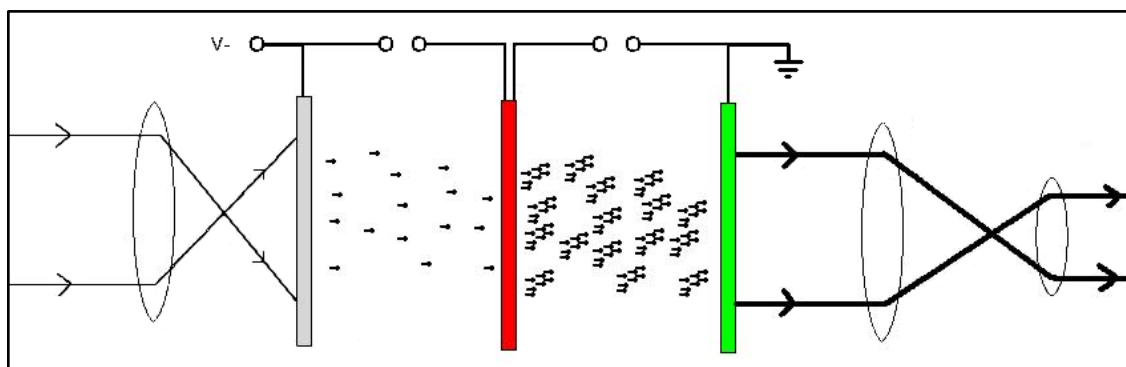
Οπτικό Στοιχείο: για τη συλλογή, φιλτράρισμα και εστίαση της εισερχόμενης οπτικής ακτινοβολίας.

Αισθητήρας: Ο οποίος μετατρέπει την εισερχόμενη ακτινοβολία σε ηλεκτρικό σήμα, βελτιστοποιημένος για συγκεκριμένη φασματική περιοχή.

Τμήμα επεξεργασίας: για να μετατραπεί η ενέργεια σε αξιοποιήσιμο σήμα.

α. Συστήματα Ορατού Φωτός

Οι ενισχυτές εικόνας μετατρέπουν τα φωτόνια σε ηλεκτρόνια τα οποία στην συνέχεια ενισχύονται πριν μετατραπούν ξανά σε φως. Το εισερχόμενο φως αφού περάσει μέσα από κατάλληλο φακό, συγκεντρώνεται σε μια φωτοκάθοδο (αρνητικά φορτισμένη πλάκα με επικάλυψη από υλικό ευαίσθητο στο φως) η οποία λόγω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου απελευθερώνει ηλεκτρόνια από τα σημεία στα οποία προσκρούουν τα φωτόνια σε αυτή. Στη συνέχεια τα ελεύθερα ηλεκτρόνια επιταχύνονται με τη χρήση υψηλής τάσης και διέρχονται από ένα λεπτό δίσκο (περίπου στο μέγεθος ενός κέρματος). Καθώς τα ηλεκτρόνια διέρχονται μέσα από τον δίσκο αυτό, προσκρούουν στα τοιχώματά του, απελευθερώνοντας έτσι περισσότερα ηλεκτρόνια. Έως ότου τα ηλεκτρόνια εξέλθουν από το δίσκο έχουν πολλαπλασιαστεί χιλιάδες φορές. Στη συνέχεια επιταχύνονται σε μία οθόνη φωσφόρου (όπως αυτή της τηλεόρασης). Όταν τα ηλεκτρόνια προσκρούσουν στην οθόνη, ο φώσφορος εκπέμπει φως με την ίδια διάταξη την οποία είχε εισέλθει το φως (φωτόνια) στην φωτοκάθοδο. Ο χρήστης της συσκευής τότε βλέπει την ενισχυμένη εικόνα κατά τον ίδιο τρόπο που κάποιος βλέπει τηλεόραση.



Εικ. 9.4

Απεικόνιση γενικού τρόπου λειτουργίας συσκευών ενίσχυσης φωτός.

(1) Αρχικά Συστήματα – Generation 0

Τα αρχικά συστήματα τα οποία άρχισαν να κάνουν την εμφάνισή τους την 10ετία του 1930 χρησιμοποιούσαν μια φωτοκάθοδο S1 (Ασήμι – οξυγόνο – καίσιο) από την οποία τα φωτόνια που εξέρχονταν συγκεντρωνόταν σε μια σφαιρική οθόνη. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε στον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο και απαιτούσε μια πηγή υπέρυθρου φωτός

**Εικ. 9.5**

Gen 0 δίοπτρα νυχτερινής παρατήρησης. Χαρακτηριστικό εξάρτημα ο «προβολέας» υπέρυθρης ακτινοβολίας ο οποίος ήταν ορατός από οποιονδήποτε χρησιμοποιούσε αντίστοιχο εξοπλισμό.

(2) Συστήματα 1^{ης} Γενιάς (Single Stage Tubes)

Η πρώτη γενιά των συστημάτων γίνεται χρήση φωτοκαθόδων S-11 (Καίσιο-Αντιμόνιο) πετυχαίνοντας ευαισθησία 80 $\mu\text{A}/\text{lm}$ (Μικροαμπέρ ανά λούμεν) στην περιοχή του ορατού φωτός και σε μήκη κύματος περίπου 650nm. Η ευαισθησία βελτιώθηκε ακόμα περισσότερο με την εφεύρεση των φωτοκαθόδων S-20 (Ποτάσιο-Καίσιο-Αντιμόνιο) πετυχαίνοντας ευαισθησία 200 $\mu\text{A}/\text{lm}$. Η φωτοκάθοδος S-20 μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε χαμηλά επίπεδα φωτισμού IR.

Μια βελτίωση στα συστήματα πρώτης γενιάς ήρθε με τη χρησιμοποίηση πολλαπλών διατάξεων – cascaded tubes (σε σειρά). Με την παραπάνω τεχνική τα συστήματα 1^{ης} γενιάς είναι σε θέση να παράγουν πολύ μεγαλύτερη οπτική ενίσχυση αλλά πολλές φορές ο θόρυβος που συσσωρεύεται λόγω των διαδοχικών ενισχύσεων περιορίζει το τελικό αποτέλεσμα. Πολλές φορές η χρήση των συστημάτων cascaded tubes ήταν περιορισμένη λόγω του μεγάλου τους όγκου.

(3) Συστήματα 2^{ης} Γενιάς (Micro-channel Plate)

Η 2^η γενιά χαρακτηρίζεται από την χρήση της φωτοκαθόδου S-25 η οποία χρησιμοποιεί τα ίδια υλικά με την S-20 αλλά σε διαφορετική αναλογία πετυχαίνοντας έτσι ευαισθησία 230 $\mu\text{A}/\text{lm}$, αλλά κυρίως με την εφεύρεση της πλάκας μικροκαναλιών (Microchannel Plate – MCP). Η MPC είναι μια πλάκα από χιλιάδες ίνες γυαλιού οι οποίες περικλείονται από 2 μεταλλικές πλάκες νικελίου – χρωμίου.

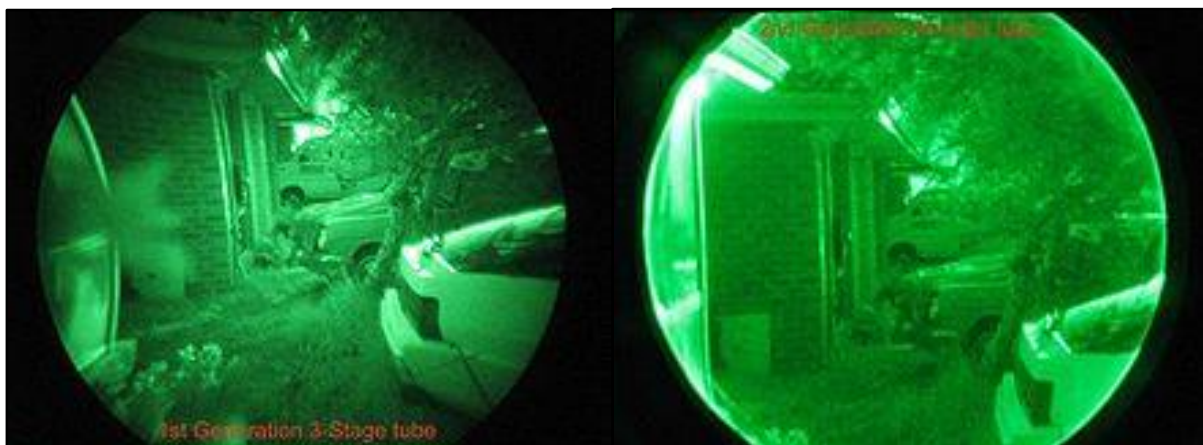
Με τις πλάκες MCP ήταν δυνατή η ενίσχυση έως και 30.000 του εισερχόμενου φωτός από μία μόνο πλάκα. Με τη χρήση παραπάνω πλακών, μπορούσε να επιτευχθεί ενίσχυση της τάξεως του 1.000.000. Οι πλάκες MCP οδήγησαν στην κατασκευή πολύ πιο ευαίσθητων αλλά και μικρότερων οργάνων νυχτερινής παρατήρησης.

(4) Συστήματα 3^{ης} Γενιάς

Τα συστήματα 3^{ης} γενιάς χρησιμοποιούν και αυτά MCP όπως στη 2^η γενιά. Οι διαφορές τους είναι στη χρησιμοποίηση ακόμη πιο ευαίσθητων φωτοκαθόδων (Γάλλιο/Αρσενικό – Οξείδιο του καισίου – Αλουμίνιο/γάλλιο/αρσενικό) οι οποίες παράγουν πολλά περισσότερα ηλεκτρόνια από αυτές της προηγούμενης γενιάς.

Τα συστήματα 3^{ης} γενιάς στην αρχική τους μορφή λόγω του πολύ μεγάλου αριθμού ιόντων που αναπτύσσονταν μέσα στον σωλήνα είχαν πολύ μικρό χρόνο ζωής (περίπου 100 ώρες πριν η απόδοση της φωτοκαθόδου μειωθεί στα επίπεδα των Gen 2 συστημάτων). Το πρόβλημα αρχικά λύθηκε με την τοποθέτηση ενός προστατευτικού φιλμ στο MCP το οποίο όμως περιορίζει των αριθμό των ηλεκτρονίων στο 50% (παράμενει όμως ο αριθμός μεγαλύτερος από των Gen 2).

Στα σύγχρονα συστήματα 3^{ης} γενιάς χρησιμοποιούνται τεχνικές Auto-Gating με τις οποίες ελέγχεται ηλεκτρονικά το ποσό των ηλεκτρονίων που εισέρχονται στο MCP «ανοιγοκλείνοντας» την φωτοκάθοδο (για πολύ μικρό χρονικό διάστημα nsec/psec) ανάλογα με το ποσό του φωτός που εισέρχεται σε αυτή. Οι τεχνικές Auto-gating οδήγησαν στην ανάπτυξη συστημάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολύ μεγάλο εύρος ακτινοβολίας χωρίς τον κίνδυνο να καταστραφούν, καθώς επίσης και στη χρήση πολύ μικρότερων προστατευτικών φιλμ στο MCP ή και καθόλου.



Εικ. 9.6

Σύγκριση συστημάτων Gen 1 (αριστερά) και Gen 2 (δεξιά)

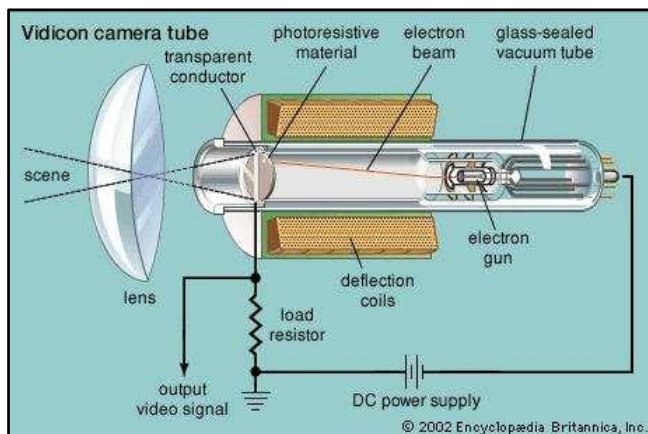
(5) Συστήματα Ανίχνευσης Αντίθεσης

Μια από τις πρώτες τεχνικές παρακολούθησης και καθοδήγησης πυραύλων σε έναν στόχο, η οποία χρησιμοποιείται ακόμη περιορισμένα, είναι ο εντοπισμός της αντίθεσης ενός στόχου με το περιβάλλον που βρίσκεται. Τα συστήματα

αυτά ονομάζονται contrast seeker και χρησιμοποιούν και αυτά κατάλληλη φωτοκάθοδο η οποία εκπέμπει ηλεκτρόνια με κάθε φωτόνιο που χτυπά σε αυτή. Στη συνέχεια μια δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει την φωτοκάθοδο και κάθε ηλεκτρόνιο που διέρρευσε από αυτή αναπληρώνεται από τη δέσμη δημιουργώντας έτσι μια διαφορά δυναμικού ανάλογη των αριθμών των ηλεκτρονίων που απορροφώνται (της φωτεινότητας).

Ο τεχνική αυτή καλείται **vidicon**, αν και υπάρχουν πολλές άλλες παρόμοιες τεχνικές (plumbicon, Saticon, Pasecon κ.α.) και είναι ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούσαν οι πρώτες βιντεοκάμερες – κάμερες τηλεόρασης. Στα συστήματα contrast seeker ο στόχος επιλέγεται και κλειδώνεται από τον πύραυλο βάσει της αντίθεσής του με το περιβάλλον (άσπρο – μαύρο). Πολλές φορές απαιτείται και κάποιου είδους επεξεργασία της εικόνας (ρύθμιση φωτεινότητας – αντίθεσης) πριν την εκτόξευση του πυραύλου ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή αντίθεση της εικόνας. Μετά την εκτόξευση ο πύραυλος κατευθύνεται αυτόνομα (συνήθως) στο στόχο που κλείδωσε πριν την εκτόξευση.

Οι contrast seeker έχουν το μειονέκτημα της μη δυνατότητας παρακολούθησης του στόχου όταν αλλάξει η αντίθεση του (π.χ. μετακίνηση, αλλαγή θέσης, αλλαγή γωνίας φωτισμού).



Εικ. 9.7

Τρόπος λειτουργίας κάμερας vidicon. Το σήμα εξόδου έχει μεταβαλλόμενη τάση (volt) ανάλογα με τον αριθμό ηλεκτρονίων της δέσμης που «απορροφώνται» από τον αγωγό (conductor).

Η κατεύθυνση της δέσμης ελέγχεται από μεταβαλλόμενο Η/Μ πεδίο.

β. Συστήματα IR

Γενικότερα τα συστήματα υπέρυθρης ακτινοβολίας λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο όπως αυτά του ορατού φωτός. Οι κυριότερες διαφορές ανά υποσύστημα είναι:

Οπτικό Τμήμα: Εκτός από την συλλογή IR ακτινοβολίας, στο οπτικό τμήμα γίνεται και ο διαχωρισμός – φασματικός περιορισμός της εισερχόμενης IR ακτινοβολίας στην περιοχή ενδιαφέροντος, ώστε να περιοριστεί το εύρος που εισέρχεται στον αισθητήρα.

Τμήμα Ανίχνευσης: Οι δύο μεγάλες κατηγορίες IR αισθητήρων είναι:

α. Φωτοαισθητήρας: Λειτουργεί ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν οι φωτοκάθοδοι στα συστήματα ορατού φωτός.

β. Θερμοαισθητήρας: Ανιχνεύουν τη σχετική θερμοκρασία του αντικειμένου η οποία μεταφράζεται ως αλλαγή στην τάση ή αντίσταση ενός κυκλώματος (θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ένα Pixel μιας εικόνας ως κύκλωμα του οποίου η τάση εξόδου είναι ανάλογη της θερμοκρασίας που ανιχνεύεται από αυτό). Οι θερμοαισθητήρες μπορούν να λειτουργήσουν σε όλο το φάσμα της IR ακτινοβολίας, ο χρόνος απόκρισης όμως είναι μεγαλύτερος σε σχέση με αυτόν των φωτοαισθητήρων.

Τα συστήματα IR κατηγοριοποιούνται σε 2 βασικές ομάδες: τα συστήματα ανίχνευσης σημείου, τα οποία βάσει θερμικών χαρακτηριστικών ενός στόχου προσπαθούν να τον διακρίνουν από το περιβάλλον (background), και στα συστήματα απεικόνισης τα οποία συνθέτουν και αποδίδουν μια εικόνα της περιοχής του αντικειμένου.

Σε πολλά σύγχρονα συστήματα, χρησιμοποιούνται και οι δύο κατηγορίες σε ένα ενιαίο σύστημα (π.χ. πύραυλοι IR εντοπίζουν το στόχο βάσει της IR ακτινοβολίας που εκπέμπει και στη συνέχεια συνθέτει τη εικόνα του στόχου ώστε να τη συγκρίνει με άλλες εικόνες πιθανών στόχων.). Με τον τρόπο αυτό μάλιστα είναι δυνατή και η αποφυγή «παραπλάνησης» του πυραύλου από άλλες πηγές ακτινοβολίας, όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας και τελικής απεικόνισης των συστημάτων IR θα μπορούσαμε να διακρίνουμε 2 κύριες κατηγορίες:

(1) Συστήματα Thermal Imaging

Πρόκειται για συστήματα που λειτουργούν συνήθως στη φασματική περιοχή 8 – 12 μm (Far IR). Εστιάζουν στην «απομόνωση» του στόχου από το περιβάλλον με κατάλληλη επεξεργασία της εισερχόμενης IR ακτινοβολίας ώστε να εντοπίζονται τα σημεία στα οποία υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας.

(2) Forward Looking Infrared (FLIR)

Τα συστήματα αυτά καλύπτουν την περιοχή Far και Extreme IR και χρησιμοποιούν μια διάταξη αισθητήρων η οποία σαρώνει την περιοχή ενδιαφέροντος. Η συνδυασμένη έξοδος από κάθε σάρωση παράγει μια γραμμή σε μια οθόνη. Ο όρος προήλθε για να περιγράψει συστήματα IR των οποίων οι δέκτες δεν κινούνται για τη σάρωση μιας περιοχής, όπως λειτουργούσαν τα παλαιότερα συστήματα IR.



Εικ. 9.8

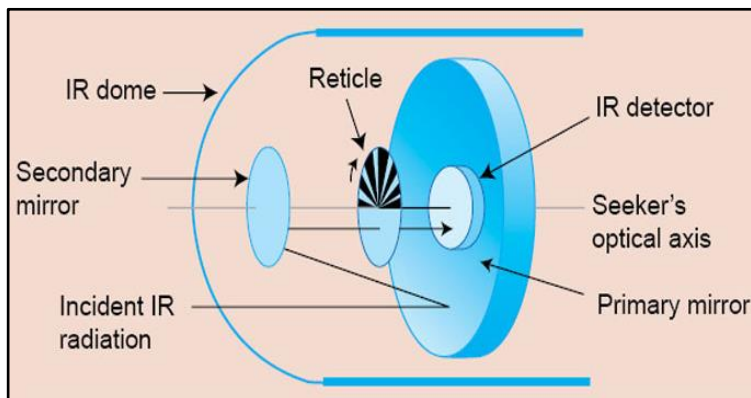
Σύγκριση εικόνας από thermal imaging (αριστερά) και FLIR (δεξιά) σύστημα. Και στα δυο συστήματα η απεικόνιση μπορεί να διαφέρει όπως:

Θερμό στο λευκό, θερμό στο μαύρο ή πολυχρωματική (rainbow) απεικόνιση αναλόγως της θερμοκρασίας (όπως η πρώτη φωτογραφία).

γ. Αισθητήρες UV - IR για Κατεύθυνση Όπλων

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για κατεύθυνση όπλων είναι παθητικοί και χρησιμοποιούν την υπέρυθη ή υπεριώδη (ή και τις 2) ακτινοβολία για να κατευθύνουν το βλήμα σε ένα στόχο. Στους σύγχρονους αισθητήρες χρησιμοποιούνται υλικά όπως υδράργυρος, κάδμιο, αντιμόνιο κ.α. (η λειτουργία τους είναι όπως στις φωτοκαθόδους) τα οποία ψυχόμενα είναι σε θέση να ανιχνεύουν όχι μόνο τα θερμότερα μέρη ενός στόχου (π.χ. καυσαέρια) αλλά και από την ακτινοβολία που εκπέμπεται – ανακλάται από όλο το σώμα του στόχου.

Η καθοδήγηση των βλημάτων βασίζεται στη χρησιμοποίηση ακτινικών πλεγμάτων (reticles) τα οποία διαμορφώνουν την ακτινοβολία πριν αυτή εισέλθει στον αισθητήρα και με κατάλληλη επεξεργασία από την έξοδο του αισθητήρα, παράγονται τα σήματα διόρθωσης της πορείας ενός βλήματος.

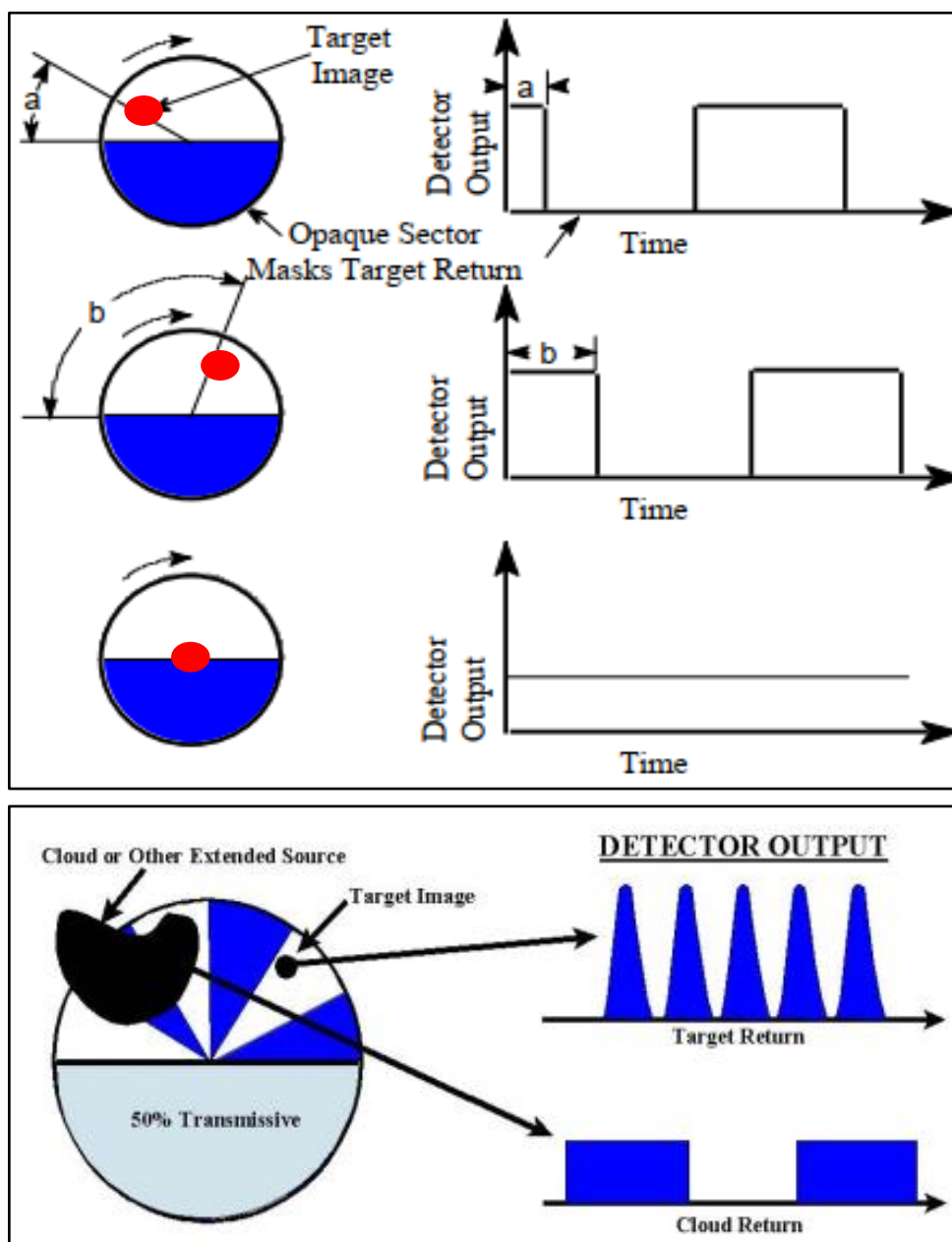


Εικ. 9.9

Συνήθης διάταξη ενός αισθητήρα για κατεύθυνση βλημάτων.

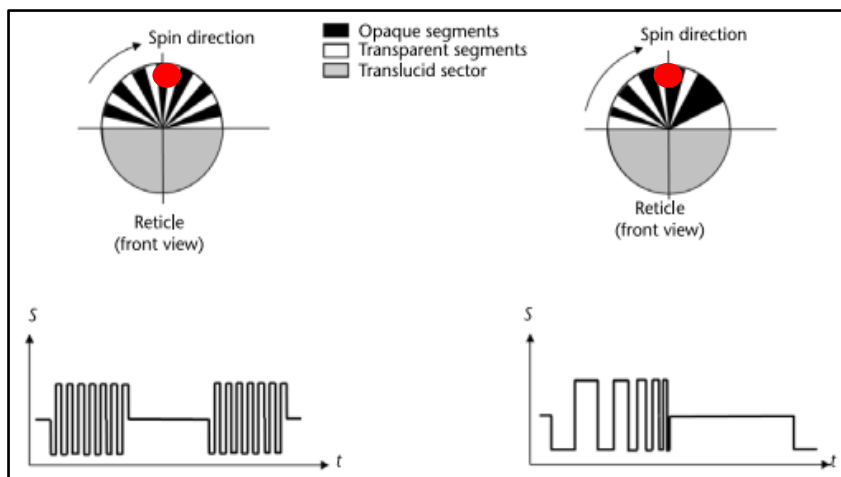
(1) Περιστευόμμενα Πλέγμμετα – 1^η Γενιά

Η πρώτη γενιά πλεγγμάτων χρησιμοποιούσε περιστευόμμενα πλέγμμετα με κατάλληλα τμήματα ώστε να «αποκόβεται» σε δεδομένα σημεία η είσοδος της ακτινοβολίας. Ο στόχος βρισκόταν στο «κέντρο» όταν η έξοδος από το πλέγμα ήταν σταθερής έντασης ακτινοβολία. Τα πλέγμμετα πρώτης γενιάς δεν ήταν σε θέση να ξεχωρίσουν τα αντίμετρα (φωτοβολίδες) από τον πραγματικό στόχο.



Εικ. 9.10

Βασική αρχή λειτουργίας των ακτινικών πλεγγμάτων. Η μετέπειτα χρήση αδιαφανών περιοχών (κάτω) είχε σαν αποτέλεσμα τον διαχωρισμό του πραγματικού στόχου, ο οποίος είχε μικρές διαστάσεις με τα clutter (σύννεφα) τα οποία ήταν πολύ μεγαλύτερα καθώς είχαν διαφορά στο εξερχόμενο σήμα όπως φαίνεται στη κάτω εικόνα.

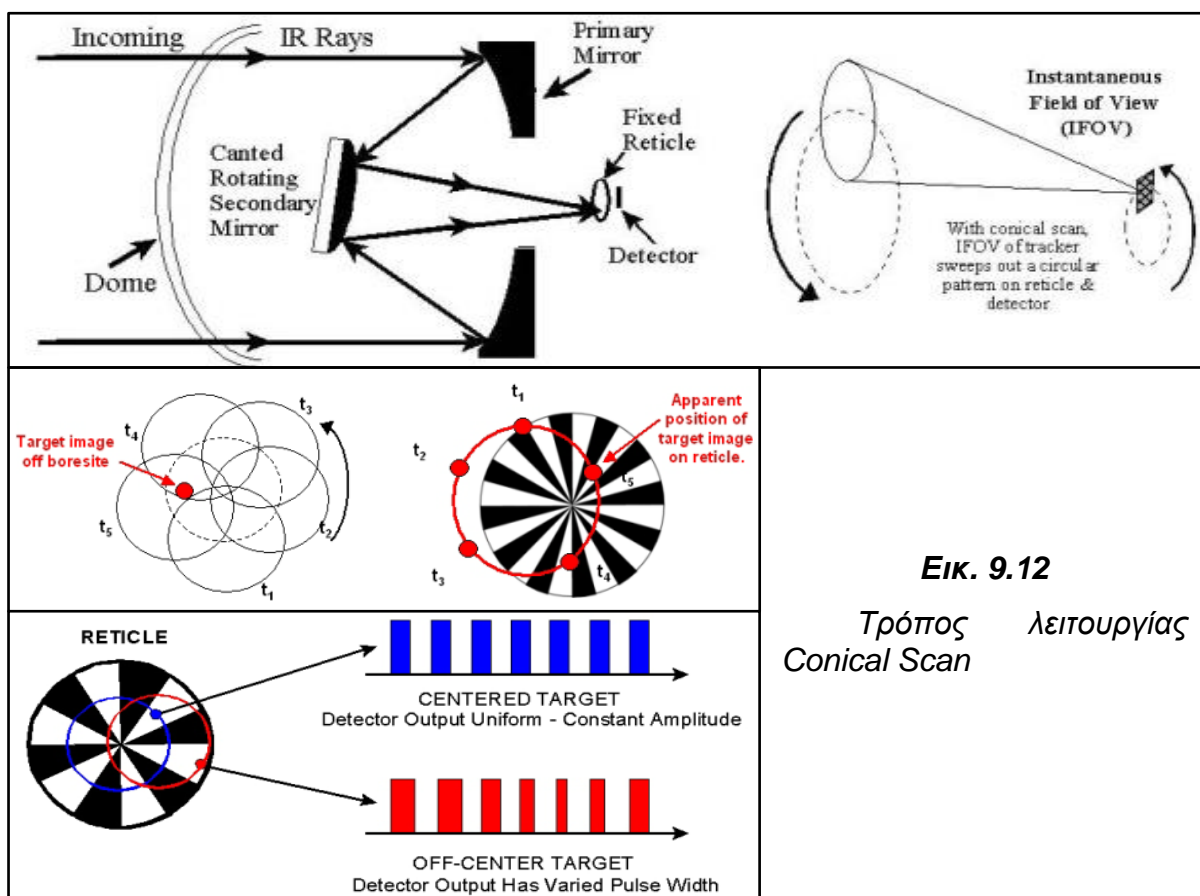


Εικ. 9.11

Συνηθέστεροι σχεδιασμοί πλεγμάτων πρώτης γενιάς και η έξοδος τους για συγκεκριμένη θέση του στόχου.

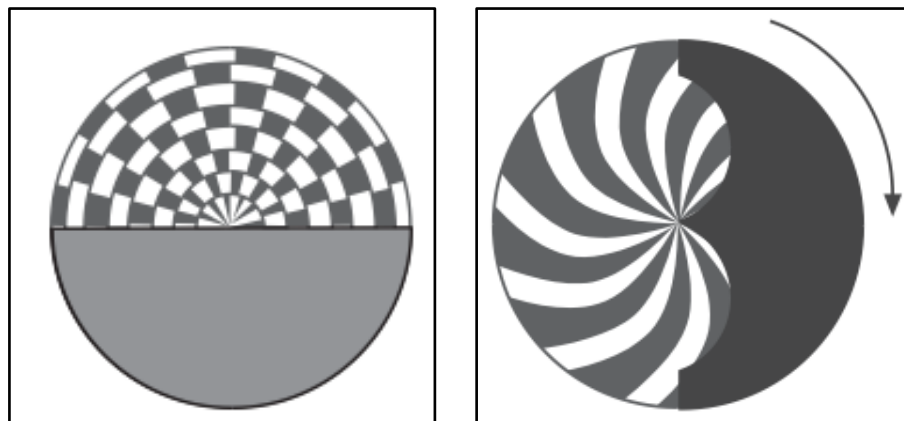
(2) Conical Scan – 2^η Γενιά

Στη 2^η γενιά, το πλέγμα παραμένει σταθερό και η εισερχόμενη εικόνα «περιστρέφεται», συνήθως με κάποια διάταξη καθρεπτών ή φακών γύρω από τη περίμετρο του πλέγματος. Η κίνηση αυτή παράγει τετραγωνισμένα σήματα και όταν ο στόχος βρίσκεται στο κέντρο του αισθητήρα, η έξοδος είναι μια σταθερής συχνότητας τετραγωνισμένο σήμα. Η 2^η γενιά είχε κάποια επιτυχία στο να ξεχωρίσουν τα αντίμετρα από το πραγματικό στόχο, καθώς ο ρυθμός καθόδου των αντιμέτρων ήταν μεγαλύτερος από το ρυθμό σάρωσης.



Εικ. 9.12

Τρόπος λειτουργίας
Conical Scan

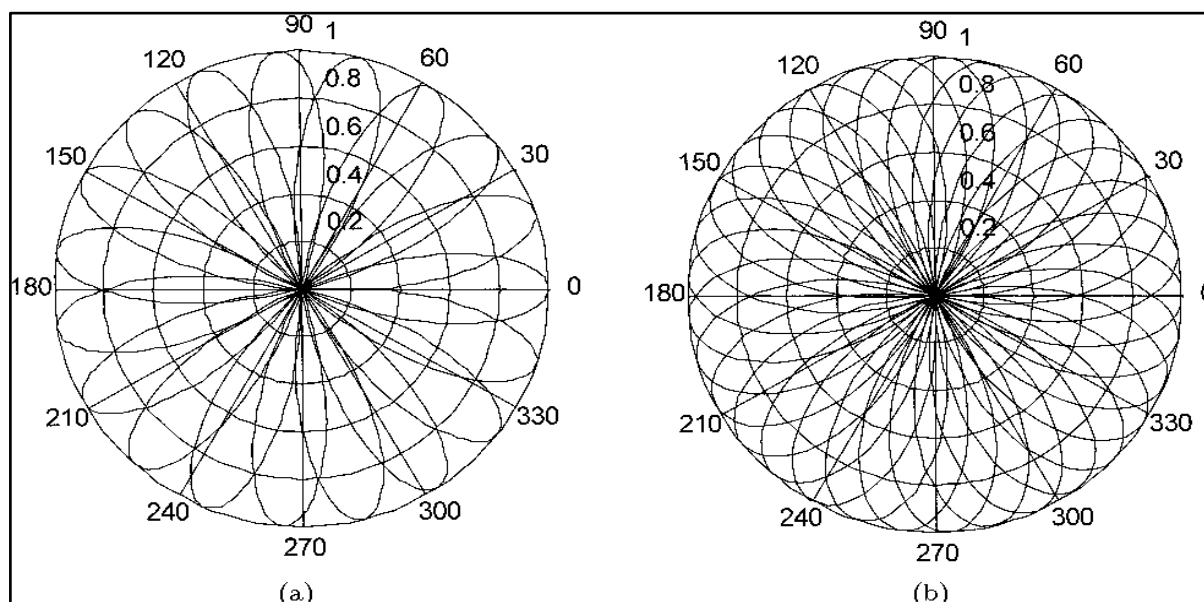


Εικ. 9.13

Άλλα συχνά χρησιμοποιούμενα πλέγματα, ανάλογα την απαιτούμενη χρήση

(3) Τρίτη Γενιά – Pseudo Imagers – Bicolor/Multicolor

Η ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για την αντιμετώπιση των αντιμέτρων οδήγησε στην ανάπτυξη των αισθητήρων 3^{ης} γενιάς με τους οποίους γίνεται προσπάθεια εγκλωβισμού της εικόνας (σχήματος) του στόχου και όχι μόνο της ακτινοβολίας που εκπέμπει. Ο τρόπος που επιτυγχάνεται το παραπάνω είναι με τη χρήση του Rosette Scanner.

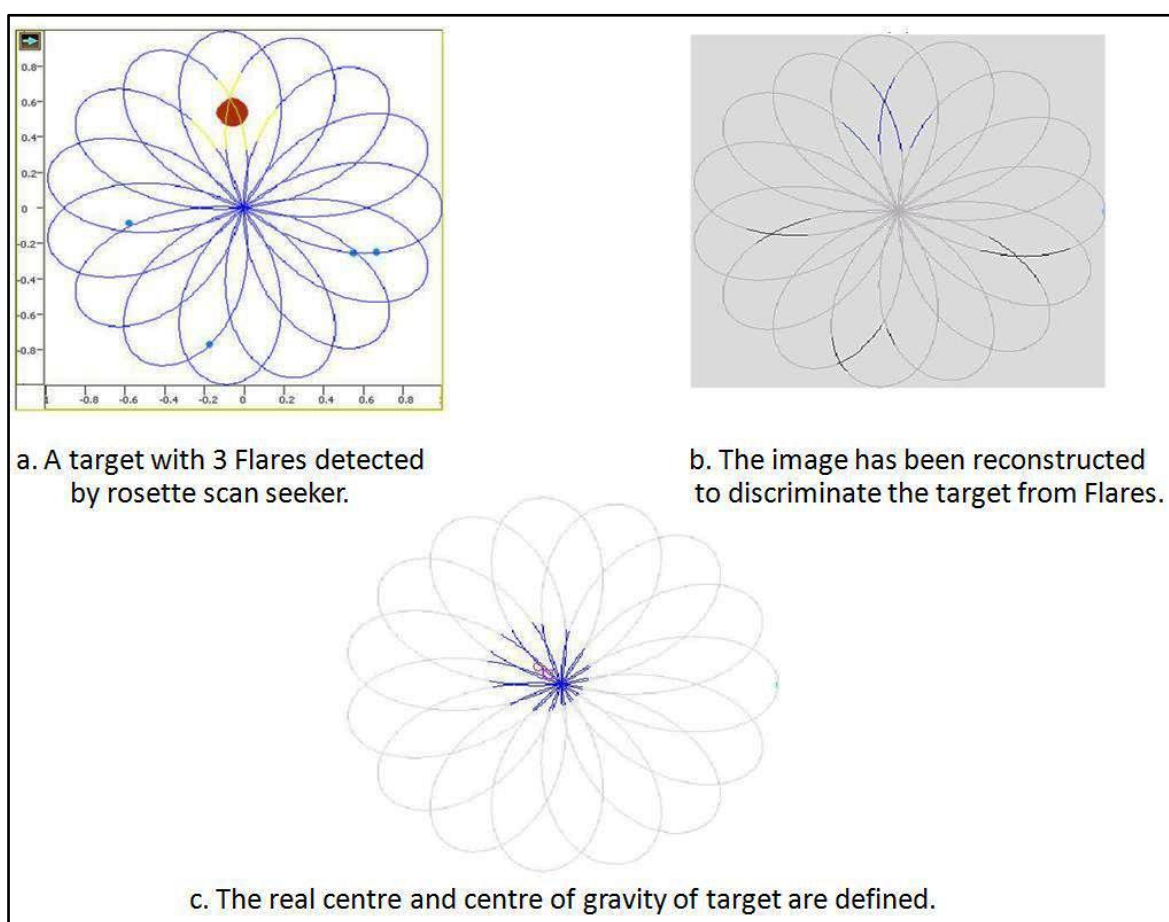


Εικ. 9.14

Σχηματική απεικόνιση του τρόπου σάρωσης rosette scan

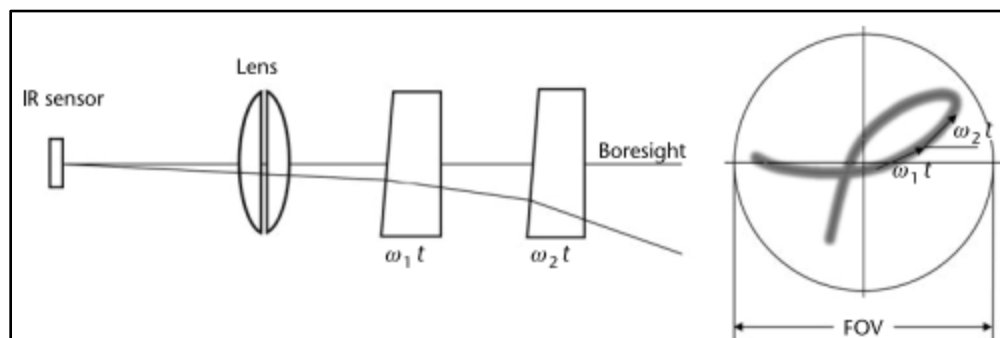
Στην τεχνική αυτή δεν χρησιμοποιείται κάποιο πλέγμα, αλλά η εισερχόμενη ακτινοβολία εισέρχεται σε 2 πρίσματα τα οποία περιστρέφονται αντίθετα το ένα από το

άλλο και με διαφορετική ταχύτητα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η τελική «εικόνα» να μοιάζει με το σχήμα της ροζέτας, από όπου πήρε και το όνομα αυτή η μέθοδος, το μέγεθος και η πυκνότητα της οποίας μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με τον αισθητήρα. Με τη χρήση του rosette scan διαχωρίζεται το πραγματικό ίχνος το οποίο είναι μεγαλύτερο σε μέγεθος από τα αντίμετρα, δημιουργώντας έτσι ένα είδωλο στον ανιχνευτή που ξεχωρίζει από αυτά των αντιμέτρων (pseudo imagers). Επιπλέον στα πιο προηγμένα συστήματα, χρησιμοποιούνται επιπλέον ανιχνευτές, ο κάθε ένας για συγκεκριμένο φάσμα (Bicolor – Δύο ανιχνευτές, Multicolor – Τρείς ή περισσότεροι) για ακόμη μεγαλύτερη δυνατότητα διαχωρισμού του πραγματικού στόχου από τα αντίμετρα.



Εικ. 9.15

Εικόνα μιας πλήρους σάρωσης rosette scan. Όσο πιο πυκνό είναι το πλέγμα τόσο πιο «καθαρή» είναι η τελική εικόνα.



Εικ. 9.16

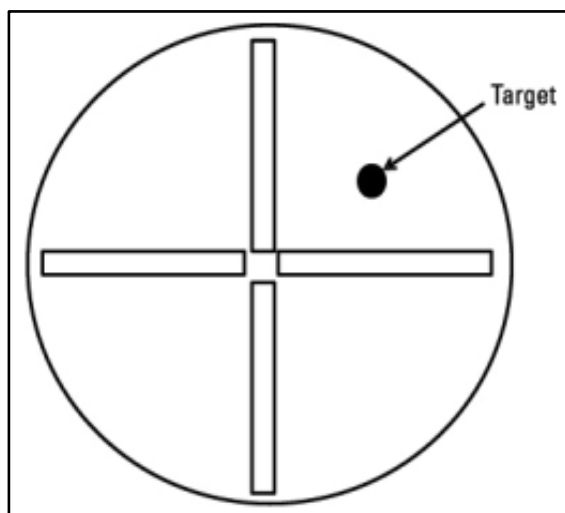
Τρόπος λειτουργίας Rosette scan. Αρχικά έχουν εισέλθει στον αισθητήρα ακτινοβολίες από τρεις πηγές. Μετά την κατασκευή της εικόνας από τον υπολογιστή, η «μεγαλύτερη» ακτινοβολία επιλέγεται σαν στόχος ενώ οι μικρότερες απορρίπτονται. Η αντοχή στα αντίμετρα είναι πολύ μεγάλη με αυτή τη τεχνική αν και έχει αυξημένες υπολογιστικές απαιτήσεις.

(4) 4^η Γενιά – Ανιχνευτές Εικόνας

Σε αυτά τα συστήματα, πλέον δημιουργείται μια εικόνα του στόχου η οποία και στη συνέχεια παρακολουθείται από τον πύραυλο. Τα συστήματα αυτά έχουν πλήρη «ανοσία» στα αντίμετρα IR καθώς η τελική εικόνα που δημιουργείται μετά τη σάρωση (συνήθως ακολουθεί και ταυτοποίηση με βάση κάποια βάση δεδομένων στη μνήμη του δέκτη) δεν μοιάζει με αυτή των αντιμέτρων.

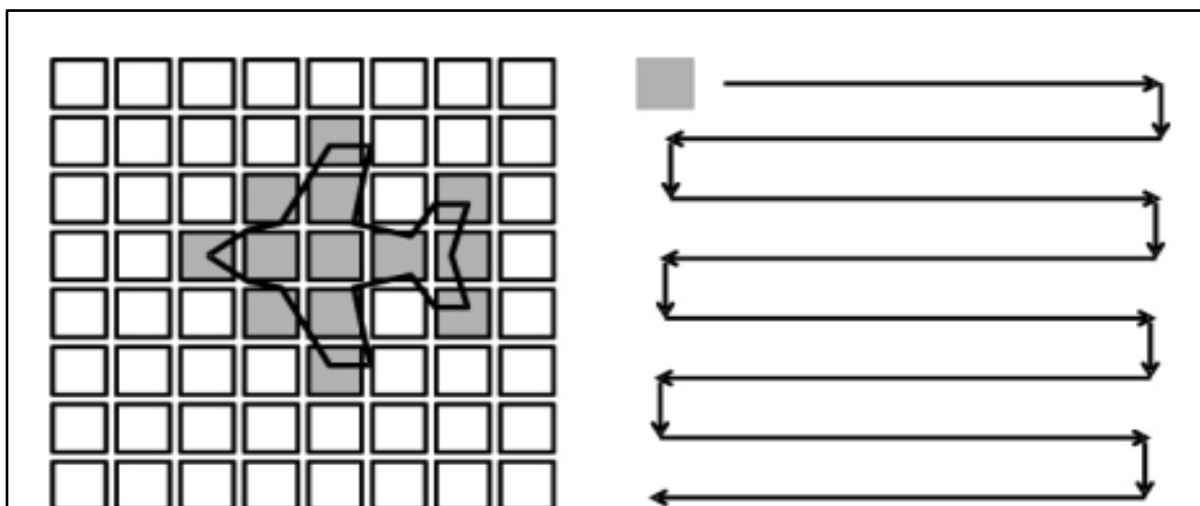
Οι ανιχνευτές εικόνας αποτελούν την τελευταία εξέλιξη στο χώρο των IR Seekers για κατεύθυνση βλημάτων, έχουν όμως πολύ μεγάλες απαιτήσεις υπολογιστικής ισχύος. Χαρακτηριστικό είναι πως για μια περιοχή σάρωσης 128*128 Pixels με ρυθμό 100Hz ο εξερχόμενος όγκος δεδομένων είναι 16 Mbits/sec.

Για τον παραπάνω λόγο και επειδή συνήθως ο αριθμός των Pixel είναι μικρός (τουλάχιστον προς το παρόν), χρησιμοποιούνται στη φάση της τελική καθοδήγησης.



Εικ. 9.17

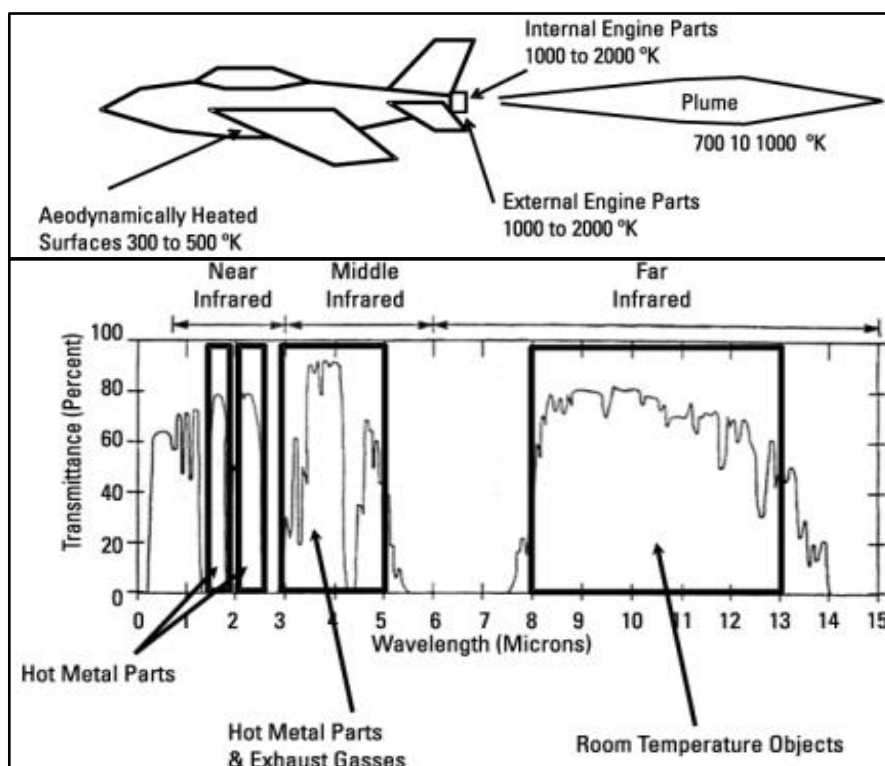
Ο συνηθέστερος τύπος αισθητήρα που χρησιμοποιείται στα συστήματα 4^{ης} γενιάς αποτελείται από 4 μικρότερους γραμμικούς αισθητήρες τοποθετημένους σε κάθετη διάταξη.



Εικ. 9.18

Η κίνηση του αισθητήρα σε raster μοτίβο (όπως συνέβαινε στις τηλεοράσεις) δημιουργεί την τελική εικόνα του στόχου (ενδεχομένως και παρασίτων ή αντιμέτρων). Αν και το τελικό αποτέλεσμα δεν είναι πολύ καθαρό, η γενικότερη εικόνα ενός αεροσκάφους για παράδειγμα (ειδικά αν επιβεβαιώνεται από βάση δεδομένων στον αισθητήρα) είναι πολύ διαφορετική από αυτή των αντιμέτρων.

Στους ανιχνευτές εικόνας τις περισσότερες φορές εκτός από αισθητήρες IR χρησιμοποιούνται και UV αισθητήρες.



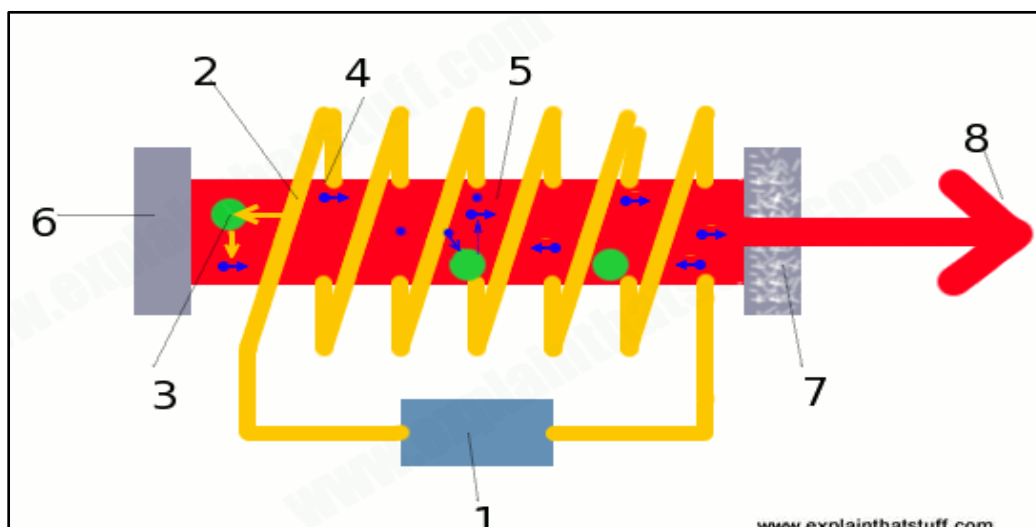
Εικ. 9.19

Αναλόγως της θερμοκρασίας κάθε μέρος ενός στόχου εκπέμπει διαφορετική IR ακτινοβολία. Για τη δημιουργία πιο ολοκληρωμένης εικόνας αλλά και την αντιμετώπιση των αντιμέτρων, η Multicolor αισθητήρων είναι απαραίτητη.

9.3 Laser

Η εμφάνιση του Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) έχει επηρεάσει τη μορφή του ηλεκτρονικού πεδίου μάχης, ενώ βρίσκονται στο επίκεντρο της τεχνολογικής έρευνας και ανάπτυξης, κυρίως από το πολεμικό ναυτικό των ΗΠΑ.

Η παραγωγή της ακτινοβολίας laser είναι αρκετά πολύπλοκη και η παραγόμενη ακτινοβολία δεν ανήκει φασματικά σε μια ορισμένη περιοχή καθώς υπάρχουν laser στη περιοχή του ορατού φωτός, IR, UV, Ακτίνες Χ ακόμη και στη μικροκυματική ζώνη.



Εικ. 9.20

Σχηματική απεικόνιση τρόπου παραγωγής Laser. Τα άτομα ενός υλικού (κόκκινο μέρος -1) το οποίο μπορεί να είναι στερεό, υγρό ή αέριο, διεγείρονται στιγμιαία από μια πηγή φωτός περιορισμένου φάσματος (κίτρινο μέρος -2) στην οποία εφαρμόζεται υψηλή τάση (1). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εκπομπή φωτονίων τα οποία ταξιδεύουν με τη ταχύτητα του φωτός (4) μέσα στο υλικό. Αρκετές φορές ένα φωτόνιο συγκρούεται με ένα ήδη διεγερμένο άτομο με αποτέλεσμα να παράγεται επιπλέον ένα φωτόνιο. Στην μια άκρη (6) τοποθετείται κάποιο υλικό το οποίο λειτουργεί ως καθρέπτης ενώ στην άλλη άκρη (7) αυτός ο καθρέπτης «επιτρέπει» τη διαφυγή κάποιων φωτονίων. Τα φωτόνια που διαφεύγουν (8) διαμορφώνουν μια ακτίνα φωτός μεγάλης συγκέντρωσης, το φως Laser.

α. Χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας

(1) Μονοχρωματικότητα:

Η παραγόμενη ακτινοβολία Laser έχει πολύ περιορισμένο φασματικό εύρος (περιορισμένο μήκος κύματος) το οποίο εξαρτάται αποκλειστικά από το υλικό το οποίο χρησιμοποιείται για τη παραγωγή της δέσμης.

(2) Συμφασικότητα

Τα φωτόνια της ακτινοβολίας Laser παρουσιάζουν πολύ μεγάλη συμφασικότητα (σταθερή φάση, ίδιο μήκος κύματος, ίδια συχνότητα) η οποία οφείλεται αφενός στο σταθερό ρυθμό διέγερσης των ατόμων και αφετέρου στην ομοιογένεια των ατόμων που διεγείρονται.

(3) Υψηλή Κατευθυντικότητα

Χάρη στην συμφασικότητα, μια δέσμη laser παρουσιάζει σχεδόν μηδενική διασπορά, ακόμη και σε μεγάλη απόσταση από τη πηγή ακτινοβολίας.

(4) Μεγάλη Ένταση

Λόγω της μεγάλης πυκνότητας και κατευθυντικότητας, μια δέσμη Laser μπορεί να έχει αρκετή ισχύ για την καταστροφή κάποιου στόχου ή για τη κοπή κάποιου υλικού, όπως συμβαίνει στη βιομηχανία.

β. Κατηγορίες

Όπως και τα ραντάρ, τα laser μπορεί να είναι συνεχούς κύματος (CW) ή παλμικά (Pulsed Lasers). Τα πρώτα χρησιμοποιούνται ως παρεμβολείς βλημάτων και σε οπτικά συστήματα κατευθυνόμενης ενέργειας, ενώ τα δεύτερα σε αποστασιόμετρα ή σε επικοινωνίες. Βάσει του υλικού που χρησιμοποιείται για τη παραγωγή της δέσμης, διακρίνονται σε:

(1) Laser Στερεών Υλικών (Solid State Laser)

Είναι το πιο διαδεδομένο είδος σήμερα. Η φασματική τους περιοχή κυμαίνεται μεταξύ ορατού φωτός και Near IR. Το πρώτο laser του είδους ήταν το Laser Ρουβιδίου, ενώ το συνηθέστερο Laser στρατιωτικών εφαρμογών είναι το Nd-YAG (Neodymium, Yttrium, Aluminium), του οποίου η ακτινοβολία είναι αόρατη στο μάτι.

(2) Laser Αερίου

Τα laser αερίου δεν έχουν ιδιαίτερη χρήση στις στρατιωτικές εφαρμογές λόγω των αυξημένων απαιτήσεων ψύξης και της απαιτούμενης τροφοδοσίας η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ενός solid state Laser για την ίδια έξοδο. Επιπλέον τα laser αερίου είναι τις περισσότερες φορές αρκετά μεγαλύτερα.

(3) Laser Ημιαγωγών

Έχουν υψηλό κέρδος αλλά δεν μπορούν να παράγουν δέσμη υψηλής ισχύος. Χαρακτηριστικό τους είναι το πολύ μικρό μέγεθος. Το συνηθέστερο υλικό που χρησιμοποιείται είναι το Ga-As (Gallium – Arsenide).

γ. Στρατιωτικές Εφαρμογές

(1) Αποστασιομέτρηση

Πρόκειται για παλμικά Laser, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση απόστασης. Το μήκος παλμού είναι της τάξης των nsec και λειτουργούν με χαμηλή ισχύ (mWatts) λόγω της πολύ μικρής διασποράς ακτινοβολίας. Η τυπική ακρίβεια είναι 20m στα 20km. Πολλές φορές, laser μέτρησης απόστασης είναι ενσωματωμένα σε άλλα συστήματα παρατήρησης.



Εικ. 9.21

Επάνω: Αποστασιόμετρο laser τοποθετημένο σε τυφέκιο.

Κάτω: Διόπτρα παρατήρησης με ενσωματωμένο αποστασιόμετρο

(2) Κατάδειξη Στόχων

Οι καταδείκτες στόχων είναι παρόμοια συστήματα με τα αποστασιόμετρα. Ο σκοπός τους δεν είναι η ακριβής μέτρηση της απόστασης, αλλά να «φωτίσουν» ένα στόχο ώστε κάποιο όπλο κατευθυνόμενο με Laser να κατευθυνθεί από σε αυτόν. Οι καταδείκτες Laser (Laser Target Designator), όπως λέγονται, μπορούν να είναι συσκευές εδάφους (φέρονται από εκπαιδευμένο προσωπικό συνήθως των Ειδικών Δυνάμεων) ή εναέριοι (συνήθως ενσωματωμένοι σε κάποιο ατρακτίδιο).



Εικ. 9.22

Επάνω: Επίγειος καταδείκτης AN/PEQ-1
Κάτω: Targeting Pod Litening II σε Α/Φ F-16. Εκτός των άλλων υποσυστημάτων, μέσα σε αυτό υπάρχει και οπτικός καταδείκτης

(3) Κατεύθυνση Όπλων

Τα κατευθυνόμενα με Laser όπλα περιλαμβάνουν βόμβες οι οποίες ακολουθούν βαλλιστική τροχιά αρχικά και κατευθύνονται στη συνέχεια ή βλήματα, τα οποία έχουν δικό τους προωθητικό σύστημα. Η κατεύθυνση γίνεται μέσω ενός αισθητήρα ο οποίος συλλαμβάνει την ανακλώμενη ακτινοβολία Laser από κάποιον στόχων και στη συνέχεια κάποιος υπολογιστής, υπολογίζει την απαιτούμενη διόρθωση η οποία εφαρμόζεται στα πηδάλια.



Εικ. 9.23

Κατευθυνόμενη βόμβα με Laser Paveway III

(4) Στρατιωτικές Επικοινωνίες

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μεγάλη προσπάθεια στην ανάπτυξη στρατιωτικών συστημάτων μετάδοσης πληροφορίας με χρήση δέσμης laser, με πιο γνωστό ίσως το σύστημα TALON του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ. Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους τηλεπικοινωνίας είναι το πολύ μεγαλύτερο Bandwidth και της μεγαλύτερης ασφάλειας, καθώς λόγω της μεγάλης κατευθυντικότητας της δέσμης, είναι εξαιρετικά δύσκολο να υποκλαπεί.



Εικ. 9.24

Το υπό ανάπτυξη σύστημα επικοινωνίας LASER των ΗΠΑ, TALON.

Στον αντίποδα, η απαίτηση για υψηλής ακριβείας ευθυγράμμιση των συστημάτων αλλά και τα φαινόμενα σκέδασης και απορρόφησης της ατμόσφαιρας αποτελούν τα μειονεκτήματα των επικοινωνιών Laser και ίσως το λόγο που δεν έχουν ακόμη χρησιμοποιηθεί ευρύτατα στις στρατιωτικές επικοινωνίες.



Εικ. 9.25

Δοκιμές πεδίου του συστήματος TALON. Camp Hansen, Okinawa, 17 Αυγούστου 2018.

(5) Οπλικά Συστήματα Laser Χαμηλής - Υψηλής Ενέργειας

Τα τελευταία χρόνια βρίσκονται σε εξέλιξη και παραγωγή συστήματα laser τα οποία χρησιμοποιούν δέσμη υψηλής ενέργειας με σκοπό είτε την καταστροφή οπτικών αισθητήρων, είτε τη φυσική καταστροφή ενός στόχου.



Εικ. 9.26

AN/SEQ-3 (LaWS) του Πολεμικού Ναυτικού των ΗΠΑ. Μετά από 4 χρόνια δοκιμών, το σύστημα πιστοποιήθηκε για εγκατάσταση στα πολεμικά πλοία. Το δεύτερο σύστημα LaWS έχει προγραμματισθεί να τοποθετηθεί σε πλοίο το 2020. Το σύστημα είναι υπό μερική επιχειρησιακή χρησιμοποίηση, καθώς συνεχίζονται οι δοκιμές για τη βελτίωση του.



Εικ. 9.27

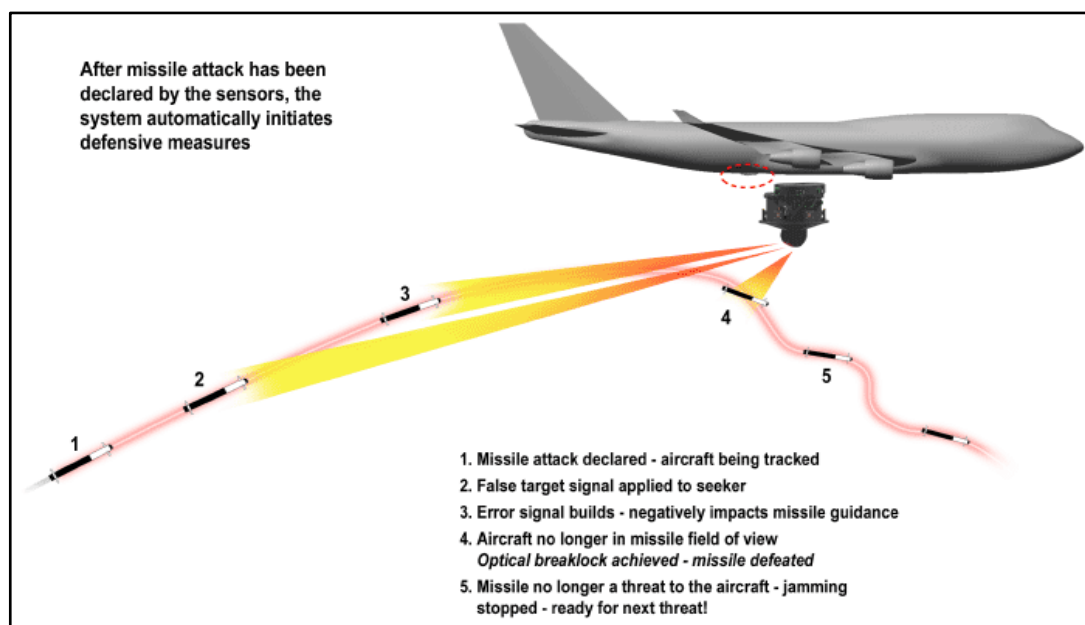
ATHENA. Έπειτα από ανάληψη συμβολαίου 25 εκατομμυρίων δολαρίων από το πεντάγωνο, η Lockheed Martin ανέπτυξε το παραπάνω σύστημα με ισχύ 60KW. Το σύστημα προς το παρόν είναι σε φάση ανάπτυξης.



Εικ. 9.28

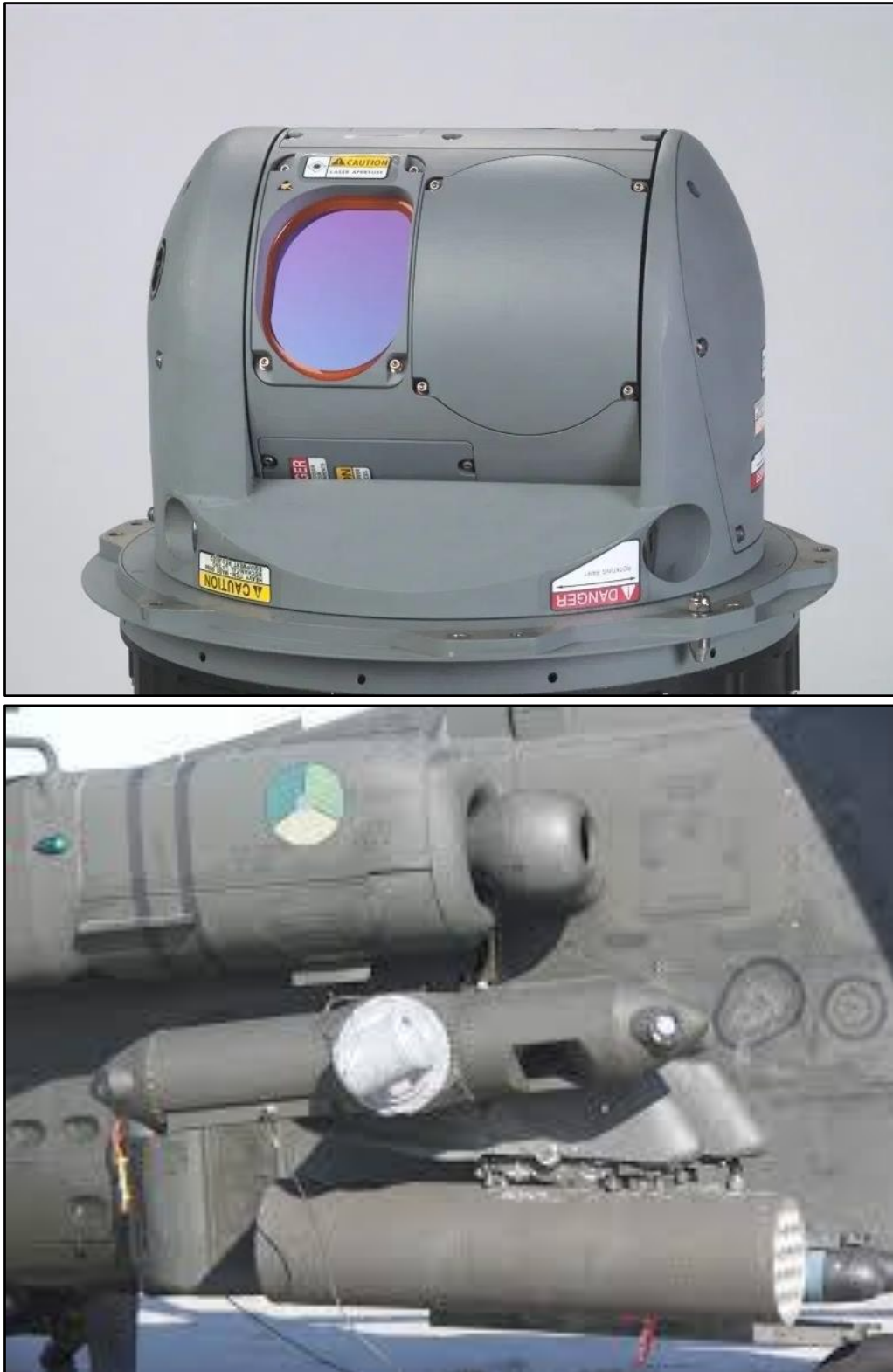
ATHENA. Με αναφορές να κάνουν λόγω για επίτευξη ισχύος 500 KW και με ιδιαίτερα ενθαρρυντικά αποτελέσματα κατά τις δοκιμές, είναι σίγουρο πως τα όπλα Laser θα αποτελέσουν σημαντικό παράγοντα τα επόμενα χρόνια καθώς αφενός αυξάνεται συνεχώς η ισχύς τους και αφετέρου είναι κατά πολύ πιο οικονομικά σε σχέση με τα συμβατικά όπλα.

Τα συστήματα laser χαμηλής ενέργειας, χρησιμοποιούνται κυρίως για να «τυφλώσουν» ή και να καταστρέψουν οπτικούς αισθητήρες και αποτελούν τα πλέον σύγχρονα συστήματα αυτοπροστασίας Α/Φ από πυραύλους που καθοδηγούνται από IR/UV ακτινοβολία.



Εικ. 9.29

Γραφική απεικόνιση τρόπου λειτουργίας ενός συστήματος DIRCM (Directional IR Counter Measures) τα οποία χρησιμοποιούν δέσμη laser ώστε να «τυφλώσουν» τον οπτικό αισθητήρα ενός πυραύλου.



Εικ. 9.30

AN/AAQ-24(V) NEMESIS. Ευρύτατα χρησιμοποιούμενο σύστημα DIRM από ΗΠΑ και Ηνωμένο Βασίλειο. Λόγω της μεγάλης αποτελεσματικότητας, βρίσκεται σε προτεραιότητα από της ΗΠΑ, ανάλογο πρόγραμμα για την τοποθέτησή του στο σύνολο των Α/Φ. Στη κάτω εικόνα, απεικονίζεται η τοποθέτηση του συστήματος σε Ε/Π Apache.

Κεφάλαιο 10ο : Ο ΗΠ στα ηλεκτρο-οπτικά και Laser Συστήματα**10.1 Ηλεκτρονική Υποστήριξη**

Στην κατηγορία αυτή, λόγω του ότι η συντριπτική πλειοψηφία των ηλεκτρο-οπτικών συστημάτων λειτουργούν με παθητικό τρόπο (δεν υπάρχει εκπομπή) δεν περιλαμβάνονται τεχνικές ή μέσα.

Για τα laser συστήματα όμως, στη κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα LWR (Laser Warning Receivers). Ο σκοπός των LWR είναι παρεμφερής με αυτόν των RWR με τη διαφορά ότι οι LWR είναι κατασκευασμένοι να ανιχνεύουν Laser ακτινοβολία σε αντίθεση με τους RWR που ανιχνεύουν μικροκύματα.

Οι LWR χρησιμοποιούνται συνήθως σε τεθωρακισμένα οχήματα, ή αργά κινούμενα Α/Φ (Ελικόπτερα ή μεταφορικά Α/Φ) και είναι σε θέση να ανιχνεύουν ακτινοβολία laser είτε από αποστασιόμετρα είτε από καταδείκτες ενώ τα νεότερα συστήματα έχουν τη δυνατότητα (έστω και περιορισμένα) εκτός της κύριας δέσμης να ανιχνεύουν ακτινοβολία laser από σκέδαση. Παρόλα αυτά, η ανίχνευση μιας δέσμης laser παραμένει εξαιρετικά δύσκολη λόγω της κατευθυντικότητας της δέσμης.



Εικ. 10.1

AN/VVR-2B LWR σε Ε/Π S-60 (κάτω) και AN/VVR-4 σε τεθωρακισμένο όχημα (επάνω)



Εκτός από τα LWR, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση προσπίπτουσας ακτινοβολίας Laser στον φορέα που προστατεύουν, υπάρχουν και τα συστήματα προειδοποίησης εισερχόμενου πυραύλου. Τα συστήματα αυτά, είναι παθητικά και στην πράξη ανιχνεύουν την ακτινοβολία που παράγεται από τον κινητήρα του πυραύλου που κατευθύνεται στον φορέα. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται ως MWR (Missile Warning Receiver) ή CMWR (Common Missile Warning Receiver) ή MAW (Missile Approach Warning Receiver) με την τελευταία να πρόκειται για μια γενικότερη κατηγορία η οποία περιλαμβάνει και δέκτες ή και πομπούς ραδιοκυμάτων. Τα MWR λειτουργούν ανιχνεύοντας την UV ακτινοβολία (αν και υπάρχουν και MWR που λειτουργούν στο IR φάσμα) παρέχοντας μεγαλύτερη ακρίβεια και πολύ μικρότερο CFAR σε σχέση με τα IR συστήματα.



Εικ. 10.2

AN/AAR-57 CMWS. Το συγκεκριμένο σύστημα ανιχνεύει την IR ακτινοβολία και είναι εγκαταστημένο στα ΕΕ/Π APACHE.

10.2 Ηλεκτρονική Επίθεση

Στη κατηγορία αυτή επίσης δεν συναντάμε επίσης πληθώρα συστημάτων. Εκτός των Laser χαμηλής ή υψηλής ισχύος καθώς και τα DIRCM που περιεγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Μια ακόμη κατηγορία είναι οι IR Jammers

Οι IR Jammers αποτελούν παλαιότερα συστήματα από τους DIRCM και λειτουργούν με τη συνεχή εκπομπή IR ακτινοβολίας μεγάλης έντασης (μεγαλύτερης έντασης

από τον φορέα που προστατεύουν) η οποία πριν εξέλθει από τον παρεμβολέα έχει υποστεί κάποια διαμόρφωση δυσκολεύοντας έτσι την παρακολούθηση τους από πυραύλους IR.

Η ανάπτυξη περίπλοκων ακτινικών πλεγμάτων καθώς και η τεχνολογία IR Imaging καθιστά τα παραπάνω λιγότερο αποτελεσματικά με τη πάροδο του χρόνου.



Εικ. 10.3

AN/ALQ-147 IR Jammer σε ελικόπτερο Apache (Επάνω) και η εξέλιξη του AN/ALQ-157 (κάτω). Αντίστοιχα συστήματα έχουν αναπτυχθεί και για τεθωρακισμένα οχήματα.

10.3 Ηλεκτρονική Προστασία

α. Οπτικό φάσμα – IR

(1) Μείωση Αντίθεσης Στόχου – Περιβάλλοντος

Για το ορατό φάσμα η παραλλαγή (camouflage) είναι η ευρύτατα χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Η βαφή οχημάτων ή των στολών του προσωπικού ή των

εγκαταστάσεων αναλόγως με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται ή πρόκειται να επι-
χειρήσουν μπορούν να ελαττώσουν την ανακλαστικότητα έως 90% στο οπτικό φάσμα.

Ανάλογη είναι η χρήση κατάλληλων χρωστικών που έχουν την ιδιότητα να μετα-
κυλούν φασματικά την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκλύεται από το αντικείμενο που
προστατεύουν σε διαφορετικά μήκη κύματος όπου η εξασθένιση είναι μεγαλύτερη.

Η προσθήκη κατάλληλων υλικών στα εξερχόμενα καυσαέρια είναι μια ακόμα τε-
χνική που εφαρμόζεται για να μειώσει την αντίθεση στην IR ακτινοβολία.

Τέλος, για τα δίκτυα παραλλαγής, εκτός από τη κατάλληλη χρώση για το οπτικό
φάσμα, χρησιμοποιούνται υλικά τα οποία παρέχουν και ως ένα βαθμό απόκρυψη τους
εκπεμπόμενης θερμότητας.



Εικ. 10.4

Σύγκριση άρματος μάχης
βαμμένο με κοινό χρώμα (1) με
αντίστοιχο βαμμένο με χρώμα
Anti-IR (2). Η εικόνα προέρχε-
ται από υπέρυθρη κάμερα.



Εικ. 10.5

Τεχνικές παραλλαγής



(2) Παραπλάνηση

Η παραπλάνηση επιτυγχάνεται με τη χρήση «δολωμάτων» (Decoys). Τα δολώματα είναι τόσο αποτελεσματικά όσο πιο πιστά αυτά αναπαριστούν τον πραγματικό στόχο. Ανάλογα του τρόπου κατασκευής τους μπορεί να είναι αποτελεσματικά εναντίον πληθώρα αισθητήρων (οπτικού, IR, Radar ή και συνδυασμό αυτών). Ένα φουσκωτό ομοίωμα ενός άρματος για παράδειγμα, βαμμένο κατάλληλα είναι αποτελεσματικό μόνο στο ορατό φάσμα. Με την τοποθέτηση εντός αυτού μιας πηγής θερμότητας η οποία έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με τη θερμότητα που εκπέμπεται από τον κινητήρα του άρματος, τότε το δόλωμα αυτό είναι αποτελεσματικό και εναντίων IR δεκτών.

Η αποκάλυψη ενός δολώματος, όσο και αν αυτό αντιγράφει τον πραγματικό στόχο, είναι αρκετά πιθανή. Παρόλα αυτά αφενός πολλές φορές η αποκάλυψη ενός decoy γίνεται όταν πλέον είναι ήδη αργά (για την περίπτωση που έχει ήδη εκτοξευτεί κάποιο όπλο εναντίον του δολώματος) και αφετέρου απαιτεί κάποιο χρόνο ο οποίος μπορεί να είναι κρίσιμος για την εξέλιξη των επιχειρήσεων.



Εικ. 10.6

Πυροβολαρχία αντιαεροπορικών πυραύλων από φουσκωτά ομοιώματα.

(3) Σκίαση

Η σκίαση αποτελεί μια πολύ αποτελεσματική μορφή αντιμετώπισης των Η/Ο συστημάτων. Νέφη, καπνός, θόλωση, βλάστηση μπορούν να καταστήσουν έναν Η/Ο αισθητήρα από λίγο έως καθόλου αποτελεσματικό. Εάν εξαιρέσουμε τα νέφη και τη θόλωση στα οποία δεν υπάρχει έλεγχος καθώς και τη βλάστηση η οποία δεν είναι δυνατό να βρεθεί πάντα, ο καπνός αποτελεί το συνηθέστερο μέσο σκίασης.

Τα αποτελέσματα του καπνού είναι πολύ μεγαλύτερα στο οπτικό φάσμα από ότι στο υπέρυθρο. Ανάλογα του τρόπου με τον οποίο παράγεται ο καπνός (π.χ. στα τεθωρακισμένα οχήματα ο καπνός παράγεται όταν σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια στο κινητήρα του οχήματος εγχυθεί λάδι, στα καπνογόνα βλήματα λευκού φωσφόρου από την καύση του λευκού φωσφόρου ο οποίος αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα κ.τ.λ.) τον καθιστά και τον ίδιο πηγή IR ακτινοβολίας οδηγώντας έτσι στη δημιουργία μιας πηγής IR ακτινοβολίας μεγαλύτερης έντασης.

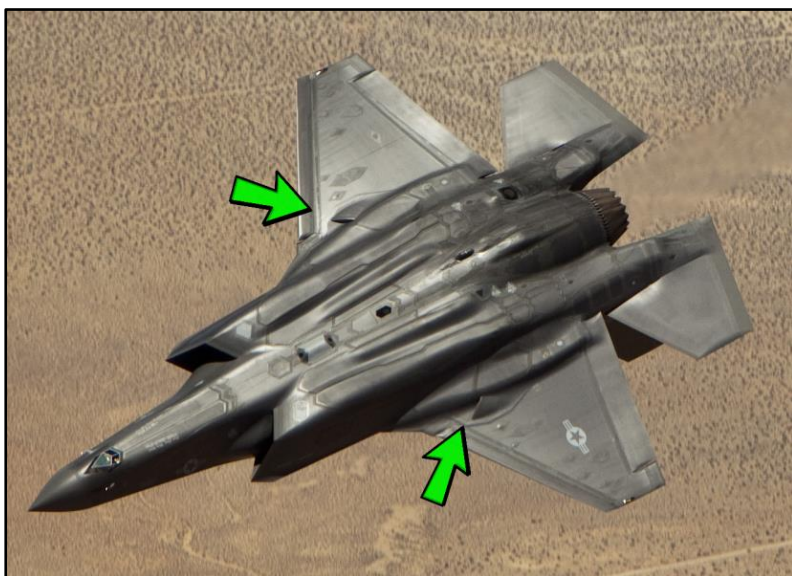


Εικ. 10.7

Σκίαση από βλάστηση. Στα σημεία που μεσολαβεί βλάστηση η απόδοση του θερμικού αισθητήρα είναι εξαιρετικά μειωμένη.

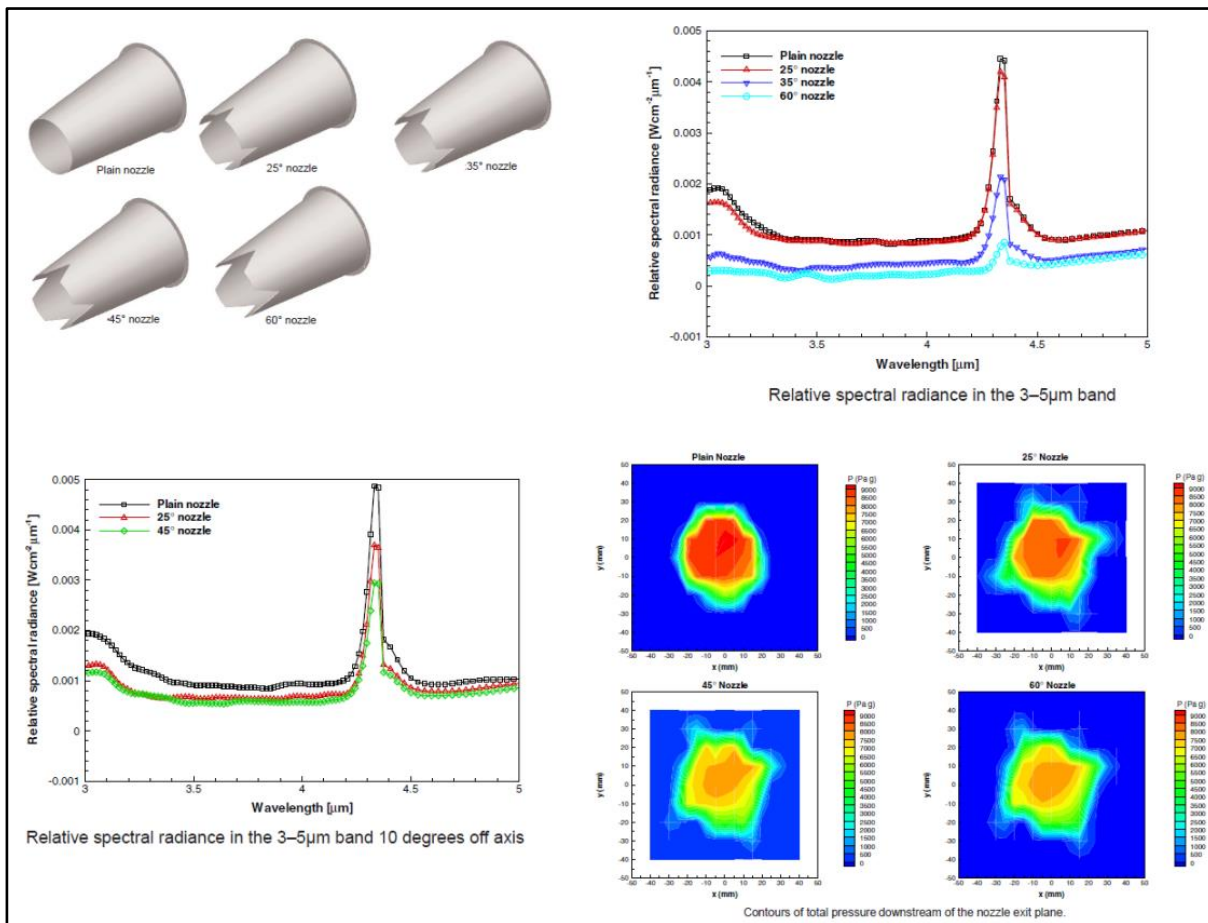
(4) Απόκρυψη Πηγής

Πρόκειται για σχεδιαστικό χαρακτηριστικό το οποίο στοχεύει στη απόκρυψη της εκπεμπόμενης IR ακτινοβολίας. Ακόμη και αν η πηγή δεν σκιαστεί πλήρως, η μείωση της έντασης της ακτινοβολίας που ανιχνεύεται από έναν IR αισθητήρα είναι πολύ μικρότερη, πράγμα που οδηγεί στην μείωση της μέγιστης απόστασης ανιχνεύσεως. Αν και αρχικά γινόταν προσπάθειες για την απόκρυψη της πηγής αυτής καθαυτής, πλέον αυτή η προσπάθεια περιστρέφεται στην χρήση ψυκτικών μέσων ή συστημάτων διάχυσης καυσαερίων.



Εικ. 10.8

(Επάνω) Οπές εισόδου ψυχρού αέρα σε Α/Φ F-35
(Κάτω) Ο ψυχρός αέρας αναμιγνύεται με τα καυσαέρια μειώνοντας τη θερμοκρασία τους



Εικ. 10.9

Επίδραση χρήσης διαφορετικών τύπων στομιών σε συστήματα εξαγωγής καυσαερίων Α/Φ.

(5) Ελιγμοί

Οι ελιγμοί ενός Α/Φ, Ε/Π ή και άλλου επίγειου μέσου μπορούν να αποτελέσουν αντίμετρο για τα Η/Ο συστήματα. Η τεχνική κατά την οποία ένα Α/Φ ακολουθεί το ανάγλυφο του εδάφους (terrain masking), η κάλυψη πίσω από εδαφικές εξάρσεις (NOE – Nap of the Earth) ή πτήση μπροστά από ορεινούς όγκους και σε μικρή απόσταση από αυτούς είναι μερικές τεχνικές ελιγμού οι οποίες είτε λόγω απόκρυψης (NAP) είτε λόγω μείωσης την αντίθεση τους με το περιβάλλον μειώνουν την απόδοση του αισθητήρα. Η τεχνική που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο κατά την οποία κάποιο Α/Φ κατευθύνεται προς τον ήλιο ώστε να πετύχει τον απεγκλωβισμό από κάποιο IR πύραυλο, ανήκει επίσης σε αυτή την κατηγορία.

Δεδομένου ότι τα Η/Ο συστήματα είναι κατά κύριο λόγο παθητικά και η γνώση της θέσης τους στο χώρο δεν μπορεί να είναι γνωστή, καθιστά την τεχνική των ελιγμών δύσκολο να έχει αποτέλεσμα.

(6) Ενεργά Αντίμετρα

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι IR Jammers, DIRCM και οι θερμοβολίδες (Flares). Οι δύο πρώτες κατηγορίες προγράφηκαν προηγουμένως. Για τις θερμοβολίδες υπάρχουν 2 βασικές κατηγορίες.

(α) Πυροτεχνικά (Pyrotechnic) Flares

Αποτελούν την πρώτη γενιά Flare και είναι κατασκευασμένα από έναν συνδυασμό μαγνησίου, τεφλόν και βιτόν για αυτό και πολύ συχνά αναφέρονται και ως «MTV» Flares. Αποτελούν σημειακή πηγή IR ακτινοβολίας με μέγιστη εκπομπή στη φασματική περιοχή των 1-2 μm και μέχρι τα 5 μm . Τα MTV flares δεν είναι αποτελεσματικά πλέον στα σύγχρονα IR βλήματα για τους παρακάτω λόγους:

1/ Είναι σημειακή πηγή ακτινοβολίας και έχουν διαφορετική φασματική υπογραφή από αυτή των θερμών τμημάτων ενός Α/Φ.

2/ Separation rate – Spatial Position Recognition: Αμέσως μετά την άφεςή τους, τα MTV Flares έχουν πολύ μεγάλο ρυθμό επιβράδυνσης. Αυτό το χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται από τα σύγχρονα IR βλήματα ως αντι-αντίμετρο στα Flares.

3/ Signature Recognition: Τα νεότερης γενιάς IR βλήματα, εφαρμόζουν τη λεγόμενη «Dual Band Discrimination», ερευνούν δηλαδή συνεχώς για 2 πηγές IR ακτινοβολίας και σε περίπτωση που τις εντοπίσουν (πιθανότατα μια του Α/Φ και μια του Flare) περνούν σε λογική Flare rejection με τεχνικές όπως σύγκριση του μήκους κύματος – θερμοκρασίας, έντασης ακτινοβολίας, ρυθμό καθόδου κ.α. Όταν γίνεται σύγκριση των μηκών κύματος εντός της ίδιας φασματικής περιοχής (IR) ονομάζεται «Two Tone Discrimination», ενώ αν γίνεται σε 2 (IR και UV) ονομάζεται «Two Color Discrimination».

4/ Flare Signature Rise Time Detection: Λόγω της ταχύτητας αναφλέξεως των MTV Flares η οποία οδηγεί στη ραγδαία αύξηση της IR ακτινοβολίας εντός του οπτικού πεδίου του αισθητήρα. Το χαρακτηριστικόν αυτό εκμεταλλεύεται από τα σύγχρονα IR βλήματα για να απορρίψουν την ακτινοβολία αυτή, διατηρώντας τον εγκλωβισμό στον πραγματικό στόχο.

(β) Πυροφορικά (Pyrophoric) Flares

Για να ξεπεραστούν οι αδυναμίες των MTV Flares, από τη δεκαετία του 1990 άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα πυροφορικά flares. Τα πυροφορικά Flares κατασκευάζονται από πολύ λεπτά φύλλα μετάλλων όπως σίδηρος, νικέλιο, κράματα ή συνδυασμό διαφόρων μετάλλων τα οποία σε συνδυασμό με κατάλληλο χημικό (συνήθως σε υγρή μορφή) όπως οξείδιο του προπυλενίου καθιστά τα παραπάνω flares πυροφορικά (αναφλέγονται σε επαφή με το οξυγόνο του αέρα ή την υγρασία που υπάρχει σε αυτόν).

Τα κύριο πλεονεκτήματα των πυροφορικών flares είναι ότι η φασματική τους περιοχή είναι γύρω στα 4 – 5 μm (πολύ πιο κοντά στη πραγματική φασματική περιοχή των καυσαερίων), έχουν μικρότερη θερμοκρασία η οποία δεν αναπτύσσεται απότομα όπως τα MTV Flares και καίγονται για πολύ περισσότερη ώρα (της τάξης των δευτερολέπτων) οπότε δεν αποτελούν σημειακή πηγή ακτινοβολίας.

**Εικ. 10.10**

Σύγκριση πυροτεχνικού flare (επάνω) με πυροφορικό (κάτω)

(γ) Σύγχρονες Εξελίξεις

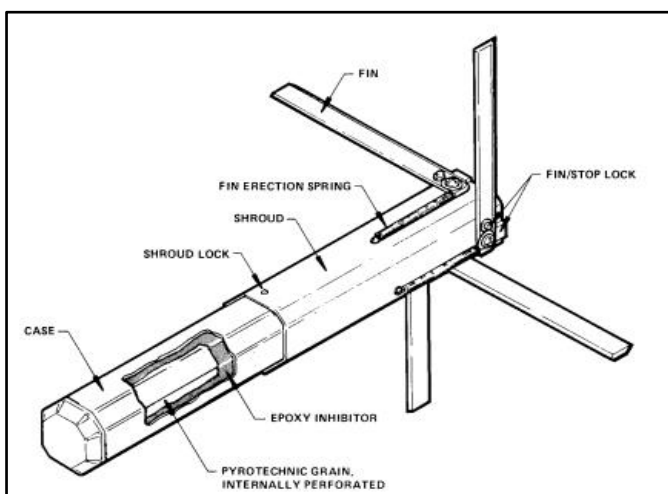
Τα τελευταία χρόνια λόγω της βελτίωσης των αισθητήρων IR και UV και η ικανότητά τους να ανιχνεύουν και να απορρίπτουν τα αντίμετρα – decoys, έχει οδηγήσει σε συνεχή έρευνα για την ανάπτυξη και βελτίωση των flares χωρίς όμως να υπάρχει αντίστοιχη πρόοδος. Οι τελευταίες τεχνολογίες που ερευνώνται είναι:

1/ Flares βελτιωμένης άφησης: Η χρήση πτερυγίων βελτιώνουν τα πτητικά χαρακτηριστικά των flares ώστε να προσομοιάζουν αυτά του φορέα που προστατεύουν.

2/ Flares με σύστημα ώθησης (Thrusted Flares): Συνήθως πρόκειται για MTV Flares η καύση των οποίων τους δίνει και κάποια ώθηση ή πυροφορικές με κάποιο σύστημα ώθησης. Σύμφωνα με έρευνες οι Thrusted Flares μπορούν να αναπτύξουν ταχύτητες κοντά σε αυτή του ήχου.

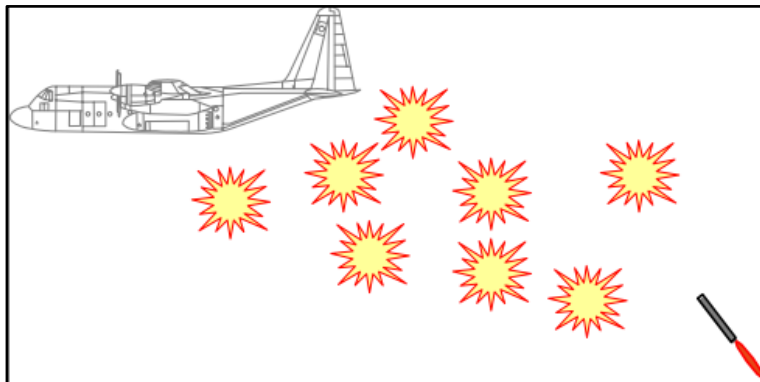
3/ Ρυμουλκούμενες, πολλαπλού φάσματος – έντασης ακτινοβολίας, φωτοβολίδες συγκάλυψης.

Για τα προαναφερθέντα πολύ λίγα είναι διαθέσιμα σε πηγές. Με εξαίρεση τα Flares MJU-39/B και MJU-40/B που φέρονται από F-22 και MJU-47/B που φέρονται από τα F-18 και ανήκουν στη 1^η και 2^η κατηγορία, η τελευταία κατηγορία βρίσκεται σε φάση έρευνας – ανάπτυξης για πάνω από 10 χρόνια. Παρόλα αυτά εταιρίες αμυντικού εξοπλισμού, όπως η CHEMRING GROUP, διαφημίζουν πολυφασματικά flare χωρίς όμως να δίνονται παραπάνω πληροφορίες.

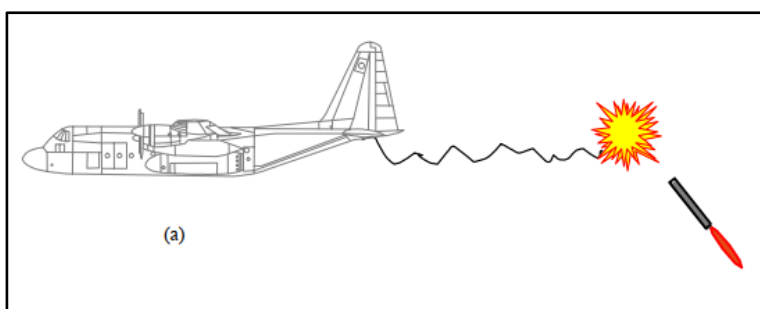


Εικ. 10.11

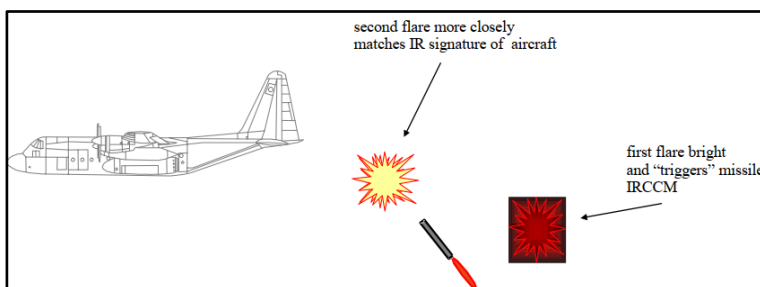
Γραφική απεικόνιση *thrusted Flare*. Η εικόνα απεικονίζει την MJU-31/B η οποία ήταν σε φάση ανάπτυξης τη δεκαετία του 1990, χωρίς όμως να βγει επίσημα στη παραγωγή.

**Εικ. 10.12**

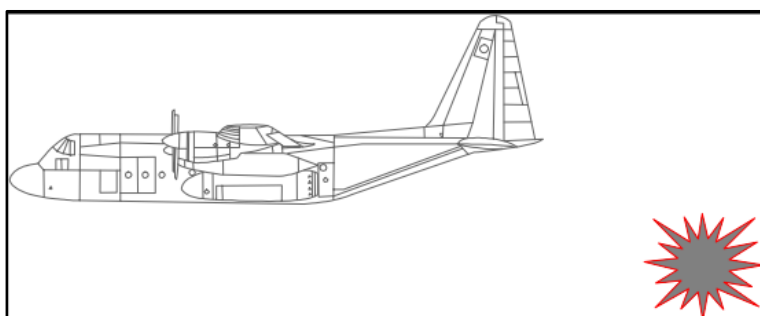
Τρόπος λειτουργίας πολυφασματικών Flares. Η ύπαρξη πολλαπλών «υπογραφών» ταυτόχρονα εντός του οπτικού πεδίου ενός IR αισθητήρα, οδηγεί στην υπερφόρτωσή του.

**Εικ. 10.13**

Ρυμουλκούμενο Flare. Προσομοιάζει την κίνηση του φορέα.

**Εικ. 10.14**

Flare διαφορετικών εντάσεων ακτινοβολίας.

**Εικ. 10.15**

Flare αποκρύψεως. Η εκπομπή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος ώστε να μη παράγεται στιγμιαία λάμψη, αποκρύπτει τη εκπεμπόμενη από το Α/Φ ακτινοβολία.

Κεφάλαιο 11°: Μέθοδοι Κατεύθυνσης Βλημάτων

11.1 Εισαγωγή

Ένα μεγάλο μέρος του ΗΠ είναι αφιερωμένο στον εντοπισμό και την αποφυγή κατευθυνόμενων βλημάτων. Συστήματα όπως τα RWR και LWR που αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, όπως και τα DIRCM, CHAFFS, FLARES και οι παρεμβολείς των συστημάτων αυτοπροστασίας, σχεδιάζονται (ή προγραμματίζονται) για την αντιμετώπιση των βλημάτων αυτών. Συνεπώς κρίνεται σκόπιμο στο κεφάλαιο αυτό να γίνει μια σύντομη περιγραφή των κυριότερων μεθόδων κατεύθυνσης βλημάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα.

11.2 Ανάγκη για Κατεύθυνση

Ακόμη και αν είχαμε απόλυτα ακριβή στοιχεία ενός στόχου η εκτόξευση ενός μη κατευθυνόμενου βλήματος εναντίον αυτού θα έχει πάντα μειωμένη απόδοση. Οι κυριότεροι λόγοι που συμβαίνει αυτό είναι:

- Κατά την εκτόξευση θα έχουμε τυχαίες αποκλίσεις, οφειλόμενες στους κραδασμούς του εκτοξευτήρα ή στην κίνησή του.
- Το ίχνος πτήσης δεν θα είναι ποτέ το ίδιο για ένα πλήθος λόγων όπως επίδραση του ανέμου, μεταβολές στην πυκνότητα του αέρα από μέρα σε μέρα, τυχαίες εργοστασιακές αποκλίσεις στην πυκνότητα των μετάλλων του βλήματος κ.ά.
- Τέλος, και μάλλον το πιο σημαντικό από όλα, οι περισσότεροι στόχοι δεν καλοβλέπουν την ιδέα να χτυπηθούν από βλήμα και έχουν την τάση να κινούνται συνεχώς.

Αθροιστικά όλα τα παραπάνω συντελούν στο να έχουμε μειωμένη αποτελεσματικότητα του όπλου και κατά συνέπεια μια τέτοια προσέγγιση είναι ασύμφορη.

11.3 Είδη Κατεύθυνσης

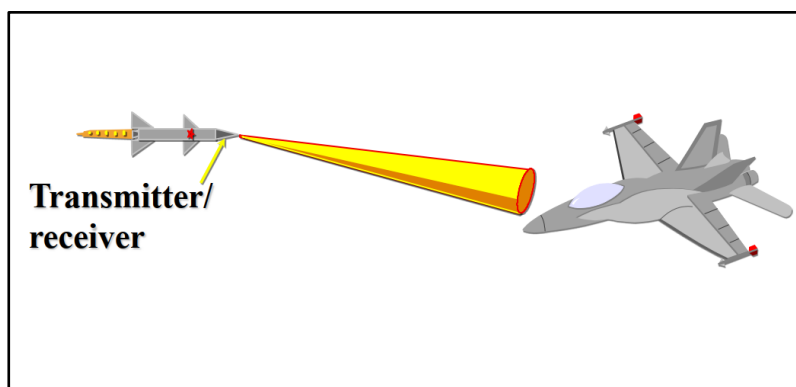
α. Homing Guidance

Ένα σύστημα HOMING είναι αυτό κατά το οποίο μέσα στο βλήμα υπάρχουν συσκευές κατεύθυνσης που αντιδρούν σε κάποια μορφή ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το στόχο. Όλα τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν δύο βασικά στοιχεία πάνω στο βλήμα: έναν δέκτη ακτινοβολίας και έναν υπολογιστή κατεύθυνσης.

Τα συστήματα HOMING είναι γνωστά ως συστήματα κατεύθυνσης «2 σημείων» επειδή η τροχιά του βλήματος εξαρτάται από τη σχετική κίνηση στόχου – βλήματος και όχι από το σημείο εκτόξευσης. Χωρίζονται σε 3 κύριες κατηγορίες ανάλογα με την πηγή της ενέργειας που έρχεται από το στόχο και λαμβάνεται από τον αισθητήρα του βλήματος.

(1) Active Homing

Σε ένα σύστημα ACTIVE HOMING, το βλήμα περιέχει τον πομπό που «φωτίζει» τον στόχο (συνήθως RADAR), τον δέκτη για την ανακλώμενη ακτινοβολία και τον υπολογιστή κατεύθυνσης που δίνει οδηγίες κατεύθυνσης στο βλήμα.



Εικ. 11.1

Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας Active Homing βλημάτων

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ακρίβεια: συνάρτηση τελικής φάσης / όχι απόστασης
- Πλήρης αυτονομία, απεμπλοκή LAUNCHER

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

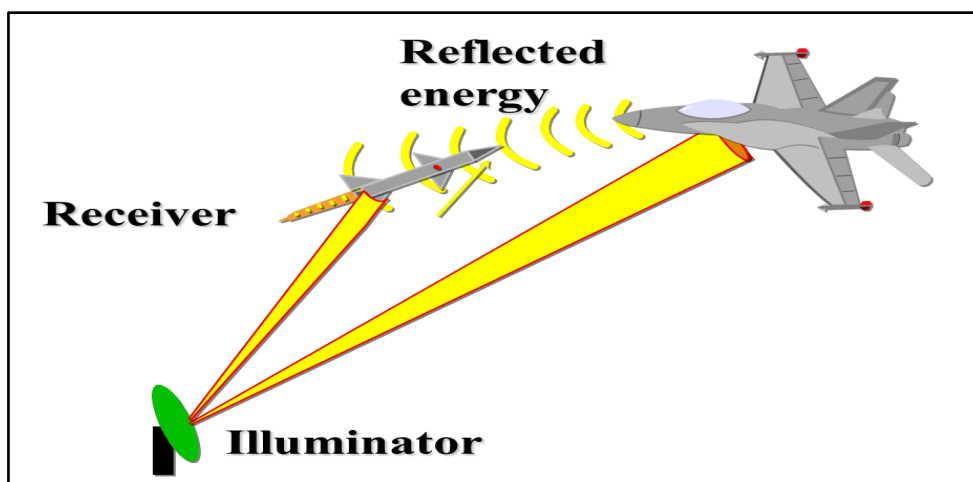
- Ακριβό – πολύπλοκο βλήμα
- Απώλεια πομπού/δέκτη/υπολ. με κάθε άφεση
- Το βλήμα εκτίθεται σε ECM
- Μεγάλο ρύγχος για την κεραία
- Περιορισμός εμβελείας (active) από ισχύ πομπού

Εικ. 11.2

Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα Active Homing βλημάτων

(2) Semi – Active Homing Guidance

Έστω ότι έχουμε έναν τυχαίο στόχο. Το ραντάρ του οπλικού συστήματος που φέρει ημιενεργά βλήματα «φωτίζει» το στόχο και το βλήμα. Το βλήμα διαθέτει 2 κεραίες, μία στο ρύγχος και μία στην ουρά. Με την πίσω κεραία λαμβάνει την ακτινοβολία όπως αυτή έρχεται απ' ευθείας από το οπλικό σύστημα, ενώ με την εμπρόσθια κεραία λαμβάνει την ίδια ακτινοβολία όπως αυτή αντανακλάται πάνω στο στόχο. Ο υπολογιστής του βλήματος συγκρίνει τα 2 διαφορετικά δεδομένα και δίνει ανάλογες οδηγίες στα πτερύγια, προκειμένου το βλήμα να κατευθυνθεί στο στόχο.

**Εικ. 11.3**

Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας Semi Active Homing βλημάτων

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ακρίβεια: συνάρτηση τελικής φάσης / όχι απόστασης
- Επιβίωση πομπού
- Βλήμα λιγότερο σύνθετο – βαρύ – ακριβό από active βλήμα
- Μικρότεροι περιορισμοί πομπού ως προς όγκο/βάρος
⇒ μεγαλύτερη εμβέλεια

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Το βλήμα εκτίθεται σε ECM
- Μεγάλο ρύγχος για την κεραία
- Δέσμευση του πομπού στο στόχο
- Επίγειος δέκτης εκτίθεται σε ARM
- Προειδοποίηση στο στόχο

Εικ. 11.4

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Semi Active Homing βλημάτων.

(3) Passive Homing Guidance

Σε ένα σύστημα Παθητικής Καθοδήγησης η ακτινοβολία που εκπέμπει ο ίδιος ο στόχος χρησιμοποιείται ως η πηγή προς την οποία θα κατευθυνθεί το βλήμα. Τέτοια ακτινοβολία για παράδειγμα μπορεί να είναι η υπέρυθη ακτινοβολία (βλήματα AIM-9) ή ακτινοβολία RADAR (βλήματα HARM). Το βλήμα περιέχει μόνο έναν δέκτη και τον υπολογιστή.

<u>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</u>	<u>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Ακρίβεια ανεξάρτητη απόστασης • Optical ή IR \Rightarrow Μικρότερο/φθηνότερο • Βλήμα αυτόνομο μετά εκτόξευση 	<ul style="list-style-type: none"> • Background • Optical ή IR \Rightarrow Όχι παντός καιρού • Απόσταση εγκλωβισμού συνάρτηση εκπομπής στόχου

Εικ. 11.5

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Passive Homing βλημάτων.

β. Navigational Guidance

Σε αυτήν την μέθοδο το βλήμα περιέχει έναν MISSILE TRACKER και τον υπολογιστή κατεύθυνσης. Η θέση του στόχου μπορεί να προ-τοποθετείται στο βλήμα (για σταθερούς στόχους), ή να δίδεται κατά τη διάρκεια της πτήσης. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέρος ενός σύνθετου συστήματος κατεύθυνσης, όπου το βλήμα με NAVIGATIONAL GUIDANCE κατευθύνεται προς την περιοχή του στόχου και στη συνέχεια συνεχίζει με άλλη μέθοδο πχ. TERMINAL HOMING. Την μέθοδο NAVIGATIONAL GUIDANCE την χωρίζουμε σε τρεις κύριες κατηγορίες

(1) Inertial Navigation (INS)

Με την αδρανειακή ναυτιλία η θέση του βλήματος βρίσκεται με τη μέτρηση των επιταχύνσεων του βλήματος συνήθως σε τρία επίπεδα κάθετα μεταξύ τους (με χρήση συνήθως κάποιου τύπου γυροσκοπίου ή επιταχυνσιομέτρου). Ολοκληρώνοντας τις μετρήσεις αυτές βρίσκεται η σχετική θέση του βλήματος σε σχέση με το

σημείο εκτόξευσης. Πριν την εξαπόλυση πρέπει να τροφοδοτηθεί το βλήμα με τις συντεταγμένες του σημείου εκτόξευσης και του στόχου, καθώς και το επιθυμητό ίχνος πτήσης. Αφού βρεθεί στον αέρα, ο υπολογιστής του βλήματος συγκρίνει τη θέση του στο χώρο με την επιθυμητή και δίνει τα ανάλογα διορθωτικά σήματα στα πηδάλια.

<u>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</u>	<u>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Δεν παρεμβάλλεται • Απλός έως μηδαμινός επίγειος εξοπλισμός • Αυτονομία βλήματος • Όχι σύγχυση μεταξύ διαφορετικών βλημάτων • Δυνατότητα πολλαπλών ι-χνών 	<ul style="list-style-type: none"> • Απώλεια ακριβούς υλικού με το βλήμα • Μόνο σταθεροί στόχοι • Ευθυγράμμιση συστημάτων • Απαίτηση ακριβών συντεταγμένων θέσης εκτόξευσης και στόχου • Συσσώρευση σφάλματος με τη πάροδο του χρόνου

Εικ. 11.6

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα INS

(2) Terrain Reference Navigation (TRN)

Ένας χάρτης με τις ισοϋψείς καμπύλες στην περιοχή του στόχου αποθηκεύεται στο βλήμα. Στη συνέχεια οι πληροφορίες αυτές συγκρίνονται με επιστροφές IR ή RADAR που συλλέγουν οι αισθητήρες του βλήματος και δίνονται οι ανάλογες διορθώσεις. Από τη στιγμή που το βλήμα «προσανατολιστεί» στο χώρο μπορεί να επιλεγεί οποιοδήποτε ίχνος πτήσης προς το στόχο. Οι πύραυλοι TOMAHAWK χρησιμοποιούν αυτήν την μέθοδο.

<u>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</u>	<u>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Απλός επίγειος εξοπλισμός • Αυτονομία βλήματος • Όχι σύγχυση μεταξύ διαφορετικών βλημάτων • Δυνατότητα πολλαπλών ι-χνών 	<ul style="list-style-type: none"> • Μόνο σταθεροί στόχοι • Απαίτηση ακριβών συντεταγμένων στόχου • Απαίτηση ενημερωμένων στοιχείων εδάφους • Πιθανή απαίτηση και για INS • Δεν προσφέρεται για πτήση πάνω από θάλασσα καθώς δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις στο υψόμετρο.

Εικ. 11.7

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα TRN

(3) GPS Navigation

Ένας δέκτης GPS τοποθετείται στην ουρά συνήθως του βλήματος / πυραύλου. Τα δεδομένα θέσης που παρέχονται από το GPS χρησιμοποιούνται για την κατεύθυνση και διόρθωση του πυραύλου στο χώρο. Επειδή το GPS είναι ευάλωτο σε παρεμβολές, συνήθως δεν χρησιμοποιείται από μόνη της αυτή η μέθοδος αλλά σε συνδυασμό με τις προηγούμενες και κυρίως την INS. Έτσι τα δεδομένα GPS χρησιμοποιούνται για τη «διόρθωση» του αδρανειακού συστήματος και σε περίπτωση απώλειας σήματος GPS (ή ανίχνευσης παρεμβολών) το βλήμα συνεχίζει με τα στοιχεία του INS.

<u>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</u>	<u>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Απλός επίγειος εξοπλισμός • Φθηνός εξοπλισμός στο βλήμα • Αυτονομία βλήματος • Όχι σύγχυση μεταξύ διαφορετικών βλημάτων 	<ul style="list-style-type: none"> • Μόνο σταθεροί στόχοι • Απαιτήση ακριβών συντεταγμένων στόχου • Τρωτό σε παρεμβολές GPS

Εικ. 11.8

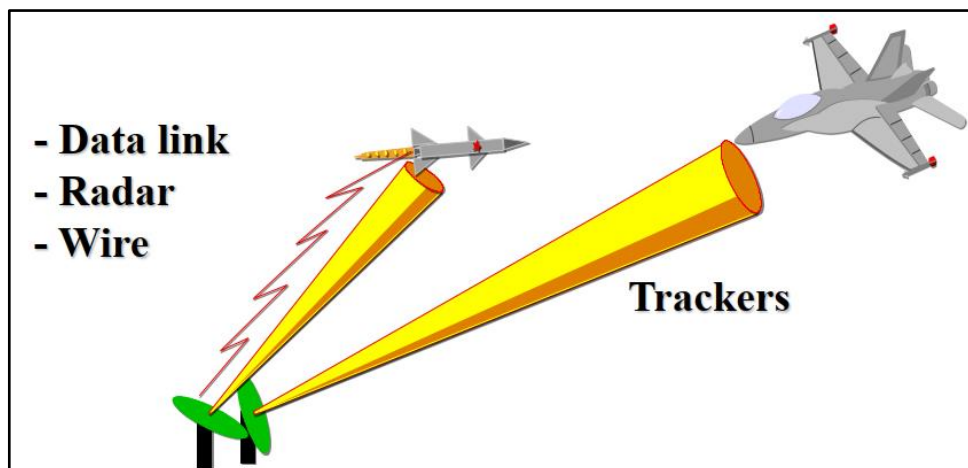
Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα GPS

γ. Command Guidance

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αυτές τις μεθόδους είναι γνωστά ως συστήματα «3 σημείων» καθώς ορίζονται από τον TRACKER, τον στόχο και το βλήμα. Σκοπός των συστημάτων αυτών είναι να τοποθετήσουν το βλήμα όσο πιο κοντά γίνεται στη γραμμή που ενώνει τον TRACKER με τον στόχο, η οποία ονομάζεται Line – Of – Sight (LOS).

(1) Command to Line of Sight (CLOS)

Χρησιμοποιεί μόνο γωνιακές συντεταγμένες (διαφορά γωνίας) μεταξύ στόχου-βλήματος. Το βλήμα πρέπει να εκτοξευτεί προς την LOS. Η CLOS περιλαμβάνει τις υποκατηγορίες Manual CLOS (MCLOS), Semi-Manual CLOS (SMCLOS), Semi-Automatic CLOS (SACLOS) και Automatic CLOS (ACLOS).



Εικ. 11.9

Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας CLOS

(α) Manual CLOS (MCLOS)

Με αυτή τη μέθοδο ο χειριστής τοποθετεί το σκοπευτικό στο στόχο και ταυτόχρονα κατευθύνει το βλήμα στη Line – Of – Sight. Αυτό απαιτεί από τον χειριστή εκπαίδευση και συνεχή εξάσκηση. Στο πίσω μέρος του βλήματος συνήθως βρίσκεται ένα BEACON ή μια φωτοβολίδα για να μπορεί ο χειριστής να παρακολουθεί το βλήμα.



Manual CLOS (MCLOS)

- Χειριστής εγκλωβίζει στόχο & βλήμα και δίνει manual εντολές στο βλήμα
- Beacon ή Flare στο πίσω μέρος του βλήματος
- Φθηνό
- EW Resistant
- Για «αργούς» στόχους

Εικ. 11.10

Χαρακτηριστικά MCLOS συστημάτων

(β) Semi-Manual CLOS (SMCLOS)

Η μέθοδος αυτή είναι ίδια με την MCLOS αλλά ο εγκλωβισμός του στόχου γίνεται αυτόματα ενώ ο χειριστής εγκλωβίζει βλήμα και δίνει manual εντολές Beacon ή Flare στο πίσω μέρος του βλήματος.

(γ) Semi-Automatic CLOS (SACLOS)

Με αυτή τη μέθοδο ο χειριστής εξακολουθεί να τοποθετεί το σκοπευτικό στο στόχο αλλά η κατεύθυνση του βλήματος γίνεται αυτόματα –οπτικά, IR, RADAR. Ο υπολογιστής κατεύθυνσης κατευθύνει το βλήμα στην Line – Of – Sight του χειριστή.


	<p><u>Semi-Automatic CLOS (SACLOS)</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Εγκλωβισμός στόχου από τον χειριστή, εντολές και παρακολούθηση του βλήματος δίνονται αυτόματα• Εύκολος χειρισμός• Βλήμα μπορεί να εκτοξευτεί εκτός οπτικού ορίζοντα χειριστή• Πιο συνηθισμένη καθοδήγηση για επίγειους στόχους (Τ/Θ, καταφύγια)• Επιδέχεται παρεμβολών• Πολύπλοκο• Αυξημένο κόστος
--	--

Εικ. 11.11

Χαρακτηριστικά SACLOS συστημάτων

(δ) Automatic CLOS (ACLOS)

Εδώ δεν υπάρχει κάποιος χειριστής αλλά η παρακολούθηση του στόχου και του βλήματος γίνεται εντελώς αυτόματα (με RADAR ή IR).

	<p><u>Automatic CLOS (ACLOS)</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Αυτόματη παρακολούθηση στόχου & βλήματος και καθοδήγηση του τελευταίου• Μειωμένες απαιτήσεις χειριστή• Επιδέχεται παρεμβολών• Πολύπλοκο• Αυξημένο κόστος
---	--

Εικ. 11.12

Χαρακτηριστικά ACLOS συστημάτων

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Απλό βλήμα με φθηνά εξαρτήματα κατεύθυνσης
- Εμπρόσθιο τμήμα διαθέσιμο για πολεμική κεφαλή
- Διαμόρφωση βλήματος ανεξάρτητη είδους κατεύθυνσης
- Καλή αντιμετώπιση ECM
- Απλός επίγειος εξοπλισμός

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Απαιτείται διατήρηση LOS
- Μειωμένη ακρίβεια σε μεγάλες αποστάσεις
- Δέσμευση επίγειου εξοπλισμού μέχρι πρόσκρουση
- Μεγάλες κάθετες επιταχύνσεις βλήματος εναντίον ταχέων στόχων
- Καυσαέρια βλήματος στη LOS

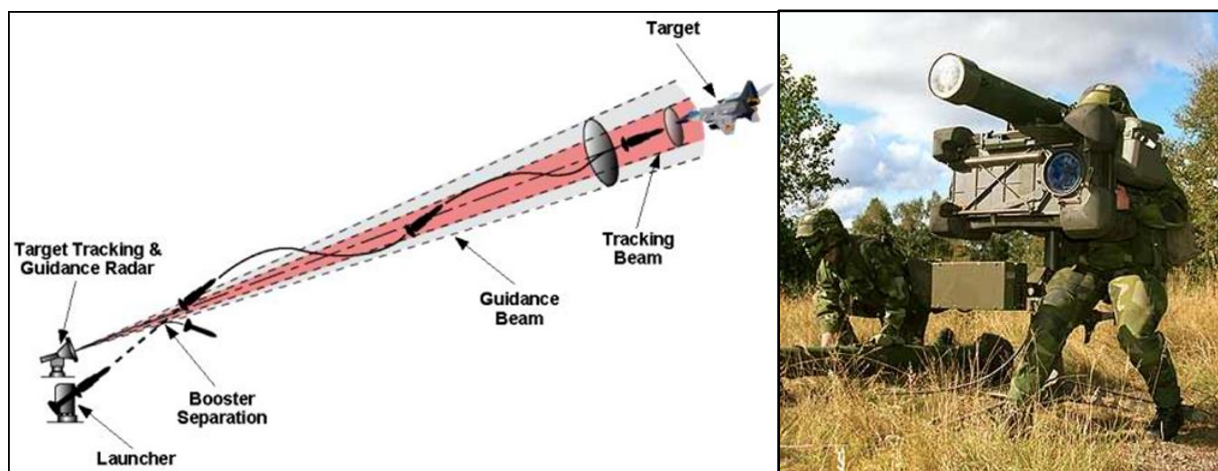
Εικ. 11.13

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα CLOS

(2) LOS Beam Riding

Τα βασικά στοιχεία του συστήματος είναι ο TRACKER του στόχου, μια δέσμη παραγόμενη από το οπλικό σύστημα και ένας δέκτης στο βλήμα και ο υπολογιστής κατεύθυνσης πάνω στο βλήμα.

Απαιτείται παρακολούθηση του στόχου από τον χειριστή ή αυτόματα και παράγεται μια δέσμη LASER ή RADAR, η οποία τον φωτίζει. Σκοπός της δέσμης αυτής είναι να προσδιορίζει ένα ίχνος πτήσης. Ο δέκτης στο πίσω μέρος του βλήματος μετράει την απόκλιση από την δέσμη και ο υπολογιστής δίνει τις απαραίτητες οδηγίες κατεύθυνσης προκειμένου το βλήμα να ίπταται επί της δέσμης (Beam Riding).



Εικ. 11.14

Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας LOS Beam Riding συστημάτων. Ένα παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι το A/A φορητό σύστημα RBS-70.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Απλό στη χρήση
- Λιγότερο πολύπλοκο από HOMING
- Το βλήμα "βλέπει" προς τα πίσω \Rightarrow καλή αντίσταση ECM
- Εμπρόσθιο μέρος διαθέσιμο για πολεμική κεφαλή
- Δυνατότητα πολλαπλής εκτόξευσης

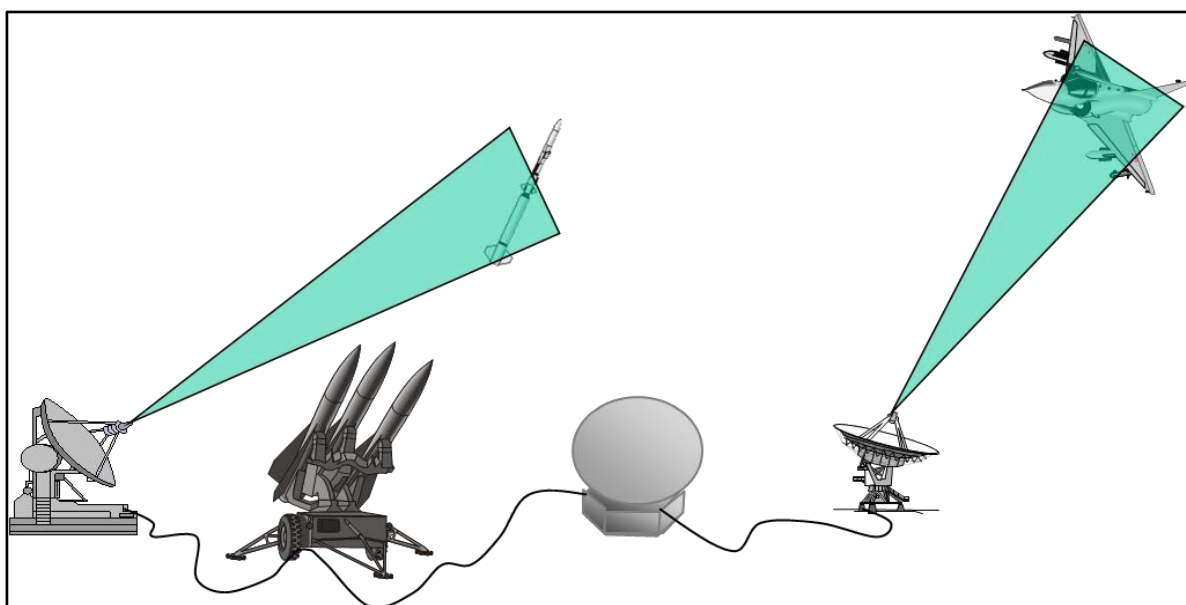
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Δέσμευση επίγειου εξοπλισμού μέχρι πρόσκρουση
- Διάθλαση δέσμης από ατμόσφαιρα/καυσαέρια
- Συνοχή δέσμης ευαίσθητη σε εμπόδια πεδίου μάχης
- Δυνατότητα ανίχνευσης δέσμης \Rightarrow λήψη αντιμέτρων

Εικ. 11.15

*Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα LOS Beam Riding***(3) Command Off LOS**

Με αυτή τη μέθοδο το βλήμα μπορεί να εκτοξευτεί εκτός LOS. Ένα ραντάρ διατηρεί εγκλωβισμένο τον στόχο ενώ ένα άλλο αναλαμβάνει να παρακολουθεί τον πύραυλο και να διαβιβάζει στοιχεία κατεύθυνσής σε αυτόν. Με τον τρόπο αυτό ο πύραυλος μπορεί να ακολουθήσει διαφορετικές τροχιές εκτός LOS. Η μέθοδος αυτή είναι εξαιρετικά διαδεδομένη και χρησιμοποιείται συχνά σε SAM.



Εικ. 11.16

Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας Command off LOS

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Μεγαλύτερη ευελιξία

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

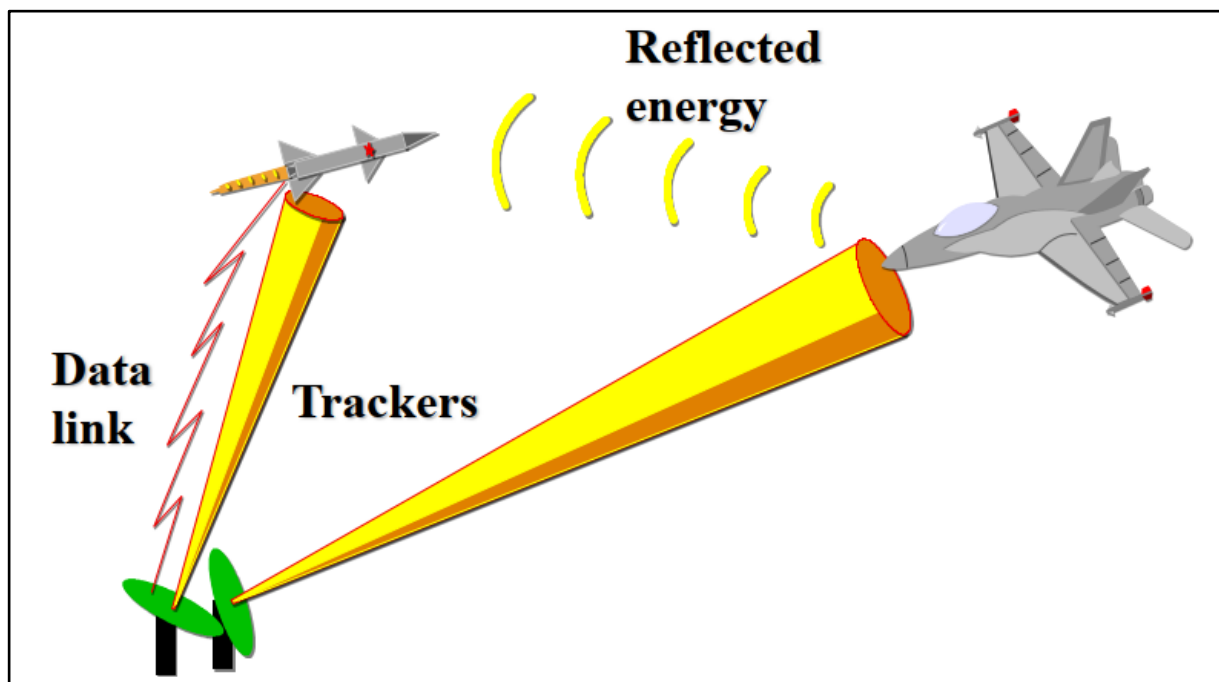
- Πολύπλοκο
- Απαιτείται απόσταση και γωνιακή ταχύτητα βλήματος/στόχου \Rightarrow λήψη αντιμέτρων

Εικ. 11.17

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Command off LOS

(4) Track-via-missile (TVM)

Είναι γνωστή και ως «Retransmission Homing». Πρόκειται για υβριδική μέθοδο κατά την οποία, ένα Radar φωτίζει το στόχο, η ανακλώμενη ακτινοβολία λαμβάνεται από βλήμα το οποίο στη συνέχεια μεταδίδει δεδομένα στον computer guidance (ο οποίος βρίσκεται εκτός του βλήματος). Τέλος από τον σταθμό εδάφους δίνονται εντολές κατεύθυνσης στο βλήμα.



Εικ. 11.18

Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας TVM.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

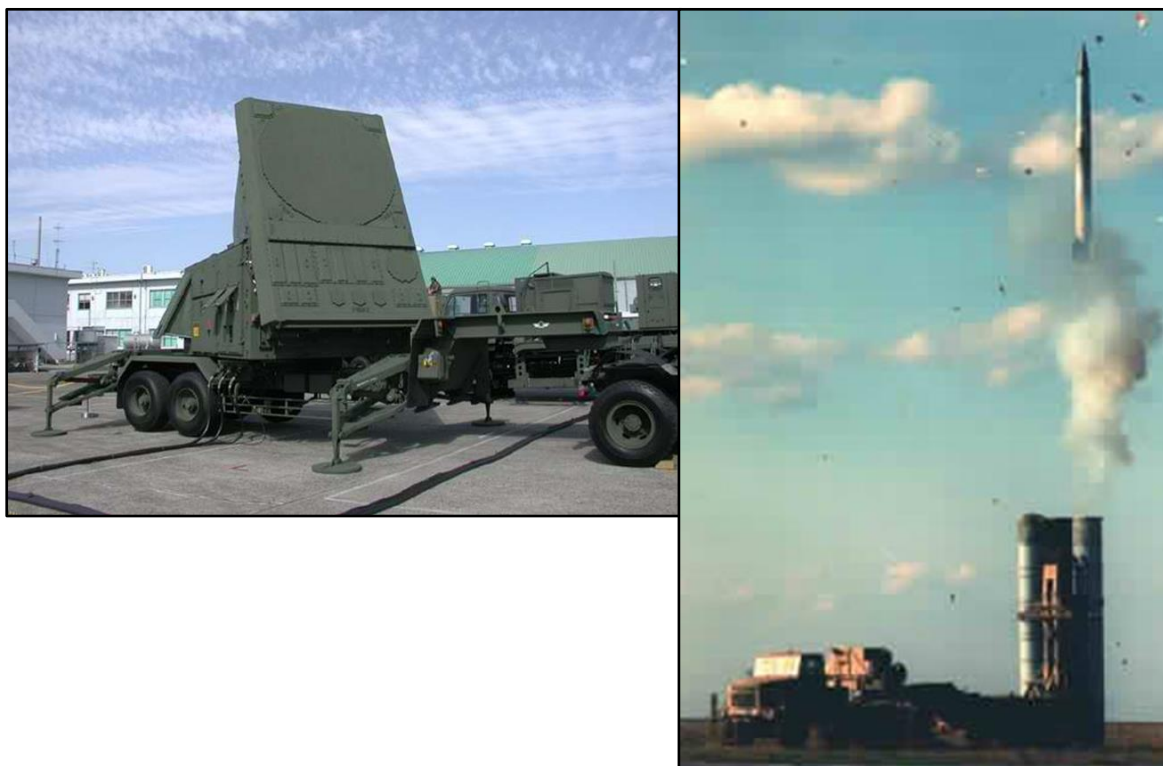
- Ο πύραυλος δεν προειδοποιεί τον στόχο αφού δεν εκπέμπει.
- Φθηνότερο από τα Homing συστήματα.
- Μεγαλύτερη αντοχή σε παρεμβολές.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Απαιτείται ένα ραντάρ να «φωτίζει» συνεχώς τον στόχο.
- Υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο να διακοπεί η επικοινωνία με τον σταθμό εδάφους.
- Το βλήμα πρέπει να βρίσκεται εντός ορισμένου χώρου.

Εικ. 11.19

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα TVM



Εικ. 11.20

Η μέθοδος TVM χρησιμοποιείται συχνά από τα συστήματα SAM μεγάλου βεληνεκούς. S-300 και PATRIOT είναι 2 από τα πιο γνωστά τέτοια συστήματα.

Κεφάλαιο 12° : Συστήματα σε Ελλάδα και Τουρκία

Τα συστήματα ΗΠ που διαθέτει κάθε χώρα αποτελούσαν πάντα και θα συνεχίσουν να αποτελούν ένα καλά κρυμμένο μυστικό με ελάχιστες ως καθόλου αναφορές σε αυτά στον τύπο ή σε ιστοσελίδες. Ο αριθμός των μέσων, η ταυτοποίηση του τύπου και οι δυνατότητες κάθε μέσου, αποτελούν το κατεξοχήν αντικείμενο έρευνας των υπηρεσιών πληροφοριών κάθε χώρας.

Τόσο η Τουρκία όσο και η Ελλάδα, διαθέτουν πληθώρα συστημάτων ΗΠ, με την πρώτη τα τελευταία χρόνια να έχει επενδύσει τεράστια ποσά στην έρευνα και ανάπτυξη εγχώριων συστημάτων ΗΠ για τα οποία λίγα είναι γνωστά καθώς αφενός η Τουρκία αποφεύγει να αναφέρει και αφετέρου δεν είναι δυνατή η άντληση πληροφοριών από τρίτους καθώς η πλειοψηφία αυτών δεν εξάγεται, τουλάχιστον προς το παρόν, σε άλλες χώρες. Η εμπειρία της Τουρκίας τα τελευταία τουλάχιστον 20 χρόνια στην έρευνα και ανάπτυξη μέσων ΗΠ αρχίζει και γίνεται ιδιαίτερα εμφανής τα τελευταία χρόνια, με συνεχείς παρουσιάσεις νέων συστημάτων τα οποία αρχίζουν και αντικαθιστούν πλέον αυτά άλλων χωρών.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα γίνει μια αναφορά στα συστήματα ΗΠ κάθε χώρας καθώς και μια σύντομη περιγραφή των δυνατοτήτων τους. Για ευνόητους λόγους τα στοιχεία που θα αναφέρονται και αφορούν στις δυνατότητες των συστημάτων ΗΠ καθώς και τους τύπους αυτών, θα είναι ΜΟΝΟ όσα μπορεί κάποιος να βρει σε ελεύθερες πηγές ώστε να αποφευχθεί η αναφορά σε διαβαθμισμένες πληροφορίες.

12.1 Ελλάδα**α. Συστήματα Επικοινωνιών**

Το σύνολο των μέσων των ελληνικών ΕΔ η επικοινωνία γίνεται με σταθμούς ασυρμάτου (Σ/Α) οι οποίοι διαθέτουν αρκετές ικανότητες ηλεκτρονικής προστασίας. Οι κυριότεροι Σ/Α είναι:

**TRC-9200/9210**

Ο κατεξοχήν χρησιμοποιούμενος τύπος ασυρμάτου για VHF επικοινωνία. Διαθέτει ικανότητες FFHP (Fast Frequency Hopping), Multiplexing και μετάδοσης δεδομένων με ταχύτητα μέχρι 19200 Kbit/s



TRC-3600/HF-3000

Σ/Α διαμόρφωσης ΑΜ. Έχει τη δυνατότητα FH, ψηφιακής μετάδοσης με τεχνικές FSK και PSK και κρυπτογράφησης.



GRC-206

Πρόκειται για ένα σύστημα Σ/Α που περιλαμβάνει: 2 Σ/Α με δυνατότητα HAVE-QUICK II (Αναπήδηση συχνοτήτων), 2 Σ/Α VHF TRC-9200, 1 Σ/Α HF TRC-3600 SSB. Το σύστημα χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο από τις ομάδες επαφής του ΕΣ.



Σ/Α HAVE QUICK II

Σ/Α οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ Α/Φ αλλά και μονάδων αεράμυνας με το πρωτόκολλο HAVE QUICK II.



ΣΕΖΜ «ΕΡΜΗΣ»

Ψηφιακό τακτικό σύστημα επικοινωνιών. Παρέχει δυνατότητα κρυπτασφάλισης, επικοινωνίας σε τηλεφωνία, τηλετυπία, τηλεομοιοτυπία και μετάδοση δεδομένων με ταχύτητα μέχρι 2MB/s. Χρησιμοποιείται από τον ΕΣ.



Σ/Α SATURN

Νεότεροι Σ/Α που αποτελούν την εξέλιξη του HAVE QUICK II. Έχουν την δυνατότητα μέχρι και 2000 hops/sec σε σχέση με τις μερικές εκατοντάδες hops/sec του HAVE QUICK II.

β. Συστήματα Radar Έρευνας – Επιτήρησης

**BOR-A 550**

Χερσαίας και παράκτιας επιτήρησης ραδιοεντοπιστής (GSR) κατάλληλος για στρατιωτική χρήση, σε επιχειρήσεις επιτήρησης ακτών και χερσαίων συνόρων. Επιτηρεί σε ακτίνα άνω των 40 km .Κάνει αυτόματη ταξινόμηση Track-while-scan (TWS) για πάνω από 40 στόχους. Τηλεχειρίζεται από Η/Υ (μέσω δικτύου Ethernet).

**KASTA 2E1**

Ραντάρ εγκαίρου προειδοποίησης. Λειτουργεί σε UHF συχνότητες και έχει εμβέλεια 150km περίπου. Είναι ραντάρ 2 διαστάσεων και έχει πολύ καλή απόδοση σε ίχνη χαμηλού RCS.

**TPQ-36**

PESA Pulse Doppler ραντάρ αντιπυροβολικού. Διαθέτει frequency agility (9,37 – 9,99 GHz) και PRF agility (7692 – 14705 rps). Το πλάτος παλμού είναι 1 msec και διαθέτει συμπίεση παλμού. με δυνατότητες frequency agility. Το βεληνεκές του είναι 18 km για βλήματα πυροβολικού και 24 km για πυραύλους.

**TPQ-37**

PESA Pulse Doppler ραντάρ αντιπυροβολικού Διαθέτει frequency agility (3.1 – 3.39 GHz) και PRF agility (2793 – 5050 rps). Το πλάτος παλμού είναι 10.75 msec και διαθέτει συμπίεση παλμού. με δυνατότητες frequency agility. Το βεληνεκές του είναι 30 km για βλήματα πυροβολικού και 50 km για πυραύλους.



ARTHUR

PESA Pulse Doppler ραντάρ αντιπυροβολικού. Είναι σε θέση να υπολογίζει τη θέση ενός πυροβόλου από τον εγκλωβισμό ενός βλήματος στον αέρα. Λειτουργεί σε συχνότητες 5,4 έως 5,9 GHz. Η εμβέλεια του είναι από 20 km έως 40 km, ανάλογα του μεγέθους του βλήματος – πυραύλου που θα ανιχνευτεί.



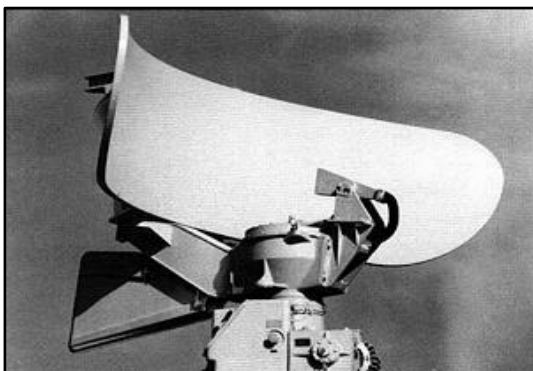
VARIANT

2D radar ερεύνης – επιτηρήσεως επιφανείας και αέρος. Λειτουργεί στις μπάντες I και G και μπορεί να εκπέμπει ταυτόχρονα σε 2 συχνότητες με διαφορά μια οκτάβας (2πλάσια συχνότητα ή μία από την άλλη). Είναι μεταβλητής PRF (3 – 9 KHz) και μεταβλητού πλάτους παλμού και η εμβέλειά του είναι περίπου στα 30 NM. Διαθέτει συμπίεση παλμού και δυνατότητες FFT. Βρίσκεται στις Κ/Φ τύπου OSPREY 56A του ΠΝ.



TRS 3033 (Triton S)

2D radar ερεύνης – επιτηρήσεως επιφανείας και αέρος. Λειτουργεί στην S Band και διαθέτει συμπίεση παλμού και frequency agility. Έχει την δυνατότητα ανίχνευσης ενός ίχνους RCS 2 m² σε απόσταση 26 km. Βρίσκεται στις Κ/Φ τύπου OSPREY 55 του ΠΝ



TRS 3050 (Triton G)

2D radar ερεύνης – επιτηρήσεως επιφανείας και αέρος. Λειτουργεί στην G Band και διαθέτει συμπίεση παλμού, frequency agility και FFT. Εκπέμπει και λαμβάνει ταυτόχρονα σε 2 κανάλια (επιφανείας – αέρος) και η εμβέλειά του είναι περίπου 20 km. Βρίσκεται στις ΤΠΚ Combattante IIIB και Κλάσης 148 του ΠΝ.

MW08

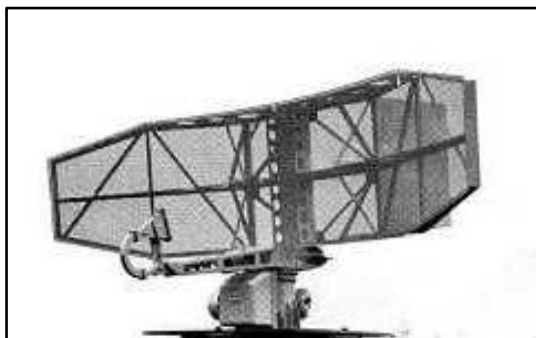
3D radar ερεύνης – επιτηρήσεως επιφανείας και αέρος. Λειτουργεί στην G Band και διαθέτει συμπίεση παλμού, frequency agility και FFT. Μέγιστη εμβέλεια 80 km και δυνατότητα ανιχνεύσεως ιχνών $0,1\text{m}^2$ σε 17 km. Μπορεί να παρακολουθεί ταυτόχρονα 20 εναέρια ίχνη και 8 επιφανείας για την παροχή στοιχείων κατεύθυνσης σε βλήματα, χωρίς όμως να διαθέτει την δυνατότητα κατεύθυνσης βλημάτων. Βρίσκεται στις ΤΠΚ Ρουσέν και Φ/Γ Τύπου S του ΠΝ.

DA 08

2D radar ερεύνης – επιτηρήσεως επιφανείας και αέρος. Λειτουργεί στην F Band και διαθέτει συμπίεση παλμού, frequency agility (500 – 1000 Hz) και FFT. Είναι ραντάρ μέσου – μεγάλου βεληνεκούς. Η ισχύς εκπομπής είναι πολύ μεγάλη (145 MW) και το βεληνεκές του είναι γύρω στα 150 km με range resolution περίπου 90m. Μπορεί να λειτουργήσει είτε σαν MTI ή FFT radar ή και τα 2 με την ύπαρξη 2 χοανών τροφοδοσίας. Βρίσκεται στις φρεγάτες τύπου MEKO

LW 08

2D radar ερεύνης – επιτηρήσεως επιφανείας και αέρος μεγάλου βεληνεκούς (260km για ίχνη με RCS 2m^2). Λειτουργεί στη D Band και διαθέτει PRF Agility (500 – 1000 Hz), MTI, κυκλική πόλωση και range resolution 0,5 nm. Βρίσκεται στις φρεγάτες τύπου S του ΠΝ.

ZW 06

2D radar ερεύνης – επιτηρήσεως επιφανείας και αέρος. Λειτουργεί στην I Band, με δυνατότητες frequency agility, λογαριθμικό ενισχυτή και κυκλική πόλωση. Είναι κατάλληλο για έρευνα επιφανείας και χαμηλά ιπτάμενων ιχνών. Η εμβέλεια του είναι περίπου 22 km και το range resolution 20 – 100 m ανάλογα του εκπεμπόμενου παλμού. Βρίσκεται στις φρεγάτες τύπου S του ΠΝ.



SCOUT Mk2

2D radar ερεύνης – επιτηρήσεως. Είναι ραντάρ FMCW με δυνατότητα μέτρησης Doppler. Ανήκει στη κατηγορία LPI (Low Probability of Interception) με εμβέλεια περίπου 45km. Βρίσκεται στις φρεγάτες τύπου S και στις ΤΠΚ ΡΟΥΣΣΕΝ του ΠΝ.



Martello S 743D

3D Band Ραντάρ εγκαίρου προειδοποίησης μεγάλου βεληνεκούς. Αποτελείται από αριθμό οριζόντιων στοιχειοκεραιών κάθετα τοποθετημένες με τη κάθε μία να αποτελεί ξεχωριστή κεραία. Με το τρόπο αυτό παρέχεται μεγάλη ελευθερία στη διαμόρφωση της εκπεμπόμενης δέσμης. Η εύρεση υψομέτρου, υπολογίζεται από την ισχύ του επιστρεφόμενου σήματος σε κάθε στοιχειοκεραία (monopulse). Διαθέτει επίσης κεραία IFF καθώς και επεξεργασία MTI. Το βεληνεκές του είναι περίπου 470km. Χρησιμοποιείται στο ΣΑΕ (Σύστημα Αεροπορικού Ελέγχου) της ΠΑ.



MPDR-90E

2D L Band Ραντάρ εγκαίρου προειδοποίησης μικρού βεληνεκούς. Το βεληνεκές είναι περίπου 90km και το μέγιστο ύψος ανίχνευσης τα 30 km. Χρησιμοποιείται στο ΣΑΕ (Σύστημα Αεροπορικού Ελέγχου) της ΠΑ.



AR327

3D S Band Ραντάρ εγκαίρου προειδοποίησης μεγάλου βεληνεκούς. Διαθέτει PRF Agility (Staggered και Jittered) και Frequency Agility και δυνατότητες MTI. Το βεληνεκές του είναι περίπου 470km και μπορεί να ανιχνεύσει ίχνη σε υψόμετρο 100000ft με range resolution 200m. Χρησιμοποιείται στο ΣΑΕ (Σύστημα Αεροπορικού Ελέγχου) της ΠΑ.

**HADR HR-3000**

3D F Band Ραντάρ εγκαίρου προειδοποίησης μεγάλου βεληνεκούς. Διαθέτει PRF (60 – 1430Hz) και Frequency Agility (2 – 4 GHz) και δυνατότητες MTI. Το βεληνεκές του είναι περίπου 200 nm για ίχνος με RCS 1m² με μέγιστο 310 nm ενώ μπορεί να ανιχνεύσει ίχνη σε υψόμετρο 98000ft. Χρησιμοποιείται στο ΣΑΕ (Σύστημα Αεροπορικού Ελέγχου) της ΠΑ.

**RAT-31 DL/M**

3D L Band AESA Ραντάρ εγκαίρου προειδοποίησης μεγάλου βεληνεκούς. Διαθέτει 42 TRMs και δυνατότητες MTI και Το βεληνεκές είναι περίπου 470km και το μέγιστο ύψος ανίχνευσης τα 30 km. Χρησιμοποιείται στο ΣΑΕ (Σύστημα Αεροπορικού Ελέγχου) της ΠΑ.

**AN/APS-143(V)**

I/J (9,25 -9,7 GHz) Band ραντάρ έρευνας. Έχει δυνατότητες frequency agility και pulse compression. Χρησιμοποιείται από τα Ε/Π S-70 Aegean Hawk του ΠΝ.



γ. Ραντάρ Οπλικών συστημάτων



HAWK PAR

C Band Παλμικό Ραντάρ του A/A συστήματος HAWK. Διαθέτει PRF agility και δυνατότητες MTI. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση εναέριων ιχνών σε μέσο και υψηλό ύψος.



HAWK CWAR

J Band Doppler Ραντάρ συνεχούς κύματος του A/A συστήματος HAWK. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση εναέριων ιχνών χαμηλό και πολύ χαμηλό ύψος.



HAWK MPQ-46

I/J Band ραντάρ doppler του A/A συστήματος HAWK. Εγκλωβίζει - «φωτίζει» συνεχώς τον στόχο και καθοδηγεί τους εν πτήση πυραύλους.



OSA-AK/AKM

H Band Pulse Doppler Ραντάρ ανιχνεύσεως με δυνατότητες MTI και frequency και phase agility με βεληνεκές περίπου 30 km. J Band Pulse Doppler Ραντάρ εγκλωβισμού με δυνατότητες phase και frequency agility. J Band κεραίες παρακολούθησης του πυραύλου και I Band κεραίες καθοδήγησης πυραύλων.

**TOR – M1**

Η Band Pulse Doppler Ραντάρ ανιχνεύσεως με δυνατότητες MTI, PRF Agility και δυνατότητα επιλογής είδους παλμού. Η Band PESA Ραντάρ εγκλωβισμού, PRF Agility, διαμόρφωσης παλμού. Δυνατότητα ανιχνεύσεως έως 48 στόχων και ταυτόχρονης παρακολούθησης 10. Ελάχιστο RCS που μπορεί να ανιχνευτεί 1m².

**Castor 2J**

I/J Band Monopulse MTI Ραντάρ. Διαθέτει frequency agility και ενσωματωμένη TV/IR κάμερα. Χρησιμοποιείται για την κατεύθυνση όπλων και πυραύλων στις ΤΠΚ Combattante IIIB και Κλάσης 148 του ΠΝ.

**LIROD Mk2**

Κ Band Monopulse Ραντάρ κατεύθυνσης όπλων/βλημάτων. Διαθέτει δυνατότητα επιλογής παλμών. Το σύστημα επίσης περιλαμβάνει κάμερα ημέρα, θερμική κάμερα και αποστασιόμετρο laser. Χρησιμοποιείται για την κατεύθυνση όπλων και πυραύλων στις Κ/Φ τύπου OSPREY 56A του ΠΝ.

**WM 25**

Χ Band Monopulse Ραντάρ κατεύθυνσης όπλων/βλημάτων. Διαθέτει δυνατότητες frequency και prf agility. Χρησιμοποιείται για την κατεύθυνση όπλων στις φρεγάτες τύπου S του ΠΝ.



STING EO MK2

I/K Band Monopulse Ραντάρ κατεύθυνσης όπλων/βλημάτων με βεληνεκές 36 km (I Band) και 120 km (K Band). Στο σύστημα υπάρχουν επίσης θερμική κάμερα και αποστασιόμετρο Laser. Χρησιμοποιείται για την κατεύθυνση όπλων και πυραύλων στις Κ/Φ τύπου Super Vita (Roussen) του ΠΝ.



STIR 1.8

X Band Monopulse Ραντάρ κατεύθυνσης όπλων/βλημάτων με μέγιστο βεληνεκές πάνω από 200km. Χρησιμοποιείται για την κατεύθυνση όπλων στις φρεγάτες τύπου S και MEKO του ΠΝ.



ORION 10 XP

I Band Monopulse Ραντάρ κατεύθυνσης όπλων/βλημάτων με βεληνεκές περίπου 20Km. Χρησιμοποιείται για την κατεύθυνση όπλων και πυραύλων στις Κ/Φ τύπου OSPREY 55/HSY 55 του ΠΝ.



SKYGUARD

I/J/K Band Doppler Ραντάρ έρευνας - εγκλωβισμού. Χρησιμοποιείται από το Α/Α σύστημα ΒΕΛΟΣ της ΠΑ και έχει βεληνεκές περίπου 20km.

**SUPER GIRAFE 40**

G/H Band PESA Ραντάρ έρευνας. Χρησιμοποιείται από το Α/Α σύστημα ΒΕΛΟΣ της ΠΑ και έχει βεληνεκές περίπου 40km.

**AN/MPQ-65**

C - G/H Band PESA ραντάρ πολλαπλών ρόλων του Α/Α συστήματος PATRIOT. Διαθέτει δυνατότητα επιλογής παλμού με βεληνεκές μεγαλύτερο των 100 km. Μπορεί να επεξεργάζεται ταυτόχρονα 100 στόχους και να παρακολουθεί 9. Χρησιμοποιείται από το Α/Α σύστημα PATRIOT της ΠΑ.

**CROTALE**

S Band Doppler Ραντάρ έρευνας και Ku Band Ραντάρ εγκλωβισμού με βεληνεκή περίπου 30km και 20km αντίστοιχα. Χρησιμοποιείται από το Α/Α σύστημα CROTALE NG της ΠΑ και ΠΝ

**64N6E**

S Band Phased Array Pulse Doppler Ραντάρ έρευνας. Διαθέτει Frequency agility με range resolution 200m. Χρησιμοποιείται από το Α/Α σύστημα S-300 PMU1 της ΠΑ



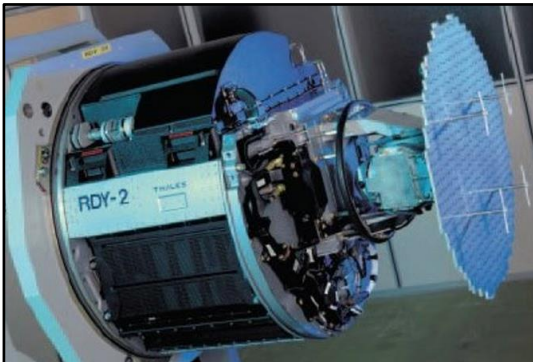
96L6E

C Band Phased Array Pulse Doppler Ραντάρ έρευνας. Το βεληνεκές του είναι περίπου 300km και χρησιμοποιείται από το A/A σύστημα S-300 PMU1 της ΠΑ



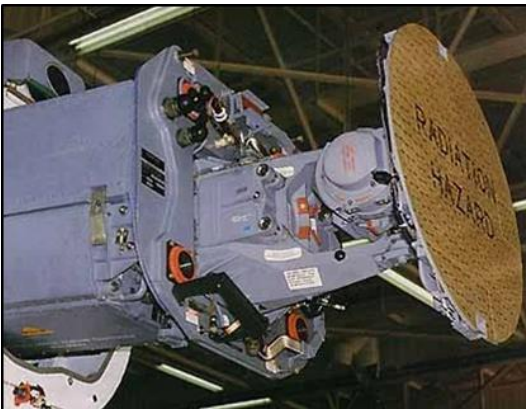
30N6E

I/J Band Phased Array Pulse Doppler Ραντάρ εγκλωβισμού – καθοδήγησης πυραύλων. Το βεληνεκές του είναι περίπου 300km και χρησιμοποιείται από το A/A σύστημα S-300 PMU1 της ΠΑ



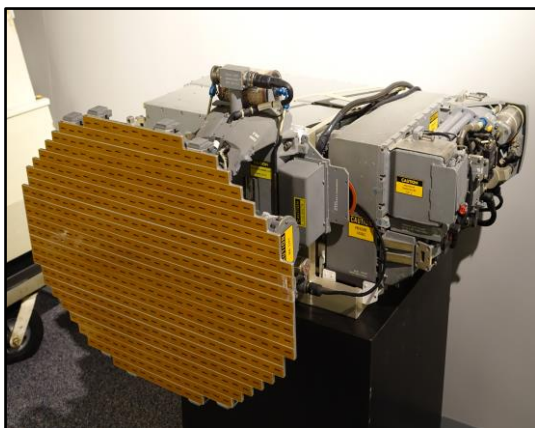
RDY-2

I Band Passive Phased Array Pulse Doppler Ραντάρ. Χρησιμοποιείται από τα A/Φ M2000-5 της ΠΑ. Μπορεί να χρησιμοποιείται για έρευνα ή παρακολούθηση εναέριων ή επίγειων στόχων, ενώ διαθέτει λειτουργία TWS (Track while scan) και SAR με ανάλυση λιγότερο από 1 m. Η μέγιστη εμβέλειά του (για εναέρια ίχνη μεγέθους μαχητικού A/Φ) φτάνει τα 140 km.



AN/APG-65

I Band (8-12GHz) Passive Phased Array Pulse Doppler Ραντάρ. Χρησιμοποιείται από τα A/Φ F-4 της ΠΑ. Μπορεί να χρησιμοποιείται για έρευνα ή παρακολούθηση εναέριων ή επίγειων στόχων, ενώ διαθέτει λειτουργία TWS (Track while scan) και SAR.

**AN/APG-68**

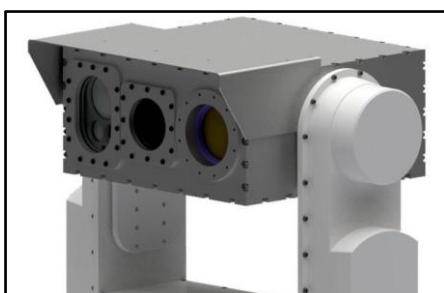
I Band (8-12GHz) Passive Phased Array Pulse Doppler Ραντάρ. Χρησιμοποιείται από τα Α/Φ F-16 της ΠΑ. Μπορεί να χρησιμοποιείται για έρευνα ή παρακολούθηση εναέριων ή επίγειων στόχων, ενώ διαθέτει λειτουργία TWS (Track while scan) και SAR. Στην ΠΑ χρησιμοποιούνται διάφορες εκδόσεις του ραντάρ, με την τελευταία (ν9) που βρίσκεται στα Α/Φ Block 52+ να έχει αυξημένες δυνατότητες σχέση με τις προηγούμενες.

δ. Ηλεκτρο-οπτικοί Αισθητήρες**MARGOT**

Ηλεκτρο-οπτικός αισθητήρας θερμικής απεικόνισης. Μέγιστη εμβέλεια περίπου 20km. Χρησιμοποιείται από τον ΕΣ για ανάγκες επιτήρησης.

**VIGY OBSERVER**

Ηλεκτρο-οπτικός αισθητήρας TV και θερμικής απεικόνισης (3 – 5 μm). Μέγιστη εμβέλεια περίπου 15km. Χρησιμοποιείται από σκάφη του ΠΝ.

**MLT-TDR-10**

Ηλεκτρο-οπτικός αισθητήρας TV και θερμικής απεικόνισης ελληνικής κατασκευής. Μέγιστη εμβέλεια περίπου 15km. Χρησιμοποιείται από σκάφη του ΠΝ.



MIRADOR

Ηλεκτρο-οπτικός αισθητήρας TV και θερμικής απεικόνισης (~5 μ m) με δυνατότητες καθοδήγησης όπλων μικρού βεληνεκούς. Μέγιστη εμβέλεια περίπου 15km. Χρησιμοποιείται από σκάφη του ΠΝ.



MLT-TDR-10A

Ηλεκτρο-οπτικός αισθητήρας TV και θερμικής απεικόνισης ελληνικής κατασκευής. Μέγιστη εμβέλεια περίπου 15km. Έχει υπογραφεί σύμβαση για τοποθέτηση σε σκάφη του ΠΝ.



LITENING

Ατρακτίδιο σκόπευσης που χρησιμοποιείται από τα Α/Φ F-4 της ΠΑ. Διαθέτει αισθητήρες IR, κάμερα ημέρας, καταδείκτη Laser, αποστασιόμετρο Laser και ανιχνευτή ακτινοβολίας laser. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση στόχων και καθοδήγηση όπλων σε αυτών.

**DB 110**

Ατρακτίδιο αναγνώρισης που φέρεται από Α/Φ F-16. Διαθέτει κάμερα ημέρας και κάμερα IR καθώς και δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας με σταθμό εδάφους για απευθείας αποστολή των δεδομένων που συλλέγονται.

**LANTIRN**

Ατρακτίδιο σκόπευσης (Το ένα από τα δύο ατρακτίδια από τα οποία αποτελείται το σύστημα με το δεύτερο να είναι το ατρακτίδιο ναυτιλίας) που χρησιμοποιείται από τα Α/Φ F-16 της ΠΑ. Έχει αντίστοιχες δυνατότητες με το LITENING.

ε. Συστήματα Ηλεκτρονικής Υποστήριξης (ES) - Ηλεκτρονικής Ε-πίθεσης (EA)

**Κέντρα Ακροάσεων (ES)**

Ο ΕΣ διαθέτει πληθώρα κέντρων ακροάσεων και τύπων δεκτών. Χρησιμοποιούνται για έρευνα και ανάλυση επικοινωνιών VOICE στις μπάντες HF/VHF/UHF.

**Ραδιογωνιόμετρα (ES)**

Ο ΕΣ διαθέτει 2 τύπους Ρ/Γ, ο πρώτος χρησιμοποιείται για ραδιογωνιομέτρηση στη μπάντα HF και ο δεύτερος στη μπάντα VHF/UHF. Και οι δύο τύποι διαθέτουν ψηφιακή μονάδα ελέγχου καθώς και επεξεργαστή ραδιοσυχνοτήτων.



Παρεμβολείς (ΕΑ)

Ο ΕΣ χρησιμοποιεί διαφορετικούς τύπους παρεμβολών οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως κέντρα ακροάσεως. Εκτελούν παρεμβολές διαφόρων τύπων σε συχνότητες της τάξης των MHz ενώ είναι δυνατή και η παρεμβολή πολλαπλών δικτύων κάθε φορά από έναν μόνο παρεμβολέα.



Κέντρα Ελέγχου (ΕΣ)

Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των λοιπών μέσων ΗΠ ενώ διαθέτουν και δυνατότητα τηλεχειρισμού αυτών. Απεικόνιση σε ψηφιακό χάρτη των θέσεων των μέσων ΗΠ που διαθέτουν καθώς των λαμβανομένων στοιχείων τους. Επιπλέον διαθέτουν δέκτη για ανάλυση συχνοτήτων καθώς και αναλυτή φάσματος.



ES-3701S (ΕΣ)

Σύστημα ηλεκτρονικής προστασίας ακτινοβολιών ραντάρ. Μπορεί να ανιχνεύσει ακτινοβολίες από 0,5 έως 18 GHz σε εύρος 360°. Παρέχει στοιχεία PRI, PRF, PW και στοιχεία ραδιογωνιομέτρησης. Χρησιμοποιείται από αριθμό φρεγατών τύπου S του Πολεμικού Ναυτικού.



ASPECS II (ΕΣ-ΕΑ)

Αποτελείται από τον δέκτη συχνοτήτων AR-700 και τον παρεμβολέα. Παρέχει στοιχεία διόπτευσης και ανάλυσης σημάτων στην E – J Band, ενώ ο παρεμβολέας μπορεί να εκτελέσει πληθώρα τεχνικών παρεμβολής, από απλή παρεμβολή θορύβου έως παρεμβολές παραπλάνησης γωνίας, RGPO και cross polarization. Αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα ΕΣ-ΕΑ και χρησιμοποιείται από τις φρεγάτες τύπου ΜΕΚΟ του ΠΝ.

**DR-2000 / DR-3000 (ES)**

Σύστημα ηλεκτρονικής προστασίας ακτινοβολιών ραντάρ. Η έκδοση 2000 χρησιμοποιείται σε αριθμό υποβρυχίων καθώς και σε Κ/Φ τ. ΝΙΚΗ του ενώ η έκδοση 3000 στο σύνολο των ΤΠΚ και των υπολοίπων Κ/Φ του ΠΝ. Η έκδοση 2000 μπορεί να ανιχνεύσει ακτινοβολίες 2-18GHz ενώ η έκδοση 3000 στις μπάντες Β/Κ. Και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν και ως RWR με την έκδοση 3000 να παρέχει επιπλέον δυνατότητες ELLINT σε σχέση με την 2000.

**TIMNEX II (ES)**

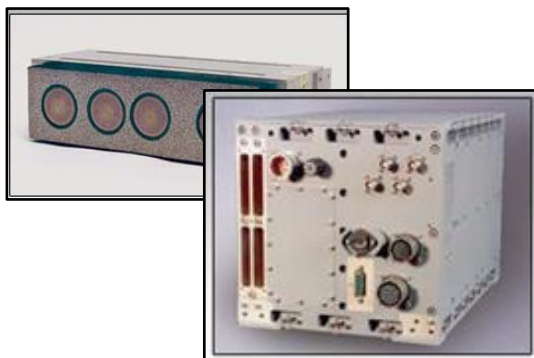
Δέκτης ακτινοβολιών σε εύρος 2 – 18 GHz με μεγάλες δυνατότητες ELLINT και COMMINT. Χρησιμοποιείται από τα Υ/Β 214 του ΠΝ.

**SPHINX - RAMSES (ES-EA)**

Συνδυασμός δέκτη και παρεμβολέα. Το σύστημα μπορεί να ανιχνεύει εκπομπές και να εκτελεί διαφόρων τύπου παρεμβολές στην I/J Band (8 -18/20GHz). Χρησιμοποιείται από τις φρεγάτες τύπου S του ΠΝ.

**ALR-66v3 (ES)**

Δέκτης ακτινοβολιών σε εύρος 2 – 20 GHz. Λειτουργεί και ως RWR ενώ μπορεί να αποθηκεύσει πάνω 1500 καταχωρήσεις ηλεκτρονικών εκπομπών. Μπορεί να ανιχνεύσει τόσο CW όσο και Παλμικές εκπομπές καθώς και να παρέχει στοιχεία όπως PW, PRF κ. Χρησιμοποιείται από τα Ε/Π S-70B6 και P3 Orion του ΠΝ.



LR-100 (ES)

Δέκτης ακτινοβολιών σε εύρος 2 – 18 GHz. Αντίστοιχο σύστημα με το ALR-606 βελτιωμένης απόδοσης και πιο σύγχρονο . Χρησιμοποιείται από τα Ε/Π S-70B10 του ΠΝ.



ΣΗΕ/Τ (ES-EA)

Σταθμός ηλεκτρονικών εφαρμογών τηλεπικοινωνιών. Η ΠΑ διαθέτει αριθμό τέτοιων σταθμών οι οποίοι έχουν δυνατότητες COM-MINT.



ΣΗΕ/Ρ (ES-EA)

Σταθμός ηλεκτρονικών εφαρμογών – Ραντάρ. Η ΠΑ διαθέτει αριθμό τέτοιων σταθμών οι οποίοι έχουν δυνατότητες ELLINT και ΕΑ.



ICMS Mk1 / Mk3 (ES-EA)

Ολοκληρωμένο σύστημα αυτοπροστασίας που βρίσκεται στα Α/Φ M2000 (Mk1) και M2000-5 (Mk3). Χρησιμοποιεί 4 κεραίες ανίχνευσης – εύρεσης διόπτρευσης και 2 παρεμβολείς (χαμηλής και υψηλής [6-18GHz] συχνότητας. Ο δέκτης του συστήματος μπορεί να ανιχνεύσει πληθώρα χαρακτηριστικών από τις ακτινοβολίες όπως PW, PRI, Duty Cycle, Polarization κα. Ο παρεμβολέας μπορεί να εκτελέσει παρεμβολές θορύβου πολλαπλών τεχνικών καθώς και VGPO. Το σύστημα επίσης περιλαμβάνει τον εκτοξευτή αναλωσίμων αντιμέτρων MATRA SPIRALE

**ASTAC POD (ES)**

Δέκτης Η/Μ ακτινοβολιών που φέρεται από Α/Φ. Διαθέτει κεραίες LOW και HIGH BAND σε κάθε πλευρά για λήψη ακτινοβολίας 0,5-4,4GHz και 4-18GHz αντίστοιχα.

**ASPIS (ES-EA)**

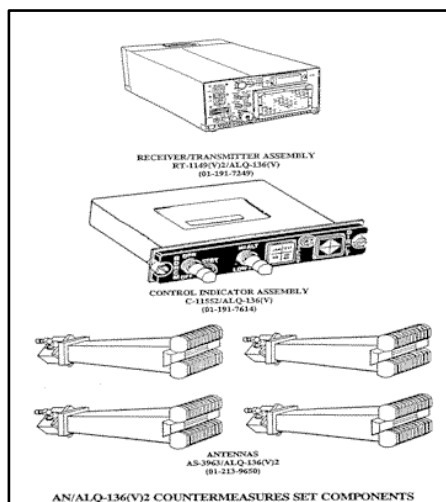
Ολοκληρωμένο σύστημα αυτοπροστασίας που βρίσκεται στα Α/Φ F-16 Block 30/50. Αποτελείται από δέκτη RWR AN/ALR-66(VH)I με δυνατότητες ανίχνευσης 2-20GHz CW και παλμικών εκπομπών, παρεμβολέα AN/ALQ-187 και σύστημα διανομής αντιμέτρων AN/ALE-47.

**ASPIS II (ES-EA)**

Βελτίωση του ASPIS I τοποθετημένο στα Α/Φ F-16 Block 52/52+. Ο δέκτης RWR έχει αντικατασταθεί με τον πολύ πιο σύγχρονο ALR-93(V) ενώ προστέθηκαν επιπλέον δυνατότητες DRFM στον παρεμβολέα.

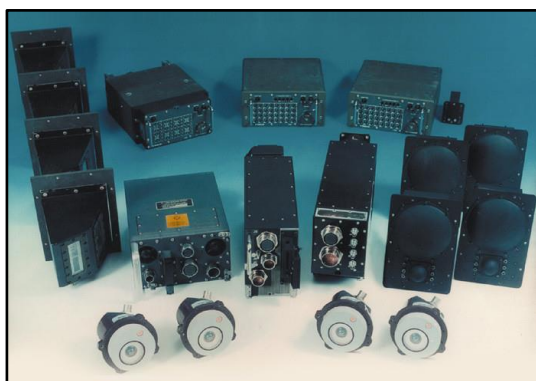
**APR-39A (ES)**

Δέκτης RWR. Χρησιμοποιείται στα ΕΕ/Π ΑΗ-64Α, CH-47C, CH-47D.



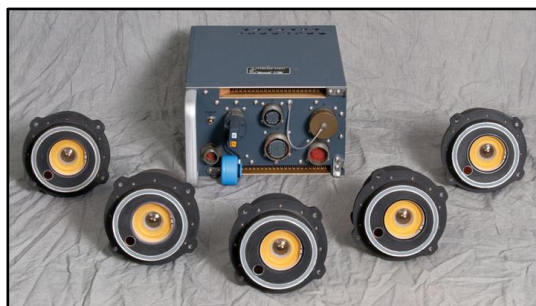
AN/ALQ-136(V) (EA)

Παρεμβολέας σε εύρος συχνοτήτων 8 – 16 GHz. Βρίσκεται στα ΕΕ/Π ΑΗ-64Α.



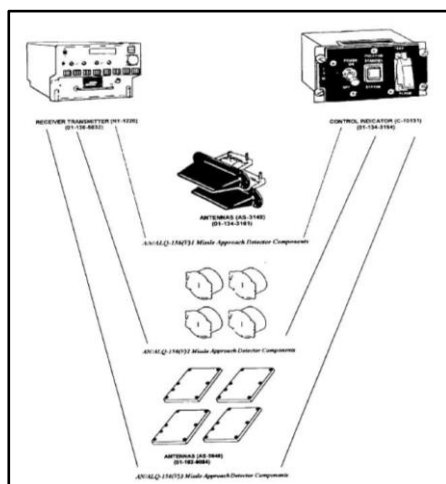
HIDAS (ES)

Ολοκληρωμένο σύστημα αυτοπροστασίας των Ε Ε/Π Apache Longbow. Αποτελείται από δέκτη RWR SKY GUARDIAN 2000, MWR AN/AAR-57 CMWS και LWR Type 1223.



AN/AAR-57 (ES)

Σύστημα προειδοποίησης εισερχόμενου πυραύλου (MWR). Πρόκειται να τοποθετηθεί σε αριθμό Ε/Π CH-47D.



AN/ALQ-156 (ES)

Σύστημα προειδοποίησης εισερχόμενου πυραύλου (MWR). Χρησιμοποιείται σε αριθμό Ε/Π CH-47D.

**THALES TWE (ES)**

Ολοκληρωμένο σύστημα αυτοπροστασίας των ελικοπτέρων NH90. Περιλαμβάνει δέκτες RWR, LWR και MAW (Missile Approach Warning).

**AN/ALQ-144 (EA)**

Παρεμβολέας IR. Χρησιμοποιείται από τα Ε/ΕΠ Apache του ΕΣ. Παράγει μεγάλης έντασης IR ακτινοβολία ώστε να «ξεγελάσει» τον αισθητήρα A/A πυραύλων όπως τους STINGER που εγκλωβίζουν το θερμικό ίχνος των στόχων τους.

**UAV SPERWER (ES)**

Μη επανδρωμένο αεροσκάφος αναγνώρισης. Διαθέτει αισθητήρα GPS, αποστασιόμετρο Laser και θερμικό – οπτικό αισθητήρα SAGEM EuroFLIR 350 ο οποίος έχει τέτοια ανάλυση ώστε να διακρίνονται χαρακτηριστικά προσώπου από υψόμετρο 3000m.

**PS-890 ERIEYE (ES)**

Εναέριο Ραντάρ έγκαιρης προειδοποίησης και ελέγχου. Λειτουργεί στην S Band με μέγιστη εμβέλεια 450 km. Εκτός της δυνατότητας διοίκησης και ελέγχου των μέσων, διαθέτει μεγάλες δυνατότητες ES λόγω του συστήματος ανάλυσης DR3000A που φέρεται εντός του Α/Φ. .



UAV ΠΗΓΑΣΟΣ II (ES)

Μη επανδρωμένο αεροσκάφος αναγνώρισης. Διαθέτει αισθητήρα GPS, αποστασιόμετρο Laser και θερμικό – οπτικό αισθητήρα.

στ. Αναλώσιμα Συστήματα Ηλεκτρονικής Επίθεσης



Mk 34 RBOC

Σύστημα εκτόξευσης CHAFFS και FLARES. Χρησιμοποιείται από τις Κ/Φ τύπου La Combattante III του ΠΝ.



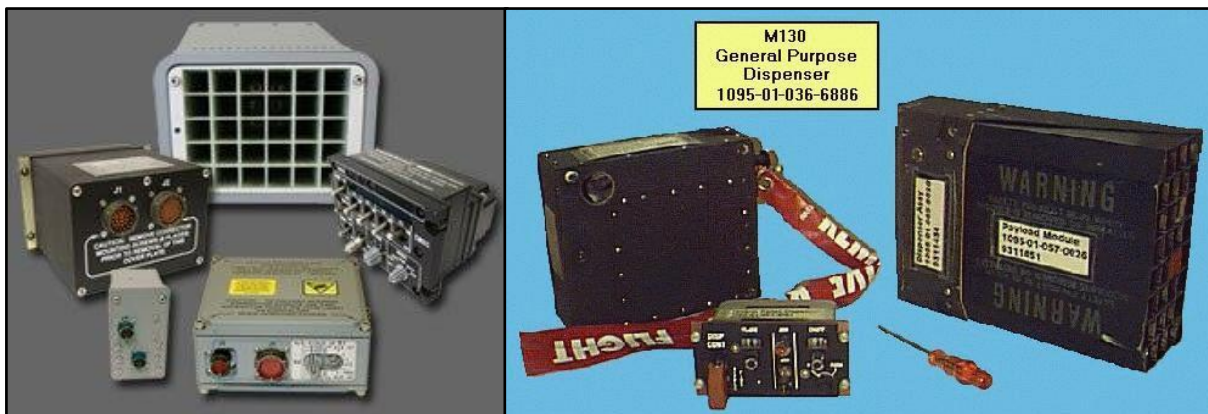
Mk 36 SRBOC

Σύστημα εκτόξευσης CHAFFS και FLARES. Χρησιμοποιείται από τις φρεγάτες τύπου MEKO και τις Κ/Φ τύπου ΡΟΥΣΣΕΝ, HSY-56A και OSPREY 55 του ΠΝ.



WEGGMAN

Σύστημα εκτόξευσης CHAFFS και FLARES. Χρησιμοποιείται από τις Κ/Φ τύπου La Combattante III και τις ΤΠΚ 148 του ΠΝ.



ALE-47, M-130

Συστήματα διανομής αναλωσίμων (CHAFFS – FLARES). Βρίσκονται στο σύνολο σχεδόν των ιπτάμενων μέσων. Το M-130 πρόκειται για παλαιότερης γενιάς σύστημα το οποίο βρίσκεται σε πολύ μικρούς αριθμούς στις ΕΔ. Η κύρια διαφορά των δύο συστημάτων είναι η δυνατότητα πλήρους αυτόματης λειτουργίας που έχει το ALE-47 το οποίο επιτρέπει την άφεση αναλωσίμων με το τρόπο ώστε να έχουν βέλτιστη αποτελεσματικότητα αναλόγως της ανιχνευόμενης απειλής (μέσω RWR), σε αντίθεση με το M-130 που έχει μόνο MANUAL ή προκαθορισμένο τρόπο άφεσης.



AGM-88 HARM

Το κύριο όπλο SEAD της ΠΑ. Πρόκειται για υπερηχητικό πύραυλο ο οποίος κατευθύνεται προς στόχο ο οποίος εκπέμπει ακτινοβολία χάρη στον δέκτη που διαθέτει. Μπορεί να ανιχνεύσει συχνότητες 2-20GHz και να ταυτοποιήσει την εκπομπή αναλύοντας τα χαρακτηριστικά της (PW, PRF) και συγκρίνοντάς τις με μια βάση δεδομένων. Ο πύραυλος HARM μπορεί να λειτουργήσει και ενώ βρίσκεται στον φορέα ως δέκτης ή και να συνεργάζεται με το RWR του Α/Φ.

12.2 Τουρκία

Πολλά από τα συστήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω βρίσκονται σε χρήση και από τις τουρκικές ΕΔ. Στη παράγραφο αυτή, για λόγους πληρότητας, θα γίνει μια αναφορά σε αυτά χωρίς περιγραφή και θα δοθεί έμφαση στα συστήματα που δεν διαθέτει η Ελλάδα καθώς και σε αυτά τουρκικής κατασκευής και προέλευσης.

α. Συστήματα Επικοινωνιών

Η Τουρκία έχει καταφέρει να χρησιμοποιεί στη πλειοψηφία των μέσων των ΕΔ, εγχώριας κατασκευής συστήματα επικοινωνιών. Τα κυριότερα χρησιμοποιούμενα μέσα είναι τα παρακάτω:



9661 HF GROUND RADIO

Σειρά σταθμών ασυρμάτων HF (1,6–30 MHz) τουρκικής κατασκευής (ASELSAN) με διάφορες διαμορφώσεις (Φορητός, επί οχήματος κ.α.). Χρησιμοποιεί διαμορφώσεις USB, LSB, ISB, CW και AM και διαθέτει δυνατότητα κρυπτογράφησης, Frequency Hopping και μετάδοσης δεδομένων με ταχύτητα έως 12800 bps.



9671 HF NAVAL RADIO

Σειρά σταθμών ασυρμάτων HF (1,6–30 MHz) για χρήση από ναυτικές δυνάμεις. Τουρκικής κατασκευής (ASELSAN) με δυνατότητες διαμόρφωσης USB, LSB, ISB, CW και AM. Διαθέτει δυνατότητα κρυπτογράφησης, Frequency Hopping και μετάδοσης δεδομένων με ταχύτητα έως 2400 bps. Συγχρονισμός μέσω GPS ή TOD (Time Of Day) και δυνατότητα διασύνδεσης μέσω TDL Link-11/Link-22.



9681 HF AIRBORNE RADIO

Σ/Α HF (2–30 MHz) για χρήση από εναέρια μέσα. Τουρκικής κατασκευής (ASELSAN) με δυνατότητες διαμόρφωσης USB, LSB, ISB, CW και AM. Διαθέτει δυνατότητα κρυπτογράφησης, Frequency Hopping και μετάδοσης δεδομένων με ταχύτητα έως 12800 bps. Συγχρονισμός μέσω GPS ή TOD (Time Of Day).



9661 U/VHF GROUND RADIO

Σειρά σταθμών ασυρμάτων U/VHF τουρκικής κατασκευής (ASELSAN) με διάφορες διαμορφώσεις (Φορητός, επί οχήματος κ.α.). Χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική που βασίζεται στο λογισμικό με αποτέλεσμα τον πολύ εύκολο προγραμματισμό του, την εισαγωγή επιπλέον δυνατοτήτων, όταν είναι διαθέσιμες, και τη δυνατότητα λειτουργίας με πολλαπλούς – διαφορετικούς τρόπους. Αναλόγως του τρόπου που επιλέγεται, μπορεί να λειτουργήσει σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, από 30 – 512 MHz. Διαθέτει λειτουργία HF, DSSS, κρυπτογράφησης, μεταφοράς δεδομένων (ταχύτητα διαφέρει αναλόγως του τρόπου λειτουργίας), δυνατότητα επιλογής είδους διαμόρφωσης και δυνατότητα λειτουργίας σε mode HQ-II.



9661 U/VHF NAVAL RADIO

Σ/Α αντίστοιχων δυνατοτήτων με την GROUND έκδοση, για χρήση με τα ενοποιημένα συστήματα επικοινωνιών του ναυτικού.



9681 U/VHF AIRBORNE RADIO

Σ/Α U/VHF (30–512 MHz) για χρήση από εναέ-
ρια μέσα. Τουρκικής κατασκευής (ASELSAN) με δυ-
νατότητες διαμόρφωσης FM, AM, QPSK. Διαθέτει
δυνατότητα κρυπτογράφησης και HQ-II



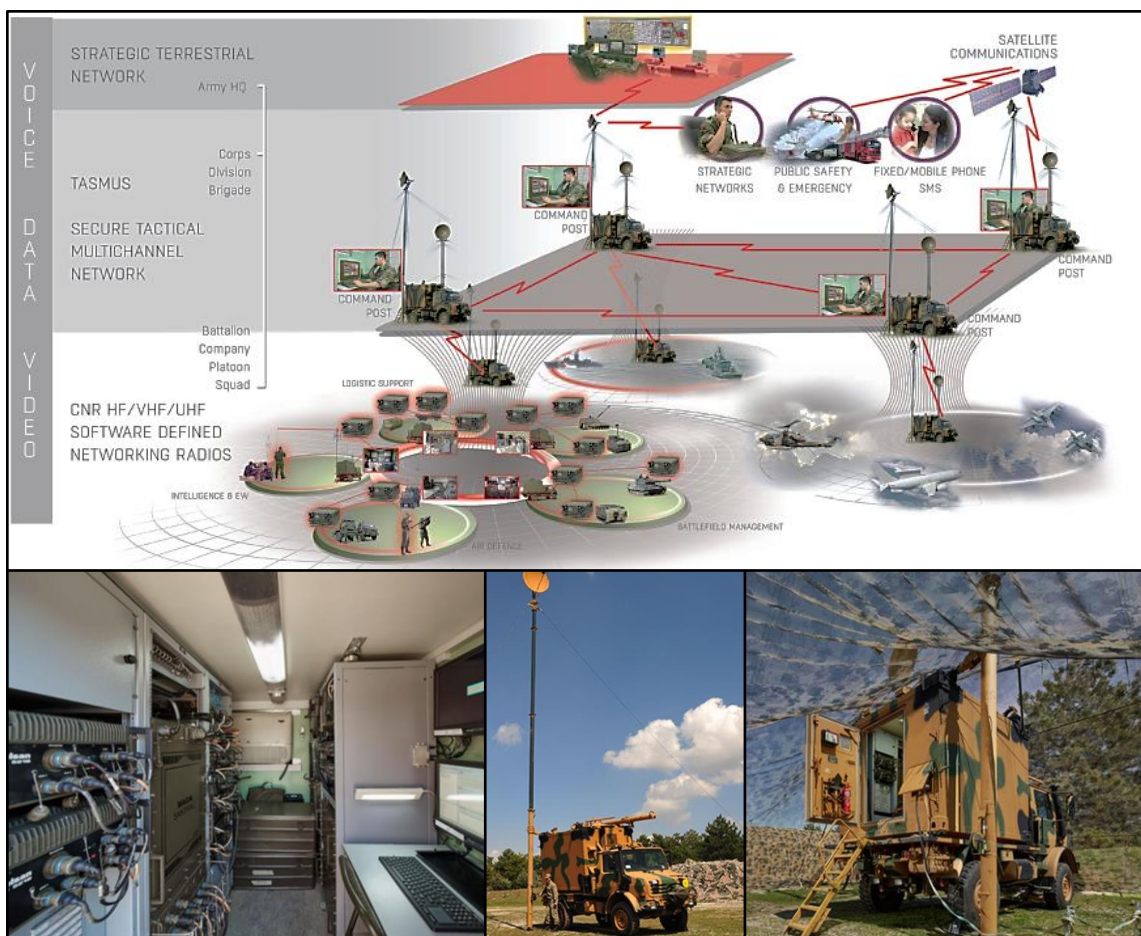
4300 HQ-II

Σειρά σταθμών ασυρμάτων U/VHF τουρκικής κατασκευής (ASELSAN) με δια-
μόρφωση για εναέρια και επίγεια μέσα. Δυνατότητα λειτουργίας σε εύρος 30-399.975
MHz, HQ-I, HQ-II και διασύνδεσης με Link-11. Μπορεί να αναβαθμιστεί για λειτουργία
SATURN.



PRC-5712 SOLDIER RADIO

Σ/Α διμοιρίας. Συχνότητα 380-400MHz,
δυνατότητα αποστολής μηνυμάτων και σημά-
των «συναγερμού», και αποστολής δεδομέ-
νων με ταχύτητα έως 19200 bps.



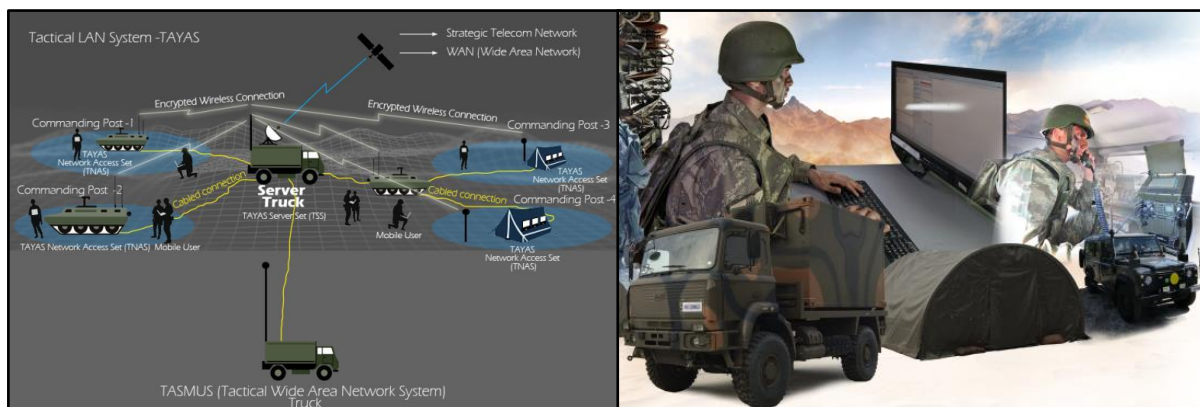
TASMUS

Ολοκληρωμένο σύστημα επικοινωνιών τακτικού επιπέδου. Περιλαμβάνει αριθμό ολοκληρωμένων συστημάτων τα οποία δημιουργούν ένα πλέγμα ασυρμάτων και ενσύρματων επικοινωνιών υψηλής κρυπτασφάλισης με χρήση συνδυασμού τεχνικών όπως DSSS, FH, IPv4/v6, VoIP, κρυπτοσυσσκευές, κωδικοί χρήστη. Το σύστημα μπορεί να συνδεθεί με προϊστάμενα δίκτυα επικοινωνιών όπως το τουρκικό TAFICS, δορυφορικές επικοινωνίες ή δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.



DEPLOYABLE RADIO LINK

Σύστημα επικοινωνιών αντίστοιχο του TASMUS αλλά με λιγότερες δυνατότητες καθώς έχει δοθεί βάση στη φορητότητα. Μπορεί να συνδεθεί με συστήματα TASMUS.



TAYAS

Αντίστοιχο σύστημα με το TASMUS αλλά για δημιουργία τοπικών δικτύων. Χρησιμοποιεί ενσύρματα ή ασύρματα (WiFi) δίκτυα ή συνδυασμό αυτών με μεγάλη κρυπτασφάλιση. Διασυνδέεται με τα συστήματα TASMUS ή απευθείας με στρατηγικά δίκτυα μέσω δορυφόρου.

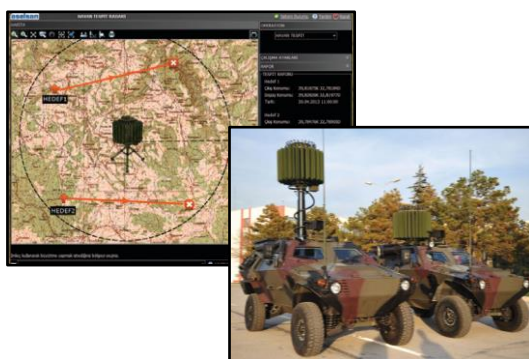
Η Τουρκία διατηρεί ακόμα μικρό αριθμό Σ/Α παλαιάς τεχνολογίας όπως VRC-4600, PRV/VRC-5600 (και αυτοί τουρκικής κατασκευής) οι οποίοι πρόκειται να αντικατασταθούν από τους προαναφερθέντες και δεν κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν.

β. Συστήματα Radar Έρευνας – Επιτήρησης



ACAR

LPI Ραντάρ επίγειας (ACAR-K) και θαλάσσιας (ACAR-D) επιτήρησης τουρκικής κατασκευής (ASELSAN). Λειτουργεί στη Ku Band. Διαθέτει doppler, pulse compression, δυνατότητα TWS και μέγιστη εμβέλεια 40 km για ίχνη με RCS 1m².



SERHAT

L Band αντιολμικό ραντάρ τουρκικής κατασκευής (ASELSAN). Δυνατότητα απεικόνισης σε ψηφιακό χάρτη και διασύνδεσης με συστήματα C2.

**TPQ-36/TPQ-37**

Ραντάρ αντιολμικού,
αντιπυροβολικού.

**BEAGLE**

S Band LPI ραντάρ χερσαίας επιτήρησης Τσέχικης κατασκευής. Λειτουργεί με 2 τρόπους (PRF High, PRF Low) με εμβέλεια περίπου 15 km. Μπορεί να είναι φορητό ή εμποχούμενο.

**KALKAN**

3D X Band PESA πλήρως φορητό ραντάρ εναέριας έρευνας. Χρησιμοποιεί τεχνολογία πολλαπλών δεσμών οι οποίες εκπέμπονται από την ίδια κεραία με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Μέγιστη εμβέλεια περίπου 50km για ίχνη μεγέθους μαχητικού Α/Φ. Χρησιμοποιείται για την παροχή έγκαιρης προειδοποίησης σε ΣΔ και σε Α/Α συστήματα μικρού βεληνεκούς.

**COBRA**

3D Pulse Doppler AESA S Band ραντάρ αντιπυροβολικού. Πρόκειται για το πιο προηγμένο στο είδος του ραντάρ στον κόσμο.

**AWS-9**

3D E/F Band Παλμικό ραντάρ έρευνας . Χρησιμοποιεί συμπίεση παλμού και πολλαπλών δεσμών (από την ίδια κεραία) με δυνατότητα ταυτόχρονης παρακολούθησης 100 στόχων. Χρησιμοποιείται από τις φρεγάτες τύπου MEKO-BARBAROS του ΤΠΝ.



SMART-S MK2

2D G Band Παλμικό ραντάρ έρευνας . Χρησιμοποιεί συμπίεση και διάκριση παλμού με μέγιστη εμβέλεια (για Α/Φ) περίπου 200 km. Χρησιμοποιείται από τις φρεγάτες τύπου MEKO– YAVUZ, BARBAROS, σε αριθμό φρεγατών τύπου MEKO-PERRY, στις νέες εγχώριας κατασκευής κορβέτες τύπου ADA και στα επίσης τουρκικής κατασκευής Α/Γ τύπου BAYRAKTAR του ΤΠΝ. Τα TRM του ραντάρ κατασκευάζονται στην Τουρκία.



AWS-6 «DOLPHIN»

2D G Band Παλμικό ραντάρ έρευνας . Χρησιμοποιεί συμπίεση και διάκριση παλμού με μέγιστη εμβέλεια περίπου 55 km. Χρησιμοποιείται από τις φρεγάτες τύπου MEKO – YAVUZ, BARBAROS και ΤΠΚ τύπου YILDIZ του ΤΠΝ.



ELM-2226

I/J Band FMCW ραντάρ παράκτιας έρευνας. Μέγιστη εμβέλεια άνω των 60 km.



DA 08

Χρησιμοποιείται από τις φρεγάτες τύπου MEKO – YAVUZ του ΤΠΝ.

**AN/SPS-49**

2D Pulse Doppler ραντάρ έρευνας. Διαθέτει PRF Agility, Frequency Agility με εμβέλεια περίπου 400 km. Χρησιμοποιείται από αριθμό φρεγατών τύπου MEKO-PERRY του ΤΠΝ.

**DRBV 51A**

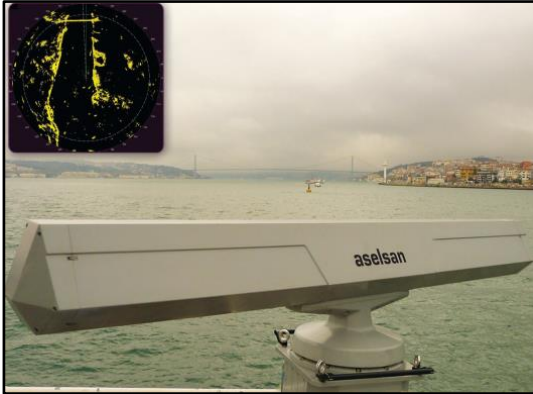
2D Pulse Doppler ραντάρ έρευνας. Διαθέτει Frequency Agility με εμβέλεια περίπου 100 km. Χρησιμοποιείται από τις κορβέτες τύπου BURAK του ΤΠΝ.

**MW08**

Χρησιμοποιείται από τις ΤΠΚ τύπου KILIC και YILDIZ του ΤΠΝ.

**SCOUT Mk1**

Χρησιμοποιείται από τις ΤΠΚ τύπου KILIC του ΤΠΝ. Ελαφρώς μικρότερων δυνατοτήτων από το SCOUT Mk2 που χρησιμοποιεί το ΠΝ.



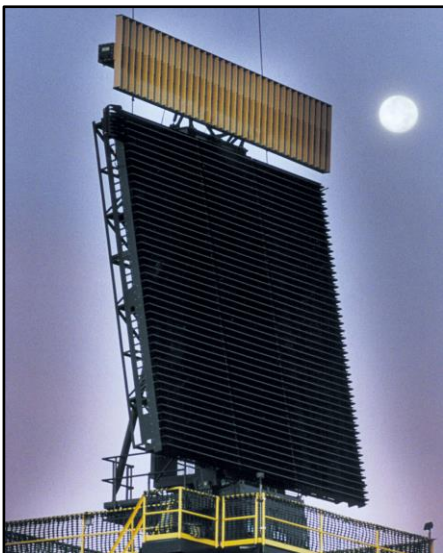
ALPER

X Band LPI FMCW ραντάρ έρευνας - ναυτιλίας. Διαθέτει Frequency Agility με εμβέλεια περίπου 60km. Τουρκικής κατασκευής. Χρησιμοποιείται από τις κορβέτες τύπου ADA και τα Α/Γ τύπου BAYRAKTAR του ΤΠΝ.



RAT-31 DL/M

Χρησιμοποιείται στο ΣΑΕ της Τουρκίας.

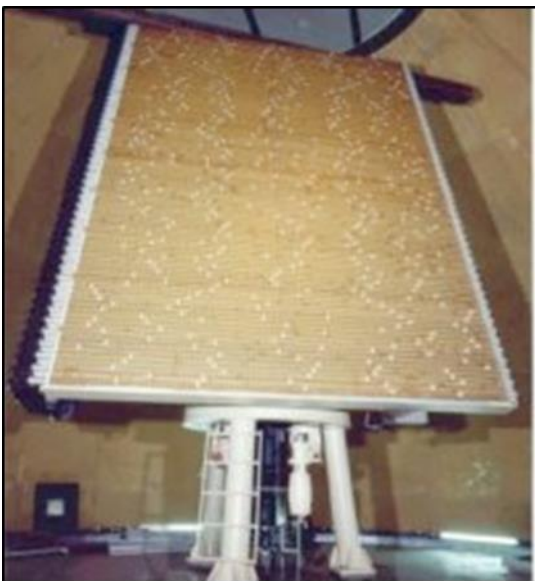


AN/FPS-117

3D D Band AESA ραντάρ έρευνας. Διαθέτει frequency και PRF agility, συμπίεση παλμού και δυνατότητα επιλογής πλάτους παλμού. Η μέγιστη εμβέλειά του είναι περίπου 470 km και χρησιμοποιείται για την εναέρια παρατήρηση από το τουρκικό ΣΑΕ.

**TPS-77**

Αντίστοιχο ραντάρ με το FPS-117 σε φορητή όμως έκδοση. Χρησιμοποιεί μικρότερη ισχύ από το TPS-117 και έχει ελαφρώς μικρότερη εμβέλεια και ακρίβεια. Χρησιμοποιείται για την εναέρια παρατήρηση από το τουρκικό ΣΑΕ.

**HR-3000**

Χρησιμοποιείται στο ΣΑΕ της Τουρκίας.

**RAT-31 SL**

3D S Band ραντάρ έρευνας. Διαθέτει 3 ξεχωριστά κανάλια από το κάθε ένα μπορούν να εκπέμπονται 3 διαφορετικές δέσμες. Διαθέτει frequency και PRF agility, monopulse μέτρηση ύψους για κάθε δέσμη και πολύ υψηλές δυνατότητες ηλεκτρονικής προστασίας. Η μέγιστη εμβέλειά του είναι περίπου 450 Km και χρησιμοποιείται για την εναέρια παρατήρηση από το τουρκικό ΣΑΕ.



TRS 22XX

3D E/F Band έρευνας. Διαθέτει σύγχρονα χαρακτηριστικά όπως Jittered PRF, μεταβλητά φίλτρα Doppler, χειροκίνητο έλεγχο CFAR. Πρόκειται για πλήρως φορητό σύστημα και είναι το κύριο ραντάρ έρευνας της Τουρκίας. Η μέγιστη εμβέλειά του είναι περίπου 470 km. Κατασκευάζεται από στην Τουρκία (HAVELSAN) και χρησιμοποιείται για την εναέρια παρατήρηση από το τουρκικό ΣΑΕ.



RWR-1500

X Band Pulse 2D ραντάρ θαλάσσιας έρευνας – επιτήρησης. Διαθέτει PRF agility και χρησιμοποιείται για από τα Ε/Π AB-412 ΕΡ του ΤΠΝ.



AN/APS-143(V)

Χρησιμοποιείται από τα Ε/Π S-70B SEAHAWK του ΤΠΝ.



γ. Ραντάρ Οπλικών συστημάτων

**AN/MPQ-64 «Sentinel»**

X Band 3D PESA Ραντάρ έρευνας με βεληνεκές περίπου 75km. Χρησιμοποιείται από τα Α/Α συστήματα HAWK.

**HAWK CWAR****HAWK ILLUMINATOR****Dagger**

3D Pulse Doppler X Band ραντάρ έρευνας. Μέγιστο βεληνεκές περίπου 30 km. Χρησιμοποιείται από τα Α/Α συστήματα RAPIER. Ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του είναι μια επιπλέον δέσμη (εκτός της κύριας) η οποία πραγματοποιεί έρευνα σε μεγάλα υψόμετρα για τον εντοπισμό τυχόν πυραύλων αντιακτινοβολίας. Σε περίπτωση εύρεσης, το ραντάρ απενεργοποιείται αυτόματα.



Blindfire

F Band Pulse ραντάρ εγκλωβισμού στόχου – κατεύθυνσης πυραύλων. Μέγιστο βεληνεκές περίπου 6 km. Διαθέτει frequency agility και χρησιμοποιείται από τα A/A συστήματα RAPIER.



SKYGUARD

Σε χρήση με τα A/A πυροβόλα Oerlikon GDF-002



96L6E2

C Band Phased Array Pulse Doppler Ραντάρ έρευνας. Το βεληνεκές του είναι περίπου 300km και χρησιμοποιείται από το A/A σύστημα S-400. Δεν είναι ακόμη σίγουρο ότι η Τουρκία θα προμηθευτεί το εν λόγω ραντάρ.



91N6E

Πρόκειται για την αναβαθμισμένη έκδοση του ραντάρ έρευνας 64N6 των S-300. Μέγιστη εμβέλεια περίπου 600km και παρακολούθηση μέχρι 300 ιχνών ταυτόχρονα. Είναι μέρος του συστήματος S-400.

**92N6E**

I/J Band AESA ραντάρ εγκλωβισμού και καθοδήγησης πυραύλων (TVM). Μέγιστη εμβέλεια 400 km ενώ μπορεί να καθοδηγεί ταυτόχρονα 12 πυραύλους σε 6 στόχους. Είναι μέρος του συστήματος S-400.

**WM 25**

Χρησιμοποιείται στις φρεγάτες τύπου MEKO – VAVUZ, MEKO – BARBAROS του ΤΠΝ

**Mk92 Mod 6 CAS**

Χρησιμοποιείται για την κατεύθυνση όπλων στις φρεγάτες τύπου MEKO-PERRY του ΤΠΝ και έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το WM-25 καθώς πρόκειται για το ίδιο ραντάρ της εταιρίας THALES, κατασκευασμένο στις ΗΠΑ.

**DRBC 32E**

Ραντάρ κατεύθυνσης όπλων. Πρόκειται για την γαλλική έκδοση του CASTOR που χρησιμοποιείται από το ΠΝ και έχει παρόμοιες δυνατότητες με αυτό. Χρησιμοποιείται από τις κορβέτες τύπου BURAK του ΤΠΝ.



AN/SPG-60

3D X Band ραντάρ κατεύθυνσης όπλων. Διαθέτει PRF Agility, επιλογή παλμού ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ILLUMINATOR ραντάρ συνεχούς κύματος «φωτίζοντας» συνεχώς τον στόχο. Χρησιμοποιείται από τις φρεγάτες τύπου MEKO-PERRY του ΤΠΝ.



STING EO MK2

Χρησιμοποιείται για την κατεύθυνση όπλων και πυραύλων στις κορβέτες τύπου ADA του ΤΠΝ. Η προηγούμενη έκδοση (STING MK1) χρησιμοποιείται από τις ΤΠΚ τύπου KILIC.



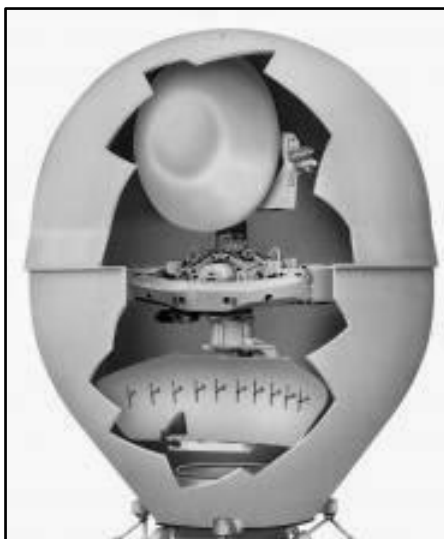
STIR 1.8

Χρησιμοποιείται για την κατεύθυνση όπλων στις φρεγάτες τύπου MEKO – VAVUZ, BARBAROS και PERRY του ΤΠΝ.



LIROD Mk2

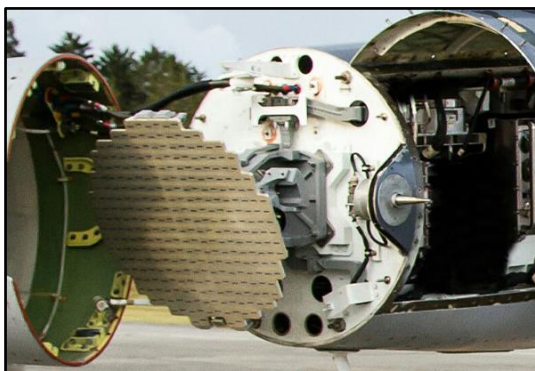
Χρησιμοποιείται για την κατεύθυνση όπλων και πυραύλων στις ΤΠΚ τύπου KILIC του ΤΠΝ.

**WM28/41**

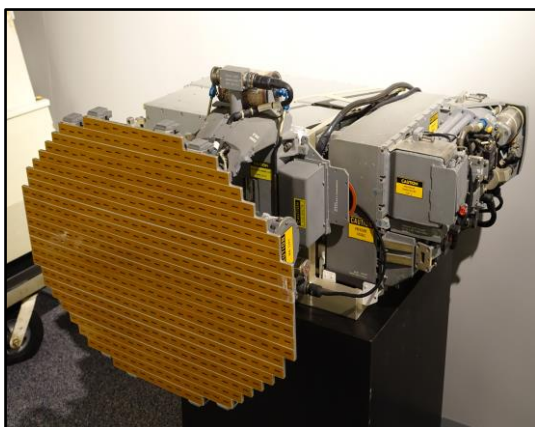
Ραντάρ έρευνας – κατεύθυνσης όπλων. Αντίστοιχο ραντάρ με το WM25. Χρησιμοποιείται από τις ΤΠΚ τύπου DOGAN του ΤΠΝ.

**TMX-CW**

X Band Pulse Doppler ραντάρ κατεύθυνσης όπλων. Διαθέτει Frequency agility και δυνατότητα επιλογής πλάτους παλμού ενώ το σύστημα διαθέτει επίσης θερμική κάμερα και αποστασιόμετρο Laser. Χρησιμοποιείται από τις ΤΠΚ τύπου YILDIZ του ΤΠΝ.

**ELM-2032**

I/J Band Pulse Doppler ραντάρ των εκσυγχρονισμένων Α/Φ F4 Terminator 2020 της ΤΠΑ. Διαθέτει δυνατότητες TWS, ISAR και MTI ενώ η μέγιστη εμβέλεια είναι 120 nm για εναέριο στόχο και 200 nm για στόχο επιφάνειας.

**AN/APG-68**

AN/APG-68(V) στα Α/Φ F-16 Block 40 και AN/APG-68(V5) στα Α/Φ F-16 Block 50 της ΤΠΑ

δ. Ηλεκτρο-οπτικοί Αισθητήρες



Η Τουρκική βιομηχανία παράγει πληθώρα συστημάτων νυκτερινής ή θερμικής όρασης τόσο για ατομική χρήση από οπλίτες, συστήματα σκοπεύσεως οπλικών συστημάτων, συστήματα νυκτερινής οδήγησης, επιτηρήσεως κ.α. τα οποία βρίσκονται σε χρήση από τις τουρκικές ένοπλες δυνάμεις. Οι τουρκικές ένοπλες δυνάμεις είναι από τις καλύτερα εξοπλισμένα δυνάμεις για νυκτερινό αγώνα στον κόσμο.



LIOD Mk2

Η/Ο αισθητήρας που περιλαμβάνει κάμερα ημέρας, IR κάμερα και αποστασιόμετρο laser. Μέγιστη εμβέλεια περίπου 20 km. Δυνατότητα παρακολούθησης και κατάδειξης στόχων. Χρησιμοποιείται από τις ΤΠΚ τύπου DOGAN, KILIC και YILDIZ του ΤΠΝ.

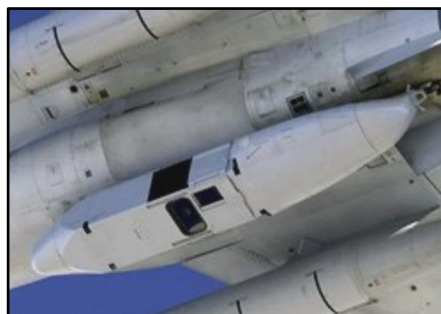


LITENING III

Φέρεται από Α/Φ F-4 2020

**LANTIRN**

Φέρεται από τα Α/Φ F-16.

**DB 110**

Φέρεται από Α/Φ F-16.

**ASELFLIR 300D**

Η/Ο αισθητήρας που περιλαμβάνει κάμερα ημέρας, IR κάμερα και αποστασιόμετρο laser. Μέγιστη εμβέλεια περίπου 20 km. Δυνατότητα παρακολούθησης και κατάδειξης στόχων. Χρησιμοποιείται από τα Α/Γ τύπου BAYRAKTAR και τις κορβέτες τύπου ADA του ΤΠΝ.

**ASELFLIR 300T**

Η/Ο αισθητήρας που περιλαμβάνει κάμερα ημέρας, IR κάμερα και αποστασιόμετρο laser. Μέγιστη εμβέλεια περίπου 20 km. Δυνατότητα παρακολούθησης και κατάδειξης στόχων. Χρησιμοποιείται από τα UAV ANKA και τα τουρκικής κατασκευής Ε Ε/Π ΑΤΑΚ-Τ129.

**AN/AAS-44**

Θερμική κάμερα των Ε/Π S-70 Seahawk του ΤΠΝ.



BAYRAKTAR MINI

Τουρκικής κατασκευής ΜΕΑ πολύ μικρής εμβέλειας. Διαθέτει κάμερα ημέρας και θερμική κάμερα. Χρησιμοποιείται για την έρευνα εδάφους και στοχοποίηση με ακρίβεια 10 m από μικρά κλιμάκια των ΤΕΔ.



BAYRAKTAR TACTICAL

Τουρκικής κατασκευής ΜΕΑ. Διαθέτει κάμερα ημέρας και θερμική κάμερα και αποστασιόμετρο Laser.



HERON

Ισραηλινής κατασκευής ΜΕΑ. Διαθέτει κάμερα ημέρας και θερμική κάμερα και αποστασιόμετρο Laser. Επίσης διαθέτει ραντάρ SAR και εκτοξευτή αντιμέτρων CHAFF και FLARE.



KARAYEL 2

Τουρκικής κατασκευής ΜΕΑ. Διαθέτει κάμερα ημέρας και θερμική κάμερα και αποστασιόμετρο Laser.



GOZCU

Τουρκικής κατασκευής ΜΕΑ μικρής εμβέλειας. Διαθέτει κάμερα ημέρας και θερμική κάμερα και αποστασιόμετρο Laser.

**SNIPER POD**

Ατρακτίδιο σκόπευσης που χρησιμοποιείται από τα Α/Φ F-16 της ΤΠΑ. Διαθέτει αισθητήρες IR, κάμερα ημέρας, καταδείκτη Laser, αποστασιόμετρο Laser και ανιχνευτή ακτινοβολίας laser. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση στόχων και καθοδήγηση όπλων σε αυτών.

ε. **Συστήματα Ηλεκτρονικής Υποστήριξης (ES) - Ηλεκτρονικής Επίθεσης (E-A)**

**DFINT-3A (ES)**

Τουρκικής κατασκευής σύστημα COMINT που λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων VHF/UHF και βρίσκεται σε χρήση από τις ΤΕΔ από το 1995. Αποκαλύπτει, υποκλέπτει και εκτελεί ραδιογωνιομέτρηση. Διαθέτει δυνατότητα για ασύρματη ή ενσύρματη διασύνδεση με άλλα συστήματα, ώστε να εντοπιστεί μέσω τριγωνισμού ο πομπός. Λειτουργεί με την τεχνική INTERFEROMETER.

- Περιοχή Συχνοτήτων: 20-1.000MHz.
- Ακρίβεια DF: 2° RMS.
- Ταχύτητα Σάρωσης Έρευνας (με DF): >500MHz/sec.
- Αποκάλυψη σε ANTI-JAM συστήματα: > 500hops/sec



DFINT-3A2 (ES)

Τουρκικής κατασκευής σύστημα COMINT / ESM που λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων VHF / UHF σταθερών και FH εκπομπών και βρίσκεται σε χρήση από τις ΤΕΔ από το 2003. Αποκαλύπτει, υποκλέπτει και εκτελεί DF. Διαθέτει τη δυνατότητα για ασύρματη ή ενσύρματη διασύνδεση με άλλα συστήματα. Λειτουργεί με βάση την τεχνική INTERFEROMETER. Επιπλέον, διαθέτει μέχρι και οκτώ (8) δέκτες για την ακρόαση και καταγραφή εκπομπών σταθερής συχνότητας

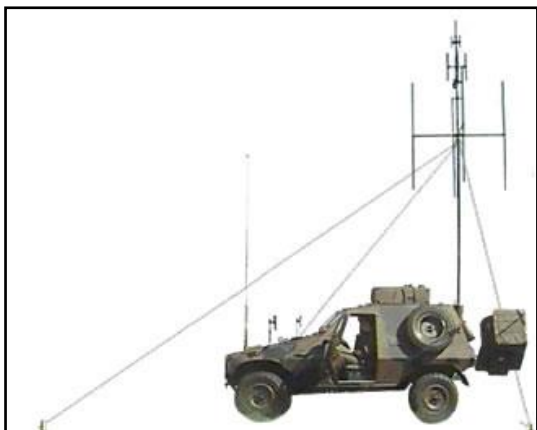
- Περιοχή Συχνοτήτων: 20-1.200MHz.
- Ακρίβεια Ραδιογωνιομέτρησης (DF): 1,5° RMS.
- Ταχύτητα Σάρωσης Έρευνας (με DF): > 1.000MHz/sec.
- Αποκάλυψη σε ANTI-JAM συστήματα: > 1.000hops/sec



MILKAR-4S (ES-EA)

Τουρκικής κατασκευής παρεμβολέας επικοινωνιών στην μπάντα συχνοτήτων HF (1-30MHz) και βρίσκεται σε χρήση από τις ΤΕΔ από το 2005. Το σύστημα εντοπίζει, αναλύει και παρεμβάλλει επικοινωνίες ενδιαφέροντος. Μπορεί να λειτουργήσει είτε τοπικά από χρήση εντός του οχήματος είτε με τηλεχειρισμό μέσω φορητού Η/Υ.

- Περιοχή Συχνοτήτων: 1-30 MHz (ESM), 1.5-30 MHz (ECM).
- Tuning Step: 1Hz.
- Διαμόρφωση λήψης: CW, AM, SSB (USB, LSB, ISB) FSK, AM / FM.
- Διαμόρφωση εκπομπής: CW, AM, SSB (USB, LSB, ISB), FSK, AM / FM.
- Τύποι παρεμβολής: SPOT, SEQUENTIAL, BARRAGE.
- Ισχύς εξόδου: 25-1000 W

**DFINT-3T (ES)**

Τουρκικής κατασκευής σύστημα αντίστοιχων δυνατοτήτων με το DFINT-3A2. Βρίσκεται σε χρήση από τις ΤΕΔ από το 2003. Το σύστημα αυτό είναι πλήρως φορητό και μπορεί να λειτουργήσει αποχωρίζομενο από το όχημα.

MILKAR-3A3 (ES-EA)

Πρόκειται για το νεότερο απόκτημα του ΤΕΔ (2019) τουρκικής κατασκευής. Πρόκειται να αντικαταστήσουν τα παλαιότερα συστήματα MILKAR-3A/3A2.

- Εύρος συχνοτήτων: VHF / UHF.
- Είδη παρεμβολής: Spot, Sequential, Multiple, Barrage, Reactive
- Δυνατότητα Αποδιαμόρφωσης: FM, AM, LSB, USB, CW.
- Δυνατότητα παρεμβολής εναντίον ασυρμάτων αναπήδησης συχνότητας.
- Δυνατότητα λήψης στενής/ευρείας δέσμης
- Ταχύτητα συντονισμού διέγερσης (<100 ns).
- Κατευθυντικές κεραίες υψηλής απολαβής

**MILKAR-5A (EA)**

Τουρκικής κατασκευής παρεμβολέας επικοινωνιών στην μπάντα συχνοτήτων HF, VHF / UHF και κινητών / ασύρματων τηλεφώνων, με δυνατότητα REMOTE ελέγχου και ισχύ εξόδου 1-2KW.

- Δυνατότητα έρευνας AUTO & MANUAL: 1-30MHz.
- Τύποι Διαμόρφωσης: HF, VHF / UHF, GSM-I-II, ISM-I (κινητά / ασύρματα τηλέφωνα).
- Δυνατότητα REMOTE ελέγχου.
- Ισχύς εξόδου: 1-2Kw.





MILKAR-3A (ES-EA)

Τουρκικής κατασκευής παρεμβολέας στην περιοχή συχνοτήτων επικοινωνιών VHF / UHF και βρίσκεται σε χρήση από τις ΤΕΔ από το 2005. Αποκαλύπτει, αναλύει και παρεμβάλλει επικοινωνιακές εκπομπές σε συγκεκριμένες συχνότητες ή σε ρυθμιζόμενη περιοχή συχνοτήτων (BARRAGE) και σε οριζόντια ή κάθετη πόλωση. Η κεραία του είναι τύπου LOG-PERIODIC και μπορεί να περιστραφεί κατά 360°.

- Περιοχή Συχνοτήτων: 20-500MHz.
- Tuning Step: 100Hz.
- Διαμόρφωση λήψης: AM, FM, CW.
- Διαμόρφωση εκπομπής: CW, AM, FM, AM/FM.
- Τύποι παρεμβολής: SPOT, SEQUENTIAL, BARRAGE.
- Ισχύς εξόδου: 25-500W



KORAL (ES-EA)

Πρόσφατο τουρκικής κατασκευής σύστημα (2016) ΗΠ. Αποτελείται από 2 οχήματα, ένα για ES και ένα για EA (Παρεμβολέας). Οι δυνατότητες ES του είναι σε πολύ υψηλό επίπεδο και περιλαμβάνουν (σύμφωνα με την εταιρία) έρευνα σε ευρύ ή στενό φάσμα, άμεση μέτρηση RF, PRI, PW, DOA και ταυτοποίηση της εκπομπής. Ο Παρεμβολέας μπορεί να πραγματοποιήσει πληθώρα τεχνικών θορύβου και παραπλάνησης. Η μέγιστη εμβέλεια του (χωρίς να μπορεί να επιβεβαιωθεί) είναι περίπου 150 km. Το εύρος λειτουργίας του πιστεύεται ότι είναι 0,4 – 40 GHz.



SAPAN (ES-EA)

Τουρκικής κατασκευής αυτοκινούμενο σύστημα προστασίας φάλαγγας πλήρως προγραμματιζόμενο. Εκτελεί σάρωση σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων και παρεμβάλλει άμεσα οποιαδήποτε συχνότητα ανιχνευθεί. Με τον τρόπο αυτό παρέχει προστασία από την έκρηξη μηχανισμών που ενεργοποιούνται με κάποιου είδους ακτινοβολία (π.χ. RCIED).

**RAKAS/MUKAS**

Τουρκικής κατασκευής σύστημα προσο-
μοίωσης ΗΠ. Χρησιμοποιείται για την εκπαί-
δευση του προσωπικού των ΤΕΔ σε σενάρια
ΗΠ επικοινωνιών και ραντάρ.

**Φορητά συστήματα ES**

Τουρκικής κατασκευής φορητά σύστημα
ραδιογωνιόμετρησης – ανάλυσης εκπομπών.

**KIRPI (ES-EA)**

Τουρκικής κατασκευής φορητό σύστημα
προστασίας ομάδας. Πραγματοποιεί τις ίδιες
λειτουργίες με το SAPAN αλλά σε μικρότερη
εμβέλεια.

**AN/SLQ-32(V)2 (ES)**

Σύστημα ES με δυνατότητες ραδιογω-
νιόμετρησης, ταυτοποίησης και παροχής έ-
γκαιρης προειδοποίησης. Είναι παθητικό σύ-
στημα. Χρησιμοποιείται από τις φρεγάτες τύ-
που PERRY του ΤΠΝ.

CUTLASS B1 (ES)/SCORPION (EA)



CUTLASS: Δέκτης 1-18 GHz. Δυνατότητα προσδιορισμού κατεύθυνσης της ακτινοβολίας, μέτρηση παραμέτρων και σύγκριση τους με μια βάση δεδομένων μέχρι 2000 εγγραφών.

SCORPION: Παρεμβολέας 7,5-18 GHz. Δυνατότητα παρεμβολής θορύβου, RGPO και ψευδών στόχων.

Ο Παραπάνω συνδυασμός χρησιμοποιείται από τις φρεγάτες τύπου MEKO-BARBAROS και PERRY και τις ΤΠΚ KILIC, RUZGAR και YILDIZ του ΤΠΝ.



ARES 2N (ES)

Υπερσύγχρονο ολοκληρωμένο σύστημα ES-EA τουρκικής κατασκευής. Έχει τοποθετηθεί στις τουρκικές κατασκευής κορβέτες τύπου ADA, στο επίσης τουρκικής κατασκευής Α/Γ τύπου BAYRAKTAR ενώ βρίσκεται σε εξέλιξη η τοποθέτησή του στις φρεγάτες τύπου MEKO-YAVUZ



DR-3000A (ES)

Δέκτης ακτινοβολιών που βρίσκεται στα Α/Φ ναυτικής συνεργασίας CN-235 και στα πρόσφατα αποκτηθέντα ATR-72-ASW του ΤΠΝ. Μπορεί να ανιχνεύει και να ταυτοποιεί ακτινοβολίες σε εύρος 0,5 έως 20 GHz. Παρέχει μεγάλη ακρίβεια διόπτρευσης, περίπου 1°. Μπορεί να παρακολουθεί ταυτόχρονα 256 είδη παλμού τα οποία συγκρίνει με μια βάση δεδομένων.



DR-2000 (ES)

Χρησιμοποιείται από τις κορβέτες τύπου BURAK του ΤΠΝ.

**AEW&C B-737/700**

Διαθέτουν το σύστημα ESM / ELINT EL/L-8312A (0,5 – 18 GHz με επέκταση 0,3 - 40 GHz) της ισραηλινής ELTA. Το RADAR ηλεκτρονικής σάρωσης «MESA» που διαθέτει, λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων L (1-2 GHz) και παρέχει κάλυψη 360°. Έχει την ικανότητα να παρακολουθεί ταυτόχρονα έως και 180 στόχους και να εμπλέκει τους 24 από αυτούς.

- RF: 1,25- 1,35 GHz
- PRI: 85-105 μ sec
- PW: 14-31 μ sec
- RANGE: 370 Km
- SCAN DURATION: 3- 40 sec
- BEAMWIDTH: 2-8°

**ANKA UAV (ES)**

Τουρκικής κατασκευής MEA. Διαθέτει κάμερα ημέρας και θερμική κάμερα και αποστασιόμετρο Laser και ραντάρ ISAR. Πρόσφατα η Τουρκία αναβάθμισε τα συγκεκριμένα αεροχήματα με δυνατότητες ELLINT.

**JAMINT-2U (MILKAR-2U) (EA)**

Α/Φ EC-160T SIGINT / ECM, τα οποία φέρουν το σύστημα JAMINT-2U της εταιρείας ASELSAN, το οποίο δουλεύει στις μπάντες «Α και Β» και έχει δυνατότητες παρεμβολών ELINT (τύπου SWEEP – SPOT – BARRAGE) και COMINT (θορύβου)

**MILSIS-2U (ES)**

Α/Φ CN-235EW ELINT, τα οποία φέρουν δύο (2) POD MILSIS-2U της εταιρείας ASELSAN, τοποθετημένα στις πτέρυγες του Α/Φ. Τα εν λόγω ατρακτίδια εκτελούν μόνο ανίχνευση εκπομπών RADAR, χωρίς να έχουν δυνατότητα Ηλεκτρονικής Παρεμβολής.



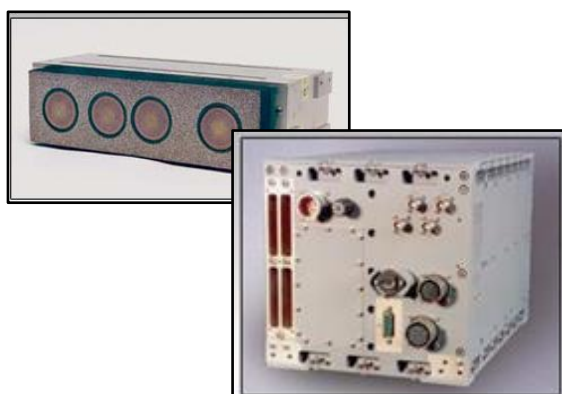
AN/ALQ-144 (EA)

Σε χρήση από τα Ε Ε/Π AH-1P Cobra
AH-1W Super Cobra,



APR-39A (ES)

Σε χρήση από τα Ε Ε/Π AH-1P Cobra
AH-1W Super Cobra και τα Ε/Π CH-47.



LR-100 (ES)

Χρησιμοποιείται στα Ε/Π S-70B Sea-
hawk του ΤΠΝ.



AN/AVR-2 LWR (ES)

Σε χρήση από τα Ε Ε/Π AH-1W Super
Cobra



ALR-66v3 (ES)

Σε χρήση από τα Ε/Π S-70 του ΤΠΝ



SPS-1000V (ES)

Σύγχρονος δέκτης RWR ισραηλινής κατασκευής. Χρησιμοποιείται από τα Α/Φ F-4 της ΤΠΑ.



AAQ-24 (EA)

Σύστημα DIRCM. Σε χρήση από τα ΑEW&C B-737/700 της ΤΠΑ



AN/AAR-54(V) MWS (ES)

Σύστημα προειδοποίησης εισερχόμενου πυραύλου. Σε χρήση από τα ΑEW&C B-737/700 της ΤΠΑ.



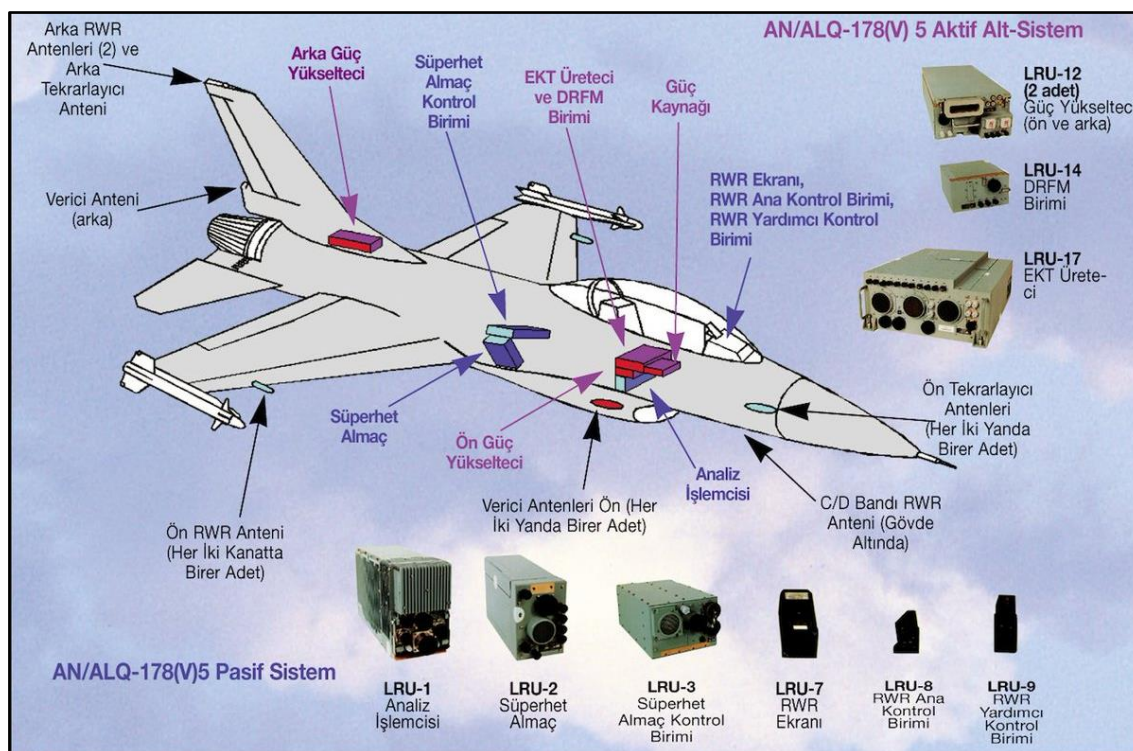
EL/L-8212/22 (ES-EA)

Προγραμματιζόμενος δέκτης και παρεμβολέας ισραηλινής κατασκευής. Χρησιμοποιείται από τα Α/Φ F-4 της ΤΠΑ. Συχνότητες λειτουργίας 6,5 – 18 GHz.



AN/ALQ-211(V)4 AIDEWS (ES-EA)

Ολοκληρωμένο σύστημα αυτοπροστασίας για τα Α/Φ F-16 BLOCK 50+ της ΤΠΑ.



AN/ALQ-178(V) (ES-EA)

Ολοκληρωμένο σύστημα αυτοπροστασίας για τα Α/Φ F-16 της ΤΠΑ. Το σύστημα AN/ALQ-178(V) 3 Rapport III χρησιμοποιείται από τα F-16 Block 30 ενώ το βελτιωμένο AN/ALQ-178(V) 5+ το οποίο παράγεται εξ'ολοκλήρου στην Τουρκία στα F-16 Block 40/50. Συχνότητες λειτουργίας 0,5 – 2 GHz και 2 -20 GHz.



AN/ALQ-211(V)9 (ES-EA)

Ολοκληρωμένο σύστημα αυτοπροστασίας. Πρόκειται για την εξωτερικά μεταφερόμενη έκδοση του συστήματος AIDEWS. Συνήθως, καθώς στα ατρακτίδια ο διαθέσιμος χώρος είναι μεγαλύτερος, η ισχύς τους είναι επίσης αυξημένη. Είναι άγνωστο αν αυτό ισχύει και για το ALQ-211(V)9 σε σχέση με το AIDEWS. Εκτιμάται θα χρησιμοποιηθούν σε Α/Φ F-16 τα οποία δε φέρουν το σύστημα AIDEWS εσωτερικά.

στ. Αναλώσιμα Συστήματα Ηλεκτρονικής Επίθεσης

Τα αναλώσιμα συστήματα ΕΑ που χρησιμοποιεί η Τουρκία για το ΤΠΝ και ΤΠΑ είναι τα ίδια με αυτά της Ελλάδας εκτός από το MEA HARPY που αναλύεται παρακάτω:



HARPY (EA)

Ισραηλινής κατασκευής MEA. Διαθέτει 2 κεραίες λήψης ακτινοβολιών (Low – High Band) και βάση δεδομένων εκπομπών. Μέγιστη εμβέλεια 500 km και χρόνος πτήσης 2-3 ώρες. Σε περίπτωση ανίχνευσης εκπομπής το MEA κατευθύνεται προς τη πηγή της όπου και εκρήγνυται (εκρηκτική κεφαλή 23kg) με σκοπό τη καταστροφή της πηγής (ραντάρ, κέντρο επικοινωνιών κ.α.).

12.3 Άμεσα Μελλοντικά Προγράμματα ΗΠ Τουρκίας



AKINCI (ES)

Τουρκικής κατασκευής UCAV το οποίο φέρει Η/Ο αισθητήρες και ραντάρ AESA με δυνατότητες ES. Δύναται να φέρει και οπλισμό με συνολικό βάρος απογείωσης 4,5 τόνους.



UÇANKAYA (ES)

Τουρκικής κατασκευής UAV αναγνώρισης με μέγιστο υψόμετρο 4000 ft. Φέρει Η/Ο αισθητήρες.



EIRS

Τουρκικής κατασκευής ραντάρ εγκαίρου προειδοποίησης. Είναι τεχνολογίας AESA, S Band με ικανότητα ανιχνεύσεως ιχνών μικρού RCS και με μέγιστη εμβέλεια περίπου 700 km. Τα πρώτα ραντάρ αναμένεται να παραδοθούν στις ΤΕΔ το 2021.



AKR

Τουρκικής κατασκευής Ku Band ραντάρ εγκλωβισμού – κατεύθυνσης βλημάτων. Πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε ναυτικές πλατφόρμες καθώς και σε επίγεια Α/Α συστήματα (KORKUT).



MAR

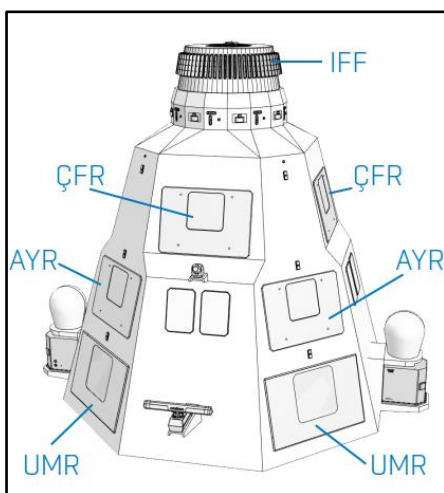
Τουρκικής κατασκευής X Band ραντάρ ερεύνης και παρακολούθησης στόχων. Πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε επίγεια Α/Α συστήματα (KORKUT, HISAR) καθώς και σε ΣΔ.

**STR**

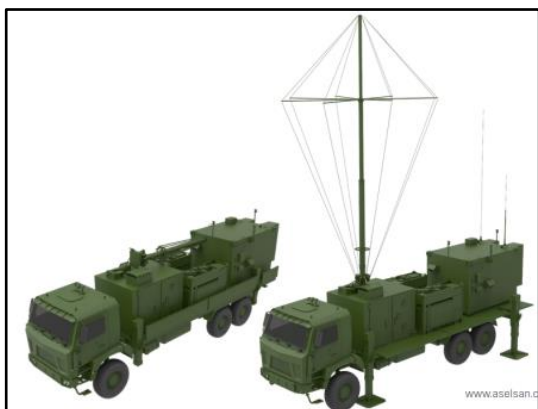
Τουρκικής κατασκευής S Band ραντάρ αντιπυροβολικού – αντιολμικού.

**SARPER**

Τουρκικής κατασκευής X Band ραντάρ SAR / ISAR. Πρόκειται να χρησιμοποιηθεί από τα νέα υπό κατασκευή UCAV ANKA-S. Δεν αποκλείεται και η χρήση του από άλλα ιπτάμενα μέσα.

**CAFRAD**

Τουρκικής κατασκευής ραντάρ για χρήση από μονάδες επιφανείας. Διαθέτει X Band AESA (CFR) για έρευνα – παρακολούθηση πλωτών μέσων με βεληνεκές 150 km, X Band AESA (AYR) ραντάρ κατεύθυνσης βλημάτων, S Band AESA ραντάρ έρευνας με βεληνεκές 450 Km. Το εν λόγω ραντάρ ήδη δοκιμάζεται σε πλωτά μέσα του ΤΠΝ και αναμένεται η τοποθέτησή του στα νέα τουρκικής κατασκευής πλοία του ΤΠΝ. Δεν αποκλείεται και η χρήση του σε παλαιότερα πλοία εάν αυτά εκσυγχρονιστούν

**MILKAR 4A2 (ES-EA)**

Τουρκικής κατασκευής σύστημα ES – Παρεμβολών HF. Πρόκειται να αντικαταστήσει τα MILKAR 4S.



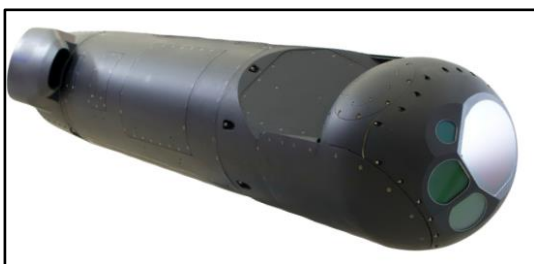
LIS

Τουρκικής κατασκευής LWR για χρήση από πλοία. Έχει ήδη εγκατασταθεί σε πλοία όπως το Α/Γ BAYRAKTAR και τις κορβέτες MILGEM.



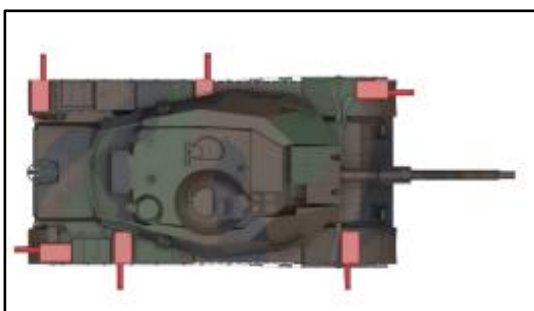
LIAS

Τουρκικής κατασκευής LWR για εναέρια μέσα. Πρόκειται να εγκατασταθεί αρχικά στα Ε Ε/Π T-129 του τουρκικού Στρατού.



ASELPOD

Τουρκικής κατασκευής ατρακτίδιο στοχοποίησης. Διαθέτει κάμερα ημέρας, αισθητήρα IR και αποστασιόμετρο και καταδείκτη laser. Ενδεχομένως να αντικαταστήσει τα παλαιότερα ατρακτίδια LITENING .



PULAT

Τουρκικής κατασκευής σύστημα ενεργούς αυτοπροστασίας από Α/Τ πυραύλους. Το σύστημα διαθέτει ραντάρ τα οποία ανιχνεύουν τον εισερχόμενο πύραυλο και εκτοξεύουν σε κατάλληλη απόσταση αναλώσιμα εκρηκτικά ώστε να τον καταστρέψουν πριν αυτός φτάσει στο σκάφος. Το σύστημα βρίσκεται ήδη στη παραγωγή και βρίσκεται σε διαδικασία τοποθέτησης στα τεθωρακισμένα M60 τουρκικού στρατού.

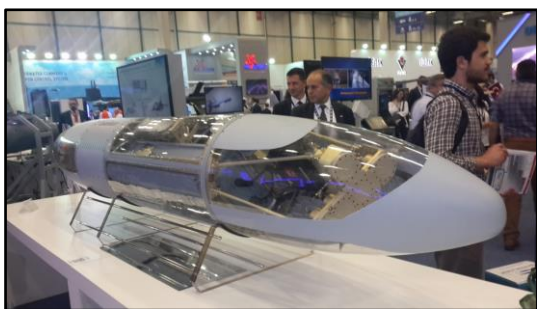


**AKKOR**

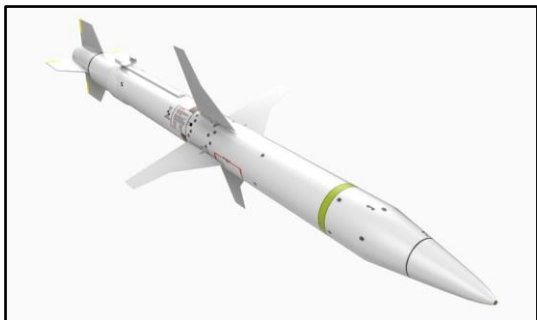
Τουρκικής κατασκευής σύστημα ενεργούς αυτοπροστασίας από Α/Τ πυραύλους. Βρίσκεται στη φάση της ανάπτυξης και πρόκειται για την εξέλιξη του PULAT που περιγράφηκε παραπάνω. Πρόκειται να χρησιμοποιηθεί αρχικά στα νέα τουρκικής κατασκευής τεθωρακισμένα ALTAY.

HEWS

Ολοκληρωμένο σύστημα αυτοπροστασίας. Αν και το όνομα είχε χρησιμοποιηθεί και παλαιότερα το HEWS έχει πρόσφατα αναβαθμιστεί και περιλαμβάνει προγραμματιζόμενο RWR τουρκικής κατασκευής, LWR, MWR, προγραμματιζόμενο παρεμβολέας RF I/J Band με δυνατότητες DRFM και κεραία AESA και σύστημα εκτόξευσης αντιμέτρων. Χρησιμοποιείται στα Ε Ε/Π T-129B ενώ έχει προγραμματιστεί και η τοποθέτησή του στα παλαιότερα T-129 που πρόκειται να αναβαθμιστούν και στα υπό κατασκευή T-70 μεταφορικά ελικόπτερα.

**MEHPOD**

Υπό ανάπτυξη ατρακτίδιο ηλεκτρονικού πολέμου. Θα διαθέτει τόσο δυνατότητες ES όσο και EA.

**AKBABA**

Τουρκικό πρόγραμμα σχεδίασης και κατασκευής πυραύλου αντι-ακτινοβολίας. Με την ολοκλήρωση του προγράμματος, η Τουρκία αποσκοπεί στην αντικατάσταση των AGM-88 HARM από αυτόν τον πύραυλο. Περισσότερες λεπτομέρεις δεν είναι διαθέσιμες προς το παρόν.



KARGI

Τουρκικό πρόγραμμα σχεδίασης και κατασκευής UAV αντι-ακτινοβολίας. Θα κατασκευαστεί από την εταιρία VESTEL ενώ οι αισθητήρες θα είναι της εταιρίας ASELSAN. Όταν παραχθεί πρόκειται να αντικαταστήσει τα UAV HARPY.

13.1 Σημασία ΗΠ στις Σύγχρονες Επιχειρήσεις

α. Γενικά

Οι σύγχρονες στρατιωτικές επιχειρήσεις λαμβάνουν χώρα σε ένα διαρκώς αυξανόμενη πολυπλοκότητα και απαιτήσεων Η/Μ φάσματός περιβάλλον. Ο ΗΠ αποσκοπεί στο να εξασφαλίσει και να διατηρήσει την ελευθερία δράσης στο Η/Μ περιβάλλον στις φίλιες δυνάμεις και να τη στερήσει από τον αντίπαλο. Μπορεί να διεξαχθεί σε όλους τους τομείς από επανδρωμένα ή μη συστήματα, είτε για να επιφέρει αποφασιστικά μεμονωμένα αποτελέσματα, είτε για να υποστηρίξει γενικότερα μια στρατιωτική επιχείρηση, ενώ εάν δεν σχεδιαστεί σωστά ή δεν υπάρχει συντονισμός, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά ακόμη και τις φίλιες επιχειρήσεις.

Ο ΗΠ μπορεί να επηρεάζει ταυτόχρονα πολλαπλά επίπεδα. Η παρεμβολή ενός ραντάρ εγκαίρου προειδοποίησης για παράδειγμα μπορεί να επηρεάζει τη δυνατότητα εμπλοκής κάποιων Α/Α όπλων σε τακτικό επίπεδο, να επηρεάσει το συντονισμό και διοίκηση δυνάμεων σε επιχειρησιακό επίπεδο και να εμποδίσει τον αντίπαλο στο να διατηρήσει μια συνεκτική και ολοκληρωμένη εικόνα του επιχειρησιακού περιβάλλοντος, σε στρατηγικό επίπεδο. Σε ένα άλλο παράδειγμα, η ύπαρξη εχθρικών παρεμβολών σε ένα περιβάλλον επιχειρήσεων και η εκτέλεση ενεργειών αντιμετώπισής τους από τις φίλιες δυνάμεις (εντοπισμός θέσης πομπού, εφαρμογή διαδικασιών ηλεκτρονικής προστασίας ή ακόμα και καταστροφή του πομπού αυτού) ενώ λαμβάνουν χώρα στο τακτικό επίπεδο, είναι πολύ πιθανό να έχουν πολύ μεγάλη σημασία σε επιχειρησιακό ή στρατηγικό επίπεδο και να επηρεάσουν σημαντικά τη λήψη αποφάσεων.

Η ηλεκτρονική υποστήριξη παίζει τεράστιο ρόλο στη κατανόηση και αξιολόγηση του επιχειρησιακού περιβάλλοντος πριν την έναρξη των επιχειρήσεων. Η σωστή αξιοποίηση των μέσων ΕΣ παρέχει μεγάλο όγκο πληροφοριών σε έναν στρατιωτικό διοικητή, χωρίς αυτός να ρισκάρει μια ένοπλη σύγκρουση ή κρίση, όπως θα γινόταν αν χρησιμοποιούσε άλλα μέσα. Η ηλεκτρονική υποστήριξη μπορεί ακόμη να βοηθήσει στη μείωση απωλειών ή στην επίτευξη στρατιωτικών στόχων με μικρότερο αριθμό δυνάμεων, με τη γνώση της ΗΔΜ του αντιπάλου, το είδος των Ο/Σ που χρησιμοποιεί ή ακόμα και την διεξαγωγή επίθεσης εναντίον του όταν αυτός είναι λιγότερο προετοιμασμένος.

Η χρήση του ΗΠ ως υποστηρικτικό μέσο κατά τη διεξαγωγή μιας επιχείρησης μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί για τη διαμόρφωση αντιλήψεων (προπαγάνδα) και

μείωση ηθικού και συνοχής της εχθρικής δύναμης. Η εφαρμογή ΗΠ σε εχθρικά συστήματα επικοινωνιών, κέντρα διοίκησης και ελέγχου και κέντρα ΔΜ είναι μερικοί τρόποι.

Ο κύριος σκοπός του ΗΠ είναι η χρήση της Η/Μ ενέργειας για τον έλεγχο του Η/Μ φάσματος. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να επιτευχθεί με επιτυχή διαχείριση και ενσωμάτωση συστημάτων που χρησιμοποιούν το φάσμα αυτό (συστήματα επικοινωνιών, έρευνας και επιτήρησης, ηλεκτρονικού πολέμου κ.α.) ενώ παράλληλα στερείται από τον αντίπαλο η δυνατότητα χρήσης του φάσματος αλλά και γίνεται και εκμετάλλευση των εχθρικών εκπομπών. Η ηλεκτρονική επίθεση εμποδίζει τη χρήση του φάσματος από τον αντίπαλο, η ηλεκτρονική προστασία εξασφαλίζει τη χρήση του από τις φίλιες δυνάμεις ενώ η ηλεκτρονική υποστήριξη επιτρέπει τον εντοπισμό και παρακολούθηση της Η/Μ «κίνησης» σε αυτό. Οι τρόποι επίτευξης του ελέγχου μπορούν να περιλαμβάνουν τα παρακάτω, χωρίς να περιορίζονται όμως μόνο σε αυτά.

(1) **Εντοπισμός:** Η δυνατότητα αποκάλυψης αλλά και ταυτοποίησης των Η/Μ εκπομπών. Αποτελεί το πρώτο στάδιο κάθε επιχείρησης ΗΠ .

(2) **Εκμετάλλευση:** Η εκμετάλλευση κάθε πληροφορίας που έχει αποκτηθεί για τακτικούς, επιχειρησιακούς ή στρατηγικούς σκοπούς. Αυτό περιλαμβάνει την αναγνώριση, χαρακτηρισμό, εντοπισμό θέσης και παρακολούθησης των πηγών Η/Μ ακτινοβολίας ώστε να υποστηριχθούν οι τρέχουσες ή οι μελλοντικές επιχειρήσεις.

(3) **Άρνηση:** Η άρνηση είναι η δημιουργία εμποδίων στον αντίπαλο στο να χρησιμοποιήσει συστήματα που λειτουργούν στο Η/Μ φάσμα (επικοινωνίες, ραντάρ κ.α.) δυσκολεύοντας τον με αυτόν τον τρόπο στην απόκτηση έγκυρων πληροφοριών σχετικά με τις φίλιες δυνάμεις. Η άρνηση επιτυγχάνεται με χρήση τεχνικών ηλεκτρονικής επίθεσης, χρήση αναλώσιμων αντιμέτρων και διαδικασιών EMCON.

(4) **Διατάραξη:** Επιτυγχάνεται με το να διακόπτεται η λειτουργία των εχθρικών συστημάτων. Ένα καλά εκπαιδευμένο προσωπικό είναι δυνατό όμως να παρακάμψει τις ενέργειες των φίλιων τμημάτων, με εφαρμογή τεχνικών ηλεκτρονικής προστασίας (π.χ. αλλαγή συχνότητας). Ο σκοπός της διατάραξης είναι να δημιουργήσει σύγχυση στον αντίπαλο και να καθυστερήσει την ανάληψη δράσης από αυτόν. Η διατάραξη επιτυγχάνεται με χρήση παρεμβολών θορύβου ή παραπλάνησης καθώς και με Η/Μ εισχώρηση.

(5) **Υποβιβασμός:** Η δυνατότητα μείωσης της αποτελεσματικότητας των εχθρικών συστημάτων που χρησιμοποιούν το Η/Μ φάσμα. Αν και συνήθως ένας έμπειρος χειριστής ή ένα σύγχρονο σύστημα είναι σε θέση να «παρακάμψει» πιθανές επιπτώσεις, εξακολουθούν οι ενέργειες αυτές να προκαλούν σύγχυση και καθυστέρηση στη λήψη δράσης. Ο υποβιβασμός είναι επίσης ένας πολύ καλός τρόπος να διαπιστωθεί ο βαθμός ικανότητας και αντίδρασης του αντιπάλου σε καταστάσεις Η/Μ παρεμβολών.

(6) **Εξαπάτηση:** Σκοπός είναι να παραπλανηθεί ο εχθρός με κατάλληλο χειρισμό, παραποίηση ή παραμόρφωση των διαθέσιμων σε αυτόν στοιχείων ώστε να εξαναγκαστεί να δράσει με τρόπο επιζήμιο για τα δικά του συμφέροντα. Η εξαπάτηση πραγματοποιείται με την «εισαγωγή» των λανθασμένων αυτών στοιχείων στα συστήματα επικοινωνίας ή δεδομένων του εχθρού.

(7) **Καταστροφή:** Όσον αφορά τον ΗΠ, καταστροφή σημαίνει την χρήση Η/Μ ακτινοβολίας (soft kill) ή όπλων (hard kill) με σκοπό την καταστροφή εγκαταστάσεων ή συστημάτων που λειτουργούν στο Η/Μ φάσμα. Οι κόμβοι επικοινωνιών, αναμετάδοσης ή τα κέντρα C2 είναι από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα.

(8) **Προστασία:** Εκτός από την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας των φίλιων συστημάτων από τις εχθρικές δραστηριότητες, η προστασία προϋποθέτει και την μη υποβάθμιση των συστημάτων αυτών από τις φίλιες ενέργειες. Για το λόγο αυτό, πριν από κάθε επιχείρηση ΗΠ απαιτείται πολύ καλός σχεδιασμός αλλά και κατάλληλος συντονισμός όταν αυτές λαμβάνουν χώρα. Σε πολλές περιπτώσεις η υποβάθμιση φίλιων συστημάτων δεν είναι αναπόφευκτη. Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να καθορίζεται η προτεραιότητα κάθε συστήματος από τον εκάστοτε διοικητή.

(9) **Ηλεκτρονική Επίθεση:** Μπορεί να γίνει από πολλές διαφορετικές «πλατφόρμες», όπως Α/Φ, επίγειος σταθμούς, σκάφη επιφανείας, το διάστημα ή ακόμη και από τον κυβερνοχώρο.

β. Ηλεκτρονική Υποστήριξη

Είναι ενέργειες που αναλαμβάνονται για έρευνα, υποκλοπή και αναγνώριση της εκπεμπόμενης Η/Μ ενέργειας, καθώς και τον εντοπισμό των πηγών τους,

με σκοπό την αντίληψη της κατάστασης και την άμεση αναγνώριση της απειλής. Παρέχουν μία πηγή πληροφοριών αναγκαία για την άμεση λήψη αποφάσεων που αφορούν στην εφαρμογή αντιμέτρων ή άλλων τακτικών ενεργειών. Περιλαμβάνουν τη χρήση παθητικών μέτρων εκτός των αναγκαίων ενεργητικών μέτρων διοίκησης και ελέγχου τους, γεγονός που παρέχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα στην εφαρμογή τους καθώς δεν είναι δυνατόν να ανιχνευθούν από τον αντίπαλο. Η επιτυχημένη διεξαγωγή τους προϋποθέτει πολύ καλά εκπαιδευμένο προσωπικό, ειδικό εξοπλισμό και κατάλληλη καθοδήγηση στις προτεραιότητες, στο είδος των στόχων, καθώς και στο είδος των επιθυμητών απαιτήσεων σε συλλογή πληροφοριών – δεδομένων για την αποφυγή σπατάλης χρόνου και προσπάθειών.

(1) Ευθύνες:

- (α) Καθοδήγηση Επιχειρήσεων Ηλεκτρονικής Επίθεσης.
- (β) Συλλογή πληροφοριών δεδομένων ΗΠ.
- (γ) Συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις αντίπαλες δυνάμεις (δυνατότητες, περιορισμοί, αδυναμίες, διάταξη μάχης).
- (δ) Συλλογή πληροφοριών για συστήματα C2 του αντιπάλου.
- (ε) Συλλογή πληροφοριών για επικοινωνιακά και μη επικοινωνιακά συστήματα του αντιπάλου (επιτήρηση μμάχης, απόκτηση στόχου, κ.λπ.).
- (στ) Παροχή πληροφοριών – δεδομένων για τη σχεδίαση επιχειρήσεων ηλεκτρονικής παραπλάνησης.
- (ζ) Ανίχνευση - αναγνώριση αλλαγής κατεύθυνσης εχθρικής απειλής.
- (η) Άμεση ανίχνευση απειλής.
- (θ) Επιχειρήσεις Καταστολής Εχθρικής Αεράμυνας (Suppression Enemy Air Defense –SEAD).
- (ι) Καθορισμό Ηλεκτρονικής διάταξης Μάχης (ΗΔΜ).
- (ια) Συνεχή και έγκαιρη ενημέρωση κατάλληλων βάσεων δεδομένων

(2) Οι υπόψη επιχειρήσεις χαρακτηρίζονται από τα παρακάτω:

- (α) Διεξάγονται κατά τη διάρκεια ειρήνης, κρίσεων και πολέμων και παρέχουν στοιχεία – δεδομένα απαραίτητα για τη δημιουργία – ενημέρωση βάσης

δεδομένων ΗΠ, τόσο για τη σχεδίαση όσο και για την εκτέλεση επιχειρήσεων. Επισημαίνεται ότι η συλλογή δεδομένων κατά τη διάρκεια της ειρήνης, για τη δημιουργία και ενημέρωση της σχετικής βάσης δεδομένων, συμβάλλει αποφασιστικά στην αύξηση της επιχειρησιακής ετοιμότητας των φίλιων δυνάμεων.

(β) Παρέχουν πληροφορίες για τη διάταξη μάχης του αντιπάλου, τις δυνατότητες και προθέσεις του.

(γ) Παρέχουν δεδομένα και πληροφορίες που χρησιμοποιούνται κυρίως σε τακτικό επίπεδο, ενώ μέρος αυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε στρατηγικό επίπεδο.

(δ) Χρησιμοποιούν παθητικά συστήματα, τα οποία αποτελούν μη ανιχνεύσιμη πηγή συλλογής πληροφοριών.

(ε) Εκμεταλλεύεται όλες τις Η/Μ εκπομπές του αντιπάλου

(στ) Παρέχει συνεχώς δεδομένα και πληροφορίες ΗΠ, ανεξάρτητα καιρικών συνθηκών και διάρκειας των επιχειρήσεων.

(3) Βασικές Ενέργειες

(α) Έρευνα

Για την ανίχνευση εκπομπών του αντιπάλου τα τμήματα ΗΠ ερευνούν το φάσμα για την εξεύρεση των συχνοτήτων ή υποπεριοχών συχνοτήτων που χρησιμοποιεί ο αντίπαλος. Όταν το επιτύχουν, μπορούν να υποκλέψουν στο βαθμό που αυτό είναι δυνατόν τις αντίπαλες εκπομπές, να ραδιογωνιομετρήσουν για να εντοπίσουν τις πηγές εκπομπής και να αναλύσουν τις υπόψη εκπομπές για την απόκτηση πληροφοριών – δεδομένων, ώστε να προσδιορίσουν την ΗΔΜ του εχθρού. Η έρευνα συγκεκριμένων περιοχών συχνοτήτων από έμπειρο προσωπικό, που υποστηρίζεται από εξειδικευμένο υλικό, με σκοπό την ανεύρεση, ταξινόμηση και αποκάλυψη των εχθρικών Η/Μ εκπομπών, με βάση τεχνικές παραμέτρους (συχνότητες, τύποι διαμόρφωσης, χρόνος εκπομπής, αριθμός συχνοτήτων αναπήδησης ανά δευτερόλεπτο, ηλεκτρονική ταυτότητα Σ/Α (electronic identification), κ.λπ.). διακρίνεται σε:

Γενική Έρευνα: Είναι η αναγνώριση και επεξεργασία μεγάλων τμημάτων του Η/Μ φάσματος, με σκοπό την ταξινόμηση όλων των εκπομπών που υπάρχουν μέσα σε αυτό.

Ειδική Έρευνα: Είναι η επόμενη παρακολούθηση, μετά τον καθορισμό της συχνότητας και τη χρησιμοποιούμενης διαμόρφωσης, με σκοπό την συλλογή πληροφοριών, για επεξεργασία από το σύστημα ανάλυσης και αναγνώριση των συγκεκριμένων ηλεκτρονικών στόχων ενδιαφέροντος.

(β) Υποκλοπή

Περιλαμβάνει την καταγραφή μέσω Η/Υ ή κατάλληλων καταγραφικών (φωνής ή φάσματος) των χαρακτηριστικών εκπομπής ενός δικτύου επικοινωνιών, που έχει ανιχνευθεί με τη διαδικασία της έρευνας και παρουσιάζει πληροφοριακό ενδιαφέρον. Ο χειριστής συνήθως δεν έχει το χρόνο να μελετήσει – αναλύσει το περιεχόμενο των εκπομπών. Προφανώς ο χειριστής πρέπει να έχει πλήρη γνώση των διαδικασιών και της γλώσσας του αντιπάλου. Οι υπόψη επιχειρήσεις δυνατόν να διεξάγονται εναντίον κρυπτασφαλισμένων και μη κρυπτασφαλισμένων δικτύων, αλλά οι πληροφορίες που αποκτώνται διαφέρουν μεταξύ τους. Οι πληροφορίες που αποκτώνται από κρυπτασφαλισμένα δίκτυα αφορούν στα χαρακτηριστικά εκπομπής (διαμόρφωση, χρησιμοποιούμενη συχνότητα ή συχνότητες λειτουργίας, αριθμός αναπληρώσεως ανά δευτερόλεπτο, σε περίπτωση εκπομπών FH, χρόνος παραμονής στη συχνότητα, κ.λπ.), ενώ μπορούν να εξαχθούν άμεσα συμπεράσματα, στηριζόμενα στον εντοπισμό της θέσης, των πηγών εκπομπής καθώς και από την ανάλυση της κίνησης τους. Ιδιαίτερα σε ότι αφορά τα ραντάρ επισημαίνονται χαρακτηριστικά εκπομπής, συχνότητα ή συχνότητες λειτουργίας, ισχύ εκπομπής, PRF, PW, ταχύτητα έρευνας, είδος πόλωσης. Τα υπόψη χαρακτηριστικά δυνατόν να καθορίσουν την λειτουργία, παραμέτρους λειτουργίας και γενικά να ταξινομήσουν και να αναγνωρίσουν τα ραντάρ. Εν τούτοις τα σύγχρονα ραντάρ έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν τα χαρακτηριστικά εκπομπής, γεγονός που δυσχεραίνει την αναγνώρισή τους. Επισημαίνεται ότι η αναγνώριση των ραντάρ που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα οπλικά συστήματα (κατεύθυνση βλημάτων, πυραύλων, κ.λπ.) έχει σημαντική επίπτωση στην εξέλιξη της μάχης.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει δέκτες υποκλοπής, με δυνατότητες ανάλυσης σημάτων και για ραδιογωνιομέτρησης με μεγάλη ακρίβεια. Συνήθως είναι εγκατεστημένοι σε οχήματα ή εναέριες επανδρωμένες και μη επανδρωμένες εξέδρες. Οι δέκτες προειδοποιήσεως ακτινοβολιών radar (RWR) είναι εγκατεστημένοι σε εναέριες συνήθως εξέδρες (Α/Φ, Ε/Π) αλλά και σε οχήματα και παρέχουν προειδοποίηση σε περίπτωση που «καταυγάζεται» το φίλιο μέσο από τα αντίπαλα ραντάρ. Συνή-

θως είναι απλά στο χειρισμό και προγραμματίζονται από πριν στην αναγνώριση συγκεκριμένων τύπων ραντάρ.

(γ) Εντοπισμός

Οι πληροφορίες που συλλέγονται από επιχειρήσεις έρευνας – υποκλοπής συμπληρώνονται σημαντικά από τις πληροφορίες που αποκτώνται από τον εντοπισμό του στόχου. Εκπομπές από κρυπτασφαλισμένες ή μη εκπομπές σε διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας, που προέρχονται από την ίδια περιοχή πιθανόν να υποδεικνύουν τη θέση ΣΔ ή Στρατηγείου. Η δυνατότητα ανίχνευσης των μοναδικών χαρακτηριστικών των σταθμών εκπομπής (ηλεκτρονική υπογραφή), καθώς και η αποκάλυψη των θέσεων των διαφορετικών σταθμών εκπομπής, συμβάλλουν σημαντικά στον καθορισμό της ΗΔΜ του αντιπάλου. Ο εντοπισμός μιας πηγής εκπομπής επιτυγχάνεται με τη λήψη ραδιοπτεύσεων από συστήματα ραδιογωνιόμετρων. Συνήθως απαιτούνται τρία συστήματα ραδιογωνιομέτρησης ταγμένα κατά μήκος μιας νοητής γραμμής βάσης. Εξαιτίας διαφόρων παραγόντων όπως απόσταση, μορφή εδάφους, ανακλάσεις, ευαίσθητα σήματα, οι μετρήσεις με τα υπάρχοντα συστήματα ραδιογωνιομέτρησης δυνατόν να μετρούν με ακρίβεια περίπου 2° ή 3°, κάτι που για απόσταση του στόχου 15 ή 20 km, μεταφράζεται σε πιθανότητα λάθους (Circular Error Probability - CEP) περίπου 1 km. Η ακρίβεια βελτιώνεται στις υψηλές συχνότητες, καθώς και με την επιπλέον χρήση ραδιογωνιόμετρων που μετρούν από εναέριες εξέδρες. Η εξέλιξη της τεχνολογίας βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια των υπόψη μετρήσεων σε μικρότερη της 1° και με αποτέλεσμα τον ακριβέστερο εντοπισμό των στόχων.

Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει ραδιογωνιόμετρα φορητά ή εγκατεστημένα σε οχήματα εδάφους, επανδρωμένα ή μη επανδρωμένα αεροσκάφη και ελικόπτερα. Τα ραδιογωνιόμετρα που λειτουργούν επί του εδάφους (φορητά ή επί οχημάτων) δεν περιορίζονται από τις καιρικές συνθήκες, όπως συμβαίνει με αυτά που είναι εγκατεστημένα στις εναέριες εξέδρες, οι οποίες όμως μπορούν να ραδιογωνιομετρήσουν στόχους σε μεγάλες αποστάσεις. Πρέπει να λειτουργούν από κατάλληλες θέσεις, παρέχουν καλή ηλεκτρονική «θέα» του αντιπάλου (συνήθως σε αποστάσεις LOS)

(δ) Ανάλυση

Περιλαμβάνει τη μεθοδική εξέταση όλων των διαθέσιμων δεδομένων – πληροφοριών για εξαγωγή χρήσιμων τεχνικών πληροφοριών για εκτέλεση επιχειρήσεων ΗΠ και πληροφοριών κυρίως τακτικής σημασίας για τις αντίπαλες

δυνάμεις. Από τις επιχειρήσεις ES οι αναλυτές λαμβάνουν πληροφορίες κυρίως για τις συχνότητες λειτουργίας, το είδος του δικτύου, το περιεχόμενο των διαβιβαζόμενων μηνυμάτων, ανάλυση κίνησης, είδος – διαμόρφωση εκπομπής. Είναι δυνατό η αναγνώριση των πηγών εκπομπής μέσω των μοναδικών χαρακτηριστικών (ηλεκτρονική υπογραφή) να συμπληρώνεται από τις πληροφορίες για κινήσεις, εντοπισμό θέσεων (μέσω ραδιογωνιομέτρησης) των στόχων και δίνει τη δυνατότητα μέσω της ανάλυσης να καθορισθεί η ΗΔΜ. Εν τούτοις είναι πιθανό ο αντίπαλος να προσπαθήσει να προκαλέσει σύγχυση μέσω των επιχειρήσεων παραπλάνησης, γεγονός που επιβάλλει την συσχέτιση των λαμβανομένων πληροφοριών από ES με αυτές που λαμβάνονται από άλλες πηγές πληροφοριών, όπως ειδικές δυνάμεις επιτήρησης, αναγνώρισης πεδίου μάχης, κ.λπ. καθώς και με άλλες εξακριβωμένες σχετικές πληροφορίες από προηγούμενες επιχειρήσεις ES, μέσω κατάλληλης βάσης δεδομένων, ώστε να αποκαλυφθούν τα παρακάτω:

- ΗΔΜ
- Τάσεις και προθέσεις
- Ταυτότητα αντιπάλων μονάδων
- Εξοπλισμός

Η χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων έχει σαν αποτέλεσμα την αυτόματη συλλογή, ταξινόμηση και ανάλυση πληροφοριών από επιχειρήσεις ES, μερικές φορές χωρίς την παρέμβαση του χειριστή. Επιπλέον είναι δυνατή η συσχέτιση των υποκλαπέντων χαρακτηριστικών εκπομπής με αντίστοιχα γνωστών πηγών εκπομπής (μέσω κάποιας βάσης δεδομένων) και έτσι η αυτόματη αναγνώρισή τους. Η χρήση βάσεων δεδομένων που είναι διαλειτουργικές και συνεργάζονται με άλλες βάσεις συμβάλλουν αποφασιστικά στην ορθή εξαγωγή των απαραίτητων πληροφοριών. Ωστόσο η ανθρώπινη συνεισφορά πρέπει να επιδιώκεται και να λαμβάνεται υπόψη σοβαρά κατά την εκτέλεση της ανάλυσης

(4) Σκοπός των ES (Εναντίον επικοινωνιακών και μη επικοινωνιακών Συστημάτων)

Είναι η αποτελεσματική υποστήριξη των διεξαγόμενων φίλιων επιχειρήσεων. Ακόμη οι επιχειρήσεις ES ενδέχεται να παραγάγουν χρήσιμες πληροφορίες επιχειρησιακής αξίας για τον εχθρό όπως παρακάτω:

- (α) Με τα Επικοινωνιακά Συστήματα:
- Διάταξη Μάχης.
 - Θέσεις και ταυτότητες Στρατηγείων – ΣΔ – Συγκροτημάτων και Μονάδων.
 - Κινήσεις.
 - Μαχητική ικανότητα Μονάδων.
 - Ενδείξεις για τις τρέχουσες και μελλοντικές δραστηριότητες.
 - Υπάρχοντα και αναπτυσσόμενα ηλεκτρονικά.
 - Υποβοήθηση στην κρυπτανάλυση.
- (β) Με τα μη Επικοινωνιακά συστήματα:
- Έγκαιρη προειδοποίηση, για την εχθρική δραστηριότητα ηλεκτρονικής επιτηρήσεως και αποκτήσεως στόχου.
 - Παροχή νεότερων στοιχείων, για την εχθρική ηλεκτρονική διάταξη μάχης.
 - Απαραίτητη καθοδήγηση, για τη διεξαγωγή ανάπτυξη επιχειρήσεων ΗΠ.

(5) Δραστηριότητες που σχετίζονται με τα ES

(α) SIGINT

Είναι κατηγορία πληροφοριών που περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες – τεχνικά στοιχεία από επικοινωνίες (COMINT) και τις πληροφορίες – τεχνικά στοιχεία από ηλεκτρονικά μέσα (ELINT), όταν δεν υπάρχει απαίτηση για διαχωρισμό αυτών των δύο λειτουργιών, ή για να περιγράψει τη συγχώνευσή τους.

Οι υπόψη πληροφορίες προκύπτουν από τη συλλογή, εντοπισμό, ανάλυση, επεξεργασία, και αναφορά υποκλαπέντων πληροφοριών – δεδομένων από επικοινωνιακά και μη επικοινωνιακά συστήματα. Παρέχουν σε κάθε Διοικητή πληροφορίες για τις προθέσεις, κατάσταση ετοιμότητας και διάταξη του αντιπάλου, καθώς και του προσδιορισμού των δυνατοτήτων του από πλευράς υποστήριξης, επιτήρησης, αεράμυνας και ΔΜ. Το γεγονός αυτό προϋποθέτει την αποτελεσματική δυνατότητα συλλογής, διαχείρισης και συγχρονισμού των επιχειρήσεων SIGINT.

Επιπλέον, οι επιχειρήσεις SIGINT παρέχουν πληροφορίες για τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού του αντιπάλου, κυρίως σε στρατηγικό επίπεδο και συμβάλλουν στην εξακρίβωση της τεχνολογικής προόδου του αντιπάλου, που έχει επιτευχθεί σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Επίσης, η μελέτη ειδικών χαρακτηριστικών είναι πιθανό να αποκαλύψει μελλοντικές τάσεις στην κατεύθυνση της τεχνολογικής ανάπτυξης του αντιπάλου.

(β) COMINT

Είναι τεχνικές και άλλες πληροφορίες που προέρχονται από τα συστήματα επικοινωνιών του αντιπάλου. Περιλαμβάνει τις πληροφορίες – δεδομένα που συλλέγονται από υποκλοπή των επικοινωνιών και στη συνέχεια αναλύονται έτσι ώστε να μπορούν να αποκαλύψουν ως ένα βαθμό, τις προθέσεις του αντιπάλου στην ανάπτυξη των δυνάμεων – συστημάτων του στο πεδίο της μάχης.

(γ) ELINT

Είναι τεχνικές και άλλες πληροφορίες που προέρχονται από μη επικοινωνιακές Η/Μ εκπομπές. Περιλαμβάνει τις πληροφορίες που προκύπτουν από σχετικές δραστηριότητες, που αφορούν στη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από πιθανές εχθρικές μη επικοινωνιακές Η/Μ ακτινοβολίες. Οι δραστηριότητες τους καλύπτουν τη συλλογή δεδομένων – πληροφοριών από όλα τα είδη των χρησιμοποιούμενων ραντάρ, ζεύξεων δεδομένων, καθώς και ζεύξεων διοίκησης και ελέγχου. Οι πληροφορίες – δεδομένα, δυνατό να χρησιμοποιηθούν με πολλούς τρόπους, μεταξύ των οποίων είναι και οι παρακάτω:

- Επιχειρησιακές δυνατότητες: Επιτυγχάνεται με την αξιολόγηση των επιχειρησιακών δυνατοτήτων των ραντάρ και σχετικών με αυτά εξοπλισμού, από την ανάλυση χαρακτηριστικών και κρίσιμων παραμέτρων, που περιλαμβάνει μεταξύ των άλλων και την απόδοση τους στο πεδίο της μάχης, καθώς και τους διαφορετικούς δυνατούς τρόπους επιχειρησιακής εκμετάλλευσής τους.
- ΗΔΜ: Η ηλεκτρονική επιτήρηση ευρείας φασματικής περιοχής παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς και εγκαίρου εντοπισμού της υφιστάμενης και μμελλοντικής ανάπτυξης των μη επικοινωνιακών συστημάτων του αντιπάλου. Επιπλέον αποκαλύπτουν τις στρατηγικές κυρίως διαθέσιμες δυνατότητες ή τυχόν αλλαγές των προθέσεων του.

(6) Σχέση μεταξύ (ESM) και Πληροφοριών από Ηλεκτρονικές πηγές (Signal Intelligence - SIGINT)

Οι λειτουργίες των ESM και SIGINT είναι στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους, αλλά διαφέρουν στο σκοπό και στη χρήση των αποκτηθέντων πληροφοριών. Τα ESM παρέχουν πληροφορίες για την άμεση αναγνώριση ή εντοπισμό της εχθρικής Η/Μ ακτινοβολίας και τη διεξαγωγή επιχειρήσεων ΗΠ και τακτικών ενεργειών, όπως η αποφυγή, η στοχοποίηση και η κατάδειξη. Τα SIGINT παρέχουν πληροφορίες σε επίπεδο διοικήσεων για σκοπούς που κυμαίνονται, από μακροπρόθεσμή σχεδίαση, έως και κατεύθυνση και έγκαιρη υποστήριξη των τακτικών επιχειρήσεων, συμπεριλαμβανομένων και των αντίστοιχων επιχειρήσεων ΗΠ.

γ. Ηλεκτρονική Επίθεση

Είναι ενέργειες που αναλαμβάνονται για να απαγορεύσουν ή υποβαθμίσουν την αποτελεσματική χρήση του Η/Μ φάσματος από τον εχθρό. Η αποτελεσματική διεξαγωγή της ΗΕ προϋποθέτει την επιλογή του κατάλληλου στόχου και στη συνέχεια την προσβολή του, στον κατάλληλο χρόνο. Αν χρησιμοποιηθούν ανεπιτυχώς, τότε πιθανό να διεγείρουν την προσοχή αλλά και την ετοιμότητα του αντίπαλου με δυσμενείς επιπτώσεις στην εξέλιξη των επιχειρήσεων. Επιπλέον η διαπίστωση των εν λόγω δραστηριοτήτων είναι δυνατό να προκαλέσει την εκδήλωση από τον αντίπαλο παρόμοιων ενεργειών. Αν διεξαχθούν πολύ νωρίτερα του προβλεπόμενου χρόνου θα επιτρέψουν στον αντίπαλο να λάβει τα απαραίτητα μέτρα για την προστασία της λειτουργίας των κρίσιμων επικοινωνιακών και μη συστημάτων. Επιπρόσθετα η αδιάκριτη και μη συντονισμένη χρήση της προκαλεί περισσότερα μειονεκτήματα παρά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα μπορούν να προκαλέσουν την απώλεια πληροφοριών από μια πηγή εκπομπής που είναι σημαντική στην εξέλιξη των επιχειρήσεων ή να επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις στην χρήση των φίλιων επικοινωνιακών και μη συστημάτων.

Τα πλεονεκτήματα της ΗΕ είναι:

- Υποβάθμιση – Εξουδετέρωση του αντίπαλου συστήματος C2.
- Δημιουργία πρόσθετου φόρτου λειτουργίας στις εχθρικές επικοινωνίες.
- Δημιουργία συγχύσεως.
- Τακτικός αιφνιδιασμός.

Ενώ τα μειονεκτήματα μπορεί να είναι:

- Πιθανή παρενόχληση των φίλιων ηλεκτρονικών συσκευών.

- Απώλεια τακτικού αιφνιδιασμού αν δεν συντονισθεί επιμελώς με το τακτικό σχέδιο.
- Απώλεια πληροφοριών.
- Ευκολία εντοπισμού με αποτέλεσμα την εξουδετέρωσή τους.

(1) Σκοπός

Η ΗΕ εναντίον επικοινωνιακών συστημάτων έχει σαν σκοπό τον υποβιβασμό ή την εκμηδένιση της δυνατότητας του αντιπάλου να ασκεί αποτελεσματική διοίκηση και έλεγχο των δυνάμεων του στο πεδίο της μάχης. Η ΗΕ εναντίον μη επικοινωνιακών συστημάτων έχει σαν σκοπό τον υποβιβασμό ή και την απαγόρευση της λειτουργίας τους από τον εχθρό ώστε να εκμηδενίσουν τις προσπάθειες του για αποτελεσματική αναγνώριση – επιτήρηση του πεδίου της μάχης και απόκτηση των φίλιων στόχων.

(2) Έλεγχος ΗΕ

Οι επιχειρήσεις ΗΕ θεωρούνται ότι είναι αποτελεσματικές όταν προσβάλλονται έγκαιρα και με επιτυχία προσχεδιασμένοι στόχοι και στόχοι ευκαιρίας. Ο συντονισμός των επιχειρήσεων ΗΕ αρχίζει από τα πρώτα στάδια της σχεδίασεως και συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκεια των επιχειρήσεων. Ο έλεγχος των επιχειρήσεων ΗΕ εξασκείται με τους παρακάτω τρόπους ή με συνδυασμό αυτών:

- Θετικός Έλεγχος (Positive Control): Εξασκείται άμεσα με την έκδοση συγκεκριμένων διαταγών για την παρεμβολή/παραπλάνηση συγκεκριμένου στόχου, ή με την παροχή εξουσιοδοτήσεως για εξουδετέρωση με παρεμβολή/παραπλάνηση μιας ευρύτερης κατηγορίας στόχων. Στο «θετικό έλεγχο» οι συχνότητες δεν είναι συγκεκριμένες.
- Αρνητικός Έλεγχος (Negative Control): Εξασκείται άμεσα με την απαγόρευση διεξαγωγής ΗΕ (π.χ. απαγόρευση η παρεμβολής προ συγκεκριμένης ώρας).
- Έλεγχος Ενάρξεως-διακοπής (ON – OFF Control): Εξασκείται με την άμεση διεύθυνση των επιχειρήσεων ΗΕ, λεπτό προς λεπτό.
- Λίστα Συχνοτήτων (Restricted List): Συχνότητες TABOO, GUARDED, PROTECTED

(3) ΗΕ εναντίον μη Επικοινωνιακών Συστημάτων

Εφαρμόζεται με:

- Παραπλανητική Παρεμβολή.
- Παρεμβολή θορύβου.
- Παραπλανητική εκπομπή συστημάτων Ραδιοφάρων

(Meaconing): Εφαρμόζεται κυρίως εναντίον συστημάτων ναυσιπλοΐας – πλοήγησης με επανεκπομπή σημάτων (beacons) από διαφορετικές κατευθύνσεις. Στο σύστημα «θύμα» που λαμβάνει τα δύο ή περισσότερα σήματα (beacons) αναζητεί τη μέση τιμή αυτών των εκπομπών, γεγονός που του παρέχει εσφαλμένες πληροφορίες .

- Αερόφυλλα (Chaffs), ανακλαστήρες (Reflectors), δολώματα (Decoys), IR Decoys.
- Ειδικά Υλικά Απορρόφησης.
- Παρεμβολείς IR.

Ανάλογα με τα εχθρικά συστήματα που πρόκειται να παρεμβληθούν οι τύποι χρησιμοποιήσεως η ηλεκτρονική επίθεση μπορεί να καταφέρει τα παρακάτω:

- Εκπυροσκόρτηση των πυροσωλήνων προσεγγίσεως/μεταβλητού Χρόνου. Συνίστανται στην πρόκληση εκρήξεως βλημάτων από επιθυμητή πριν από το στόχο απόσταση. Τα βλήματα αυτά χρησιμοποιούν μικροσκοπικό πομποδέκτη που λειτουργεί σαν ραντάρ.
- Δημιουργία βλαβών σε εχθρικά ΜΕΑ. ΗΕ μπορεί να εφαρμοσθεί επιτυχώς στα συστήματα κατευθύνσεως των ΜΕΑ ή τα ναυτιλιακά συστήματα και τους επικοινωνιακούς συνδέσμους, μεταξύ των ΜΕΑ και του σταθμού ελέγχου αυτών.
 - Παρεμβολή εχθρικών ραντάρ που καθοδηγούν βλήματα.
 - Παρεμβολή συσκευών ηλεκτρονικής επιτηρήσεως – έρευνας.
 - Παρεμβολή συστήματος κατευθύνσεως βλημάτων για επίτευξη πρόωρης έκρηξης ή εκτροπής από την τροχιά τους.
- Παρεμβολή συστημάτων υπέρυθρου ακτινοβολίας η οποία προκαλεί την καταστροφή αυτού ή την εκτροπή από την κανονική του πορεία.

(4) Παρεμβολή

Η εφαρμογή αποτελεσματικής ηλεκτρονικής παρεμβολής η οποία, επιτυγχάνει τα εξής:

- Σύγχυση, αιφνιδιασμό στις εχθρικές δυνάμεις.
- Υποβάθμιση και εξουδετέρωση του εχθρικού συστήματος διοικήσεως.

- Αδυναμία ελέγχου οπλικών συστημάτων και γενικότερα ελέγχου πυρός του αντιπάλου.
- Αδυναμία εγκαίρου προειδοποίησης και παροχής σαφής εικόνας που αφορά στο πεδίο της μάχης.

(5) Παραπλάνηση

Η ηλεκτρονική παραπλάνηση είναι ένας τύπος ηλεκτρονικής επίθεσης, αλλά ως ενέργεια, έχει μία ευρύτερη και πιο περιεκτική έννοια. Αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο πεδίο της μάχης, επειδή κάθε σύγχρονη στρατιωτική δύναμη στηρίζεται σε μεγάλο ποσοστό στη χρήση εξελιγμένης τεχνολογίας ηλεκτρονικών και ως εκ τούτου παρουσιάζει αυξημένη τρωτότητα σε ηλεκτρονική παραπλάνηση. Η ηλεκτρονική παραπλάνηση αποτελεί τμήμα του συνολικού σχεδίου παραπλάνησης. Σκοπός της είναι να δημιουργήσει ψευδή ΗΔΜ και να προκαλέσει σύγχυση στον εχθρό. Απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τη σχεδίαση, συντονισμό και εκτέλεση της. Η ηλεκτρονική παραπλάνηση είναι (σχεδόν πάντα) ανιχνεύσιμη από τον αντίπαλο και ως τούτου απαιτεί ειδικά μέτρα προστασίας σε όλα τα στάδια της σχεδίασης, συντονισμού, προπαρασκευής και εκτέλεσης. Η ηλεκτρονική παραπλάνηση γενικά περιλαμβάνει την παραπλάνηση επικοινωνιακών και μη επικοινωνιακών συστημάτων με τους εξής γενικούς τρόπους:

- Παραπλάνηση μέσω της αλλαγής ή απεικόνισης φίλιων Η/Μ εκπομπών ή την εισαγωγή ακτινοβολιών σε εχθρικούς δίαυλους, επικοινωνιών οι οποίες να μιμούνται αντίστοιχες εχθρικές εκπομπές.
- Παραπλάνηση RADAR η οποία σχετίζεται με τη δημιουργία ψευδών στόχων που επικαλύπτουν ή κρύβουν τους πραγματικούς.
- Παραπλάνηση υπέρυθρων η οποία ομοίως σχετίζεται με τη δημιουργία ψευδών στόχων.

δ. Ηλεκτρονική Προστασία

Η επιτυχής διεξαγωγή των επιχειρήσεων προϋποθέτει ότι τόσο το προσωπικό χειρισμού των ηλεκτρονικών μέσων όσο και οι διοικήσεις σε όλα τα επίπεδα γνωρίζουν και κατανοούν τα παρακάτω:

- Κάθε στρατιωτική επιχείρηση εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τα ηλε-

κτρονικά συστήματα που υποστηρίζεται και επιπλέον ότι τα συστήματα αυτά είναι ευάλωτα σε επιχειρήσεις ΗΠ του αντιπάλου.

- Ο αντίπαλος είναι πιθανό να έχει τη δυνατότητα να αποκτήσει σημαντικό πλεονέκτημα από την εφαρμογή μμεγάλης έκτασης επιχειρήσεων ΗΠ εναντίον των φίλιων δυνάμεων.
- Επιβάλλεται η λήψη κατάλληλων μέτρων και διαδικασιών ώστε οι φίλιες δυνάμεις να παρεμποδίσουν τον αντίπαλο στο βαθμό που αυτό είναι δυνατό, να αποκτήσει το υπόψη σημαντικό στρατιωτικό πλεονέκτημα.

(1) Μέτρα Προστασίας

Περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- Χρήση «έξυπνων» τεχνικών (διάχυση φάσματος, αναπήδησης συχνότητας, αλλαγή παραμέτρων εκπομπής όπως π.χ. διαμόρφωσης και αλλαγής συχνότητας επανάληψης παλμών – PRF, κ.λπ.)
- Επανεκπομπή σήματος με τη χρήση ανακλαστήρων, αναμεταδοτών.
- Περιορισμό της ισχύος εκπομπής στο απαιτούμενο επίπεδο για την εξασφάλιση αξιόπιστης επικοινωνίας.
- Χρησιμοποίηση κωδίκων και συστημάτων κρυπτογράφησης.
- Καθορισμός κατάλληλων θέσεων λειτουργίας των συσκευών εκπομπής που χρησιμοποιούνται για ανάγκες διοικήσεως και ελέγχου, καθώς και χρήση κατευθυντικών κεραιών, για τον περιορισμό του κινδύνου ανίχνευσης και για την υποβάθμιση της ακρίβειας των συστημάτων ραδιογωνιομέτρησης του αντιπάλου.
- Χρησιμοποίηση μέτρων ελέγχου εκπομπών που απαγορεύουν ή περιορίζουν τις Η/Μ εκπομπές κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων φάσεων των επιχειρήσεων.
- Χρησιμοποίηση τυποποιημένων διαδικασιών για τον περιορισμό των Η/Μ εκπομπών στις εντελώς απαραίτητες.
- Χρησιμοποίηση τυποποιημένων διαδικασιών για την αντιμετώπιση κυρίως επιχειρήσεων ΗΕ.
- Αύξηση ισχύος εκπομπής.

(2) Ευθύνες

Αποτελούν ευθύνη όλων όσων χρησιμοποιούν επικοινωνιακά και μη επικοινωνιακά συστήματα και επιπλέον οι διοικήσεις είναι υπεύθυνες για τα εξής:

- Τον καθορισμό των απαιτούμενων μέτρων για την εξασφάλιση αποτελεσματικής χρήσης του Η/Μ φάσματος.
- Την εξασφάλιση κατάλληλου εξοπλισμού που υποστηρίζει τις υπόψη επιχειρήσεις καθώς και εξάσκηση - εκπαίδευση του προσωπικού χειρισμού των αντιστοίχων μέσων.
- Έγκαιρη εξεύρεση τυχόν αδυναμιών ή τρωτών σημείων από την εκμετάλλευση του φίλιου ηλεκτρονικού εξοπλισμού και καθορισμός των απαραίτητων διαδικασιών για την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους.
- Πρόβλεψη και ενσωμάτωση των παραπάνω μέτρων και διαδικασιών κατά τη σχεδίαση των επιχειρήσεων ώστε να μειωθεί ή αποκλειστεί η πιθανότητα εσφαλμένων και βεβιασμένων ενεργειών που αφορούν την εκμετάλλευση των ηλεκτρονικών συστημάτων κατά την εξέλιξη των επιχειρήσεων.

(3) Το προσωπικό ΗΠ είναι υπεύθυνο για τα παρακάτω:

- Ενημέρωση Διοικήσεων και προσωπικού σε όλα τα επίπεδα για την εκάστοτε απειλή του αντιπάλου, από πλευράς διεξαγωγής ΗΠ.
- Δημιουργία ρεαλιστικού περιβάλλοντος ΗΠ για την εκπαίδευση των απαιτούμενων διοικήσεων και προσωπικού.
- Παροχή συμβουλών στους διοικητές των υποστηριζόμενων από πλευράς ΗΠ Σχηματισμών για την αποφυγή διαρροής πληροφοριών από την χρησιμοποίηση φίλιων επικοινωνιακών και μη επικοινωνιακών συστημάτων, καθώς και σε θέματα εφαρμογής μέτρων ελέγχου εκπομπών.

(4) Εφαρμογή μέτρων αυτοπροστασίας

Είναι σκόπιμο να επισημανθεί ότι τα μέτρα αυτοπροστασίας ξεπερνούν τα όρια των επιχειρήσεων ΗΕ, ΗΠΡ, ΗΥΠ. Η επιβίωση των δυνάμεων στο πεδίο της μάχης κυρίως σε ότι αφορά εναέριες, επίγειες και θαλάσσιες εξέδρες που ενεργούν, εξαρτώνται και από τα συστήματα αυτοπροστασίας που διαθέτουν. Η αποτελεσματικότητα των σύγχρονων οπλικών συστημάτων επαυξάνεται από την χρήση Η/Μ συσκευών, που καθοδηγούν με μεγάλη ακρίβεια τα πυρά στο στόχο. Οι υπόψη

Η/Μ συσκευές που περιλαμβάνουν συστήματα επιτήρησης πεδίου μάχης, ενεργητικά συστήματα, δέκτες προειδοποίησης απειλής, IR, lasers, ειδικά απορροφητικά χρώματα, αυξάνουν την επιβίωση κρίσιμων κόμβων του συστήματος διοικήσεως, ελέγχου και πληροφοριακών συστημάτων, καθώς και των διαφόρων φίλιων μέσων, που ενεργούν στο πεδίο της μάχης, όπως Τ/Θ οχήματα, ελικόπτερα, πλοία και άλλα σύγχρονα οπλικά συστήματα

13.2 Σενάριο ΗΠ

Για να γίνει κατανοητή η σημασία και η σοβαρότητα με την οποία θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ο ηλεκτρονικός πόλεμος, ειδικά όσο ο ρόλος της τεχνολογία στους σύγχρονους πολέμους διαρκώς μεγαλώνει, παρακάτω θα γίνει περιγραφή ενός «σεναρίου» ΗΠ. Το παρακάτω σενάριο δεν εστιάζει μεμονωμένα σε συστήματα ΗΠ και στον τρόπο χρήσης τους αλλά σε μια γενικότερη εικόνα της φύσης και των δυνατοτήτων του ΗΠ ως μέρος μιας πολεμικής σύρραξης μεταξύ δύο χωρών.

Ας υποθέσουμε πως σε κάποιο μέρος υπάρχουν 2 χώρες τις οποίες στο εξής θα ονομάζουμε ΧΩΡΑ 1 και ΧΩΡΑ 2. Οι δύο αυτές χώρες έχουν παρόμοια εδαφικά χαρακτηριστικά, σχεδόν ίδιο μέγεθος και πληθυσμό ενώ μεταξύ τους υπάρχει θάλασσα και νησιά με την κάθε χώρα να της ανήκουν περίπου τα μισά από αυτά. Στις δύο αυτές χώρες επικρατεί για αρκετά χρόνια μια εύθραυστη ειρήνη με τη ΧΩΡΑ 2 να έχει επιθετικές βλέψεις προς τη ΧΩΡΑ 1 και να σχεδιάζει μακροπρόθεσμα να καταλάβει κάποια από τα εδάφη και νησιά της ΧΩΡΑΣ 1. Η οικονομική κατάσταση και στις δύο αυτές χώρες είναι καλή και σε παρόμοιο επίπεδο.

Οι δύο χώρες έχουν επιλέξει διαφορετική προσέγγιση όσον αφορά την αμυντική τους οργάνωση. Η ΧΩΡΑ 1 έχει επιλέξει την προμήθεια πολύ ακριβών και τελευταίας τεχνολογίας Ο/Σ χωρίς να εστιάζει πολύ σε εξοπλισμούς συστημάτων ΗΠ, ενώ η ΧΩΡΑ 2 έχει επιλέξει να δώσει έμφαση στον εξοπλισμό ΗΠ και τη προμήθεια λιγότερο σύγχρονων Ο/Σ αλλά σε αντίστοιχο αριθμό με αυτά της ΧΩΡΑΣ 1. Έτσι, η συγκριτική μαχητικής ισχύς των δύο χωρών παραμένει σε μια σχετική ισορροπία, με τη ΧΩΡΑ 1 όπως είναι λογικό να έχει ένα προβάδισμα λόγω πιο σύγχρονων Ο/Σ. Παράλληλα η ΧΩΡΑ 2 με τα χρήματα που εξοικονομεί από τα διαθέτει για έρευνα και ανάπτυξη εγχώριων μέσων ΗΠ αντλώντας τεχνογνωσία από συστήματα τα οποία αγοράζει σε μικρό αριθμό ή από άλλες αμυντικές συνεργασίας.

Η παραπάνω κατάσταση διατηρείται έτσι για περίπου μια δεκαετία. Η ΧΩΡΑ 2 πλέον όμως έχει αποφασίσει την εκτέλεση πολεμικής επιχείρησης στο κοντινό μέλλον

εναντίον της ΧΩΡΑΣ 1 με σκοπό να θέσει υπό την κυριαρχία της ορισμένα εδάφη τα οποία είχε απωλέσει σε παλαιότερη πολεμική τους σύγκρουση, πολλά χρόνια πριν.

ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ

α. ES

Η ΧΩΡΑ 2 πλέον έχει καταφέρει να έχει έναν μεγάλο αριθμό συστημάτων ES με πολλά από αυτά να είναι δικής της κατασκευής. Έτσι αρχίζει να τα τοποθετεί σε Α/Φ και πλοία (στρατιωτικά ή μη) και επί του εδάφους. Τα μέσα αυτά αρχίζουν να χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μικροεπεισοδίων προς τη ΧΩΡΑ 1. Έτσι πολεμικά πλοία αρχίζουν να πλέουν πλησίον των θαλάσσιων συνόρων και πολλές φορές να τα παραβιάζουν, Α/Φ να πετούν εντός του εναερίου χώρου της ΧΩΡΑΣ 1 ελέγχοντας έτσι το Η/Μ Φάσμα. Τα επεισόδια γίνονται όλο και πιο συχνά, με αποτέλεσμα η ΧΩΡΑ 1 να είναι σε μια κατάσταση αυξημένης ετοιμότητας πράγμα το οποίο σημαίνει και αυξημένη επιτήρηση.

Πλέον η ΧΩΡΑ 1 έχει ενεργοποιήσει το σύνολο των μέσων παρατήρησης – έρευνας το οποίο έχει ως συνέπεια η ΧΩΡΑ 2 να είναι σε θέση να αποκαλύψει τα χαρακτηριστικά των μέσων παρατήρησης της ΧΩΡΑΣ 1 και να κατασκευάσει και να ενημερώνει συνεχώς την δική της βάση δεδομένων ΗΠ.

Επιπλέον, επειδή και η δύο χώρες είναι μέλη μιας μεγαλύτερης στρατιωτικής συμμαχίας, έχουν και οι 2 πρόσβαση στη συμμαχική βάση δεδομένων ΗΠ με αποτέλεσμα την πολύ εύκολη ταυτοποίηση μέσων που ανήκουν στη συμμαχία. Έτσι η ΧΩΡΑ 2 μπορεί και ταυτοποιεί το είδος των μέσων παρατήρησης της ΧΩΡΑΣ 1 ενώ για τη ΧΩΡΑ 1 αυτό δεν είναι τόσο εύκολο καθώς όπως προαναφέρθηκε, μεγάλος αριθμός μέσων της ΧΩΡΑΣ 2 είναι δικής της κατασκευής με αποτέλεσμα πολλά στοιχεία από αυτά να μην είναι διαθέσιμα στη συμμαχική βάση δεδομένων ΗΠ.

Η ΧΩΡΑ 2 συνεχίζει της προκλήσεις με το να δημιουργεί επεισόδια σε ολόένα μεγαλύτερη έκταση, πράγμα που εξαναγκάζει τη ΧΩΡΑ 1 να αντιδρά με την μετακίνηση Ο/Σ ή προσωπικού ενώ οι ΕΔ έχουν τεθεί σε αυξημένη ετοιμότητα. Πλέον η ΧΩΡΑ 2, έχει μπορεί να συγκεντρώσει δεδομένα από επικοινωνιακά συστήματα (SIGINT, COMINT) καθώς έχουν αυξηθεί σημαντικά η ασύρματες επαφές και τα μέσα που χρησιμοποιεί η ΧΩΡΑ 1 παρέχουν μικρή ασφάλεια.

Παράλληλα η ΧΩΡΑ 2 έχοντας ένα αριθμό ΜΕΑ με δυνατότητες ESM προκαλεί ακόμη πιο πολύ τη ΧΩΡΑ 1 πετώντας τα εντός του εθνικού εναερίου χώρου. Πολλές

φορές η ΧΩΡΑ 1 διαθέτει Α/Φ ώστε να τα αναχαιτίσει ενώ Α/Α Ο/Σ από πλοία και επίγεια μέσα εγκλωβίζουν πολλές φορές τα ΜΕΑ της ΧΩΡΑΣ 2 μέχρι που τελικά καταρρίπτουν κάποια από αυτά. Μετά από αυτό Η ΧΩΡΑ 2 παύει για λίγο τις προκλήσεις.

Η ΧΩΡΑ 1 έχει και αυτή όμως πραγματοποιήσει μέχρι τώρα επιχειρήσεις ESM. Παρόλα αυτά, η χρήση παλαιότερου εξοπλισμού παρωχημένης τεχνολογίας δεν έχει αποφέρει κανένα αποτέλεσμα στον τομέα SIGINT-COMINT. Παρόλα αυτά, στο κομμάτι ELINT έχει και αυτή καταφέρει να συγκεντρώσει πολλά δεδομένα και να κατασκευάσει την δική της EOB.

Αποτελέσματα

Γνωρίζοντας τις δυνατότητες ESM που διαθέτει, η ΧΩΡΑ 2, κατάφερε να δημιουργήσει μια πολύ καλή και ενημερωμένη βάση ΗΠ από τις καταγραφές που έκανε μέχρι τώρα. Έτσι έχει διαθέσιμα όλες τις παραμέτρους λειτουργίας των ραντάρ της ΧΩΡΑΣ 1, τις δυνατότητες τους, τα χαρακτηριστικά των ραντάρ των Ο/Σ αεράμυνας, τα χαρακτηριστικά των ραντάρ καθοδήγησης βλημάτων, και πληροφορίες εκπομπών από ασύρματες επικοινωνίες.

Από αναλύσεις SIGINT που έγιναν αργότερα, έχουν αντληθεί πολλές πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο αντίδρασης των ενόπλων δυνάμεων της ΧΩΡΑΣ 1 αλλά και την περίπου διάταξη στο χώρο των δυνάμεων αυτών.

Η ΧΩΡΑ 2 κατάφερε επίσης να δημιουργήσει μια πολύ καλή EOB της ΧΩΡΑΣ 1. Εκτός από τις καταγραφές που πραγματοποίησε η ίδια, χάριν στη στρατιωτική συμμαχία μπορεί να έχει γνώση όλων των χαρακτηριστικών του ραντάρ που διαθέτει η ΧΩΡΑ 1, έτσι ακόμη και οι εκπομπές που δεν μπόρεσε να ανιχνεύσει καθώς και οι δυνατότητες ηλεκτρονικής προστασίας κάθε ραντάρ, είναι διαθέσιμες σε αυτήν.

Από την άλλη η ΧΩΡΑ 1 απέτυχε να αντλήσει πληροφορίες επικοινωνιών αλλά έχει καταφέρει να συλλέξει πληροφορίες μη επικοινωνιακών συστημάτων, όχι όμως από μεγάλο αριθμό μέσων όπως κατάφερε η ΧΩΡΑ 2 διότι αφενός ο εξοπλισμός της ήταν μειωμένων δυνατοτήτων σε σχέση με αυτόν της ΧΩΡΑ 2 αφετέρου, η ΧΩΡΑ 2 δεν χρησιμοποίησε το σύνολο των μέσων των Ο/Σ της αφού αυτή δημιουργούσε τα επεισόδια.

β. ΕΡ

Η ΧΩΡΑ 2 δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στον ΗΠ έχει κατασκευάσει έναν αριθμό ραντάρ τα οποία χρησιμοποιεί για έρευνα εναερίου και θαλάσσιου χώρου, κατεύθυνση βλημάτων και πλοήγηση. Τα ραντάρ αυτά τα χρησιμοποιεί ήδη σε πολλά

Ο/Σ αλλά και για επιτήρηση του χώρου. Διαθέτουν δυνατότητες όπως, FREQUENCY AGILITY, PRF AGILITY, LPI κ.α. αλλά δεν είναι γνωστές σε τρίτους καθώς τα κατασκευάζει μόνο η ΧΩΡΑ 2 και δεν τα εξαγεί.

Όσον αφορά τις επικοινωνίες, η ΧΩΡΑ 2 χρησιμοποιεί στο σύνολο των Α/Φ Σ/Α SS, ενώ για τις επικοινωνίες τακτικού επιπέδου διαθέτει Σ/Α FFH. Για τις επικοινωνίες μεταξύ μεγαλύτερων κλιμακίων, μεσολαβούν και συσκευές κρυπτογράφησης. Για τις ναυτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούνται Σ/Α HF με δυνατότητες FH και κρυπτογράφησης.

Πολλά από τα Α/Α Ο/Σ της ΧΩΡΑΣ 2 προέρχονται από κράτη τα οποία δεν ανήκουν στην στρατιωτική συμμαχία. Επίσης το δίκτυο αεράμυνας της, βασίζεται σε ραντάρ τα οποία είναι κινητά.

Τέλος, η ΧΩΡΑ 2, τα τελευταία χρόνια συμμετέχει συνεχώς σε πολύ μεγάλο αριθμό ασκήσεων ΗΠ.

Από την άλλη, η ΧΩΡΑ 1, διαθέτει ραντάρ αντίστοιχων δυνατοτήτων. Όλα τα συστήματα της, έχουν αγοραστεί από χώρες της στρατιωτικής συμμαχίας ενώ διαθέτουν επίσης μεγάλες δυνατότητες ΕΡ.

Όσον αφορά τις ασύρματες επικοινωνίες, η ΧΩΡΑ 1 χρησιμοποιεί Σ/Α FH για τα Α/Φ, FHH για τις επίγειες δυνάμεις, με ταχύτητα αναπήδησης όμως να είναι σαφώς μικρότερη από αυτούς της ΧΩΡΑΣ 2 όπως και αντίστοιχα οι Σ/Α των πλοίων.

Η ΧΩΡΑ έχει συμμετάσχει ελάχιστες φορές σε ασκήσεις ΗΠ. Το δίκτυο αεροπορικού ελέγχου βασίζεται σε ικανά ραντάρ περασμένης δεκαετίας τα οποία βρίσκονται σε σταθερές θέσεις.

Αποτελέσματα

Το πλεονέκτημα της ΧΩΡΑΣ 2 είναι παραπάνω από εμφανές. Η ύπαρξη εκπαιδευμένων χειριστών, το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό στον ΗΠ, οι αυξημένες δυνατότητες ΕΡ, που παρόλο που διαθέτουν και οι δύο χώρες, η χρήση συστημάτων για τα οποία ο εχθρός δεν μπορεί να έχει πληροφορίες παρέχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα στη ΧΩΡΑ 2 και τέλος η δυνατότητα μετακίνησης των ραντάρ επιτήρησης της ΧΩΡΑΣ 2, αυξάνει κατά πολύ την επιβίωση των συστημάτων αυτών και των χειριστών τους.

γ. ΕΑ

Στον τομέα αυτόν η ΧΩΡΑ 2 έχει καταφέρει μετά από συνεργασίες και δοκιμές με άλλες χώρες αν έχει αναπτύξει πλήρως δικά της συστήματα. Έτσι ο στρατός

χρησιμοποιεί ολοκληρωμένα συστήματα επί οχημάτων τα οποία μπορούν να παρεμβάλουν συχνότητες VHF/UHF και HF. Τα συστήματα αυτά παρέχουν επίσης δυνατότητες ESM. Επίσης η πολεμική βιομηχανία της ΧΩΡΑΣ 2 έχει κατασκευάσει και παρεμβολείς ραντάρ ενώ όλα τα πλοία της ΧΩΡΑΣ 2 διαθέτουν συστήματα ΗΕ εγχώριας κατασκευής. Η ΧΩΡΑ 2, δοκιμάζει και βελτιώνει τα παραπάνω συστήματα για πάνω από 10 χρόνια. Επιπλέον η ΧΩΡΑ 2, σε αντίθεση με τη ΧΩΡΑ 1, έχει στο παρελθόν προμηθευτεί μεγάλο αριθμό ΜΕΑ αντιραντάρ.

Στον αντίποδα η ΧΩΡΑ 1 διαθέτει λιγότερα συστήματα ΗΕ παλαιότερης κατασκευής τόσο για VHF/UHF, HF και ραντάρ, στα πλοία έχουν τοποθετηθεί συστήματα παλαιότερης γενιάς από άλλη χώρα της συμμαχίας, ενώ δεν έχει προβεί σε καμιά προμήθεια νεότερων συστημάτων.

Τέλος, και οι δύο ΧΩΡΕΣ διαθέτουν σημαντικό αριθμό πυραύλων αντι-ακτινοβολίας.

Αποτελέσματα

Η ΧΩΡΑ 2 είναι πολύ καλύτερα προετοιμασμένη για επιχειρήσεις ΗΕ. Οι συχνές δοκιμές των συστημάτων έχουν οδηγήσει σε μεγάλη βελτίωση των μέσων αυτών ενώ η ύπαρξη μεγάλου αριθμού αλλά και η μη γνώση των δυνατοτήτων τους από τον αντίπαλο παρέχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα.

Η ΧΩΡΑ 1 εφόσον δεν συμμετέχει σε ασκήσεις ΗΠ με άλλες χώρες έχει δοκιμάσει την αποτελεσματικότητα των μέσων της μόνο στα δικά της συστήματα που όπως αναφέρθηκε είναι παλαιότερης γενιάς από αυτά της ΧΩΡΑΣ 2. Η μη ύπαρξη ικανού αριθμού, περιορίζει σημαντικά το είδος αλλά και την έκταση που μπορεί να διεξάγει επιχειρήσεις ΗΕ.

δ. Συστήματα Αυτοπροστασίας

Η ΧΩΡΑ 2 έχει τοποθετήσει στο σύνολο των ιπτάμενων μέσων της ολοκληρωμένα συστήματα αυτοπροστασίας. Αυτά περιλαμβάνουν RWR, εκτοξευτές αναλωσίμων και παρεμβολείς RF. Πολλά από τα μέσα αυτά διαθέτουν επίσης MAW. Στα Ε/Π έχει τοποθετηθεί επιπλέον LWR όπως και σε πολλά από τα πλοία. Επιπλέον πολλά από αυτά είναι εγχώριας κατασκευής και όσα δεν είναι, έχουν αγοραστεί από χώρες που δεν βρίσκονται στη συμμαχία. Επιπλέον, το σύνολο των τεθωρακισμένων οχημάτων διαθέτει ενεργό σύστημα αυτοπροστασίας.

Από την άλλη η ΧΩΡΑ 1, έχει και αυτή τοποθετήσει συστήματα αυτοπροστασίας αλλά σε αρκετά από τα Α/Φ, αλλά όχι σε όλα. Επίσης ο στόλος των Ε/Π υπολείπεται

σημαντικά σε δυνατότητες. Τα πλοία διαθέτουν μειωμένες επίσης δυνατότητες αυτοπροστασίας, καθώς χρησιμοποιούν RWR και εκτοξευτές αναλωσίμων περασμένης γενιάς. Κανένα από τα τεθωρακισμένα δεν έχει ενεργό σύστημα θωράκισης.

Αποτελέσματα

Η πιθανότητα επιβίωσης για τα Ο/Σ της ΧΩΡΑΣ 2 είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της ΧΩΡΑΣ 1. Επιπλέον η ύπαρξη συστημάτων αυτοπροστασίας στο σύνολο σχεδόν των μέσων της ΧΩΡΑΣ 2, επιτρέπει πολύ μεγαλύτερη ελευθερία στο σχεδιασμό και τη διεξαγωγή επιχειρήσεων, σε αντίθεση με τη ΧΩΡΑ 1, η οποία θα πρέπει να σχεδιάζει κάθε επιχείρηση ώστε να συμπεριλαμβάνει μέσα τα οποία θα παρέχουν προστασία ή έγκαιρη ενημέρωση για κινδύνους στα υπόλοιπα, το οποίο τις περισσότερες φορές οδηγεί στη χρήση μεγαλύτερου αριθμού μέσων από αυτά που απαιτούνται για την εκτέλεση της αποστολής.

Επιπλέον, η ΧΩΡΑ 2 είναι σε θέση, λόγω ύπαρξης ενημερωμένων βάσεων δεδομένων ΗΠ, να προγραμματίζει τα συστήματα αυτοπροστασίας των μέσων της, «ειδικά» για την αντιμετώπιση των απειλών της ΧΩΡΑΣ 1.

ε. Ηλεκτρο-οπτικά

Και οι 2 χώρες διαθέτουν αντίστοιχο εξοπλισμό στα εναέρια και πλωτά μέσα, όπως και όπλα τα οποία χρησιμοποιούν ηλεκτρο-οπτικούς αισθητήρες, ενώ η ΧΩΡΑ 2 έχει προβεί στην ανάπτυξη και δικών της αντίστοιχων μέσων, αυξάνοντας έτσι τον αριθμό τους σε σχέση με αυτούς της ΧΩΡΑΣ 1.

Για τις επίγειες δυνάμεις, η ΧΩΡΑ 2 έχει αναπτύξει και τοποθετήσει στο σύνολο των στρατιωτικών οχημάτων κατάλληλες συσκευές νυκτερινής οδήγησης σε αντίθεση με τη ΧΩΡΑ 1 όπου η δυνατότητα αυτή υπάρχει σε περιορισμένο αριθμό Ο/Σ. Επιπλέον η ΧΩΡΑ 2 έχει τοποθετήσει αντίστοιχες συσκευές νυκτερινής σκόπευσης σε παλαιότερης γενιάς Ο/Σ, όπως εκτοξευτές Α/Α και Α/Τ, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητά τους. Τέλος, όλο το προσωπικό της ΧΩΡΑΣ 2 διαθέτει κάποιο ατομικό σύστημα νυκτερινής παρατήρησης σε αντίθεση με τη ΧΩΡΑ 1 για την οποία τη δυνατότητα αυτή την έχουν λίγα μόνο τμήματα ειδικών δυνάμεων.

Τέλος η ΧΩΡΑ 2, διαθέτει έναν εξαιρετικά μεγάλο αριθμό ΜΕΑ τα οποία είναι εξοπλισμένα με Η/Ο αισθητήρες, σε σχέση με τη ΧΩΡΑ 1 η οποία διαθέτει έναν εξαιρετικά περιορισμένο στόλο τα οποία είναι παρωχημένης τεχνολογίας.

Αποτελέσματα

Η ικανότητα της ΧΩΡΑΣ 2 να διεξάγει νυκτερινές επιχειρήσεις ακόμη και στο πιο

μικρό κλιμάκιο είναι αδιαμφισβήτητη. Από την άλλη η αντίστοιχη ικανότητα για την ΧΩΡΑ 1 είναι εξαιρετικά περιορισμένη.

ΕΝΑΡΞΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Η ΧΩΡΑ 2 έχει πλέον αποφασίσει την κήρυξη πολέμου εναντίον της ΧΩΡΑΣ 1. Λίγες μέρες πριν την έναρξη των εχθροπραξιών, προβαίνει στη μετακίνηση δυνάμεων και στην εφαρμογή σχεδίου παραπλάνησης, το οποίο περιλαμβάνει και την ηλεκτρονική παραπλάνηση. Η ΧΩΡΑ 1, έχοντας όντως μικρότερες δυνατότητες ΕΣ και συλλογής πληροφοριών αδυνατεί να διαπιστώσει με σιγουριά τις προθέσεις της ΧΩΡΑΣ 2 για την περιοχή ενάρξεως των επιχειρήσεων. Έτσι, αναγκάζεται να αναπτύξει δυνάμεις σε όλο το εύρος της.

Με την έναρξη των εχθροπραξιών πραγματοποιείται και από τις 2 χώρες προσβολή στοχοποιημένων περιοχών/στόχων. Η ΧΩΡΑ 2 έχει πολύ πιο σοβαρές επιτυχίες από τη ΧΩΡΑ 1 λόγω της ακρίβειας των στοιχείων που είχε συλλέξει νωρίτερα. Η ΧΩΡΑ 1 έχει χάσει έναν σημαντικό αριθμό ραντάρ αεράμυνας ενώ η δυνατότητα μετακίνησης αυτών της ΧΩΡΑΣ 2, οδήγησε σε εξαιρετικά μειωμένες απώλειες. Επιπλέον τα ΜΕΑ της ΧΩΡΑΣ 2 που πετούν συνεχώς πάνω από την περιοχή επιχειρήσεων, παρέχουν εικόνα αποτελεσμάτων μετά από κάποια προσβολή ενός στόχου. Η ΧΩΡΑ 1 δεν διαθέτει αυτή τη δυνατότητα.

Μετά την προσβολή των στοχοποιημένων περιοχών, ακολουθεί η προετοιμασία για επιχειρήσεις σε επιχειρησιακό επίπεδο. Στο κομμάτι του αέρα και οι 2 χώρες μάχονται για την εξασφάλιση αεροπορικής υπεροχής. Η μεγάλη απώλεια ραντάρ εγκαίρου προειδοποίησε της ΧΩΡΑΣ 1 δημιουργεί τεράστια προβλήματα στην πολεμική αεροπορίας της καθώς η εικόνα του εναερίου χώρου είναι εξαιρετικά περιορισμένη. Η ΧΩΡΑ 2 εξακολουθεί να έχει πολύ καλή εναέρια εικόνα, λόγω της επιβίωσης μεγάλου αριθμού ραντάρ.

Η περιορισμένη εικόνα εναερίου χώρου της ΧΩΡΑΣ 1 δημιουργεί περιορισμούς στη χρήση όπλων. Παρόλο που η ΧΩΡΑ 1 έχει προμηθευτεί σύγχρονους πυραύλους αέρος – αέρος BVR (δυνατότητα εκτόξευσης από απόσταση ασφαλείας) η χρησιμοποίησή τους είναι δύσκολη καθώς τα Α/Φ της ΧΩΡΑΣ 1 εξαρτώνται σχεδόν πάντα από τα δικά τους ραντάρ για έλεγχο του εναερίου χώρου, γεγονός που έχει οδηγήσει στη μείωση της απόστασης που είναι δυνατή η εκτόξευση τέτοιων βλημάτων.

Η ύπαρξη ενημερωμένων και προσαρμοσμένων συστημάτων αυτοπροστασίας στους πυραύλους της ΧΩΡΑΣ 1 στο σύνολο των Α/Φ της ΧΩΡΑΣ 2 έχει συμβάλει στη

προστασία πολλών Α/Φ. Αντιθέτως, η ΧΩΡΑ 2, παρόλο που δεν διάθετε τόσο σύγχρονα πυρομαχικά όσο η ΧΩΡΑ 1, έχει καταφέρει να επιτύχει αρκετές απώλειες στα Α/Φ της ΧΩΡΑΣ 1. Μεγάλο βαθμό σε αυτό είχε το γεγονός πως τα υπάρχοντα συστημάτων αυτοπροστασίας της ΧΩΡΑΣ 1 δεν ήταν προσαρμοσμένα στις απειλές της ΧΩΡΑΣ 2. Επιπλέον, μόνο 1 ή 2 Α/Φ της ΧΩΡΑΣ 1 σε κάθε σχηματισμό διέθεταν αντίστοιχο σύστημα. Σε περίπτωση που αυτό καταρριπτόταν από τα αντίπαλα, πρακτικά άφηνε τον λοιπό σχηματισμό απροστάτευτο. Αυτό, σε συνδυασμό με την απουσία MWR στα Α/Φ της ΧΩΡΑΣ 1, το οποίο οδήγησε στην απώλεια αρκετών Α/Φ από πυραύλους IR Homing καθώς δεν ήταν δυνατό ο χειριστής να ενημερωθεί για την εκτόξευση πυραύλου εναντίον του ώστε να εκτελέσει κατάλληλους ελιγμούς ή να εκτοξεύσει αντίμετρα, είχε σαν τελικό αποτέλεσμα την επικράτηση, έστω και οριακά, της πολεμικής αεροπορίας της ΧΩΡΑΣ 2, παρόλο που διέθετε παλαιότερης γενιάς όπλα.

Παράλληλα, διεξάγονται επιχειρήσεις SEAD και από τις 2 χώρες. Τα κύρια μέσα που χρησιμοποιούν και οι 2 χώρες είναι πύραυλοι αντι-ακτινοβολίας και αυτοκτονικά ΜΕΑ αντι-ακτινοβολία μόνο για τη ΧΩΡΑ 2. Η γνώση των παραμέτρων λειτουργίας των ραντάρ της ΧΩΡΑΣ 1 από τη ΧΩΡΑ 2 έχει βοηθήσει στο σωστό προγραμματισμό τις βιβλιοθήκης των πυραύλων αντι-ακτινοβολίας. Επιπλέον η μη σωστή εκπαίδευση των χειριστών της ΧΩΡΑΣ 1 βοήθησε τη ΧΩΡΑ 2 στο να ανιχνεύει, ταυτοποιεί και προσβάλλει εύκολα και γρήγορα τα ραντάρ της ΧΩΡΑΣ 1. Αντιθέτως, η ΧΩΡΑ 2 χρησιμοποιεί ραντάρ των οποίων τα χαρακτηριστικά δεν είναι όλα διαθέσιμα στη ΧΩΡΑ 1. Σε συνδυασμό με τη σωστή εκπαίδευση των χειριστών οι οποίοι εκτός από τη χρήση των συστημάτων ΕΡ των ραντάρ αυτών καθαυτών, εκτελούσε με επιτυχία διαδικασίες EMCON, δυσκόλευε πολύ τη ΧΩΡΑ 1 τόσο στην ανίχνευση όσο και στην αναγνώριση της προέλευσης της ακτινοβολίας με αποτέλεσμα πολλές φορές να εκτοξεύουν πυραύλους σε ακτινοβολίες που δεν αποτελούσαν «απειλή» (decoys). Παρόλο που και η ΧΩΡΑ 1 χρησιμοποιούσε decoys, η ΧΩΡΑ 2 δεν αντιμετώπισε ιδιαίτερο πρόβλημα, χάριν στο σωστό προγραμματισμό της βιβλιοθήκης των πυραύλων αυτών. Τέλος, η συνεχής χρήση ΜΕΑ αντιραντάρ πάνω από περιοχές που δρούσαν Α/Α όπλα, τα οποία λόγω του χαμηλού RCS ήταν δύσκολο να ανιχνευθούν διευκόλυνε σε πολύ μεγάλο βαθμό τις επιχειρήσεις αυτές, μειώνοντας τον κίνδυνο για τα Α/Φ της ΧΩΡΑΣ 2.

Στη θάλασσα τώρα, η ΧΩΡΑ 1 διαθέτει πιο σύγχρονα και γρήγορα πλοία σε σχέση με τη ΧΩΡΑ 2, τα οποία όμως υστερούν σε εξοπλισμό ΗΠ. Το θαλάσσιο περιβάλλον το οποίο είναι μια «κλειστή» θάλασσα και η ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού

νησιών ευνοεί το «κρυφό». Η χρήση ραντάρ ναυσιπλοΐας LPI από τα πλοία της ΧΩΡΑΣ 2, παρέχει ένα σαφές προβάδισμα σε αυτή. Η ΧΩΡΑ 1 αναγκαστικά λειτουργεί τα δικά της ραντάρ ναυσιπλοΐας με περιορισμούς, ώστε να μην γίνουν αντιληπτά.

Επιπλέον, η ΧΩΡΑ 2 διαθέτει ένα πολύπλοκο πλέγμα από ραντάρ και θερμικών αισθητήρων ναυτικής παρατηρήσεως, εγκαταστημένα παράκτια των ακτών της ΧΩΡΑΣ 2, παρέχοντας συνεχώς έγκαιρη ενημέρωση στα πλοία για τις κινήσεις των πλοίων της ΧΩΡΑΣ 1, σε αντίθεση με τη ΧΩΡΑ 1 η οποία χρησιμοποιεί πολύ μικρότερο αριθμό από πεπαλαιωμένα ραντάρ. Με τον τρόπο αυτό και με τη δυσκολία της ΧΩΡΑΣ 1 να παρέχει έγκυρη και έγκαιρη προειδοποίηση στα πλοία της, σχετικά με τις κινήσεις αυτών της ΧΩΡΑΣ 2, οδηγεί ξανά, όπως συνέβη με τα Α/Φ, στη μη δυνατότητα χρησιμοποίησης του πλεονεκτήματος της ΧΩΡΑΣ 1 η οποία διαθέτει πιο σύγχρονους αντιπλοϊκούς πυραύλους και με μεγαλύτερο βεληνεκές από αυτούς της ΧΩΡΑΣ 2.

Το αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η ΧΩΡΑ 2 να καταφέρει να εξανεμίσει όποιο πλεονέκτημα είχε η ΧΩΡΑ 1 και να μειώσει την δυνατότητα προσβολής των μέσων σε ίδια επίπεδα με τα δικά της. Παρόλα αυτά, λόγω του πιο σύγχρονου οπλισμού και μέσων, η ΧΩΡΑ 1 κατάφερε να έχει οριακή νίκη εναντίον της ΧΩΡΑΣ 2 όσον αφορά το τις ναυτικές δυνάμεις.

Εν τω μεταξύ, η ΧΩΡΑ 2, το επόμενο βράδυ, εκτελεί ταυτόχρονα απόβαση και αεραπόβαση σε 2 μεγάλα νησιά της ΧΩΡΑΣ 1 και ταυτόχρονα εισβάλλει σε άλλο χερσαίο σύνορο με τη ΧΩΡΑ 1. Η ΧΩΡΑ 1 διαθέτει σε κάθε περίπτωση μειωμένες δυνάμεις για να αντιμετωπίσει αυτή την εισβολή, καθώς λόγω της απουσίας δυνατότητας έγκαιρων πληροφοριών, έχει αναπτύξει τις δυνάμεις της σε όλη την έκταση των συνόρων της.

Η ΧΩΡΑ 2 διεξάγει οργανωμένες επιχειρήσεις ΗΠ με τα σύγχρονα συστήματα παρεμβολών επικοινωνιών που διαθέτει προκαλώντας τεράστια προβλήματα διοίκησης και ελέγχου στις επίγειες δυνάμεις, ενώ παράλληλα τα ΜΕΑ που πετούν πάνω από τη περιοχή επιχειρήσεων παρέχουν συνεχώς πληροφορίες για τη διάταξη και το μέγεθος των τμημάτων της ΧΩΡΑΣ 1.

Η απουσία εξοπλισμού νυκτερινής/θερμικής όρασης τόσο στη πλειοψηφία του στρατιωτικού οπλισμού, όσο και σε ποίκιλα Ο/Σ (αντιαρματικά, πολυβόλα, τεθωρακισμένα οχήματα), πρακτικά εξανεμίζει οποιοδήποτε πλεονέκτημά τους εναντίον της ΧΩΡΑΣ 2. Η απουσία επίσης ικανού αριθμού ΜΕΑ από τη ΧΩΡΑ 1, οδηγεί σε μεγάλη σπατάλη χρόνου και πυρομαχικών καθώς δεν είναι σε θέση να γνωρίζει το αποτέλεσμα των δικών της προσβολών εναντίων στόχων που βρίσκονται μακριά από το μέτωπο.

Ο μεγάλος αριθμός σύγχρονων ραντάρ αντιπυροβολικού της ΧΩΡΑΣ 2, αναγκάζει τη ΧΩΡΑ 1, προκειμένου να εξασφαλίσει την επιβιωσιμότητα των Ο/Σ, να μετακινεί συνεχώς της δυνάμεις πυροβολικού αλλά και να μειώνει το χρόνο εκτέλεσης βολών από αυτές, μειώνοντας έτσι δραματικά την αποτελεσματικότητά τους.

Τέλος, η ύπαρξη συστημάτων αυτοπροστασίας στα τεθωρακισμένα οχήματα της ΧΩΡΑΣ 2, έχει μειώσει σε πολύ μεγάλο βαθμό τις απώλειές από τα Α/Τ ή τεθωρακισμένα της ΧΩΡΑΣ 1. Η ΧΩΡΑ 2, πετυχαίνει εύκολη επικράτηση εναντίον της ΧΩΡΑΣ 1 στο έδαφος.

Έχοντας απωλέσει μεγάλο βαθμό Ο/Σ, μη έχοντας τη δυνατότητα να αποκτήσει ξανά τον έλεγχο σε αέρα και ξηρά, με πολύ μεγάλες δυσκολίες στις επικοινωνίες, στον έλεγχο και τη διοίκηση των τμημάτων τους και με την αδυναμία απόκτησης τακτικών πληροφοριών καθώς η ΧΩΡΑ 2 χρησιμοποιεί σύγχρονα κρυπτογραφημένα SS συστήματα επικοινωνιών, η ΧΩΡΑ 1, αναγκάζεται να συνθηκολογήσει με τη ΧΩΡΑ 2.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το παραπάνω απλό σενάριο είναι απόλυτα πιθανό, χωρίς να καταφεύγει σε υπερβολές όσον αφορά τις δυνατότητες του ΗΠ. Η έκβαση του θα μπορούσε πάντα να είναι διαφορετική καθώς κάθε επιχείρηση επηρεάζεται από πολλούς άλλους παράγοντες (γνώση περιοχής, εκπαίδευση προσωπικού, πληροφορίες κ.α.) οι οποίοι δεν εξετάζονται σε αυτό το κεφάλαιο. Παρόλα αυτά, γίνεται εύκολα κατανοητή η μεγάλη συμβολή του ΗΠ αλλά και η σοβαρότητα με την οποία θα πρέπει αυτός να εξετάζεται, τόσο κατά τη σχεδίαση όσο και την διεξαγωγή μιας επιχείρησης.

Επίσης, εκτός από τις επιχειρήσεις ΗΠ αυτές καθαυτές, στο εν λόγω κεφάλαιο έγινε προσπάθεια να γίνει εμφανές, πως μια δύναμη που έχει επενδύσει στον ΗΠ μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να μειώσει ή και να εκμηδενίσει όποια πλεονεκτήματα μπορούν να προσφέρουν πιο σύγχρονα όπλα σε μια αντίπαλη δύναμη, τα οποία όμως η χώρα αυτή δεν έχει μεριμνήσει για την υποστήριξή τους κατάλληλα στο Η/Μ φάσμα.

14.1 Σημερινή Κατάσταση ΗΠ στη Τουρκία

α. Χερσαία Συστήματα

Εκτός από το σύστημα KORAL, η τουρκική πλευρά καταβάλλει σταδιακές αλλά συστηματικές προσπάθειες να ανεξαρτητοποιηθεί πλήρως από ξένους προμηθευτές στον ευαίσθητο τομέα του ηλεκτρονικού πολέμου, με ότι αυτό συνεπάγεται. Κυρίαρχο ρόλο σε αυτή την προσπάθεια παίζει η Aselsan. Η εν λόγω εταιρεία, έχει αναπτύξει και παραδώσει συστήματα διαφόρων κατηγοριών για τακτική χρήση από τον Τουρκικό Στρατό. Σε αυτά συγκαταλέγονται οι παρεμβολείς επικοινωνιών HF/VHF/UHF των οικογενειών JAMINT-3/4 και τα συστήματα COMINT/DF της οικογένειας DFINT-3, όλα φερόμενα επί οχημάτων για υψηλή τακτική ευκινησία. Το νεότερο σύστημα COMINT της εταιρίας, είναι το MILKAR-3A3 το οποίο πρόσφατα τέθηκε σε υπηρεσία (11 συστήματα) το οποίο θα αντικαταστήσει σταδιακά τα παλαιότερα MILKAR-3A2 και ενδεχομένως τα DFINT-3. Επίσης μέσα στα επόμενα χρόνια, αναμένεται και η παραλαβή συστημάτων MILKAR-4A2 προς αντικατάσταση των MILKAR-4S, τα οποία αποτελούν την εξέλιξη του MILKAR-4A. Δεν θα πρέπει να παραληφθεί πως η Τουρκία διαθέτει έναν από τους καλύτερα εξοπλισμένους στρατούς όσον αφορά τη δυνατότητα διεξαγωγής νυκτερινών επιχειρήσεων. Τόσο σε ατομικό επίπεδο όσο και επί οχημάτων και Ο/Σ, βρίσκονται σε χρήση μεγάλος αριθμός τέτοιων συστημάτων, τόσο εγχώριας όσο και ξένης κατασκευής.

Τέλος η ύπαρξη συστημάτων αυτοπροστασίας τεθωρακισμένων οχημάτων (PULLAS, AKKOR) τοποθετεί τη Τουρκία στη πολύ μικρή λίστα με τις χώρες που διαθέτουν τέτοια συστήματα παγκοσμίως.

β. Ναυτικά Συστήματα

Όσον αφορά το ΠΝ της Τουρκίας, η κατάσταση προς το παρόν είναι πιο «περιορισμένη». Βέβαια, σύμφωνα με τις ανακοινώσεις της ίδιας της χώρας αλλά λαμβάνοντας υπόψη και την ολοένα μεγαλύτερη πρόοδο και εμπειρία στον τομέα του ΗΠ της Τουρκίας, αναμένονται σημαντικές αλλαγές στο άμεσο μέλλον.

Η ανάπτυξη εξολοκλήρου στη Τουρκία του συστήματος ΗΠ ARES-2N, του οποίου η τοποθέτηση έχει ήδη ξεκινήσει, ακόμη και σε παλαιότερα πλοία (Φρεγάτες MEKO-YAVUZ, η τοποθέτηση διευκολύνεται από το γεγονός πως μεγάλος αριθμός πλοίων χρησιμοποιούν το ίδιο τουρκικής κατασκευής σύστημα τακτικού ελέγχου), η

ολοκλήρωση της ανάπτυξης του ολοκληρωμένου συστήματος ραντάρ ΖΑFRAD με ορίζοντα ολοκλήρωσης παράδοσης το 2023, η χρήση ραντάρ ναυσιπλοΐας LPI, η ανάπτυξη και η τοποθέτηση ολοκληρωμένων συστημάτων εγγύς άμυνας τα οποία διαθέτουν σύγχρονους οπτικούς αισθητήρες ή/και ραντάρ (π.χ. STAMPS) και η εγκατάσταση εγχώριων συστημάτων LWR ή/και MWR σε πολεμικά πλοία, αναμένεται να αλλάξει άμεσα την παρούσα εικόνα του ΤΠΝ η οποία υπολείπεται ελαφρώς σε σχέση με τους άλλους κλάδους των ΕΔ της Τουρκίας.



Εικ. 14.1

STAMP. Ένα από τα ολοκληρωμένα συστήματα εγγύς άμυνας που έχει αναπτύξει η Τουρκία και βρίσκεται ήδη σε χρήση από πλοία του ΤΠΝ. Διαθέτει ενσωματωμένη κάμερα ημέρας, θερμική κάμερα και σύστημα σταθεροποίησης. Αντίστοιχα συστήματα μεγαλύτερου διαμετρήματος βρίσκονται στο στάδιο πιστοποίησης τα οποία διαθέτουν και ενσωματωμένο ραντάρ.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το πλοίο UFUK (A591) το οποίο αποκαλύφθηκε κατά την τελετή καθέλκυσής του στις 9 Φεβρουαρίου 2019. Το εν λόγω πλοίο πρόκειται να τεθεί σε υπηρεσία και όπως όλα δείχνουν τόσο από την απουσία πληροφοριών περί αυτού όσο και από την εξωτερική του διαμόρφωση θα πρόκειται για ένα πλοίο ΗΠ με δυνατότητες SIGINT. Το εν λόγω πλοίο, καθώς και άλλα του ίδιου τύπου που ίσως κατασκευαστούν, πιθανότητα θα αντικαταστήσει τα παλαιότερα ÇEŞME (A-599) και ÇANDARLI (A588) τα οποία χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα για το σκοπό αυτό.



Εικ. 14.2

Το «μυστηριώδες» πλοίο UFUK. Διακρίνεται η εξέδρα η οποία παρέχει ιδιαίτερο μεγάλο αριθμό βάσεων για τοποθέτηση αισθητήρων, κεραιών ή ραντάρ.

γ. Εναέρια Συστήματα

Στο κομμάτι αυτό υπάρχει και η μεγαλύτερη πρόοδος στο θέμα ΗΠ. Πρόσφατα ολοκληρώθηκε η τοποθέτηση συστημάτων αυτοπροστασίας στο σύνολο του στόλου των Α/Φ F-16 της ΤΠΑ με υψηλών δυνατοτήτων συστήματα όπως του AN/ALQ-178(V)5+ και του AN/ALQ-211(V)4. Επίσης σε χρήση το ισραηλινής κατασκευής σύστημα EL/L-8212/22 (χρήση από F-4) ενώ πρόσφατα αγοράστηκαν ιδιαίτερα σύγχρονα συστήματα AN/ALQ-211(V)9 (rod). Τέλος, υπό ανάπτυξη βρίσκεται και το τουρκικής κατασκευής rod ΗΠ MEHPOD το οποίο αναμενόταν να τεθεί σε χρήση το 2015. Παρόλα αυτά, αν και παρουσιάζεται συνεχώς σε εκθέσεις αμυντικού υλικού, είναι άγνωστη η πορεία εξέλιξής του.

Η Τουρκία εκτός από τον εξοπλισμό των Α/Φ με συστήματα αυτοπροστασίας, έχει προβεί στην ανάπτυξη εγχώριου συστήματος αυτοπροστασίας HEWS για χρήση καταρχήν από τα ΕΕ/Π ΑΤΑΚ, με τα πρώτα συστήματα να αναμένεται να τοποθετηθούν το 2020 ενώ είναι πολύ πιθανή και η τοποθέτησή του και σε άλλου τύπου Ε/Π. Από τα παραπάνω, είναι προφανές πως όλα τα ιπτάμενα μέσα της Τουρκίας διαθέτουν ιδιαίτερα επαρκή εξοπλισμό, ο οποίος αυξάνει κατά πολύ της δυνατότητες επιβίωσής τους.

Πρόσφατα, ανατέθηκε στην τουρκική εταιρεία Savronik το έργο της κατασκευής εναέριων συστημάτων ΗΠ. Ο τύπος του επιχειρηματικού jet που επελέγη είναι το Global Express της καναδική Bombardier, η οποία υπερίσχυσε έναντι 6 άλλων υποψηφιοτήτων. Η τουρκική απαίτηση για αερομεταφερόμενους παρεμβολείς αφορά ένα σύστημα με ικανότητα παρεμβολής εχθρικών επίγειων και εναέριων ραντάρ, συστημάτων καθοδήγησης πυραύλων και ζεύξεων δεδομένων, με εμβέλεια της τάξης των 400χλμ., κάτι που αυτομάτως αναβιβάζει την απειλή που θα αντιπροσωπεύει ένα τέτοιο σύστημα, σε άλλο επίπεδο. Αντιστοίχως βέβαια πολλαπλασιάζονται οι τεχνολογικές απαιτήσεις και το κόστος (το οποίο αναμένεται να φτάσει ή και να ξεπεράσει τα 250 εκατ. \$ συνολικά).



Εικ. 14.3

15 Μαρτίου 2019. Τα πρώτα 2 από τα 4 συνολικά Α/Φ Global 6000 που αγοράστηκαν από την Τουρκία προκειμένου να τροποποιηθούν από την ASELSAN σύμφωνα με το πρόγραμμα HAVASOJ. Κάτω φαίνεται η επικρατέστερη μέχρι τώρα τελική μορφή. Το πρόγραμμα αναμένεται να ολοκληρωθεί μέχρι το 2023.

Στον τομέα των UAV η πρόοδος της Τουρκίας είναι πραγματικά εντυπωσιακή. Ο εξοπλισμός τους με σύγχρονους αισθητήρες όπως κάμερες ημέρας και FLIR παρέχει την δυνατότητα συνεχούς παρατήρησης και επιτήρησης στη περιοχή ενδιαφέροντος. Η πρόσφατη αποκάλυψη της αναβαθμισμένης έκδοσης ANKA – I το οποίο εκτός του ότι θα φέρει ραντάρ SAR θα έχει δυνατότητες SIGINT αποτελεί ένα δείγμα της σοβαρότητας με την οποία αντιμετωπίζει η Τουρκία το θέμα των ΜΕΑ.

δ. Λοιπά Μέσα

Πέρα των προαναφερθέντων θα ήταν λάθος να παραλειφθεί η αναφορά στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης και επιτήρησης της Τουρκίας. Εκτός της ύπαρξης ενός ιδιαίτερα πυκνού συστήματος αεράμυνας με σύγχρονα ραντάρ και με δυνατότητες αλλαγής θέσεως, η Τουρκία βρίσκεται διαρκώς σε μια προσπάθεια κατασκευής και ένταξης σε υπηρεσία δικής της κατασκευής ραντάρ εναέριας, επίγειας ή θαλάσσιας παρατήρησης.

Στον τομέα των επικοινωνιών επίσης, φαίνεται πως δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα. Τόσο η χρήση λίγων τύπων Σ/Α εγχώριας κατασκευής, αποφεύγοντας έτσι το πρόβλημα της πολυτυπίας, οι οποίοι μάλιστα είναι δυνατό να προγραμματιστούν και να λειτουργήσουν με διαφορετικούς τρόπους παρέχοντας αυξημένη ηλεκτρονική προστασία, όσο και η χρήση κόμβων επικοινωνιών (TAYAS, TASMUS) με δυνατότητες κρυπτασφαλισμένης επικοινωνίας αλλά και η ύπαρξη DATA LINKS τόσο νατοϊκών (LINK-16 για το σύνολο των μέσων αεράμυνας, για επικοινωνία και DATA αλλά και VOICE) όσο και τουρκικής σχεδίασης (ISR DATA LINK για επικοινωνία με ΜΕΑ, UMTAS DATA LINK για καθοδήγηση του Α/Τ πυραύλου UMTAS κ.α.) δείχνουν πόσο μεγάλη έμφαση δίνεται στην ασφάλεια των επικοινωνιών.

14.2 Σκέψεις για την Ελλάδα

Τα τελευταία χρόνια η χώρα μας διανύει μια παρατεταμένη οικονομική κρίση. Την ίδια περίοδο, και ειδικά την τελευταία 10ετία, η Τουρκία με τη διάθεση τεράστιων ποσών για έρευνα και ανάπτυξη, τη συνεχή προσήλωση στο σκοπό της και με τον σωστό σχεδιασμό της, έχει κάνει πραγματικά άλματα στην ανάπτυξη συστημάτων ΗΠ.

Είναι γεγονός πως με την υπάρχουσα οικονομική κατάσταση, δεν θα περίμενε κανείς η Ελλάδα να προβεί σε αγορές πολύπλοκων και σύγχρονων συστημάτων ΗΠ. Παρόλα αυτά λαμβάνοντας υπόψιν κάποιες παραμέτρους που αναλύονται παρακάτω,

είναι δυνατό, χωρίς διάθεση τεράστιων ποσών, η Ελλάδα να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητές της.

α. Δόγμα

Το υπάρχων δόγμα της Ελλάδας είναι καθαρά αμυντικό. Αυτό συνεπάγεται πως οι επιχειρήσεις επιθετικού χαρακτήρα που ενδεχομένως διεξάγει η Ελλάδα θα είναι περιορισμένες τόσο σε αριθμό όσο και έκταση/βάθος. Από την άλλη, η επιθετικές βλέψεις της Τουρκίας την αναγκάζουν να υιοθετήσει μια διαφορετική προσέγγιση.

Στον ΗΠ αυτό μεταφράζεται κυρίως ως ιδιαίτερες μεγάλες απαιτήσεις συστημάτων ΗΕ από μέρος της Τουρκίας μικρές απαιτήσεις από πλευράς Ελλάδας. Η ΗΕ εφαρμόζεται συνήθως πριν την εκδήλωση επιθέσεως ή και για λίγο χρόνο κατά τη διάρκεια αυτής, με σκοπό την αποδιοργάνωση και δημιουργίας σύγχυσης στον αμυνόμενο.

β. Περιβάλλον

Το ορεινό έδαφος της Ελλάδας αλλά και το Αιγαίο πέλαγος το οποίο θεωρείται μια «κλειστή» θάλασσα, δεν είναι ιδανικά για την διεξαγωγή επιχειρήσεων ΗΕ από χερσαίες ή ναυτικές δυνάμεις αντίστοιχα. Από εναέρια μέσα, η Τουρκία δεν διαθέτει προς το παρόν κάποιο αντίστοιχο μέσο.

Ο μεγάλος αριθμός νησιών στο Αιγαίο παρέχει μεγάλες δυνατότητες διαρκούς επιτήρησης στην Ελλάδα με ηλεκτρονικά ή άλλα μέσα.

γ. Μέσα

Η συνεχιζόμενη προσπάθεια της Τουρκίας για ανάπτυξη αμιγώς εγχώριας κατασκευής και σχεδίασης συστημάτων αποτελεί το σημαντικότερο πρόβλημα τη στιγμή αυτή για την Ελλάδα. Η μη δυνατότητα γνώσης των δυνατοτήτων αλλά και των χαρακτηριστικών λειτουργίας των μέσων αυτών αποτελεί σημαντικότερο πρόβλημα, καθώς δεν είναι εύκολη η προετοιμασία για την αντιμετώπισή τους. Επιπλέον, η μεγάλη πληθώρα συστημάτων ηλεκτρο-οπτικής παρατήρησης που διαθέτει η Τουρκία, της παρέχει μεγάλες δυνατότητες νυκτερινών επιχειρήσεων.

ε. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η απόλυτη προτεραιότητα που θα πρέπει να δοθεί από την Ελλάδα, είναι ο εκσυγχρονισμός ή η προμήθεια μέσων ES με έμφαση στα εναέρια ή πλωτά

μέσα. Με τα μέσα αυτά, το κόστος των οποίων δεν είναι τόσο υψηλό όσο άλλων μέσων ΗΠ καθώς το κύριο συγκρότημα είναι ο δέκτης, θα είναι δυνατή η απόκτηση μεγάλου όγκου πληροφοριών για τα μέσα που χρησιμοποιεί η Τουρκία. Οι πληροφορίες αυτές, μετά από επεξεργασία, θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό Ο/Σ (π.χ. RWR, συστήματα αυτοπροστασίας, πύραυλοι αντι-ακτινοβολίας) ώστε να προσαρμοσθούν στην αντιμετώπιση των μέσων αυτών καθαυτών, όσο και στη μείωση της αποτελεσματικότητας των επιχειρήσεων παραπλάνησης.

Τα ΜΕΑ είναι επίσης ένας άλλος τομέας που πρέπει να δοθεί βαρύτητα. Η απουσία ανάγκης εκτέλεσης επιχειρήσεων σε βάθος αλλά και η ύπαρξη μεγάλου αριθμού νησιών, μειώνει κατά πολύ την ανάγκη χρήσης μεγάλων σε μέγεθος ΜΕΑ με δυνατότητα να πετούν σε μεγάλο ύψος και για πολύ ώρα, ανάγκη που έχει η Τουρκία. Η ανάπτυξη ακόμη και εγχώριων UAV, τεχνογνωσία που διαθέτει η Ελλάδα από το 1980, τα οποία θα διαθέτουν μικρό αριθμό αισθητήρων (κάμερα ημέρας και IR) είναι επίσης ένα «οικονομικό» εγχείρημα, εύκολα υλοποιήσιμο το οποίο θα αυξήσει κατακόρυφα τις δυνατότητες τόσο στον τομέα της επιτήρησης – έγκαιρης ενημέρωσης, όσο και στην παροχή πληροφοριών τακτικού – επιχειρησιακού επιπέδου (αποτελέσματα προσβολής ενός στόχου).

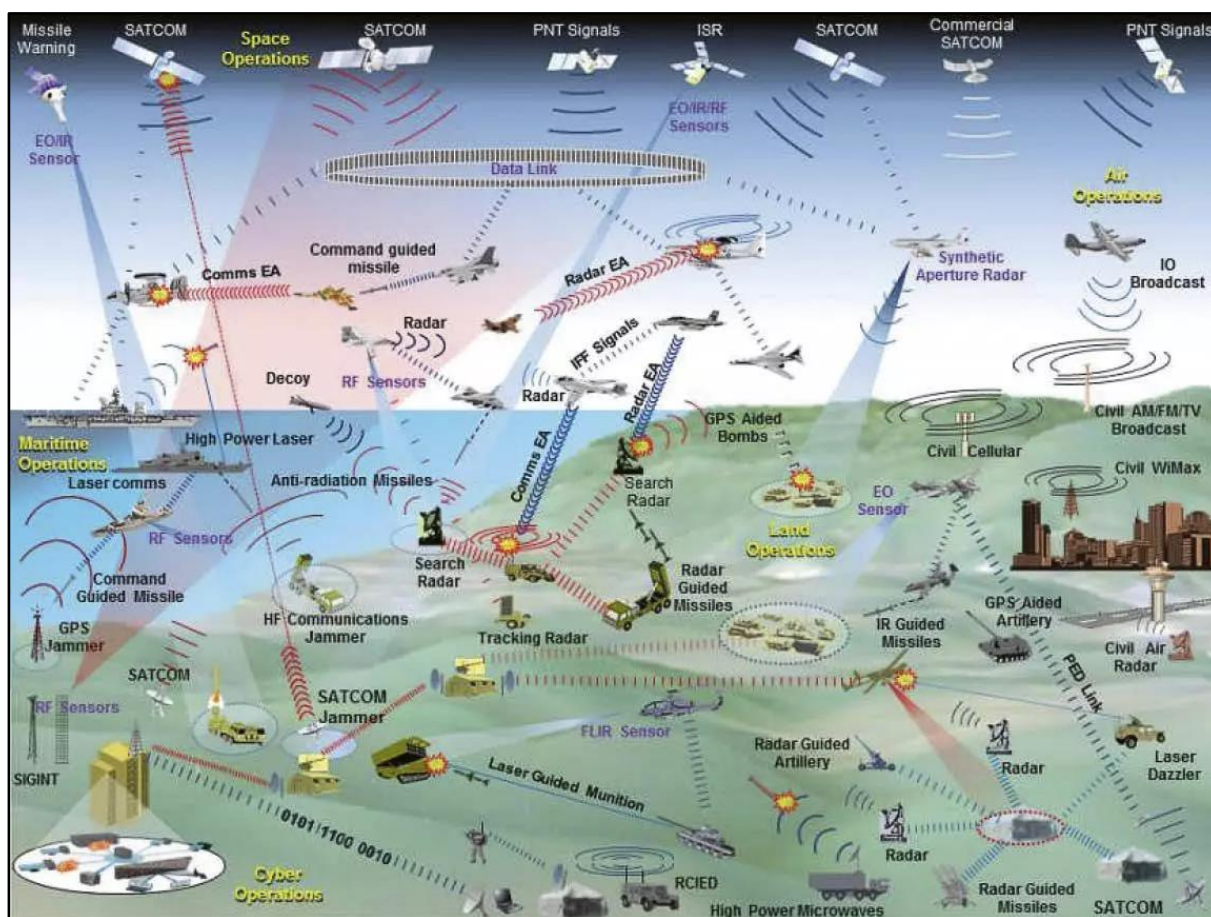
Σοβαρό επίσης θέμα, είναι η βελτίωση της ικανότητας εκτέλεσης νυκτερινών επιχειρήσεων. Αν και στο ΠΝ και ΠΑ αυτό να μην είναι ίσως μεγάλο πρόβλημα, οι χερσαίες δυνάμεις διαθέτουν πεπαλαιωμένο εξοπλισμό. Στη χώρα δραστηριοποιούνται αρκετές εταιρίες σε αυτόν τον τομέα οι οποίες μάλιστα εξοπλίζουν και στρατούς άλλων χωρών.

Τέλος, η αύξηση των συμμετοχών της Ελλάδας σε διεθνείς ασκήσεις στις οποίες εξετάζονται θέματα ΗΠ είναι πρωταρχικής σημασίας. Ένας πολύ καλά εκπαιδευμένος και έμπειρος χειριστής ενός παλαιότερης γενιάς συστήματος, όσο και αν ακούγεται παράλογο, είναι πολλές φορές πιο αποτελεσματικός από έναν μέτρια εκπαιδευμένο και μη έμπειρο χειριστή ενός τελευταίας γενιάς συστήματος. Ακόμη και αν η χώρα δεν καταφέρει στο άμεσο μέλλον να προβεί σε προμήθεια νέων συστημάτων, η αύξηση της εμπειρίας του προσωπικού που τα χειρίζεται και η συνεχής εκπαίδευσή του σε διαφορετικά σενάρια αντιμετώπισης διαφορετικών συστημάτων, θα οδηγήσει στην αύξηση της αποτελεσματικότητάς του.

Πολλά θα μπορούσαν ακόμα να προστεθούν στα παραπάνω. Παρεμβολείς ραντάρ ή επικοινωνιών, παρεμβολείς IR σε όλα τα Ε/Π, συστήματα LWR – MWR σε Ε/Π,

πλοία και τεθωρακισμένα, προμήθεια νέων ραντάρ αεράμυνας κοκ. Λαμβάνοντας όμως υπόψιν τον παράγοντα κόστος / κέρδος αλλά και τις ιδιαιτερότητες της Ελλάδας, η επένδυση σε όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως (ES, UAV, συστήματα νυκτερινής όρασης και επιπλέον εκπαίδευση), θα δημιουργήσει σε μικρό χρονικό διάστημα, μια σταθερή βάση στην οποία μπορεί να στηριχθεί οποιαδήποτε μελλοντική προμήθεια ή εκσυγχρονισμός συστημάτων.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας δημιουργεί συνεχώς ολοένα και μεγαλύτερες ανάγκες εκπαίδευσης και χρήσης συστημάτων που χρησιμοποιούν το Η/Μ φάσμα. Ο ρόλος των συστημάτων ΗΠ μεγαλώνει συνεχώς και ιδιαίτερα της κατηγορίας ES η οποία πολλές φορές έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο από τις άλλες 2 κατηγορίες του ΗΠ. Οι επιχειρήσεις ES πολλές φορές είναι το μοναδικό μέσο για κάποια δύναμη να αποκτήσει γνώση περί των εχθρικών δυνατοτήτων και να προετοιμαστεί κατάλληλα για αυτόν.



Εικ. 14.4

Οπτικοποίηση του αόρατου ηλεκτρονικού πολέμου σε μια σύγχρονη περιοχή επιχειρήσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**Ξένη Βιβλιογραφία**

1. EW 101 - A first course in electronic warfare, David Adamy, Artech House publications.
2. EW 102 – A second course in electronic warfare, David Adamy, Artech House publications, 2004
3. EW 103 – Tactical battlefield communications electronic warfare, David Adamy, Artech House publications, 2009
4. EW 104 – Electronic warfare against new generation of threats, David Adamy, Artech House publications, 2015.
5. Communications – radars and electronic warfare, Adrian Graham, Wiley publications, 2011.
6. Modern radar systems, Hamish Meikle, Artech House publications, 2008.
7. Introduction to electronic defense systems, Filippo Neri, Artech House publications, 2006
8. Electronic warfare, Adam T. Elsworth, Nova Science publications, 2010.
9. Introduction to modern EW systems, Andrea de Martino, Artech House publications, 2012.
10. Detecting and classifying low probability of intercept radar, Phillip E. Pace, Artech House publications, 2009.
11. SHEPHARD Electronic warfare handbook, Peter Donaldson, 2008.
12. Modern communications receiver design and technology, Cornell Drentea, Artech House publications, 2010.
13. Radio receiver design, Kevin McClaning/Tom Vito, Noble publications, 2000.
14. Fundamentals of electronic warfare, Sergei A. Vakin/Lev N. Shustov/Robert H. Dunwell, Artech House publications, 2001.
15. Modern communications and jamming principles and techniques, Richard Poisel, Artech House publications, 2011.
16. Introduction to infrared and electro-optical systems, Ronald G.Driggers/Paul Cox/Timothy Edwards, Artech House publications, 1999.
17. Electronic warfare and radar systems – Engineering handbook, Naval Air Warfare Center Weapons Division Point, 2013.

18. Radar technology encyclopedia, David K. Barton/Sergey A. Leonov, Artech House publications, 1998.
19. Radar vulnerability to jamming, Robert N. Lothes/Michael B. Szymanski/Richard G. Wiley, Artech House publications, 1990.
20. Radar handbook, Merrill I. Skolnik, McGraw Hill publications, 2008.
21. The infrared and electro-optical systems handbook-volume 2-Atmospheric propagation of radiation, Frederick G. Smith, Infrared Information Analysis Center-Michigan, 1993.
22. The infrared and electro-optical systems handbook-volume 7-Countermeasure systems, David H. Pollock, Infrared Information Analysis Center-Michigan, 1993.
23. The infrared and electro-optical systems handbook-volume 8-Emerging systems and technologies, Stanley R. Robinson, Infrared Information Analysis Center-Michigan, 1993.
24. Electronic warfare fundamentals, Student supplementary reference book, November 2000.
25. Radartutorial, book 1-7, 2009
26. Article, Improved ISRJ-Based Target Echo Cancellation Using Frequency Shifting Modulation, 1/1/2019, Qihua Wu/Feng Zhao/Junjie Wang/Xiaobin Liu/Shunping Xiao, National University of Defence Technology.
27. Military Technology, vol XLII, 2018, MILTECH.
28. Dielectric Lens Antennas, Carlos A.Fernades/Eduardo B.Lima/Jorge R.Costa

Βιβλιογραφία NATO – ΕΔ ΗΠΑ

1. Information Operations, Air Force Doctrine Document 2-5, 11 January 2005.
2. Electronic Warfare, Air Force Doctrine Document 3-13.1, 5, 28 July 2011.
3. FM-3-12 Cyber and electronic warfare operations, Headquarters-Department of the army, April 2017.
4. FM-3-36 Electronic warfare, Headquarters-Department of the army, November 2012.
5. Joint Publication 3-13 Information Operations, 13 February 2006.
6. Joint Publication 3-13.1 Electronic Warfare, 8 February 2012.
7. Basic Electronic Warfare 2.2.05.01.2002

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. ΕΕ 3-1/2012 Θεωρία ραντάρ, Κέντρο Αεροπορικής Τακτικής
2. ΕΕ 3-2/2011 Ηλεκτρονικός Πόλεμος, Κέντρο Αεροπορικής Τακτικής
3. ΕΕ 9-4 Ο Ηλεκτρονικός Πόλεμος στο Στρατό Ξηράς

Ιστότοποι στην Αγγλική Γλώσσα

(Τελευταία πρόσβαση την Κυριακή 10 Νοεμβρίου 2019)

1. <https://www.army-technology.com/features/evolution-electronic-warfare-timeline/>
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Dazzle_camouflage
3. <http://www.churchside1.plus.com/Goldhanger-past/DirectionFinding.htm>
4. https://en.wikipedia.org/wiki/LZ_130_Graf_Zeppelin_II
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Chain_Home
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Lorenz_beam#Description
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Battle_of_the_Beams
8. https://en.wikipedia.org/wiki/ASV_Mk._II_radar#Metox
9. [https://en.wikipedia.org/wiki/Gee_\(navigation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gee_(navigation))
10. [https://en.wikipedia.org/wiki/Oboe_\(navigation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Oboe_(navigation))
11. https://en.wikipedia.org/wiki/Freya_radar
12. <http://www.ventnorradar.co.uk/Germ.htm>
13. <https://www.slideshare.net/sblank/secret-history-of-silicon-valley-master-slide-deck>
14. <https://newatlas.com/invisibility-cloak-hides-macroscopic-objects/37542/>
15. <https://futurism.com/quantum-video-secure-communication>
16. <https://www.radartutorial.eu/>
17. https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/index.htm
18. <https://www.microwaves101.com/encyclopedias/transmit-receive-modules>
19. <https://basicsaboutaerodynamicsandavionics.wordpress.com/2016/08/11/radar-fundamentals-part-ii/>
20. <http://www.equestionanswers.com/notes/modulation-analog-digital.php>
21. <https://www.physics-and-radio-electronics.com/blog/modulation-definition-need-for-modulation-types-of-modulation/>
22. <https://www.youtube.com/watch?v=d7l5NbFbIU>

23. <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/EE789/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%A6%CE%91%CE%9D%CE%95%CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%98%CE%95%CE%A9%CE%A1%CE%99%CE%91%CE%A3/%CE%9C%CE%AC%CE%B8%CE%B7%CE%BC%CE%B112.pdf>
24. <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/superheterodyne-receiver/theory-principles.php#>
25. http://www.emcsociety.org/2012%20Events/FFT-based%20measurement%20instrumentation_JY.pdf
26. https://toyotechus.com/wp-content/uploads/2018/11/Keysight_Automotive_EMC_Presentation_11012018.pdf
27. <https://eprints.utas.edu.au/22401/1/whole-Vlok-thesis-2014.pdf>
28. <https://www.slideserve.com/saxon/multilateration-hyperbolic-location-technique-tdoa>
29. http://www.alphalpha.org/radar/coho_e.html
30. https://h2g2.com/edited_entry/A637535
31. https://www.keysight.com/upload/cmc_upload/All/REW7_Tadeoffs_explored_DC_techniques_no_videos.extras_FINAL.pdf
32. <http://fullafterburner.weebly.com/next-gen-weapons/electronic-warfare-deception-jamming>
33. <https://basicsaboutaerodynamicsandavionics.wordpress.com/2016/03/29/electronic-countermeasure-ecm/>
34. <https://www.militaryaerospace.com/unmanned/article/16726515/navy-asks-bae-systems-to-build-t1687ale70v-electronic-warfare-ew-towed-decoys-for-f35>
35. <https://www.hsdl.org/?view&did=444190>
36. <http://defensewebtv.com/international-news/video/uk-to-get-new-passive-offboard-decoy-system>
37. <https://www.ausairpower.net/APA-52E6MU-Struna.html>
38. https://en.wikipedia.org/wiki/Image_intensifier#Generation_4
39. https://en.wikipedia.org/wiki/Contrast_seeker
40. <https://www.explainthatstuff.com/lasers.html>
41. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/optmod/qualig.html>
42. <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/athena.html/>
43. <https://www.businessinsider.com/pentagon-testing-laser-communications-to-thwart-russia-china-jamming-2018-8>

44. <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/an-aaq-24.htm>
45. <https://basicsaboutaerodynamicsandavionics.wordpress.com/2016/03/04/stealth-techniques-and-benefits/>
46. <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/flares.htm>
47. <https://pdfs.semanticscholar.org/4783/4ec45f24453d1263b94f633aa6e6bc7e2387.pdf>
48. <https://aviation.stackexchange.com/questions/57732/what-are-these-accelerating-flare-countermeasures-called>
49. https://www.youtube.com/watch?v=02f7b9_Tlk8&feature=youtu.be&t=218
50. <https://amynagr.blogspot.com/2019/07/grc-206.html>
51. <https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/3-09-12/ch4.htm>
52. [https://www.radartutorial.eu/19.kartei/02.surv/pubs/Commander%20SL%20data sheet_BC084510.01.v07.pdf](https://www.radartutorial.eu/19.kartei/02.surv/pubs/Commander%20SL%20data%20sheet_BC084510.01.v07.pdf)
53. https://www.armyrecognition.com/united_states_american_missile_system_vehicle_uk/hawk_mim-23_low_medium_altitude_ground_to_air_missile_technical_data_sheet_specifications_pictures.html
54. https://www.armyrecognition.com/russia_russian_missile_system_vehicle_uk/sa-8_gecko_9k33_osa_ground-to-air_missile_system_technical_data_sheet_specifications_information_uk.html
55. https://www.armyrecognition.com/russia_russian_missile_system_vehicle_uk/to-r-m1_9a331_sa-15_gauntlet_technical_data_sheet_specifications_information_description_pictures_uk.html
56. <https://www.army-technology.com/projects/crotale/>
57. <https://www.flightglobal.com/FlightPDFArchive/1989/1989%20-%203246.PDF>
58. <https://www.northropgrumman.com/Capabilities/LR100/Pages/default.aspx>
59. https://elbitsystems.com/media/Underwater-SIGINT-D_13-8.10.18.pdf
60. <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2016/07/24/mirage-2000-multirole-combat-fighter-france/>
61. <https://www.flightglobal.com/FlightPDFArchive/1983/1983%20-%200550.PDF>
62. http://download.high-g.net/files/Falcon_4_Manuals/f4_AN-APG-68-v5.pdf
63. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a390184.pdf>
64. <https://www.mbda-systems.com/wp-content/uploads/2018/05/SPIRALE.pdf>
65. <https://turkishnavy.net/>
66. <http://www.f-16.net/f-16-news-article889.html>

67. http://www.f-16.net/f-16_users_article5.html
68. https://www.aef.se/Avionik/Artiklar/Motmedel/Nya_hotbilder/RadarWarnStory.pdf
69. <https://fas.org/man/dod-101/sys/ac/equip/an-alq-136.htm>
70. <https://armadainternational.com/2019/10/deep-dive-on-the-dass/?platform=hootsuite>
71. <https://www.navalanalyses.com/>
72. <http://www.cmano-db.com/>
73. <https://www.aselsan.com.tr/en>
74. <https://baykardefence.com/index.php>
75. https://dspace-erf.nlr.nl/xmlui/bitstream/handle/20.500.11881/308/68_hepp.pdf?sequence=1&isAllowed=y
76. <https://www.tusas.com.tr/en/>
77. <https://www.qsl.net/wb4tur/milt/feature/prclist.htm>
78. <https://www.ainonline.com/aviation-news/defense/2019-03-16/turkey-receives-global-6000s-jammer-conversion>
79. <http://lp-praha.cz/af/beagle-ground-surveillance-radar/>
80. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_modern_weapons_of_the_Turkish_Air_Force
81. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_equipment_of_the_Turkish_Land_Forces
82. <https://www.lockheedmartin.com/en-us/index.html>
83. <http://defenceandtechnology.com/2019/01/18/hizir-zirhli-sinir-kesif-ve-gozetleme-araclari-goreve-hazir/>
84. <http://www.army-guide.com/eng/product4419.html>
85. <https://www.raytheon.com/capabilities/products/slq32>
86. http://www.thales7seas.com/html_2014/countryGreece.html
87. http://www.thales7seas.com/html_2014/countryTurkey.html
88. <https://world-defense.com/threads/turkish-armed-force.158/>
89. http://en.citizendium.org/wiki/Signals_intelligence_collection,_submarine-based
90. <https://www.aviationreportglobal.com/2012/07/04/turkey-phantom-f-4e-phantom-2020/>
91. <https://www.defenceturkey.com/en/content/aselsan-signs-a-new-export-contract-for-aselpod-3125>

92. https://www.armyrecognition.com/turkey_turkish_field_military_combat_equipment_uk/koral_radar_defence_electronic_attack_warfare_technical_data_sheet_specifications_pictures_video_12402164.html
93. <https://www.ausairpower.net/APA-Wedgetail-Antennas.html#mozTocId42404>
94. <https://www.janes.com/article/88269/idef-2019-aselsan-to-produce-low-altitude-radar-systems-for-turkish-air-force>
95. <https://www.defenceiq.com/army-land-forces/articles/turkey-begins-serial-production-of-korkut>
96. <https://futurism.com/the-byte/watch-invisibility-cloak-military-use>
97. <https://www.dzkk.tsk.tr/index.php?dil=0>
98. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1806
99. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=688
100. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1650
101. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=693
102. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=746
103. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1774
104. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1683
105. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1651
106. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=721
107. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=388
108. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=325
109. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=358
110. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=638
111. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1090
112. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=27
113. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=646
114. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=700

115. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=529
116. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1724
117. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=650
118. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=874
119. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=765
120. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=827
121. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=906
122. https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=653
123. <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/gess/cis/center-for-securities-studies/resources/docs/ISPSW-562%20Roell.pdf>
124. <https://world-defense.com/threads/turkish-intelligence-agency-mit-requests-intelligence-ship.4809/>
125. https://www.tutorialspoint.com/analog_communication/analog_communication_multiplexing.htm
126. <https://www.physics-and-radio-electronics.com/blog/multiplexing/>
127. https://en.wikipedia.org/wiki/Multiplexing#Space-division_multiplexing

Ιστότοποι στην Ελληνική Γλώσσα

(Τελευταία πρόσβαση την Κυριακή 10 Νοεμβρίου 2019)

1. <https://defencereview.gr/epigeio-diktyo-rantar-sae-epiprosthet/>
2. <https://defensegr.wordpress.com/2014/01/18/%CE%B5%CF%81%CF%80%CF%85%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%86%CF%8C%CF%81%CE%BF-bv-208-%CE%BC%CE%B5-%CF%81%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AC%CF%81-arthur-wls/>
3. <https://www.ptisidiastima.com/made-in-greece-eo-systems-for-hellenic-navy-ships/>
4. <https://www.ptisidiastima.com/to-icms-2000-mirage-2000egm-bgm/>
5. <https://www.ptisidiastima.com/to-aspis-f-16c-d-block-30/>
6. <https://national-pride.org/2009/11/24/%CF%84%CE%BF-trs-22xx-%CF%84%CE%B7%CF%82-datca/>
7. <https://doureios.com/to-radar-cafrad-epi-tourkikis-fregatas-gia-dokimes-en-plo/>

8. <https://www.ptisidiastima.com/greek-f16v-program-schedule-and-aspis-2/>
9. <http://library.techlink.gr/ptisi/article.asp?mag=2&issue=127&article=3360>
10. <https://www.ptisidiastima.com/greece-should-sell-all-its-m2000-and-upgrade-all-its-f16/>
11. <https://www.paraskhnio.gr/gymna-f-16-stoys-aitheres/>
12. <https://defensegr.wordpress.com/2016/03/31/uav-sagem-sperwer/>
13. <http://library.techlink.gr/ptisi/article.asp?mag=2&issue=183&article=4561>
14. <https://belisarius21.wordpress.com/2013/12/16/chinook-%CE%B7-%CE%B2%CE%AD%CE%BB%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B7-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AE-%CE%AD%CF%83%CF%84%CF%89-%CE%BA%CE%B9-%CE%B1%CF%80%CF%8C-%CF%84%CF%8D%CF%87%CE%B7/>
15. <http://library.techlink.gr/2t/article-main.asp?mag=3&issue=186&article=4627>
16. <https://isxys.blogspot.com/2016/07/ecm-eccm-e-x.html>
17. <https://kranosgr.blogspot.com/2013/03/nh90.html>
18. <https://www.pentapostagma.gr/2018/03/%CE%BD%CE%AD%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%BA%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AE%CF%82%CF%81%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AC%CF%81-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84.html>
19. <https://defencereview.gr/ilektronikes-paremvoles-epikoinonio/>
20. <https://defencereview.gr/asepe-i-stratigikis-axias-platforma-t/>
21. <https://defencereview.gr/energitika-systimata-aytoprostatias-anagkaia-prosthiki-gia-ta-ellinika-armata-machis/>
22. <http://amina-politiki.blogspot.com/2014/05/combattante-doganruzugaryildiz.html>
23. <https://www.militaire.gr/ayto-einai-to-rantar-aesa-poy-kataskeyase-i-toyrkiki-etaireia-aseslan-binteo/>
24. <https://www.proelasi.org/%CE%B2%CE%AF%CE%BD%CF%84%CE%B5%CE%BF-%CF%84%CE%BF-%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%BA%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%81%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AC%CF%81-aesa-cafrad-%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%BA%CE%BB%CE%AE%CF%81%CF%89/>
25. <https://defencereview.gr/anamenontas-tin-paralavi-ton-s-400/>

26. <https://newsthessaloniki.gr/allazoyn-oi-isorropies-sto-aigaio-neo-toyrkiko-aeroskafos-me-systima-ilektronikoy-polemoy-coral-anavathmizoyn-ta-toyrkika-systimata/>
27. <https://amynagr.blogspot.com/2019/08/milkar-3a3.html>
28. <http://www.hellasarmy.gr/>
29. <https://veteranos.gr/oi-tourki-stin-askisi-denizkurdu-2015-petaxan-ke-uav-karayel-video/>
30. <https://www.ptisidiastima.com/spews-ii/>
31. <https://www.ptisidiastima.com/i-tourkia-tha-chrisimopoiisei-sti-suria-ta-mikra-fonika-drones-kargu/>
32. <http://e-amyna.com/%CF%83%CF%85%CE%BD%CE%BF%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82-%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CF%8C%CF%82-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%BA%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CE%BC%CE%B7-%CE%B5%CF%80/>
33. <https://www.viadiplomacy.gr/choris-sistima-aftoprostasias-ta-23-epithetika-elikoptera-t-129a-edh-ke-t-129v1/>
34. <http://e-amyna.com/%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1-koral-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%BA%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%B9%CE%BA%CE%B1%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B5%CF%82-%CE%B7%CE%BB/>
35. <https://belisarius21.wordpress.com/2016/09/18/%CF%80%CE%BF%CE%BB%CE%B5%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%AF%CE%BD%CE%B4%CF%85%CE%BD%CE%B7-%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%B1%CF%81/>
36. <https://belisarius21.wordpress.com/2019/05/10/%cf%84%ce%b1-%cf%83%cf%85%cf%83%cf%84%ce%ae%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%b1-%ce%ad%cf%81%ce%b5%cf%85%ce%bd%ce%b1%cf%82-%ce%ba%ce%b1%ce%b9-%ce%b9%cf%87%ce%bd%ce%b7%ce%bb%ce%ac%cf%84%ce%b7%cf%83%ce%b7%cf%82/>
37. <https://doureios.com/ilektronikos-polemos-i-katastasi-poy-mas-erhetai/>
38. <https://www.ptisidiastima.com/turkish-army-received-milkar-3a3-system/>

39. <https://www.triklopodia.gr/ksepsasei-ilektronikos-polemos-pano-aigaio/>
40. <https://www.ptisidiastima.com/new-missile-boats-for-hellenic-navy/>
41. <https://www.onisilos.gr/?p=24933>
42. <https://www.pentapostagma.gr/2017/04/%CE%AD%CF%84%CF%83%CE%B9-%CE%BA%CE%AC%CE%BD%CE%BF%CF%85%CE%BD-%CE%B7%CE%B B%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%B A%CF%8C-%CF%80%CF%8C%CE%BB%CE%B5%CE%BC%CE%BF-%CE% BF%CE%B9-%CF%84%CE%BF%CF%8D.html>
43. <https://kourdistoportocali.com/news-desk/sta-adyta-tou-ilektronikou-polemou/>
44. <https://belisarius21.wordpress.com/2017/12/05/%ce%bb%ce%b5%ce%b3%ce %bf%ce%bd%cf%84%ce%b1%cf%83-%cf%84%ce%b1-%cf%80%cf%81%ce% b1%ce%b3%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%b1-%ce%bc%ce%b5-%cf%84%ce %bf-%ce%bf%ce%bd%ce%bf%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%bf%cf%85%cf%8 3-ii/>
45. <https://belisarius21.wordpress.com/2018/07/27/%ce%bb%ce%b5%ce%b3%ce %bf%ce%bd%cf%84%ce%b1%cf%83-%cf%84%ce%b1-%cf%80%cf%81%ce% b1%ce%b3%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%b1-%ce%bc%ce%b5-%cf%84%ce %bf-%ce%bf%ce%bd%ce%bf%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%bf%cf%85%cf%8 3-iii-2/>
46. <https://belisarius21.wordpress.com/2018/07/03/%ce%bb%ce%b5%ce%b3%ce %bf%ce%bd%cf%84%ce%b1%cf%83-%cf%84%ce%b1-%cf%80%cf%81%ce% b1%ce%b3%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%b1-%ce%bc%ce%b5-%cf%84%ce %bf-%ce%bf%ce%bd%ce%bf%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%bf%cf%85%cf%8 3-iii/>
47. <https://www.armyvoice.gr/2018/09/cn-235-ta-toyrkika-aeroskafi-gia-ilektroni/>
48. <https://defencereview.gr/ilektronikos-polemos-logi-tis-megalis-epichirisiakis-tou-axias-meros/>
49. <https://defencereview.gr/ilektronikos-polemos-ta-sygchrona-epichirisiaka-dedomena-meros-v/>
50. <https://defencereview.gr/systimata-ilektronikou-polemou-meros-g-giati-den-prokite-na-anaptychthoun-stin-ellada/>
51. <https://defencereview.gr/ilektronikos-polemos-kai-polemiki-ae/>
52. <https://defencereview.gr/protostatoy-n-ston-ilektroniko-polemo-i-rosia-kai-i-kina-epontai-oi-ipa/>

53. <http://amina-politiki.blogspot.com/2014/05/roussen-kilic-i-ii.html>
54. http://amina-politiki.blogspot.com/2014/04/blog-post_22.html
55. http://amina-politiki.blogspot.com/2014/07/blog-post_62.html
56. <https://www.slideshare.net/helissme/msag-20180613-3>
57. <https://olympia.gr/2019/07/27/%cf%83%cf%85%ce%bd%ce%b5%cf%87%ce%af%ce%b6%ce%bf%cf%85%ce%bd-%ce%bf%ce%b9-%cf%84%ce%bf%cf%8d%cf%81%ce%ba%ce%bf%ce%b9-%cf%84%ce%b9%cf%82-%cf%80%cf%81%ce%bf%ce%b5%cf%84%ce%bf%ce%b9%ce%bc%ce%b1%cf%83/#more-1043279>
58. <http://e-amyna.com/%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B1-ecm-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9-%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AF/>
59. <http://www.proelasi.org/%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%BA%CE%AF%CE%B1-%CF%84%CE%BF-uav-anka-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%BA%CF%84%CE%AC-%CE%B9%CE%BA%CE%B1%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B5%CF%82-sigint/>
60. https://www.ethnos.gr/ellada/25871_ta-toyrkika-drones-kamikazi-kostizoyn-akriba-stin-ellada
61. <https://www.viadiplomacy.gr/ta-programmata-eksigchronismou-tis-tourkikis-aeroporias-stous-tomis-tou-ip-ke-ton-uav-meros-iii/>
62. https://www.pronews.gr/koinonia/156430_giati-i-agkyra-stelnei-syneheia-kataskopeytika-epano-apo-aigaio
63. <http://amina-politiki.blogspot.com/2014/01/lintsigint.html>

Έντυπα με Χαρακτηριστικά Συστημάτων

1. VHF/UHF HAVE QUICK I-II, Aselsan
2. SRC 9671 V/UHF Naval, Aselsan
3. 9661 V/UHF Ground Radio Family, Aselsan
4. 9671 HF Naval/Fixed Radio, Aselsan
5. 9681 V/UHF Airborne Radio, Aselsan
6. 9681 HF Airborne Radio, Aselsan
7. ACAR Surveillance Radar Family, Aselsan

8. AKKOR Active Protection System, Aselsan
9. ALPER Naval LPI Radar, Aselsan
10. AN/ALR-56M Advanced RWR, BAE Systems
11. ARES 2N Naval Platform Radar ESM System, Aselsan
12. ASELFLIR-300T, Aselsan
13. ASELFLIR 300T, Aselsan
14. ASELOD Advanced Targeting Pod, Aselsan
15. CAFRAD Multifunctional Phased Array Radar, Aselsan
16. ACSR Advanced Coastal Surveillance Radar Family ELM-2226, Israel Aerospace Industries.
17. Multimode Airborne Fire Control Radar ELM-2032, Israel Aerospace Industries.
18. Helicopter Intergrated Defensive Aids System HIDAS, Leonardo Airborne & Space Systems.
19. Helicopter Electronic Warfare Self Protection System HEWS, Aselsan.
20. 9661 HF Ground Radio Family, Aselsan.
21. HISAR-A Air Defence Missile System, Aselsan
22. KALKAN Mobile Medium Altitude 3D Defense Radar, Aselsan.
23. LITENING III, RAFAEL Armament Development Authority Ltd.
24. MEHPOD Indigenous Electronic Warfare Pod, Aselsan.
25. MILKAR-4A2 HF Jamming System, Aselsan
26. PULAT Active Protection System
27. RDR-1700A Search, Surveillance and Weather Avoidance Radar System, Telephonics, Trusted Technology for a Tactical Advantage.
28. Roketsan Product Catalog
29. Sapan Active/Reactive Convoy Protection System, Aselsan.
30. SARPER Synthetic Aperture Radar, Aselsan.
31. SCORPION 2 RECM, Thales.
32. SERHAT Counter Mortar Radar, Aselsan.
33. SPEWS II EW Self Protection Suite, Aselsan.
34. SPIRALE Mirage 2000 Decoying and Missile Warning System, MBDA Systems.
35. SPS-1000V-5 Radar Warning System, ELBIT Systems.
36. STIR 2.4 HP, Thales.
37. STR Weapon Locating Radar System, Aselsan.
38. TASMUS Tactical Area Communications System, Aselsan.

39. SMART-S MK2, Thales.
40. TRC-3600, Thales.
41. SSB Turkish Defence Industry Product Catalogue, Presidency of Defence Industries.
42. TWLVIS Passive Radar, HENSOLDT.
43. US Flares, Esterline.
44. Underwater SIGINT, Elbit Systems.
45. TAYAS Tactical Local Area Network System, Aselsan.
46. F-16V The Most Advanced Multirole Fighter for Greece, Lockheed Martin Corporation.

Παρουσιάσεις

1. AESA, Prof. Yu-Jiu Wang, 22/9/2017, National Chiao Tung University.
2. Introduction to MTI Radar, 24/10/2017, Armin Doerry, Institute for Computational and Experimental Research in Mathematics.
3. Self-Protection for Helicopters, 14/9/2004, Bernard Hepp, Thales
4. Hidden in Plain Sight-The Secret History of Silicon Valley, 4/5/2019, Steve Blank.
5. Technology Systems Book, 2018, US Army Space and Missile Defence Command.
6. Radar Systems Engineering Lecture 11 Waveforms and Pulse Compression, 1/1/2010, Dr. Robert M. O'Donnell, IEEE.
7. The Future of Radar Electronic Warfare: Beyond Monostatic Radar Applications, 20/5/2019, Ioannis Vagias, Combat Air Survivability Conference.
8. US Countermeasures, September 2007, Chemring Group PLC.
9. Measurement Techniques for Radar and Electronic Warfare Applications, 2012, John Hansen, Agilent Aerospace & Defence.
10. Radar and RWR in the RAF, Professor Steve Roberts, Cranfield University & UK Defence Academy

Συντμήσεις Στην Ελληνική ΓλώσσαΑ

Α/Α : Αντιαεροπορικό
Α/Φ : Αεροσκάφος

Π

ΠΑ : Πολεμική Αεροπορία
ΠΝ : Πολεμικό Ναυτικό

Ε

ΕΔ : Ένοπλες Δυνάμεις
ΕΣ : Ελληνικός Στρατός
Ε/Π : Ελικόπτερο
Ε Ε/Π : Επιθετικό Ελικόπτερο

Σ

ΣΑΕ : Σύστημα Αεροπορικού Ελέγχου
ΣΔ : Σταθμός Διοικήσεως
Σ/Α : Σταθμός Ασυρμάτου

Η

ΗΔΜ : Ηλεκτρονική Διάταξη Μάχης
ΗΕ : Ηλεκτρονική Επίθεση
ΗΠ : Ηλεκτρονικός Πόλεμος
ΗΠΡ : Ηλεκτρονική Προστασία
ΗΥΠ : Ηλεκτρονική Υποστήριξη
Η/Μ : Ηλεκτρομαγνητικός
Η/Ο : Ηλεκτρο-οπτικό

Τ

ΤΕΔ : Τουρκικές ΕΔ
ΤΠΑ : Τουρκική Πολεμική Αεροπορία
ΤΠΚ : Τορπιλάκατος
ΤΠΝ : Τουρκικό Πολεμικό Ναυτικό

Υ

Υ/Β : Υποβρύχιο

Κ

Κ/Φ : Κανονιοφόρος

Μ

ΜΕΑ : Μη Επανδρωμένο Αερόχημα
μm : Μικρόμετρο

Ν

NM : Ναυτικά Μίλια

Συντμήσεις Στην Αγγλική Γλώσσα

A

AESA : Active ESA
ACLOS: Automatic CLOS
AGC : Automatic Gain Control
AM : Amplitude Modulation
APSK : Amplitude- Phase Shift-Key Modulation
ASK : Amplitude Shift-Key Modulation
A/D : Analog to Digital

B

BLOS : Beyond Line Of Sight
bps : Bits per Second
BW : Bandwidth

C

C2 : Command and Control
CFAR : Constant False Alarm Rate
CLOS : Command LOS
CoLOS: Command Off LOS
COMMINT : Communication Intelligence
CVR : Crystal Video Receiver
CW : Continuous Wave

D

dB : Decibel
DF : Direction Finding
DIRCM : Directional IR Counter Measures

DRFM : Digital Radio Frequency Memory

DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum

E

ECM : Electronic Countermeasures

ELINT : Electronic Intelligence

EMCON: Emission Control

EO : Electro-Optical

EOB : Electronic Order Of Battle

EP : Electronic Protection

EPM : Electronic Protective Measures

EW : Electronic Warfare

EWS : Electronic Warfare Support

ESA : Electronically Scanned Array

ESM : Electronic Support Measures

F

FDOA : Frequency Difference of Arrival

FH : Frequency Hopping

FHSS : Frequency Hopping Spread Spectrum

FLIR : Forward Looking IR

FM : Frequency Modulation

FMCW : Frequency Modulated Continuous Wave

FSK : Frequency Shift Key

G**GHz** : Giga-Hertz**GPS** : Global Position System**H****HARM** : High Speed Anti-Radiation
Missile**HF** : High Frequency**Hz** : Hertz**I****IFM** : Instantaneous Frequency
Measurement**IR** : Infrared**ISAR** : Inverse Synthetic Aperture
RADAR**K****KHz** : Kilo-Hertz**L****LASER** : Light Amplification by Stimu-
lated Emission of Radiation**LOS** : Line Of Sight**LPI** : Low Probability of Intercept**LWR** : Laser Warning Receivers**LANTIRN**: Low Altitude Navigation &
Targeting Infrared for Night**M****MCP** : Micro-channel Plate**MCLOS**: Manual CLOS**MHz** : Mega-Hertz**MTI** : Moving Target Indicator**MWR** : Missile Warning Receiver**N****nm** : Nautical Miles**O****OBOE** : Observation Bombing Over
Enemy**P****PAM** : Pulse Amplitude Modulation**PESA** : Passive ESA**PD** : Pulse Doppler**PM** : Phase Modulation**PPM** : Pulse Position Modulation**pps** : Pulse Per Second**PRF** : Pulse Repetition Frequency**PRI** : Pulse Repetition Interval**PRT** : Pulse Repetition Time**PSK** : Phase Shift Key**PW** : Pulse Width**PWM** : Pulse Width Modulation**Q****QAM** : Quadrature Amplitude Mod-
ulation**QFM** : Quadrature Frequency Mod-
ulation**R****RADAR**: Radio Detection And Rang-
ing**RAF** : Royal Air Force**RCS** : RADAR Cross Section

RGPI : Range Gate Pull In

RGPO : Range Gate Pull Out

RRC : Radar Resolution Cell

RWR : Radar Warning Receiver

V

VHF : Very High Frequency

VGPI : Velocity Gate Pull In

VGPO : Velocity Gate Pull Out

VLO : Very Low Observable

S

SAR : Synthetic Aperture RADAR

SATURN: Second Generation Anti-Jam
Tactical UHF Radio for NATO

SEAD : Suppression of Enemy Air
Defence

SIGINT : Signal Intelligence

SLAR : Sidelooking airborne RA-
DAR

SMCLOS: Semi Manual CLOS

SNR : Signal to Noise Ratio

SS : Spread Spectrum

T

TDOA : Time Difference of Arrival

TH : Time Hopping

THSS : Time Hopping Spread Spec-
trum

TRM : Transmit/Receive Module

TWS : Track While Scan

TWT : Traveling Wave Tube

TVM : Track Via Missile

U

UAV : Unmanned Air Vehicle

UCAV : Unmanned Combat Air Vehi-
cle

UHF : Ultra High Frequency

UV : Ultra Violet