

INTRODUCTION

LEARNING OBJECTIVES

Μελετώντας το συγκεκριμένο κεφάλαιο, θα είστε ικανός/ ικανή να:

- Κατανοήσετε τη φυσική έννοια των όρων “range,” “bearing,” and “altitude” και πως αυτοί σχετίζονται με το radar.
- Εξηγήσετε τις 2 βασικές μεθόδους εντοπισμού με radar.
- Αναγνωρίσετε και εξηγήσετε τη χρήση του βασικού εξοπλισμού που βρίσκεται σε κάθε radar.
- Αναγνωρίσετε και να εξηγήσετε την χρήση των τεσσάρων τύπων στρατιωτικών συστημάτων radar (military radar systems).
- Αναγνωρίσετε και να εξηγήσετε τις τρεις φάσεις του radar πυροβολικού (fire-control radar).
- Αναγνωρίσετε συστήματα radar εν χρήσει από το ΠΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο αυτό πραγματεύεται βασικές αρχές θεωρίας radar και αρχιτεκτονικής συστημάτων radar, στο βαθμό που σχετίζονται με τη διεύθυνση βολής. Ως Αξιωματικός Οπλισμού, και επόπτης των Υπαξιωματικών χειριστών συσκευών, θα πρέπει να κατανοείτε τόσο τις βασικές αρχές όσο και τις συναφείς διατάξεις ασφαλείας για προληπτική και κατασταλτική συντήρηση. Περαιτέρω τεχνικές πληροφορίες παρέχονται στο Navy Electricity and Electronics Training Series (NEETS), especially Module 18, *Radar Principles*, NAVEDTRA 14190, and in *Electronics Installation and Maintenance Book, Radar*, NAVSEA SE000-00-EIM-020. Εκκινώντας από τη βασική γνώση θεωρίας, και συνδυάζοντάς την τακτικά με τα κατά περίπτωση τεχνικά και τακτικά εγχειρίδια, μπορείτε να ενισχύσετε τις γνώσεις και την αντίληψή σας για το σύνθετο αντικείμενο που καλείται πυροβολική.

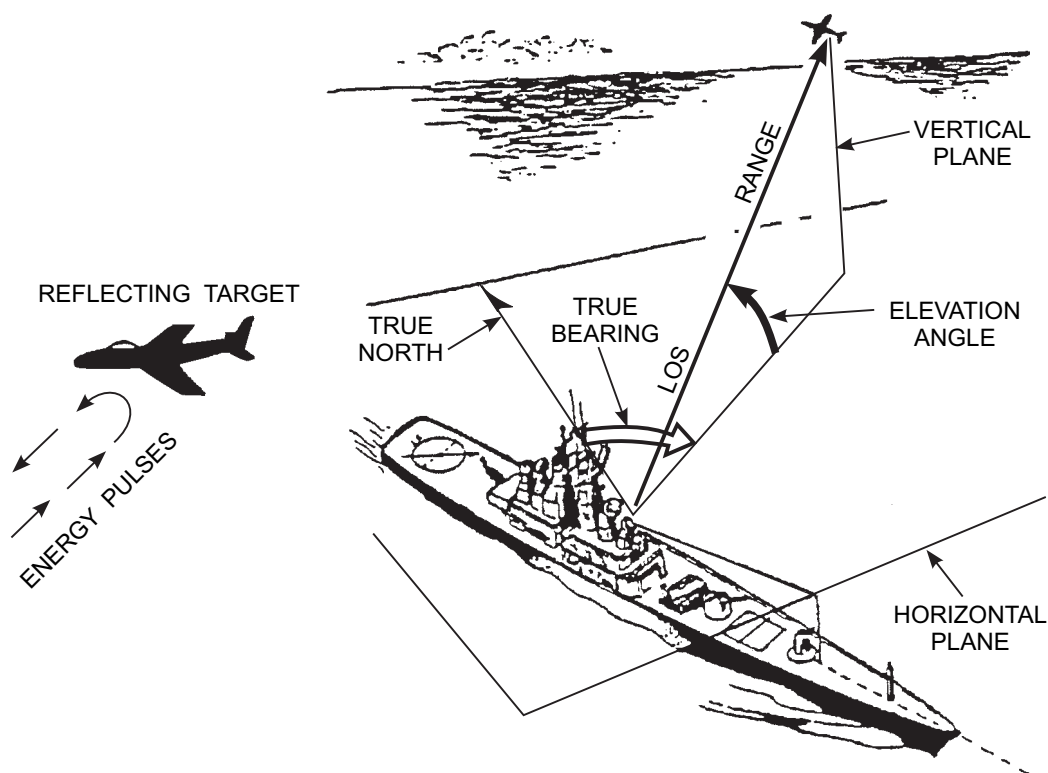
Το κεφάλαιο δεν έχει σχεδιαστεί με σκοπό τη διδασχή όλων των συστημάτων radar που χρησιμοποιεί το ΠΝ, αλλά κατά τρόπο ώστε να εξοικειώσει τον αναγνώστη με τα κύρια χαρακτηριστικά και τις θεμελιώδεις λειτουργίες αυτών. Λόγω της πανσπερμίας συστημάτων, περιγράφονται μόνο τα radar και τα περιφερειακά αυτών που εκτιμάται ότι θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται για αρκετά χρόνια ακόμη, κι εκ τούτου, δεν εξετάζονται παλαιότερα

συστήματα ή συστήματα που είναι σε χρήση αλλά η επιχειρησιακή αξία τους τα καθιστά απαρχαιωμένα. Για ακριβή περιγραφή της λειτουργίας (operation) και συντήρησης (maintenance) ανατρέξτε στην επίσημη τεχνική βιβλιογραφία του συγκεκριμένου συστήματός σας.

BASIC RADAR CONCEPTS

Ο όρος *radar* είναι ακρωνύμιο συντιθέμενο από τις λέξεις *radio*, *detection*, και *ranging*. Αποτελεί βασικό ηλεκτρονικό σύστημα ηλεκτρομαγνητικού εντοπισμού (detect) και παρακολούθησης (tracking) ακίνητων και κινητών στόχων, σε αποστάσεις και συνθήκες φωτισμού απαγορευτικές για τον απευθείας οπτικό εντοπισμό, δηλαδή με το ανθρώπινο μάτι ή και οπτικά όργανα.

Για το εύρος συχνοτήτων που εκπέμπουν τα radar, η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια δεν επηρεάζεται από το σκότος, μπορεί, όμως να επηρεαστεί από τις καιρικές συνθήκες ανάλογα, με τη συχνότητά της εκάστοτε εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Η επεξεργασία του ανακλώμενου στο στόχο ηλεκτρομαγνητικού σήματος επιτρέπει στα συστήματα ραντάρ να προσδιορίζουν τις θέσεις των πλοίων, των αεροπλάνων και των μαζών της γης που είναι αόρατες με γυμνό μάτι εξαιτίας της απόστασης, του σκότους ή καιρικών συνθηκών. Τα συστήματα ραντάρ παρέχουν μόνο ένα περιορισμένο οπτικό πεδίο και απαιτούν συστήματα συντεταγμένων αναφοράς για τον καθορισμό των θέσεων των εντοπισμένων αντικειμένων. Οι γωνιακές μετρήσεις (*angular measurements*) του ραντάρ πραγματοποιούνται κατά τη φορά των δεικτών του ωρολογίου με αρχή είτε τον αληθή βορρά, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-1, είτε τη γραμμή του πλοίου. Προφανώς, το ραντάρ βρίσκεται στο κέντρο αυτού του συστήματος συντεταγμένων.



Εικόνα 1 Radar-surface angular measurements

Ο πίνακας 1 ορίζει τους βασικούς όρους που χρησιμοποιούνται στο σχήμα 1-1, οι οποίοι πρέπει να γίνουν αντιληπτοί ώστε να κατανοηθεί το σύστημα συντεταγμένων.

Όρος	Έννοια
Energy pulses	Οι ηλεκτρομαγνητικοί παλμοί που εκπέμπει και λαμβάνει το radar
Reflecting target	Ο στόχος αέρος ή επιφανείας επί του οποίου προσπίπτουν και ανακλώνται οι παλμοί του radar
True north	Η κατεύθυνση των μεσημβρινών προς Βορρά
True bearing/azimuth	Η γωνία που σχηματίζει ο στόχος με το πλοίο, μετρούμενο κατά τη φορά κίνησης των δεικτών του ρολογιού από τον αληθή βορρά στο οριζόντιο επίπεδο
Line-of-sight range	Η απόσταση που χωρίζει σε ευθεία γραμμή το radar και το στόχο
Vertical plane	Όλες οι γωνίες κατά την άνωθεν κατεύθυνση, μετρούμενες σε ένα φανταστικό πεδίο (secondary imaginary plane).

Elevation angle	Η γωνία μεταξύ του οριζοντίου επιπέδου και της LOS.
Horizontal plane	Η επιφάνεια της γης, που για τις αποστάσεις βολής θεωρείται επίπεδη και κάθετη στην ακτίνα της

RADAR MEASUREMENTS

Ως προαναφέρθηκε, το radar χρησιμοποιείται προκειμένου να προσδιοριστούν η απόσταση, η σχετική θέση και το ύψος ενός στόχου. Αυτά τα τρία στοιχεία, είναι γνωστά με τους όρους range, bearing και altitude και η χρήση αυτή της τυποποιημένης ορολογίας επιτρέπει στο εμπλεκόμενο προσωπικό να καθορίζει με ακρίβεια και χωρίς παρανοήσεις τη θέση ενός στόχου. Οι χειριστές radar (Radar operators) προσδιορίζουν τα στοιχεία θέσης ενός στόχου αναγιγνώσκοντας την ηχώ του σε έναν κατάλληλα διαμορφωμένο ενδείκτη, γνωστό ως PPI (plan position indicator) ή LPD (Label Plan Display). Ενώ τα περισσότερα radar χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό στόχων, μερικοί τύποι αυτών χρησιμοποιούνται για τον προσανατολισμό των πυροβόλων προς τον στόχο (βλ διεύθυνση βολής-FC Radar), για την κατεύθυνση κατευθυνομένων βλημάτων προς τον στόχο, για έρευνα μακρινών αποστάσεων (long-distance surveillance), καθώς και για ναυτιλιακές πληροφορίες.

Τα στοιχεία της απόστασης και της διόπτευσης είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό της κίνησης του στόχου. Ένας καλός χειριστής radar, πρέπει να γνωρίζει τις δυνατότητες και περιορισμούς που έχει το σύστημά του όσον αφορά στη μέτρηση και στον προσδιορισμό των στοιχείων απόστασης, διόπτευσης και ύψους

Range

Η μέτρηση του εύρους (ή της απόστασης) μέσω του ραντάρ είναι εφικτή λόγω των ιδιοτήτων της ακτινοβολούμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Αυτή η ενέργεια διαδίδεται στο χώρο σε ευθεία γραμμή, με σχεδόν σταθερή ταχύτητα, με ανεπαίσθητες διαφοροποιήσεις λόγω των ατμοσφαιρικών και καιρικών συνθηκών. Η συχνότητα της ακτινοβολούμενης ενέργειας δίνει στο σύστημα ραντάρ δύο μεγέθη που χαρακτηρίζουν την απόδοσή του: την ελάχιστη αποτελεσματική απόσταση εντοπισμού (minimum effective range) και τη μέγιστη αποτελεσματική απόσταση εντοπισμού (maximum effective range)

MINIMUM RANGE.

Οι radar duplexers εναλλάσσουν την κεραία μεταξύ του πομπού και του δέκτη, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία κεραία για αμφότερες τις λειτουργίες εκπομπής και λήψης. Ο χρονισμός της εναλλαγής είναι πολύ κρίσιμος για τη λειτουργία του ραντάρ και επηρεάζει άμεσα την ελάχιστη εμβέλεια εντοπισμού. Αυτό συμβαίνει γιατί ο ανακλώμενος παλμός μιας ακολουθίας εκπομπών δεν θα ληφθεί κατά τη διάρκεια που το radar εκπέμπει. Έτσι, η ελάχιστη απόσταση εντοπισμού ενός ραντάρ είναι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ της κεραίας του radar και ενός στόχου στον οποίο μπορεί να εκπεμφθεί ένας παλμός από τον πομπό του radar, να ανακλαστεί επ' αυτού και να ληφθεί από τον δέκτη του. Εάν η κεραία είναι πιο κοντά στο στόχο από την ελάχιστη εμβέλεια του ραντάρ, οποιοσδήποτε παλμός αντανακλάται στο στόχο θα επιστρέψει προτού ο duplexer ενεργοποιήσει το δέκτη (λειτουργία λήψης) και συνεπώς δε θα γίνει αντιληπτός

MAXIMUM RANGE.

Η μέγιστη εμβέλεια ενός συστήματος παλμικού ραντάρ εξαρτάται από τη συχνότητα του φέροντος κύματος (carrier frequency), από τη μέγιστη ισχύς του μεταδιδόμενου παλμού, από τη συχνότητα ή ρυθμό επανάληψης παλμών (PRF ή (PRR), και την ευαισθησία του δέκτη, με τον PRF / PRR να συνιστά τον κύριο περιοριστικό παράγοντα. Η μέγιστη ισχύς ενός παλμού καθορίζει πόσο μακριά μπορεί να διαδοθεί ο παλμός καθώς λόγω εξασθένησης, η τιμή που τελικά επιστρέφει στο δέκτη πρέπει να υπερβαίνει ένα κατώφλι ενεργοποίησης (threshold). Μια χρησιμοποιήσιμη echo είναι το ασθενέστερο σήμα που ένας δέκτης μπορεί να εντοπίσει, να επεξεργαστεί και να παρουσιάσει σε μια οθόνη. Το PRR καθορίζει την ταχύτητα με την οποία ο ενδείκτης απόστασης (range indicator) επαναφέρεται στο μηδέν. Καθώς κάθε παλμός εκκινεί τη διαδρομή του στο χώρο, η χρονική βάση του ενδείκτη που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ανακλώμενης ηχούς μηδενίζεται (reset) και εμφανίζεται μια νέα σάρωση στην οθόνη.

RANGE ACCURACY.

Το σχήμα και το πλάτος του ηλεκτρομαγνητικού παλμού (RF) επηρεάζουν το ελάχιστο, το μέγιστο και την ακρίβεια της μέτρησης απόστασης. Το ιδανικό σχήμα παλμού είναι ένα τετράγωνο κύμα που έχει κατακόρυφα άκρα προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Η κατακόρυφη άκρη παρέχει το σημείο αναφοράς από το οποίο μετράται ο χρόνος που έχει περάσει στον ενδείκτη (indicator time base). Μια κεκλιμένη άκρη (sloping trailing edge) παρατείνει το μήκος παλμού. Ένα κεκλιμένο πρόσθιο άκρο (sloping leading edge) δεν παρέχει κανένα σημείο αναφοράς από το οποίο να μετράται ο χρόνος. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόσταση είναι το ύψος της κεραίας, το εύρος δέσμης (beamwidth) και ο ρυθμός περιστροφής. Μια υψηλότερη κεραία θα δημιουργήσει έναν μεγαλύτερο ορίζοντα ραντάρ, επιτρέποντας μεγαλύτερο εύρος ανίχνευσης. Μια κεραία με στενό εύρος δέσμης παρέχει μεγαλύτερη εμβέλεια, καθώς παρέχει πιο συγκεντρωμένη δέσμη με μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα επιφάνειας. Μια πιο αργή ταχύτητα περιστροφής της κεραίας, που παρέχει περισσότερους μεταδιδόμενους παλμούς κατά τη διάρκεια της σάρωσης, επιτρέπει στη δέσμη ενέργειας να χτυπά κάθε στόχο περισσότερες φορές, παρέχοντας ισχυρότερες αποδόσεις ηχώ και μεγαλύτερο εύρος ανίχνευσης.

Τα ανωτέρω δεδομένα δίνουν στο χειριστή το στοιχείο της απόστασης του στόχου. Απομένουν τα δεδομένα που προσδιορίζουν τη θέση του στόχου σε σχέση με το πλοίο.

Bearing

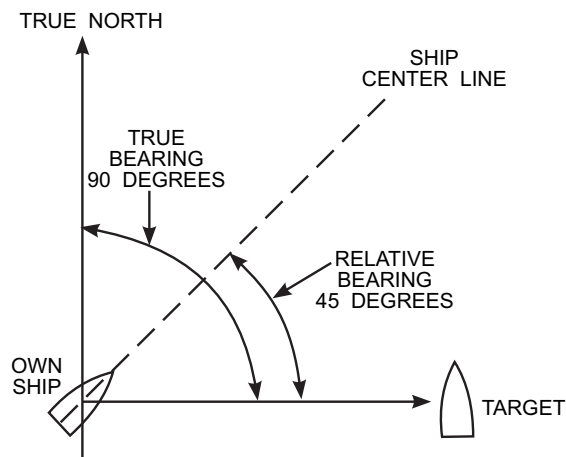
Η διόπτευση του στόχου, καθορίζεται από την ένταση του σήματος της ηχώ καθώς ο λοβός ενέργειας διέρχεται από το στόχο. Δεδομένου ότι οι κεραίες των ραντάρ ερεύνης κινούνται συνεχώς, το σημείο μέγιστης απόδοσης ηχώ (maximum echo return) καθορίζεται είτε από το κύκλωμα ανίχνευσης καθώς η δέσμη διέρχεται από τον στόχο είτε οπτικά από τον χειριστή. Οι κεραίες των ραντάρ ελέγχου βολής είναι τοποθετημένες στο σημείο της μέγιστης επιστροφής σήματος και διατηρούνται στη θέση αυτή με κυκλώματα αυτόματης παρακολούθησης. Πρέπει να γνωρίζετε δύο τύπους διόπτευση: την αληθή και τη σχετική.

TRUE BEARING

Αληθής διόπτευση καλείται η γωνία μεταξύ του αληθινού βορρά και της γραμμής που ενώνει το πλοίο με τον στόχο. Αυτή η γωνία μετράται στο οριζόντιο επίπεδο εκκινώντας από τον αληθινό βορρά και κατά τη φορά των δεικτών του ωρολογίου.

RELATIVE BEARING.

Σχετική διόπτευση καλείται η γωνία μεταξύ της κεντρικής γραμμής (ship center line-CL) του πλοίου και της γραμμής που ενώνει το πλοίο με τον στόχο. Αυτή η γωνία μετράται δεξιόστροφα από την πλώρη. Τα περισσότερα ραντάρ ερεύνης επιφανείας παρέχουν μόνο πληροφορίες σχετικά απόστασης και διόπτευσης.



Εικόνα 2: Αληθείς και σχετικές διοπτύσεις

Altitude

Ο προσδιορισμός του ύψους ενός στόχου αέρος γίνεται από συστήματα radar με πολύ στενή δέσμη εκπομπής, η οποία εκτελεί σάρωση καθ' ύψωση στο κατακόρυφο επίπεδο. Η σάρωση της δέσμης λαμβάνει χώρα είτε μηχανικά (με περιστροφή του φορέα/κεραίας, όπως στα TWS radar) είτε ηλεκτρονικά (όπως στα radar διάταξης φάσης-phased array radar). Τα περισσότερα ραντάρ ερεύνης χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές τεχνικές σάρωσης ανύψωσης. Ορισμένα παλαιότερα συστήματα ραντάρ αέρος εκτελούν μηχανικά τη σάρωση καθ' ύψος, αλλά η σύγχρονη τάση είναι τα ηλεκτρονικά συστήματα ραντάρ σάρωσης.

RADAR TRANSMISSION METHODS

Τα συστήματα ραντάρ χωρίζονται συνήθως σε δύο λειτουργικές κατηγορίες (σκοπούς) με βάση τη μέθοδο με την οποία διαδίδουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος, με εύρος εφαρμογών που εκτείνεται από ναυτιλία/πλοήγηση έως διεύθυνση βολής όπλων, είναι η μέθοδος διαμόρφωσης παλμών (pulse modulation). Η άλλη μέθοδος είναι η εκπομπή συνεχούς κύματος (CW), η οποία βρίσκει εφαρμογή σχεδόν αποκλειστικά στην κατεύθυνση των κατευθυνομένων βλημάτων.

Pulse Modulation

Στη μέθοδο διαμόρφωσης παλμών, το ραντάρ μεταδίδει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μέσω σύντομων, ισχυρών παλμών και στη συνέχεια σταματά και περιμένει την ηχώ επιστροφής. Με τη μέτρηση του χρόνου που έχει παρέλθει μεταξύ του τέλους του μεταδιδόμενου παλμού και της ανακλώμενης στο στόχο ηχούς, το ραντάρ μπορεί να υπολογίσει ένα εύρος τιμών. Τα παλμικά ραντάρ χρησιμοποιούν μία κεραία τόσο για μετάδοση όσο και για λήψη. Ενώ ο πομπός στέλνει τον παλμό υψηλής ισχύος RF, η κεραία συνδέεται με τον πομπό μέσω ενός ειδικού διακόπτη που ονομάζεται duplexer: μόλις σταματήσει η εκπομπή, ο duplexer μεταφέρει την κεραία στον δέκτη. Το χρονικό διάστημα μεταξύ εκπομπής και λήψης του παλμού επεξεργάζεται από κατάλληλα κυκλώματα/ λογισμικό δίνοντας την απόσταση του στόχου. Τα παλμικά radar μπορούν επίσης να τροποποιηθούν για να εκμεταλλευτούν το φαινόμενο Doppler προκειμένου να εντοπίσουν ένα κινούμενο στόχο. Το Πολεμικό Ναυτικό χρησιμοποιεί εκτενώς παλμικά radar.

Continuous Wave

Στα radar συνεχούς ακτινοβολίας ο πομπός εκπέμπει συνεχώς ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Δεδομένου ότι αυτή η δέσμη ενέργειας RF είναι "πάντα ανοιχτή", ο δέκτης χρειάζεται ξεχωριστή κεραία. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η ακριβής μέτρηση απόστασης είναι αδύνατη επειδή δεν υπάρχει συγκεκριμένος "χρόνος διακοπής".

Αυτό όμως μπορεί να ξεπεραστεί με τη ρύθμιση της συχνότητας εκπομπής: διαμορφώνοντας την εκπεμπόμενη ακτινοβολία κατά συχνότητα (FM-CW), είναι εφικτός ο προσδιορισμός απόστασης στόχου μετρώντας τη διαφορά μεταξύ της συχνότητας εκπομπής και λήψης (φαινόμενο Doppler). Η μέθοδος CW βρίσκει ευρύτατη εφαρμογή στα radar διευθύνσεως βολής κατευθυνομένων βλημάτων για το φωτισμό στόχων .

RADAR SYSTEM ACCURACY

Για να είναι αποτελεσματικό, ένα σύστημα ραντάρ πρέπει να παρέχει ακριβείς ενδείξεις. Δηλαδή, πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσει και να παρουσιάσει την ορθή απόσταση, διόπτευση και –όπου είναι εφικτό– ύψωση ενός στόχου. Ο βαθμός ακρίβειας καθορίζεται κυρίως από δύο παράγοντες: την ανάλυση (resolution) του συστήματος ραντάρ και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες

Range Resolution

Range resolution είναι η ικανότητα ενός ραντάρ να διακρίνει μεταξύ δύο στόχων που βρίσκονται επί της ίδιας διόπτευσης (δηλαδή στην ίδια δέσμη ακτινοβολίας), αλλά σε ελαφρώς διαφορετικές περιοχές. Ο βαθμός της διακριβωτικής ικανότητας κατ' απόσταση εξαρτάται από το εύρος του παλμού εκπομπής, τους τύπους και τα μεγέθη των στόχων και την απόδοση του δέκτη και του ενδείκτη (πώς απεικονίζεται στην οθόνη).

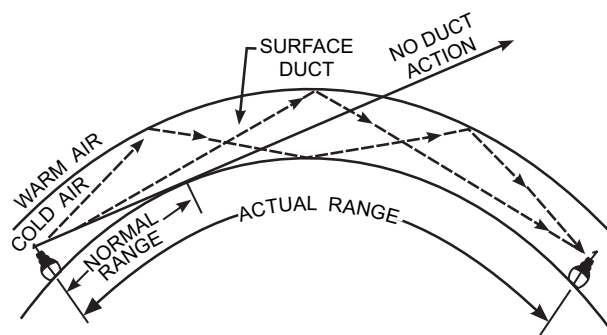
Bearing Resolution

Διακριβωτική ικανότητα κατά διόπτευση είναι η ικανότητα ενός ραντάρ να διαχωρίζει αντικείμενα στην ίδια απόσταση, αλλά σε ελαφρώς διαφορετικές διοπτεύσεις. Το μέτρο της εξαρτάται από το εύρος δέσμης (εύρος λωβού) και την απόσταση των στόχων. Το φυσικό μέγεθος και το σχήμα της κεραίας καθορίζει τις φυσικές διαστάσεις της δέσμης. Για να είναι διακριτοί, δύο στόχοι στην ίδια απόσταση πρέπει να διαχωρίζονται τουλάχιστον κατά μέγεθος ίσο με ένα εύρος δέσμης.

Atmospheric Conditions

Πολλές συνθήκες εντός της ατμόσφαιρας επηρεάζουν στην απόδοση του ραντάρ. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι η αναστροφή της θερμοκρασίας (temperature inversion), η υγρασία, τα σταγονίδια νερού και τα σωματίδια σκόνης. Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και η περιεκτικότητά της σε υδρατμούς (υγρασία) μειώνονται όσο αυξάνεται το υψόμετρο. Υπάρχουν, ωστόσο, ορισμένες συνθήκες υπό τις οποίες η θερμοκρασία μπορεί πρώτα να αυξηθεί με το ύψος και στη συνέχεια να αρχίσει να μειώνεται. Μια τέτοια κατάσταση ονομάζεται αντιστροφή θερμοκρασίας. Μια ακόμη πιο σημαντική απόκλιση από το φυσιολογικό μπορεί να εμφανιστεί πάνω από μεγάλες ωκεάνιες μάζες, όπου ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να περιέχει περισσότερο από το κανονικό ποσότητα υγρασίας. Στις περιπτώσεις αυτές, η περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς μπορεί να μειωθεί ακόμη πιο δραστικά ακριβώς πάνω από τη θάλασσα. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως *moisture lapse*.

Τα παραπάνω φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές αλλαγές στον δείκτη διάθλασης των χαμηλότερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, κάμπτοντας τα κύματα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει το ραντάρ. Η κάμψη αυτή, που αναφέρεται ως *ducting*, μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την απόδοση του ραντάρ, αυξάνοντας ή μειώνοντας την εμβέλειά του, ανάλογα με την κατεύθυνση στην οποία κάμπτονται τα κύματα των ραντάρ. Το φαινόμενο ducting απεικονίζεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3: Φαινόμενο duct στο κύμα το radar

Η ύπαρξη σταγονιδίων νερού και σωματιδίων σκόνης προκαλεί διάχυση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας του radar μέσω απορρόφησης (absorption), αντανάκλασης

(reflection) και σκέδασης (scattering). Αυτό απομειώνει την ενέργεια που τελικά φτάνει και ανακλάται στον στόχο, με αποτέλεσμα η ηχώ επιστροφής είναι μικρότερη, και κατ' επέκταση, η απόσταση εντοπισμού να μειώνεται. Ως γενικός κανόνας, όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα εκπομπής του ραντάρ, τόσο περισσότερο επηρεάζεται η εμβέλειά του από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Other Factors

Λοιποί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του radar είναι η ικανότητα του χειριστή, το μέγεθος, σύνθεση, έγκλιση και ύψωση του στόχου, η παρουσία ηλεκτρονικών ανιμετρων, η λειτουργική του κατάσταση (ως απόρροια σωστής προγραμματισμένης συντήρησης) και οι καιρικές συνθήκες.

BASIC RADAR SYSTEMS

Όπως όλα τα σύνθετα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα, έτσι και τα συστήματα radar αποτελούνται από πολυάριθμα υποσυστήματα και αυτόνομα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Παρά το γεγονός ότι τα μοντέρνα radar είναι ιδιαίτερα σύνθετα, η λειτουργία τους μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή εκκινώντας από το block diagram ενός παλμικού radar

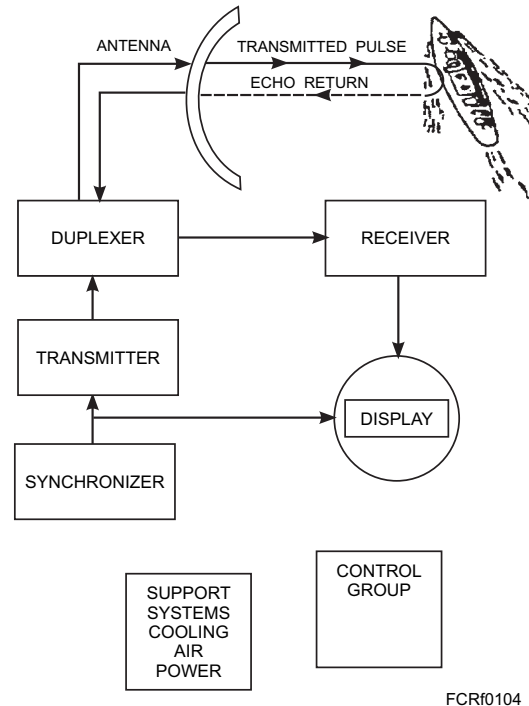
FUNDAMENTAL (PULSE) RADAR SYSTEM

Μιας και η συντριπτική πλειοψηφία των συστημάτων radar συνιστά κάποια παραλλαγή του παλμικού, σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε τα βασικά συστατικά στοιχεία και υποσυστήματα που χρησιμοποιεί το παλμικό radar. Οι λοιποί τύποι radar χρησιμοποιούν και αυτοί παραλλαγές των ίδιων υποσυστημάτων, όπως φαίνονται στην εικόνα 4.

Synchronizer

Η καρδιά του συστήματος radar είναι ο *synchronizer*, που παράγει τους απαιτούμενους παλμούς χρονισμού για τον πομπό, τα κυκλώματα ένδειξης σάρωσης (indicator sweep

circuits) και τα κυκλώματα υπολογισμού απόστασης (ranging circuits). Ανάλογα με τον τύπο του χρονισμού, ταξινομούνται σε *self-synchronized* και *externally synchronized*. Στους *self-synchronized* η παραγωγή των ηλεκτρομαγνητικών παλμών λαμβάνει χώρα μέσα στον πομπό. Στους *externally -synchronized* το ρολό αυτό αναλαμβάνει κάποιος κεντρική μονάδα ταλάντωσης εκτός του πομπού η οποία καλείται master oscillator (συνήθως modulator or thyatron).



Εικόνα 4: Basic Radar Block diagram

Transmitter

Ο πομπός παράγει ισχυρούς παλμούς ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Η απαιτούμενη ισχύς για κάθε παλμό δημιουργείται είτε αυτόνομα μέσω έναν ταλαντωτή μικροκυμάτων υψηλής ισχύος (λυχνία magnetron), είτε ενισχύοντας τα μικροκύματα μιας πηγής χαμηλής ισχύος RF με κατάλληλη διάταξη (πχ klystron).

Duplexer

Ο duplexer είναι ένας ηλεκτρονικός διακόπτης που επιτρέπει στο σύστημα ραντάρ να χρησιμοποιεί μία κοινή κεραία για εκπομπή και λήψη, αποσυνδέοντας την κεραία από το δέκτη και συνδέοντάς την στον πομπό καθ' όλη τη διάρκεια εκπομπής του ηλεκτρομαγνητικού παλμού. Ο χρόνος εναλλαγής (switching time) ονομάζεται *receiver recovery time*.

Receiver

Ο δέκτης δέχεται τις αδύναμες επιστροφές ηχώ RF από το σύστημα κεραίας και μεταφέρει τους ενισχυμένους παλμούς στην οθόνη ως διακριτά σήματα βίντεο. Επειδή οι συχνότητες των ραντάρ είναι πολύ υψηλές και είναι δύσκολο να ενισχυθούν, χρησιμοποιείται ένας υπερετερόδυνος δέκτης (superheterodyne receiver) για να τις υποβιβάσει σε μια χαμηλότερη ενδιάμεση συχνότητα (IF), η οποία είναι ευκολότερο να ενισχυθεί.

Displays- Ενδείκτες

Η πλειοψηφία των radar πυροβολικού έχουν μία ή περισσότερες οθόνες για να απεικονίζουν στον χειριστή πληροφορίες σχετικά με την περιοχή έρευνας και τον στόχο ή τους στόχους που παρακολουθούνται. Η συνήθης απεικόνιση παρέχει ένα συνδυασμό εμβέλειας, διόπτρευσης και (σε ορισμένες περιπτώσεις) ύψους του στόχου. Ορισμένες οθόνες παρέχουν ανεπεξέργαστα δεδομένα με τη μορφή του σήματος από τον δέκτη ραντάρ, ενώ άλλα παρέχουν επεξεργασμένες πληροφορίες με τη μορφή συμβολικών και αλφαριθμητικών. Το σχήμα 5 δείχνει τέσσερις βασικούς τύπους οθονών. Υπάρχουν και άλλες παραλλαγές, αλλά αυτοί είναι οι κύριοι τύποι που συναντώνται στα συστήματα διεύθυνσεως βολής και στα radar 3-D.

Ενδείκτης τύπου A- TYPE A.

Η σάρωση τύπου A ή σάρωση εύρους εμφανίζει τους στόχους ως παλμούς, με την απόσταση από την αριστερή πλευρά του ίχνους να αντιπροσωπεύει το εύρος. Οι μεταβολές στο πλάτος

του στόχου προκαλούν αντίστοιχες αλλαγές στο εμφανιζόμενο πλάτος παλμού. Όταν χρησιμοποιείται με δείκτες κινούμενων στόχων (MTI) ή ραντάρ παλμικού Doppler, η οθόνη μπορεί να είναι διπολικό βίντεο (bipolar video)

Ενδείκτης τύπου B- TYPE B

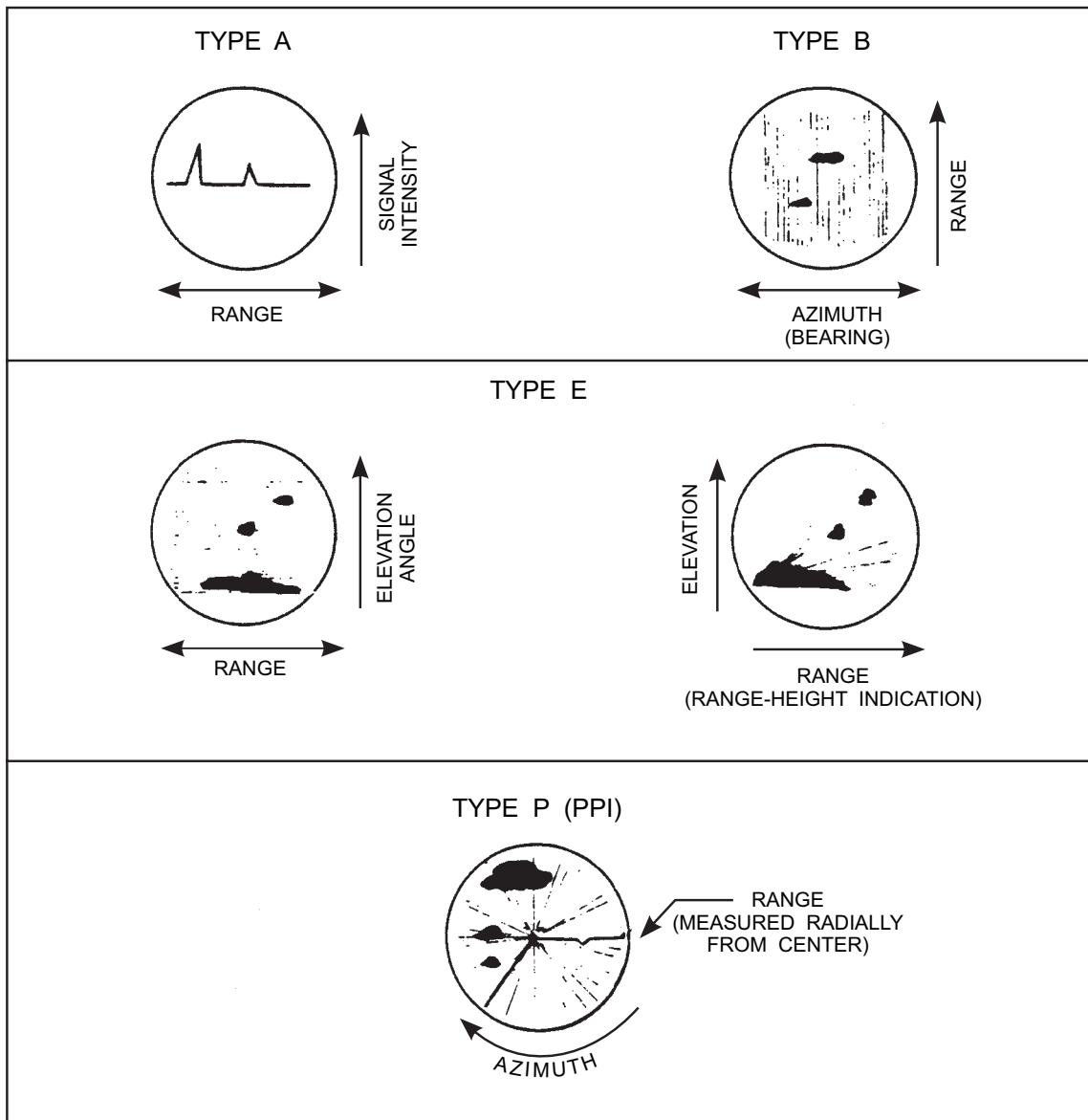
Η σάρωση τύπου B ή σάρωση διόπτευσης (bearing sweep) βρίσκει εφαρμογή κυρίως στα radar διεύθυνσης βολής και χρησιμοποιείται στις βολές επιφανείας για να εντοπίσει τις πτώσεις των βλημάτων.

Ενδείκτης τύπου E- TYPE E

Οι ενδείκτες αυτού τύπου εμφανίζονται σε δύο παραλλαγές, όπως στην εικόνα 5, και παρέχουν πληροφορίες εύρους και ύψος ενός στόχου. Συνήθως συνδέονται με ραντάρ ανεύρεσης ύψους και χρησιμοποιούνται γενικά για τον προσδιορισμό μόνο του ύψους ή της γωνίας ανύψωσης. Η απόσταση του στόχου προσδιορίζεται είτε από την επεξεργασία ή από έτερο ενδείκτη τύπου P.

Ενδείκτης τύπου P- TYPE P

Αυτή η οθόνη συνήθως ονομάζεται PPI (Plan Position Indicator). Το ίδιο το πλοίο είναι συνήθως το κέντρο, και η απόσταση μετράται ακτινικά από αυτό. Ο PPI μπορεί να εμφανίσει ακατέργαστο σήμα βίντεο (raw video) ή συμβολισμό και αλφαριθμητικά (βλ. NTDS) ή και τα δύο.



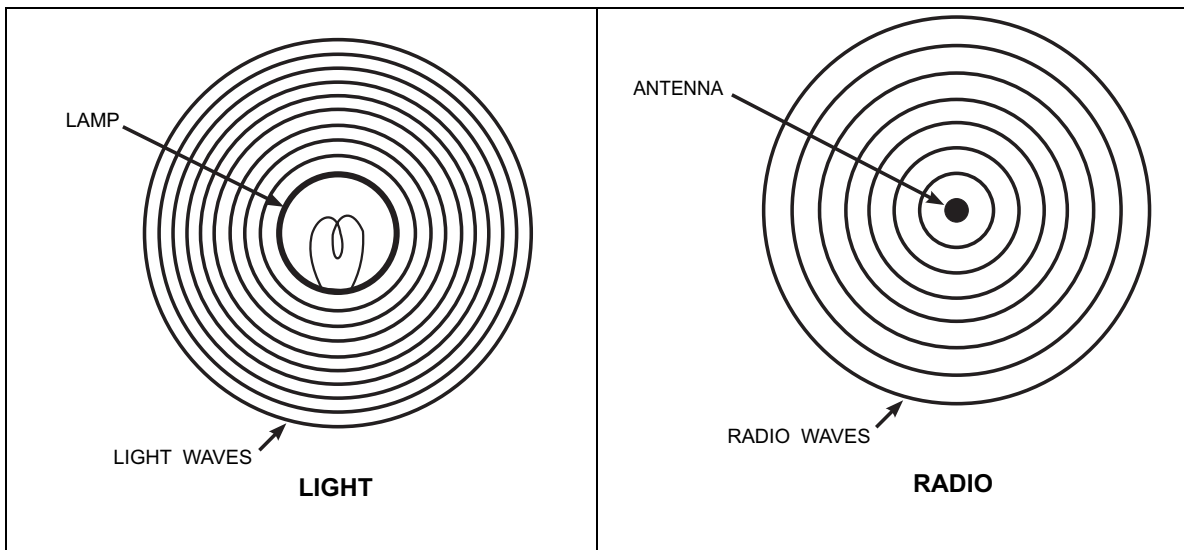
Εικόνα 5: Τύποι ενδεικτών radar

Antenna System

Το σύστημα κεραίας οδηγεί τον παλμό από τον πομπό, τον εκπέμπει σε μια κατευθυντική δέσμη, λαμβάνει την ηχώ επιστροφής και τη μεταφέρει στον δέκτη με –κατά το δυνατόν– ελάχιστη απώλεια. Ως σύστημα περιλαμβάνει την κεραία, τις γραμμές μετάδοσης και τον

κυματοδηγό από τον πομπό προς την κεραία, και τις γραμμές μεταφοράς και κυματοδηγό από την κεραία στον δέκτη.

Πριν συζητήσουμε τους κύριους τύπους κεραιών που χρησιμοποιούνται στη διεύθυνση βολής πυροβολικού, πρέπει να επανεξετάσουμε τις βασικές αρχές της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας και των ανακλαστήρων. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που σχηματίζει τις δέσμες παρακολούθησης (tracking) και φωτισμού (illumination) εκπέμπεται από μια κεραία στο σημείο ελέγχου, και τείνει να απλωθεί εξίσου προς όλες τις κατευθύνσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-6, στο οποίο αντιπαραβάλλεται η ακτινοβολία από μια κεραία ραδιοκυμάτων με εκείνη από μια λάμπα.



Εικόνα 6: Radiation waves from a radio antenna and a lamp

Αμφότερα τα φωτεινά κύματα και τα ραδιοκύματα συνιστούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, με μοναδική διαφορά τη συχνότητα της εκπομπής. Λόγω της πολύ υψηλότερης συχνότητάς του, το φως έχει πολύ μικρότερο μήκος κύματος από ένα ραδιοκύμα.: το μήκος κύματος μιας εκπομπής ραντάρ μπορεί να μετρηθεί σε εκατοστά, ενώ το μήκος κύματος του φωτός κυμαίνεται από περίπου τρία έως επτά δέκα χιλιοστά του χιλιοστού. Και στις δυο περιπτώσεις, η ενέργεια εξαπλώνεται σε σφαιρικά κύματα, τα οποία αν δεν συναντήσουν

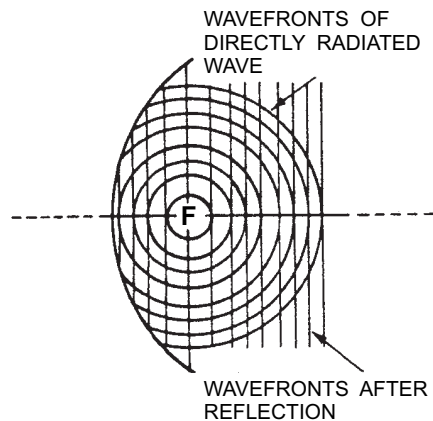
κάποιο εμπόδιο, θα απομακρυνθούν από την πηγή προς το άπειρο με ταχύτητα του φωτός. Σε οποιοδήποτε, δε σημείο, κατά μήκος της εκπομπής των, η ενέργεια μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή.

Για να είναι εκμεταλλεύσιμη η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, πρέπει να μπορεί να συγκεντρωθεί. Αυτό καθίσταται εφικτό τοποθετώντας έναν κατάλληλο ανακλαστήρα πίσω από την κεραία, το οποίο μορφοποιεί μεγάλο μέρος της ακτινοβολούμενης ενέργειας σε μια σχετικά στενή δέσμη. Οι επόμενες παραγράφους περιγράφουν τους συχνά χρησιμοποιούμενους ανακλαστήρες.

PARABOLIC REFLECTORS

Από τους πλέον διαδεδομένους τύπους ανακλαστήρων είναι οι παραβολικοί ανακλαστήρες. Μια εμπορική εφαρμογή του βρίσκεται στους προβολείς των αυτοκινήτων, οι οποίοι τους χρησιμοποιούν για τη συγκέντρωση της φωτεινής δέσμης. Ένας τύπος ανακλαστήρα που χρησιμοποιείται κατά κόρον στα radar διευθύνσεως βολής είναι το παραβολικό πιάτο (parabolic dish), με εμφάνιση παρόμοια του προβολέα αυτοκινήτου. Δεδομένου ότι το ραντάρ λειτουργεί στην μικροκυματική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, τα κύματά του έχουν ιδιότητες και χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά του φωτός. Αυτό επιτρέπει να σχεδιαστούν οι κεραίες ραντάρ χρησιμοποιώντας γνωστές τεχνικές οπτικού σχεδιασμού.

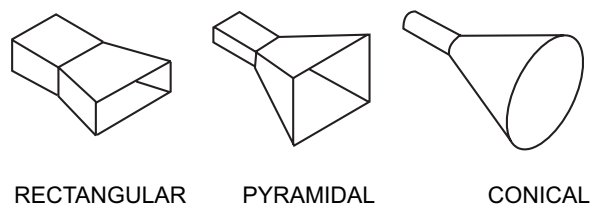
Μια βασική αρχή της οπτικής είναι ότι μια ακτίνα φωτός που προσπίπτει σε μια ανακλαστική επιφάνεια υπό δεδομένη γωνία ανακλασθεί επ'αυτής υπό την ίδια γωνία. Τώρα ανατρέξτε στο σχήμα 1-7. Σκεφτείτε τις κυκλικές ροές κύματος που παράγονται από την πηγή F που αποτελείται από άπειρο αριθμό ακτίνων. Η παραβολική επιφάνεια της κεραίας έχει σχεδιαστεί κατά τρόπο ώστε, καθώς τα RF κύματα εισχωρούν στον ανακλαστήρα, να αντανακλώνονται ως ευθύγραμμες κυματομορφές, συγκεντρωμένες σε μια στενή κυκλική δέσμη ενέργειας. Η δέσμη αυτή συνιστά τον λεγόμενο ηλεκτρομαγνητικό λωβό της κεραίας



Εικόνα 7: Principles of the parabolic reflector.

HORN RADIATORS

Όπως και οι παραβολικοί ανακλαστήρες, οι Horn radiators χρησιμοποιούνται για την μορφοποίηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε στενή δέσμη. Επειδή εξυπηρετούν τόσο ως impedance matching device όσο και ως κατευθυντήριες, συνεργάζονται άριστα με κυματοδηγούς. Μπορούν να τροφοδοτούνται με ομοαξονικούς ή άλλους τύπους γραμμών και κατασκευάζονται σε ποικίλα σχήματα, όπως ενδεικτικά απεικονίζεται στο σχήμα 1-8. Το σχήμα μαζί με τις διαστάσεις του μήκους και του στομίου, καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το σχήμα της δέσμης. Η αναλογία του μήκους προς το μέγεθος ανοίγματος στο στόμιο καθορίζει το εύρος δέσμης και επομένως την κατευθυντικότητα. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερο είναι το άνοιγμα του κέρατος, τόσο πιο κατευθυντική είναι η εκπεμπόμενη ακτινοβολία.



RECTANGULAR

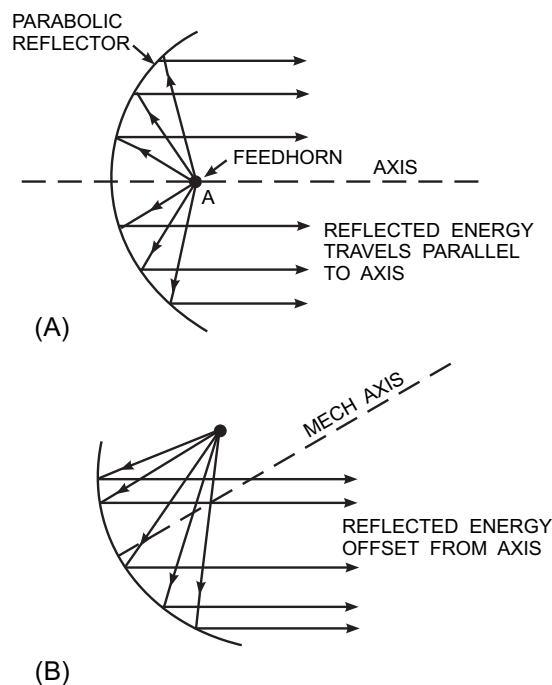
PYRAMIDAL

CONICAL

Εικόνα 8: Horn Radiators

FEEDHORNS

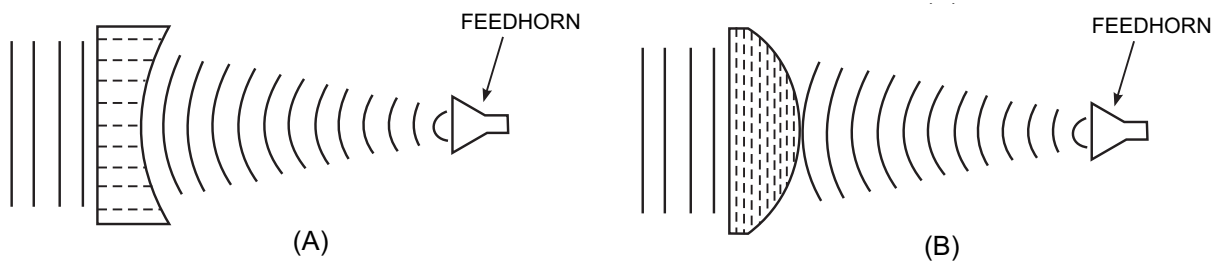
Η απόληξη ενός κυματοδηγού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει ένα παραβολικό πιάτου κεραίας, οπότε και καλείται feedhorn. Η κατευθυντικότητα αυτής της απόληξης, προστίθεται σωρευτικά σε εκείνη του παραβολικού πιάτου και την ενισχύει, με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση των ακτίνων της RF ακτινοβολίας σε μια πολύ στενή και συγκεντρωμένη δέσμη. Μια τέτοια διάταξη είναι ιδανική για χρήση σε radar πυροβολικού, όπου οι απαιτήσεις κατευθυντικότητας είναι αυξημένες για την καλύτερη παρακολούθηση του στόχου. Στα περισσότερα ραντάρ, το feedhorn είναι καλυμμένο με πολυστερίνη από υαλοβάμβακα (fiberglass) για την αποφυγή εισόδου υγρασίας και ρύπων στο ανοικτό άκρο του κυματοδηγού. Ένα πρόβλημα που σχετίζεται με τα feedhorns είναι η «σκιά» που δημιουργεί το feedhorn αν βρίσκεται στη διαδρομή της δέσμης. (Η σκιά είναι ένα νεκρό σημείο ακριβώς μπροστά από το feedhorn.) Σχεδιαστικά, το πρόβλημα επιλύεται με μετατόπισή του εκτός κέντρου, όπως στην εικόνα 9 Β). , ώστε να βρίσκεται εκτός διαδρομής της δέσμης RF.



Εικόνα 9: Reflector with feedhorn

LENS ANTENNA

Μια άλλη κεραία που μπορεί να μετατρέψει τα σφαιρικά κύματα σε επίπεδα είναι η λεγόμενη lens antenna. Καθώς αυτή χρησιμοποιεί έναν μικροκυματικό φακό, παρόμοιο με έναν οπτικό φακό, ο σχεδιασμός της βασίζεται περισσότερο στους νόμους της διάθλασης. Δύο είναι οι κύριοι τύποι lens antenna που χρησιμοποιούνται στα radar πυροβολικού, προς αποφυγή των προβλημάτων που σχετίζονται με τη σκιά του feedhorn: ο conducting (επιτάχυνσης) και ο dielectric (καθυστέρησης). Ενώ το κάτοπτρο της κεραίας είναι ουσιαστικά διαφανές για την RF ενέργεια που διέρχεται μέσα από αυτήν, κάνει τα κύματα της RF ακτινοβολίας να συγκλίνουν ή να αποκλίνουν καθώς εξέρχονται από αυτό. Ο τρόπος λειτουργίας του conducting απεικονίζεται στο σχήμα 1-10, άποψη Α. Αυτός ο τύπος φακού αποτελείται από επίπεδες μεταλλικές λωρίδες τοποθετημένες παράλληλα στο ηλεκτρικό πεδίο του κύματος και σε απόσταση ελαφρώς μεγαλύτερες από το ήμισυ του μήκους κύματος της εκπεμπόμενης RF. Στο RF κύμα αυτές οι λωρίδες μοιάζουν με παράλληλους κυματοδηγούς. Η ταχύτητα της διάδοσης φάσης ενός κύματος είναι μεγαλύτερη σε ένα κυματοδηγό παρά στον αέρα. Έτσι, δεδομένου ότι ο φακός είναι κοίλος, τα εξωτερικά τμήματα των εκπεμπόμενων σφαιρικών κυμάτων επιταχύνονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από το εσωτερικό τμήμα. Τα σφαιρικά κύματα εμφανίζονται στην πλευρά εξόδου του conducting lens (lens aperture) ως παράλληλα επίπεδα κύματα. Αυτός ο τύπος φακού είναι ευαίσθητος στις συχνότητες. Ο διηλεκτρικός τύπος (dielectric lens), που φαίνεται στο σχήμα 10 Β, επιβραδύνει τη διάδοση της RF ακτινοβολίας καθώς αυτή διέρχεται μέσα του. Αυτός ο φακός είναι κυρτός και αποτελείται από διηλεκτρικό υλικό.

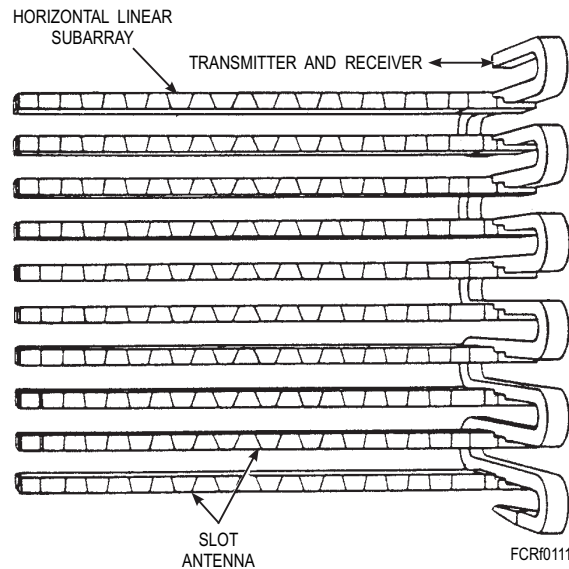


Εικόνα 10: Antenna lenses: A. Conducting (acceleration) type of microwave lens; B. Dielectric (delay) type of microwave lens.

Η εστίαση της εκπεμπόμενης δέσμης προκύπτει από τη διαφορά της ταχύτητας διάδοσης της RF ακτινοβολίας μέσα στο διηλεκτρικό και στον αέρα. Το αποτέλεσμα είναι μια εμφανής κάμψη ή διάθλαση των κυμάτων, η δε Η ποσότητα καθυστέρησης καθορίζεται από τη διηλεκτρική σταθερά του υλικού. Στις περισσότερες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται τεχνητά διηλεκτρικά, που αποτελούνται από αγωγίμες ράβδους ή σφαίρες που είναι μικρές σε σύγκριση με το μήκος κύματος. Σε αυτή την περίπτωση, τα εσωτερικά τμήματα των μεταδιδόμενων κυμάτων επιβραδύνονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από τα εξωτερικά τμήματα. Σε μια lens antenna, η πλευρά εξόδου του φακού μπορεί να θεωρηθεί ως ένα άνοιγμα στο οποίο υπάρχει μια κατανομή πεδίου. Αυτό το πεδίο ενεργεί ως πηγή ακτινοβολίας, όπως ακριβώς τα πεδία σε όλο το στόμιο ενός ανακλαστήρα ή feedhorn. Για την ηχώ επιστροφής, η ίδια διαδικασία λαμβάνει χώρα στο φακό.

ARRAY ANTENNAS

Ένας τύπος κεραίας τύπου συστοιχίας είναι όπως δηλώνει το όνομα - μια συστοιχία ή κανονική ομαδοποίηση μεμονωμένων στοιχείων ακτινοβολίας. Αυτά τα στοιχεία μπορεί να είναι δίπολα, αυλακώσεις κυματοδηγού ή απολήξεις. Η πιο κοινή της μορφή είναι η επίπεδη διάταξη, η οποία αποτελείται από στοιχεία γραμμικά ευθυγραμμισμένα σε δύο διαστάσεις - οριζόντια και κάθετα - για να σχηματίσουν ένα επίπεδο, όπως στην εικόνα 11.



Εικόνα 11: Planar array antenna

Σε αντίθεση με τον lens ή τον παραβολικό ανακλαστήρα, η συστοιχία εφαρμόζει τη σωστή σχέση φάσης για να κάνει το κύμα επίπεδο προτού αυτό εκπεμφθεί από την πηγή τροφοδοσίας. Η θέση της δέσμης καθορίζεται από τη σχετική φάση μεταξύ των στοιχείων, εξ ου και ο συχνά χρησιμοποιούμενος όρος, phased array. Αυτή η σχέση φάσης είναι που επιτρέπει την περιστροφή κι εν γένει κίνηση της δέσμης χωρίς μηχανική μετακίνηση της κεραίας. Το χαρακτηριστικό αυτό των κεραιών συστοιχίας το καθιστά ιδανικό για ηλεκτρονική σάρωση ή παρακολούθηση. (Θα συζητήσουμε σύντομα τη σάρωση.)

Radomes

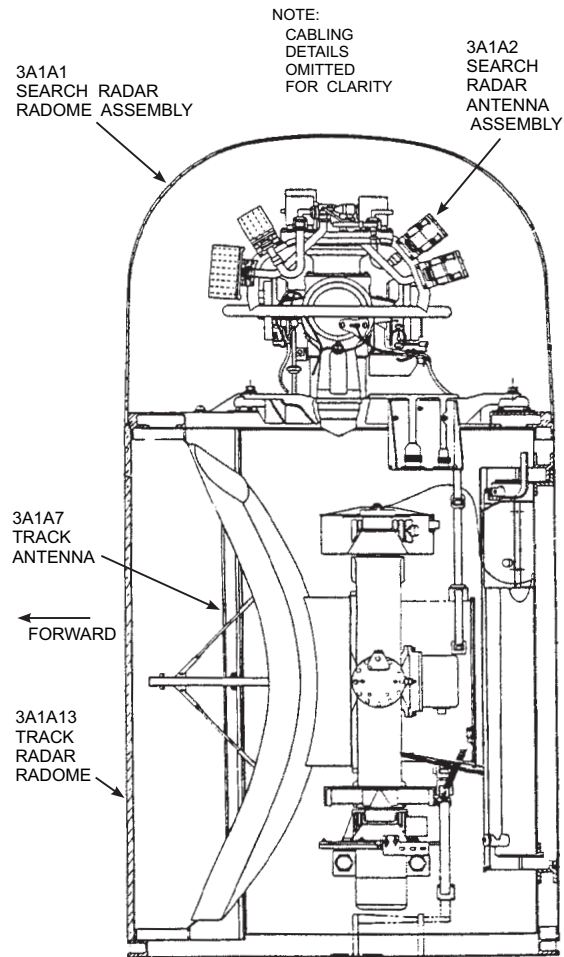
Ο όρος radome είναι ένας συνδυασμός των λέξεων radar και dome (θόλος), και χρησιμοποιείται για την κάλυψη και προστασία των κεραιών radar από περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως ο άνεμος, η βροχή, το χαλάζι, το χιόνι, ο πάγος, η άμμος, το σπρέι αλατιού, το φωτισμό, η θερμότητα και η διάβρωση. Το ιδανικό radome είναι διαφανές στην ακτινοβολία RF της κεραία και τους παλμούς επιστροφής και προστατεύει την κεραία από το

περιβάλλον. Για το σχεδιασμό του λαμβάνονται υπόψιν οι αναμενόμενοι περιβαλλοντικούς παράγοντες και οι μηχανικές και ηλεκτρονικές απαιτήσεις της κεραίας RF. Παρόλο που, θεωρητικά, ένα radome μπορεί να είναι αόρατο στην RF ενέργεια, στην πραγματικότητα επηρεάζει την απόδοση της κεραίας σε τέσσερις τομείς: εκτροπή δέσμης, απώλεια μετάδοσης, ανακλώμενη ισχύς και δευτερεύουσες παρενέργειες.

Η εκτροπή δέσμης είναι η μετατόπιση του άξονα της δέσμης RF, η οποία είναι λίαν σημαντική, ειδικά στα radar πυροβολικού.

Η απώλεια μετάδοσης είναι η απώλεια ενέργειας που σχετίζεται με την αντανάκλαση και την απορρόφηση μέσα στο radome.

Τυχόν ανακλάσεις μπορεί να προκαλέσουν ασυμμετρίες (antenna mismatch) σε μικρά radomes και πλευρικούς λωβούς σε μεγάλα radomes. Η αποπόλωση και ο αυξημένος θόρυβος της κεραίας είναι αποτέλεσμα δευτερογενών επιδράσεων. Ως Αξιωματικός Οπλισμού, θα είστε μεταξύ άλλων υπεύθυνοι για τη συντήρηση των radomes των radar πυροβολικού του πλοίου σας. Αυτό κανονικά θα περιλαμβάνει καθαρισμό και έλεγχο σύμφωνα με το προβλεπόμενο προληπτικό πρόγραμμα συντήρησης (Pre-maintenance service-PMS). Ορισμένες μικρές επισκευές μπορούν να εγκριθούν από τα τεχνικά εγχειρίδιά σας, αλλά οι περισσότερες επισκευές κανονικά εκτελούνται από έναν εξουσιοδοτημένο αντιπρόσωπο της κατασκευάστριας εταιρείας. Εάν απαιτηθεί βαφή του radome εξαιτίας της φυσιολογικής φθοράς του περιβάλλοντος, απαιτείται χρήση μόνο των εγκεκριμένων από τον κατασκευαστή βαφών. Το σχήμα 1-12 είναι ένα παράδειγμα ενός radome που χρησιμοποιείται στο ΠΝ. Άλλα συστήματα που χρησιμοποιούν radomes περιλαμβάνουν το CAS (Combined Antenna System) του συστήματος διεύθυνσης βολής Mk 92, την κεραία AN/SPQ-9 για το Mk 86 ΣΔΒ και το σύστημα Mk 23 για τα K/B SEASPARROW.



Εικόνα 12: Example of a search and track radome

Control Group

Το Control Group παρέχει έλεγχο υπολογιστή για μια ομάδα (group) υποσυστημάτων οπλισμού, διαχειρίζεται κατάλληλα τη διαδικασία ανίχνευσης στόχων δημιουργώντας και διαχειρίζοντας το αρχείο παρακολούθησης και διασυνδέεται λειτουργικά (interface) με το κατά περίπτωση χρησιμοποιούμενο όπλο ή οπλικό σύστημα. Στη βασική του μορφή, αποτελείται έναν υπολογιστή, ένα τερματικό (data terminal set), ένα αποθηκευτικό μέσο και ένα σετ ελέγχων (test set).

Support Systems

Ο εξοπλισμός που αναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους συνιστά τον πυρήνα του σύνθετου συστήματος που καλείται radar. Προκειμένου αυτό να είναι πλήρως λειτουργικό, υποστηρίζεται από επιπλέον περιφερειακά υποσυστήματα προς υποστήριξη του κύριου εξοπλισμού, όπως τροφοδοτικά (power supplies ορισμένα εκ των οποίων διαθέτουν και μετασχηματιστές συχνότητας-frequency converters), συστήματα ψύξης (chilled water systems) και αφυγραντήρες (dry air systems). Παρά το γεγονός ότι η ηλεκτρική τροφοδοσία του λαμβάνει χώρα απευθείας από τις ηλεκτρομηχανές του πλοίου με 440 VAC, τα επιμέρους υποσυστήματά του χρειάζονται διαφορετικής τάσης και συχνότητας ηλεκτρικό ρεύμα, με αποτέλεσμα την απαίτηση μετασχηματιστών τάσης. Οι ενισχυτές και τα λοιπά περιφερειακά συστήματα που παράγουν RF ενέργεια παράγουν μεγάλη ποσότητα θερμότητας. Τη θερμότητα αυτή απάγουν συστήματα ψύξης είτε liquid-to-liquid είτε liquid-to-air με χρήση θαλασσινού νερού ή απιονισμένου νερό. Ένα λίαν σημαντικό υποστηρικτικό σύστημα είναι και το σύστημα αφύγρυνσης. Ο ξηρός αέρας που παράγει ο αφυγραντήρας διατηρεί το εσωτερικό των κυματοδηγών καθαρό από υγρασία ώστε η RF ακτινοβολία να διαδίδεται στο εσωτερικό με ασφάλεια. Ο ξηρός αέρας είτε παρέχεται από λοιπά διαμερίσματα του πλοίου, οπότε και κυκλοφορεί από διαμέρισμα σε διαμέρισμα διερχόμενο από το σύστημα εξαερισμού, είτε παράγεται εξ αρχής σε ειδικές συσκευές. Ορισμένα υποσυστήματα, δεν χρησιμοποιούν ατμοσφαιρικό αέρα αλλά ειδικό αέριο στους κυματοδηγούς τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Mk 92 Fire Control System που για τη αφύγρυνση των κυματοδηγών του από τους οποίους διέρχεται συνεχής RF ακτινοβολία (Continuous Wave Illumination- CWI) χρησιμοποιεί το αέριο SF6.

Καθώς ένα σύστημα είναι τόσο καλό όσο το πιο αδύναμο υποσύστημα αυτού, η διατήρηση του συνόλου αυτών σε άριστη κατάσταση συνιστά απαραίτητη προϋπόθεση για την διατήρηση της λειτουργικής του αξιοπιστίας στα επιθυμητά επίπεδα. Ως Αξιωματικός Οπλισμού, θα είστε υπεύθυνος για την εποπτεία της ορθής προληπτικής και κατασταλτικής συντήρησης των συστημάτων ευθύνης σας σύμφωνα με οικεία τεχνικά εγχειρίδια.

Stable Elements

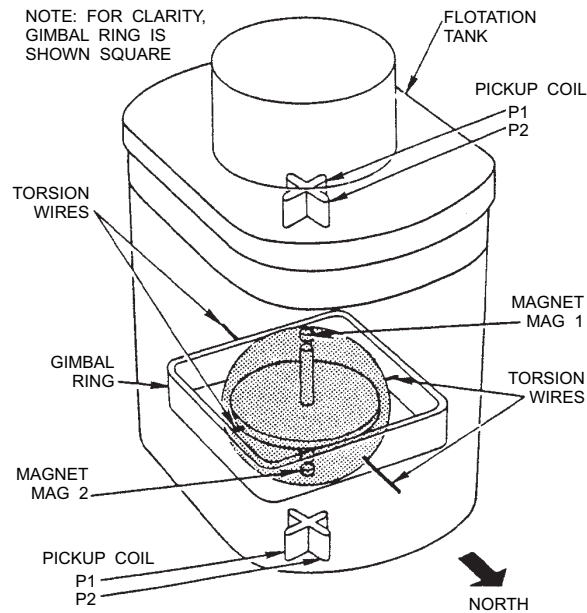
Η επιτυχία της βολής και ειδικότερα η διατήρηση των βολών ΕΠΙ του στόχου σε μια αλληλουχία βολών (βλ. ταχύ συνεχές πυρ) απαιτεί μεταξύ άλλων τη διατήρηση του πυροβόλου όπλου ή του εκτοξευτήρα σταθερού και ανεπηρέαστου από τον προνευστασμό και διατοιχισμό του πλοίου. Αυτό επιτυγχάνεται με εγκατάσταση συστημάτων γυροσκοπίων στα fire control systems.

Ο ρόλος των γυροσκοπίων είναι να παρέχουν ένα σταθερό επίπεδο (*horizontal plane*), ως αμετάβλητο επίπεδο αναφοράς (*unvarying reference*) ως προς το οποίο το ΣΔΒ θα επιλύσει το πρόβλημα της βολής.¹ Στην ορολογία της Πυροβολικής, η εν λόγω μονάδα καλείται μονάδα στάθμισης ή *stable element*, και, όπως απορρέει από το όνομά της χρησιμοποιεί σταθεροποιητικά γυροσκόπια.

Ως σύστημα, το σταθεροποιητικό γυροσκόπιο συνιστά τον κύριο πάροχο προσανατολισμού για το πλοίο, καθώς δεικνύει και διανέμει την κατεύθυνση του αληθούς Βορρά σε όλο τον ναυτιλιακό εξοπλισμό. Χαρακτηριστικά παραδείγματα συνιστούν οι WSN-2 και WSN-5. Η συντήρηση και λειτουργία αυτών των γυροπυξίδων είναι ευθύνη των Interior Communications (IC) technicians². Η εικόνα 1-13 απεικονίζει τα κύρια μέρη μια γυροπυξίδας που απαντάται σε πολεμικά πλοία.

¹ The basic fundamentals and functions of gyros are covered in NEETS Module 15—*Principles of Synchros, Servos, and Gyros*, NAVEDTRA 14187.

² Για εμάς οι ΗΝ/ΑΣ, check



Εικόνα 13: Phantom view of a gyro

Ο κύριος ρόλος της μονάδας στάθμισης για το σύστημα ΔΒ είναι η ακριβής μέτρηση των γωνιακών αποκλίσεων μεταξύ του επιπέδου αναφοράς του εκάστοτε συστήματος (της κεραίας, του κατευθυντήρα, του εκτοξευτήρα κοκ) και του οριζόντιου επιπέδου. Οι τιμές απόκλισης αποστέλλονται εν συνεχεία στον υπολογιστή του συστήματος διευθύνσεως βολής ο οποίος τους συνεκτιμά κατά την επίλυση του προβλήματος της βολής. Επιπλέον, αποστέλλονται και στο κύριο πυροβόλο και στην κεραία του radar ή του ηλεκτρο-οπτικού (αναλόγως το ΣΔΒ) προκειμένου να τα σταθεροποιήσει για τη βολή

TYPES OF RADAR SYSTEMS

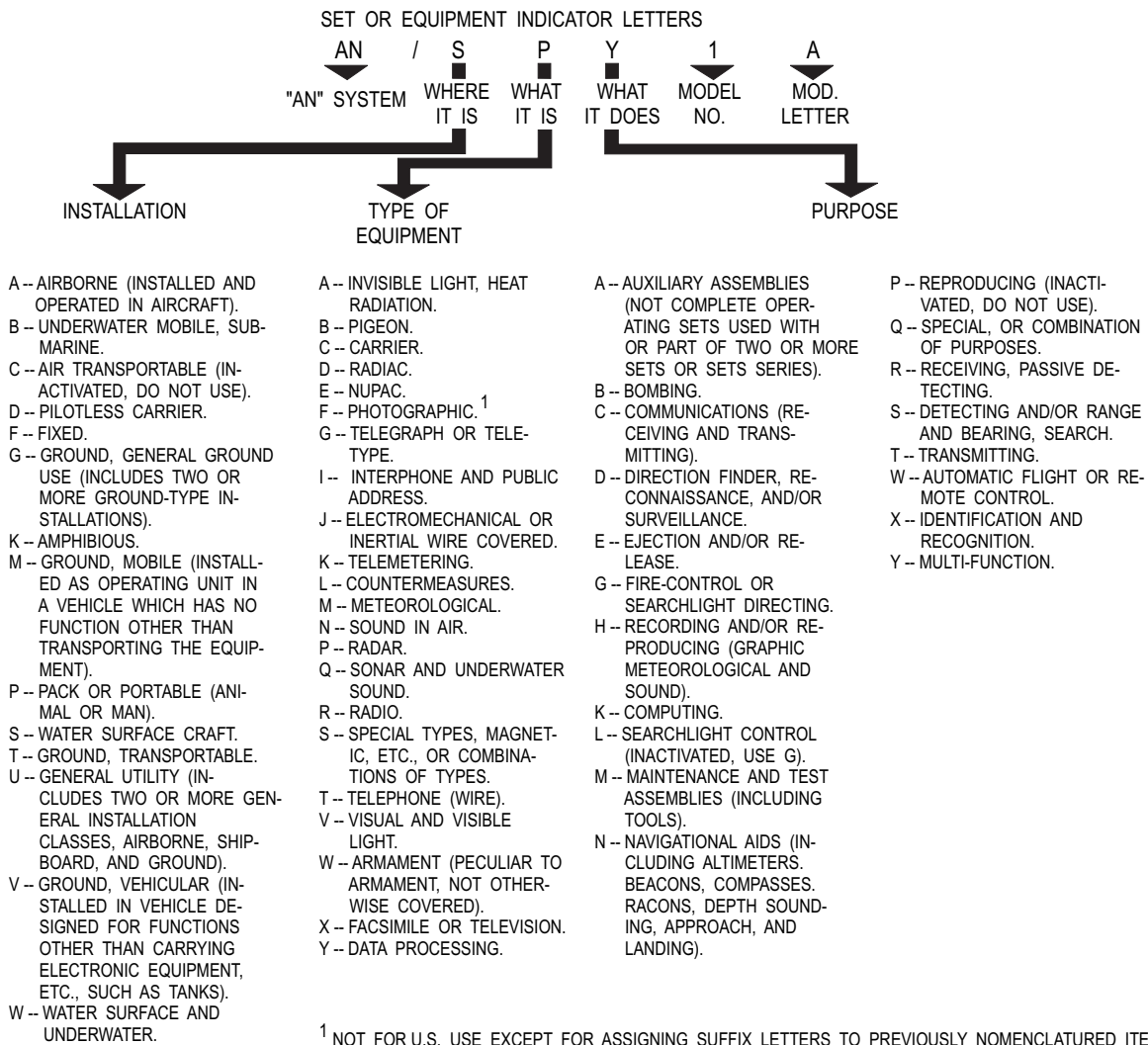
Λόγω των διαφορετικών αρχιτεκτονικών απαιτήσεων κατά το σχεδιασμό τους, κανένα radar δεν μπορεί να εκτελέσει όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για στρατιωτικές επιχειρήσεις. Λόγω του μεγάλου αριθμού συστημάτων radar που χρησιμοποιούνται από τους διάφορους κλάδους των Ενόπλων Δυνάμεων, αναπτύχθηκε ένα κοινό σύστημα αναφοράς και ταξινόμησης, όπου το είδος και η λειτουργία κάθε συστήματος περιγράφεται από ένα

συνδυασμό γραμμάτων και αριθμών. Τα πιο συνήθη κριτήρια ταξινόμησης αφορούν στην λειτουργία και το είδος του φορέα. Καθώς κανένα σύστημα radar δεν μπορεί να καλύψει το σύνολο των απαιτήσεων των σύγχρονων στρατιωτικών επιχειρήσεων, κάθε πλατφόρμα/φορέας, φέρει περισσότερα του ενός radar, καθένα εκ των οποίων εκτελεί διαφορετική λειτουργία. Στα πολεμικά πλοία, η εγκατάσταση περιλαμβάνει radar επιφανείας, ναυτιλίας, τρισδιάστατα radar, radar αέρος καθώς και διάφορα radar πυροβολικού/ΔΒ (fire-control radars).

Η εικόνα 1-14 παρέχει τη λίστα αναγνώρισης ενδεικτών εξοπλισμού radar (equipment identification indicators listing), και σε συνδυασμό με την νομενκλατούρα των συστημάτων radar καθεαυτών δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού οιαδήποτε radar set. The example given explains the equipment indicators for the AN/SPY-1A radar system.

Το δίγραμμα AN που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση και προσδιορισμό όλων των υποσυστημάτων στρατιωτικού ηλεκτρονικού εξοπλισμού, εισήχθη στις ΗΠΑ σε διακλαδικό επίπεδο με το Joint Army-Navy Nomenclature System, (γνωστό και ως AN system). Παρά την αντικατάστασή του το 1985³ από το “Joint Electronics Type Designation System (JETDS)”, το δίγραμμα AN χρησιμοποιείται ακόμη.

³ Με το MIL-STD-196D (MIL-STD Military Standard ή κανόνας τυποποίησης: Το ανάλογο του ISO για το χώρο των Ενόπλων Δυνάμεων)



Εικόνα 14: AN-equipment indicator system

AIR-SEARCH RADAR

Ο κύριος ρόλος ενός radar αέρος είναι ο εντοπισμός και παρακολούθηση στόχων αέρος από την επιφάνεια της θάλασσας έως μεγάλα ύψη, και η παροχή των στοιχείων θέσης και κίνησης αυτών. Μερικές από τις επιπλέον χρήσεις του είναι:

- Έγκαιρη προειδοποίηση (early warning) σε περίπτωση προσεγγίζοντων εχθρικών αεροσκαφών και κατευθυνομένων βλημάτων, με την παροχή ένδειξης διόπτεισης επί

της οποίας εμφανίζεται η πιθανή απειλή. Ο έγκαιρος εντοπισμός των εχθρικών στόχων αέρος δίνει τη δυνατότητα στο πλοίο να ανεβάσει την κατάσταση ετοιμότητας A/A στο κατάλληλο επίπεδο, προετοιμάζοντας το προσωπικό και τα όπλα

- Συνεχής διατήρηση εικόνας κίνησης των εχθρικών αεροσκαφών, και κατά κρίση Διοικητού Αεράμυνας, κατεύθυνση των τυχόν φίλιων αεροσκαφών (combat air patrol - CAP) σε θέση κατάλληλη για αναχαίτιση
- Παροχή πληροφοριών για κατεύθυνση αεροσκαφών κατά τις επιχειρήσεις που απαιτούν γεωγραφικό προσδιορισμό.⁴

Ο συνδυασμός radar αέρος και επιφανείας παρέχει ένα λίαν ικανοποιητικό σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης. Εντούτοις, καθώς αμφότεροι οι ως άνω τύποι radar είναι δισδιάστατοι , ήτοι δεν παρέχουν στοιχεία ύψους στόχου,⁵ το πλοίο θα πρέπει να διαθέτει έναν επιπλέον αισθητήρα με δυνατότητα υπολογισμού ύψους προκειμένου να μπορέσει να αναχαίτιση αποτελεσματικά μια απειλή αέρος. Αυτό επιτυγχάνεται με 3D radar.

MULTI-DIMENSIONAL RADAR

Η κύρια λειτουργία ενός πολυδιάστατου radar είναι ο υπολογισμός με ακρίβεια της θέσης (διόπτευση, απόσταση και ύψος) και των κινηματικών στοιχείων (πορεία-ταχύτητα) των στόχων που εντοπίζονται εξ αρχής από το radar αέρος. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για κατεύθυνση των φίλιων CAP προς αναχαίτιση. Οι κύριες διαφορές τους από τα radar αέρος συνίστανται στην υψηλότερη συχνότητα εκπομπής, στην υψηλότερη ισχύ εξόδου, και στον πολύ στενότερο λοβό ημίσειας ισχύος κατά το κατακόρυφο (narrower vertical beamwidth). Επιπλέον, χρησιμοποιούν σταθμιστήρα λόγω των υψηλών απαιτήσεων ακρίβειας κατά τον προσδιορισμό της θέσης των στόχων αέρος. Μερικές ακόμη λειτουργίες είναι:

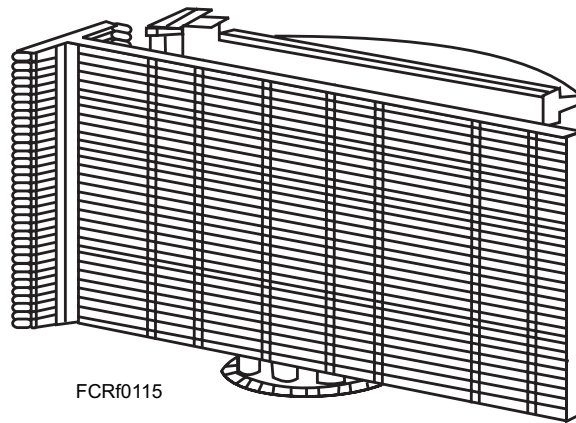
- Παροχή στοιχείων θέσεως για αρχική υπόδειξη στα radar πυροβολικού (fire-control

⁴ Όπως π.χ. antisubmarine barrier ή Search and Rescue (SAR) pattern

⁵ Παρέχουν μόνο στοιχεία διόπτευσης και απόστασης.

tracking radars).

- Εντοπισμός χαμηλά ιπτάμενων αεροσκαφών
- Εντοπισμός μακρινών όγκων ξηράς (distant landmasses)
- Εντοπισμός καιρικών φαινομένων (certain weather phenomena)
- Εντοπισμός μετεωρολογικών μπαλονιών (weather balloons)



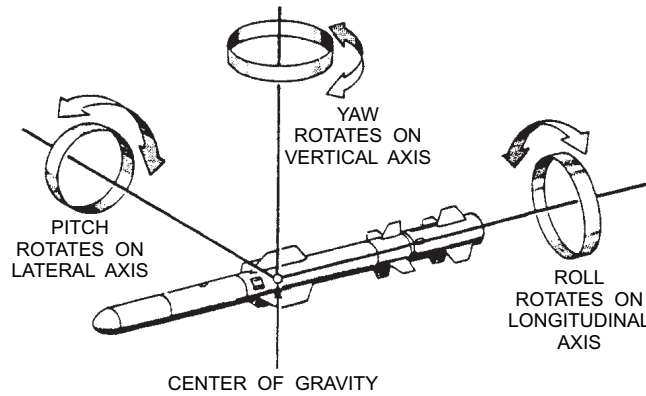
Εικόνα 15: Multi-dimensional (3D) radar

Τα σύγχρονα πολεμικά πλοία έχουν εγκατεστημένα διάφορα radar. Έκαστο εξ αυτών είναι σχεδιασμένο για να καλύπτει συγκεκριμένες ανάγκες, αλλά δεν περιορίζεται μόνο σε αυτές, καθώς εκτελεί και επιπλέον λειτουργίες. Έτσι, π.χ, η πλειοψηφία των πολυδιάστατων radar μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δευτερεύοντα radar αέρος.

MISSILE GUIDANCE RADAR

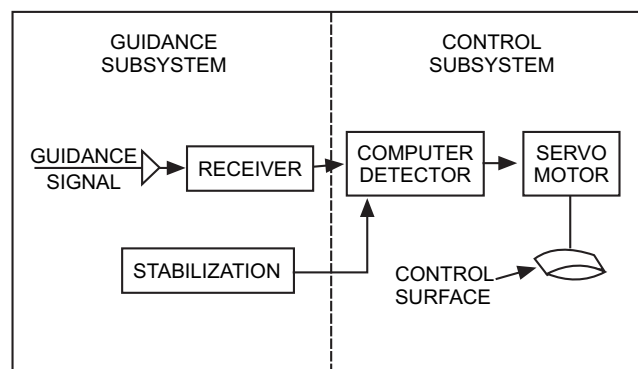
Η κύρια λειτουργία ενός radar διευθύνσεως είναι η κατεύθυνση των κατευθυνομένων βλημάτων προς αναχαίτιση στόχων αέρος. Η λειτουργία κατεύθυνσης βασίζεται στα στοιχεία σήματος είτε του στόχου (ηχώ εξ ανακλάσεως), είτε του πλοίου, είτε αμφοτέρων. Κάθε radar διευθύνσεως αποτελείται από 2 διακριτά υποσυστήματα: το υποσύστημα ελέγχου ύψους και το υποσύστημα ελέγχου πορείας (flight path control system). Το πρώτο διατηρεί το

κατευθυνόμενο βλήμα στο επιθυμητό ύψος επί του ordered flight path ελέγχοντάς σε όλους τους άξονες κίνησης pitch, roll, και yaw όπως στην εικόνα 16.



Εικόνα 16: Missile Axes: pitch, roll & yaw

Αυτή η λειτουργία σε συνδυασμό με την ώση του πυραυλοκινητήρα διατηρεί την ισορροπία του κατευθυνόμενου βλήματος κατά την πτήση. Το σύστημα ελέγχου πορείας οδηγεί το κατευθυνόμενο βλήμα προς το στόχο, προσδιορίζοντας τα σφάλματα πτήσης, παράγοντας τις κατάλληλες εντολές διόρθωσης των σφαλμάτων πτήσης και αποστέλλοντας αυτές στο υποσύστημα ελέγχου (missile's control subsystem), μέσω του οποίου επιτυγχάνεται και διατηρείται η επιθυμητή τροχιά. Η όλη λειτουργία της κατεύθυνσης βασίζεται είτε σε βρόχους ελέγχου closed loop είτε σε χρήση servo, όπως στην εικόνα 17.

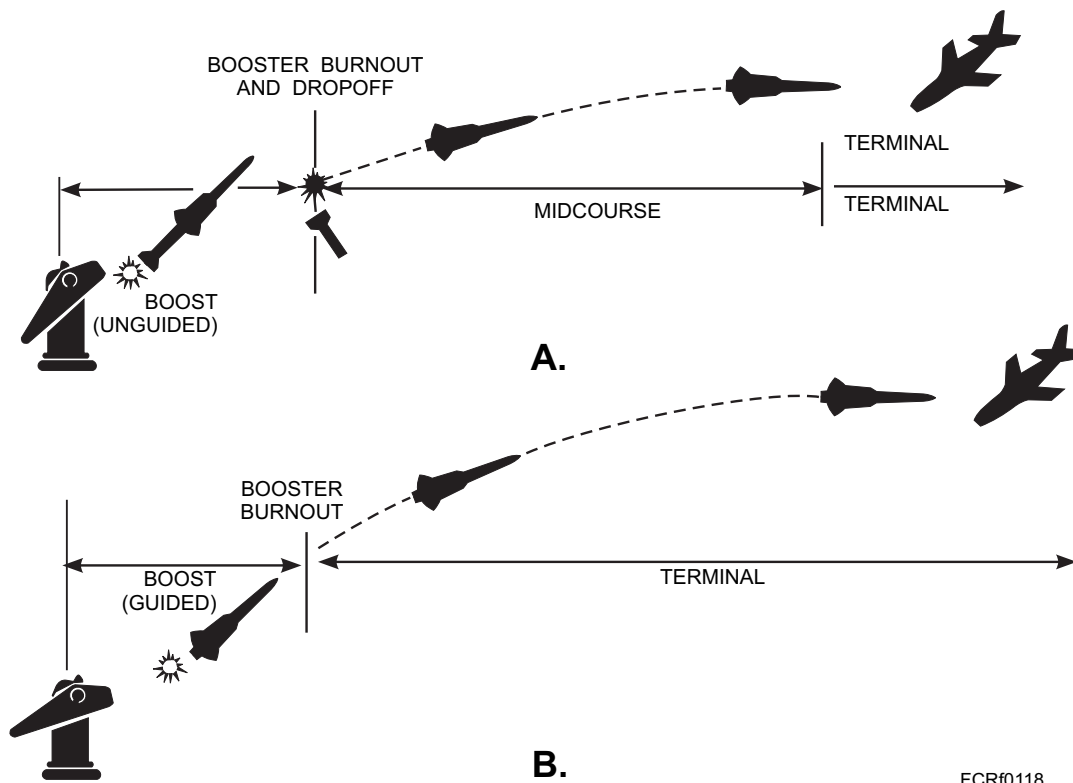


Εικόνα 17: Basic missile guidance and control system

Οι μονάδες ελέγχου εκτελούν διορθωτικές κινήσεις στις επιφάνειες ελέγχου του κατευθυνόμενου βλήματος όταν διαπιστωθεί σφάλμα πορείας. Επίσης, μετακινούν κατάλληλα τα ρινιαία η ουραία πτερύγια για να σταθεροποιήσουν το κατευθυνόμενο βλήμα. Παρά το γεγονός ότι λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα, η κατεύθυνση και η σταθεροποίηση του κατευθυνόμενου βλήματος είναι δυο διαφορετικές λειτουργίες και δεν πρέπει να συγχέονται.

Phases of Guidance

Η κατεύθυνση ενός κατευθυνόμενου βλήματος διακρίνεται εν γένει σε τρεις φάσεις, όπως στην εικόνα 18: αρχικής (boost phase) ενδιάμεση πτήση (midcourse phase) και τελική/τερματική (terminal). Κάποια κατευθυνόμενα βλήματα, όπως το STANDARD SM-2 (MR & ER) εκτελούν και τις τρεις φάσεις, όχι όμως όλα. Όπως απεικονίζεται στην εικόνα 18, υφίστανται ορισμένα όπως το STANDARD SM-1 και το SEASPARROW RIM 7 που δεν διέρχονται από την φάση της ενδιάμεσης πτήσης.



FCRf0118

Εικόνα 18: Guidance phases of missile flight