



**ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ)
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΤΩΝΙΔΑΚΗΣ ΜΑΝΩΛΗΣ
Δρ.(Ph.D) Αναπληρωτής ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΟΝ/ΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ : ΝΙΚΟΛΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ

Χανιά, Ιούνιος 2007

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη ηλεκτρονικών συστημάτων υποβρυχίου. Θα γίνει αναφορά ποιος ο σκοπός και ο ρόλος του υποβρυχίου. Και στη συνέχεια θα γίνει ανάλυση στα ηλεκτρονικά συστήματα του υποβρυχίου και ποιος ο ρόλος της κάθε συσκευής μέσα στο υποβρύχιο. Πιο συγκεκριμένα θα γίνει αναφορά στο radar του υποβρυχίου, στον πομποδέκτη, στο τηλεπικοινωνιακό του δίκτυο, στα ηλεκτρονικά αντίμετρα, στη συσκευή sonar, υποβρύχιο τηλέφωνο, τορπίλες, και με ποιο τρόπο επικοινωνεί με τον έξω κόσμο όταν βρίσκεται κάτω από την θάλασσα ή επάνω από τη θάλασσα. Τέλος θα γίνει μια μικρή αναφορά στα πυρηνικά υποβρύχια

Abstract

The aim of this thesis is the study of the electronic systems of the submarine. The aim and the role of submarine it will be studied. The electronic systems of submarine and the role of each appliance in the submarine will be reported. More concretely we will refer to the radar system of the submarine, the transceiver, the telecommunications network, the electronic countermeasures, the appliance sonar, the submarine telephone, the torpedoes, and the communications when under the sea or above the sea. Finally a small report on the nuclear submarines will be presented.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Αντωνιδάκη Μανώλη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα θέμα που έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τους συναδέλφους μου, Φλώρο Ευστάθιο, Λύδακη Ιωάννη, Βλάχο Αντώνιο, για την αμέριστη επιστημονική υποστήριξη τους και την απόκτηση του απαραίτητου θεωρητικού υπόβαθρου στο θέμα. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους για την υλοποίηση της πτυχιακής μου εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ.....	10
1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	10
1.2 Τα Ελληνικά Υποβρύχια.....	12
1.2.1 Αρχικές Υποβρύχιες Αναπτύξεις.....	12
1.3 Πυρηνικά Υποβρύχια.....	14
1.3.2 Πυρηνικά Υποβρύχια 2 ^{ης} γενιάς.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΥΠΟΒΡΥΧΙΟ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ.....	18
2.1 Υποβρύχιο και ο ρόλος του.....	18
2.1.2 Η λειτουργία Υποβρυχίου.....	19
2.1.3 Κατάδυση Ανάδυση του Υποβρυχίου.....	21
2.1.4 Πως φτάνει ο αέρας στο Υποβρύχιο.....	22
2.1.5 Περισκόπιο Υποβρυχίου.....	23
2.1.6 Μπαταρίες Υποβρυχίου.....	23
2.1.6.1 Ηλεκτρική Ικανότητα των υποβρυχίων μπαταριών.....	25
2.1.7 Αναερόβια Πρόωση.....	26
2.1.7.1 Θερμικές Μηχανές.....	26
2.1.7.2 Μηχανή Stirling.....	26
2.1.7.3 Στρόβιλος Walter.....	27
2.1.7.4 Closed Brayton Cycle.....	27
2.1.7.5 Ατμοστρόβιλος MESMA.....	28
2.1.7.6 Μηχανή Diesel κλειστού κύκλου.....	28
2.1.7.7 Κυψέλες Καυσίμου.....	29
2.1.7.8 Πυρηνική Ενέργεια.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΑΥΤΟΘΟΡΥΒΟΣ (SELF NOISE).....	32
3.1 Αυτοθόρυβος (SELF NOISE).....	32
3.1.2 Οι συνηθέστερες πηγές αυτοθορύβου.....	32
3.1.3 Θόρυβος προπελών.....	33
3.1.4 Υδροδυναμικός θόρυβος.....	36
3.2 Μηχανικοί κραδασμοί.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΔΡΟΦΩΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SONAR ΚΑΙ	
ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ ΤΗΛΕΦΩΝΟΥ ΗΧΟΒΟΛΙΣΤΙΚΟΥ.....	40
4.1 Ηλεκτρο – ακουστικοί μετατροπείς.....	40
4.2 Ηλεκτρο – ακουστικοί μετατροπείς διακρίνονται σε διάφορους τύπους.....	40
4.2.1 Μορφοτροπείς μαγνητοσυστολής.....	40
4.2.2 Μορφοτροπείς ηλεκτροσυστολής.....	41
4.2.3 Πιεζοηλεκτρικοί μορφοτροπείς.....	42
4.2.4 Υδρόφωνα οπτικής ίνας.....	45
4.2.5 Μορφοτροπείς εγκάρσιων ταλαντώσεων.....	46
4.3 Σημαντικά χαρακτηριστικά υλικών μορφοτροπέων.....	50
4.4 Sonar.....	52
4.4.1 Η λειτουργία του Sonar.....	52
4.4.2 Υδρόφωνα.....	53
4.5 Τρόπος λειτουργίας ηχοεντοπιστηκών συσκευών (Sonar).....	54
4.6 Βασικό λειτουργικό διάγραμμα ενεργητικού Sonar.....	56
4.6.1 Συγχρονιστής.....	56

4.6.2 Ταλαντωτής.....	57
4.6.3 Προγραμματιστής.....	57
4.6.4 Κατακόρυφος και οριζόντιος μορφοποιητής λοβών.....	57
4.6.5 Ενισχυτές Πομπού.....	57
4.6.6 Διπλέκτης.....	57
4.6.7 Μορφοτροπέας.....	57
4.6.8 Δέκτης.....	60
4.6.9 Ενδείκτης απεικόνισης.....	61
4.6.9.1 A-SCAN.....	61
4.6.9.2 PLAN POSITION INDICATOR (PPI).....	62
4.6.9.3 B-SCAN.....	63
4.7 Παθητικά συστήματα Sonar.....	65
4.7.1 Οι κυριότερες κατηγορίες Sonar.....	65
4.7.1.1 Hull Mounted Sonar.....	65
4.7.1.2 Digital MULTibeam Steering.....	66
4.7.1.3 Towed Array Sonar Systems.....	67
4.7.1.4 Surveillance Towed Array Sensor / Sonar System.....	72
4.7.1.5 Flank Array Sonar.....	72
4.8 Βασικό Λειτουργικό Διάγραμμα Παθητικών Sonar.....	73
4.8.1 Συστοιχία υδροφώνων.....	74
4.8.2 Παθητικός ενδείκτης ευρέως φάσματος συχνοτήτων.....	75
4.8.3 Αναλυτής φάσματος συχνοτήτων.....	76
4.8.4 Παθητικός ενδείκτης στενού φάσματος συχνοτήτων.....	78
4.9 Υποβρύχιο τηλέφωνο.....	80
4.10 Ηχοβολιστικό.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συσκευές υποβρυχίου(Radar, Iff, Esm, Πομποδέκτης,).....	82
5.1 Radar υποβρυχίου.....	83
5.2 RADAR.....	83
5.3 Εισαγωγή στο Radar.....	84
5.3.1 Παράμετροι Radar.....	86
5.3.1.1 Βασικά πλεονεκτήματα της μικρής διάρκειας παλμών PW.....	87
5.3.1.2 Μέγιστη Ισχύ.....	87
5.3.1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των P/E (ραδιοεντοπιστής).....	88
5.3.1.4 Εξήγηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ελάχιστη απόσταση.....	89
5.3.1.5 Εξήγηση των παραπάνω:.....	90
5.3.1.6 Επίδραση της διαδόσεως ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	91
5.3.1.7 Υπερδιάθλαση.....	91
5.3.1.8 Δημιουργία ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	92
5.3.1.9 Χαρακτηρίστηκα.....	93
5.3.10 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	93
5.4 Γενικά περί συσκευών Radar.....	95
5.4.1 Αρχή λειτουργίας.....	95
5.5 Παλμικό Radar.....	96
5.5.1 Βασικοί Ορισμοί.....	96
5.6 Το φάσμα συχνοτήτων του σήματος ενός παλμικού ραντάρ.....	99
5.6.1 Η γραφική απεικόνιση του όρου αυτού, παρουσιάζεται στο σχήμα.....	101
5.6.2 Το δομικό διάγραμμα του παλμικού ραντάρ.....	102
5.6.2.1 α) Χρονιστής ή Συγχρονιστής (Synchronizer ή triggering generator).....	103
5.6.2.2 β) Διαμορφωτής (Modulator).....	104
5.6.2.3 γ) Πομπός (Transmitter).....	104
5.6.2.4 δ) Διακόπτης TR (TR switch duplexer).....	105
5.6.2.5 ε) Κεραία (Antenna).....	108

5.6.2.6 Διάταξη προστασίας δέκτη	109
5.6.2.7 Δέκτης	110
5.6.2.8 Ενδείκτης απεικόνισης (indicator)	112
5.7 Ηλεκτρονικός Πόλεμος	117
5.7.1 Ηλεκτρονικά μέτρα υποστήριξης (ESM)	119
5.7.2 Χαρακτηριστικά δεκτών ESM	120
5.7.3 Τεχνικές μέτρησης διόπτρευσης	122
5.7.4 Κεραίες δεκτών ESM	122
5.7.5 Τύποι δεκτών ESM	123
5.7.6 Πολυκάναλος δέκτης (Channelized Superhet Receiver)	127
5.7.7 Δέκτης συμπίεσης σήματος (Compressive Receiver)	129
5.7.8 Δέκτης στοιχείου Bragg (Bragg cell Receiver)	130
5.8 Δευτερεύοντα Ραντάρ Επιτήρησης(IFF)	131
5.8.1 Χαρακτηριστικά ρυθμών (modes) λειτουργίας	132
5.8.2 Περιορισμοί και προβλήματα του συστήματος IFF / SIP	136
5.9 Πομπός υποβρυχίου	136
5.9.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΟΜΠΟΥ	136
5.9.2 Δέκτης	137
5.9.3 ΒΑΣΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΔΕΚΤΗ	139
5.9.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΕΚΤΩΝ	142
5.9.5 ΥΠΕΡΕΤΕΡΟΔΥΝΟΣ ΔΕΚΤΗΣ	144
5.9.6 ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	145
5.9.6.1 Τοπικός Ταλαντωτής	147
5.9.6.2 Μείκτης	148
5.9.6.3 Ενδιάμεση Συχνότητα	148
5.9.6.4 Ενισχυτής μεγαφώνων	149
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΕΚΡΗΞΕΙΣ, ΤΟΡΠΙΛΕΣ	150
6.1 Υποβρύχιες Εκρήξεις	150
6.2 Τορπίλες	154
6.3 Τα κυριότερα τμήματα μιας μοντέρνας τορπίλης είναι τα ακόλουθα	158
6.4 Ορισμένοι τύποι τορπιλών που συναντιόνται διεθνώς είναι οι ακόλουθοι	160
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ	165
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΕΠΙΛΟΓΟΣ	168
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	169

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

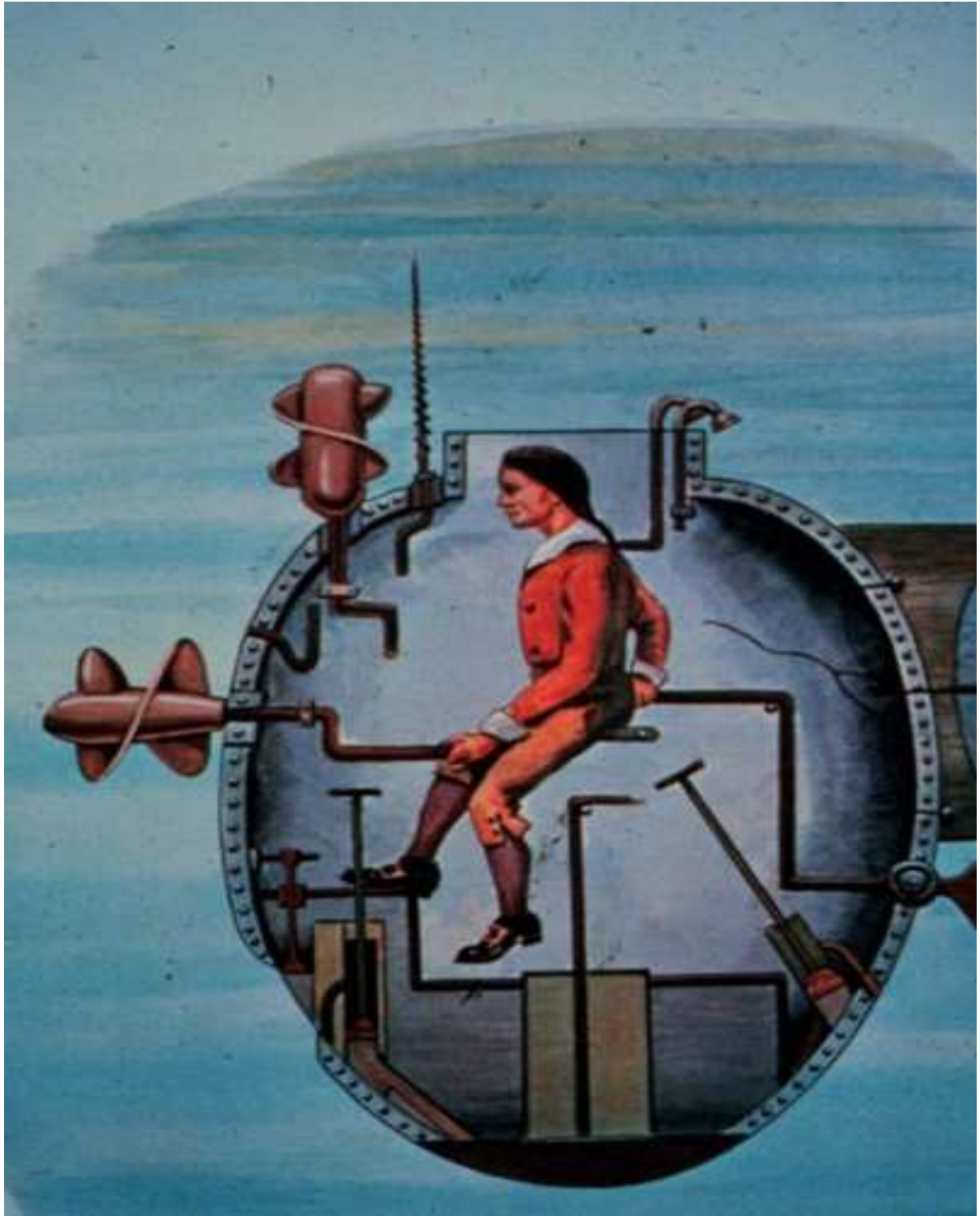
Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια σύντομη ιστορική αναδρομή για την κατασκευή ενός υποβρυχίου καθώς και μια ιστορική αναδρομή της ελληνικής υποβρύχιας δύναμης. Τέλος θα γίνει αναφορά για τα πυρηνικά υποβρύχια.

1.1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υποβρύχιο, κυρίως πολεμικό σκάφος που μπορεί να κινείται και στην επιφάνεια της θαλάσσης και σε κατάδυση.

Οι πρώτες απόπειρες για την κατασκευή ενός τέτοιου μέσου χρονολογούνται εδώ και τέσσερις σχεδόν αιώνες. Πραγματικός όμως πρόγονος του υποβρυχίου μπορεί να θεωρηθεί μόνο το μικρό δισκοειδές ξύλινο σκάφος **American turtle**, που κατασκεύασε το 1775 ο Αμερικανός **Ντέιβιντ Μπούνσελ**· είκοσι πέντε χρόνια αργότερα ο επίσης Αμερικανός **Ρόμπερτ Φούλτον** κατασκεύασε ένα ανάλογο σκάφος, το Nautilus, στη Βρέστη· και τα δύο καταδύονταν με υδάτινο έρμα και ήταν χειροκίνητα. Από τις προσπάθειες που ακολούθησαν αξίζει να αναφερθεί το Plongeur των Γάλλων Μπουρζουά και Μπρεν (1863), σιδερένιο σκάφος μήκους 42,5 μ., εφοδιασμένο με εμβολοφόρα μηχανή, που λειτουργούσε με πεπιεσμένο αέρα (**εικ. 1.1**). Με τις προόδους που σημειώθηκαν στην κατασκευή των συσσωρευτών, τα επόμενα σχέδια για υποβρύχια βασίστηκαν στην ηλεκτρική ενέργεια, η οποία όμως παρουσίαζε κι αυτή περιορισμένη αυτονομία, γι' αυτό υιοθετήθηκε ο θερμοδυναμικός κινητήρας. Υποβρύχια με την κοινή έννοια, που να μπορούν δηλαδή να καταδύονται και να αναδύονται κατά βούληση, παρουσιάστηκαν στο τέλος του 19ου αι. κι από τότε εξελίσσονται συνεχώς και ως πλοία και στον εξοπλισμό τους, για να φτάσουν στα σημερινά που κινούνται με ατομική ενέργεια και έχουν τεράστια αυτονομία. Τις πολεμικές δυνατότητες του υποβρυχίου αξιοποίησαν κυρίως οι Γερμανοί και στον Α΄ Παγκόσμιο πόλεμο και στις πρώτες φάσεις του Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο, ενώ η ανακάλυψη του ραντάρ αργότερα περιόρισε τις δυνατότητές του.



Εικόνα .1.1

1.2

ΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ

ΜΙΑ ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

Σε πολλά μικρότερα αλλά τεχνολογικά ανεπτυγμένα Έθνη, η Υποβρύχια Δύναμη θεωρείται μεταξύ των πιο προνομιακών στρατιωτικών δυνάμεων, συχνά καταλαμβάνοντας ένα πολύ υψηλό μερίδιο του Εθνικού Αμυντικού Προϋπολογισμού. Αυτό αληθεύει για αρκετές χώρες του ΝΑΤΟ, με μια από αυτές την Ελληνική Δημοκρατία η οποία είναι δικαίως περήφανη για την υποβρύχια πολεμική της κληρονομιά. Έλληνες Ιστορικοί χρονολογούν την αρχή αυτής της κληρονομιάς τουλάχιστον στο **322 π.Χ.** όταν οι δυνάμεις του **Μεγάλου Αλεξάνδρου** χρησιμοποιούσαν τους υποβρύχιους κλωβούς και άλλους υποβρύχιους θαλάμους για να διεξάγουν μάχιμες θαλάσσιες επιχειρήσεις ενάντια στη πόλη της Τύρου, ένα γεγονός το οποίο έχει εξιστορηθεί από τον **Αριστοτέλη**. Έκπληκτος από αυτές τις δραστηριότητες, ο **Μεγάλος Αλέξανδρος** αναφέρθηκε ότι τελικώς καταδύθηκε στο βυθό της θάλασσας μέσα σε ένα ειδικά διαμορφωμένο γυάλινο βαρέλι, παραμένοντας εκεί για αρκετές ώρες. Ένα άλλο γεγονός υπερηφάνειας είναι ότι ένα Ελληνικό υποβρύχιο διεξήγαγε την πρώτη καταγεγραμμένη υποβρύχια πολεμική επίθεση με τορπίλες ενάντια σε ένα εχθρικό πολεμικό πλοίο το 1912. Σήμερα η Ελληνική Διοίκηση Υποβρυχίων αποτελείται αποκλειστικά από μια Δύναμη οκτώ Diesel-ηλεκτροκίνητων υποβρυχίων, **τύπου-209**, σχεδιασμένα από την **Howaldtswerke Deutsche Werft (HDW)**. Η Ελλάδα έχει προσφάτως επίσης κάνει συμβόλαιο με την **HDW** για τέσσερα **τύπου-214** Diesel με ανεξάρτητη αέρια ώθηση (AIP) δυνατότητα. Έχουν υπάρξει αντίθετες αναφορές σχετικά με το αν ο **τύπος-214** θα αντικαταστήσει τα τέσσερα παλιότερα **τύπου 209**, ή αν το Ελληνικό Ναυτικό θα διαθέτει μια δύναμη δώδεκα υποβρυχίων .

1.2.1

Αρχικές Υποβρύχιες Αναπτύξεις

Στα τέλη του 1800, η προοπτική της ανάπτυξης ενός πρακτικού υποβρύχιου σκάφους ενδιέφερε πολλά από τα Ευρωπαϊκά κράτη, ειδικά εκείνα που οι δυνάμεις τους δεν θα μπορούσαν ποτέ άλλοτε να προκαλέσουν τις ναυτικές δυνάμεις των μεγάλων δυνάμεων, ειδικά το Βρετανικό Βασιλικό Ναυτικό. Πολυάριθμοι μηχανικοί και εφευρέτες δημιούργησαν σχέδια και κατασκευές για να προσελκύσουν επενδυτές και κυβερνητική υποστήριξη.

Όπως ο John Holland στα λιμάνια της Νέας Υόρκης / New Jersey και ο Simon Lake του Bridgeport, Connecticut /Long Island Sound, έκαναν κατασκευές και υποβρύχιους πειραματισμούς σε πολλές Ευρωπαϊκές πόλεις με λιμάνια, συμπεριλαμβανομένου και του Πειραιά.

Ο Έλληνας μηχανικός **Ν.Γρυπάρης** αναφέρθηκε ότι κατασκεύασε ένα πειραματικό υποβρύχιο, ονόματι **«ΓΡΥΠΑΡΑ»** στο 1880 και το δοκίμασε στα νερά του Φαλήρου. Αλλά όπως με τον Holland και τον Lake, αποδείχτηκε δύσκολο για τους περισσότερους Ευρωπαίους κατασκευαστές να βρουν την οικονομική υποστήριξη που να ευοδώσουν τα σχέδια τους.

Ήταν ή δεν ήταν αυτή η περίπτωση για τον Ν.Γρυπάρη, δεν υπάρχει κανένα αρχείο που να πιστοποιεί ότι κατασκεύασε ένα κανονικού μεγέθους λειτουργικό υποβρύχιο Παρ' όλα ταύτα η Ελληνική Κυβέρνηση είχε άμεση προτεραιότητα να προχωρήσει την υποβρύχια Δύναμη. Ενώ παρέμεναν γενικά καλές σχέσεις με τις Ναυτικές Δυνάμεις της Βρετανίας, Γαλλίας και Ρωσίας (οι οποίες όλες πολέμησαν ως σύμμαχοι στη ναυμαχία του Ναυαρίνου, υποστηρίζοντας την Ελληνική Ανεξαρτησία), η Οθωμανική Τουρκική Αυτοκρατορία παρέμεινε αμείλικτος εχθρός με ένα αριθμητικά ανώτερο στόλο. Το 1885, ο Αγγλικής καταγωγής **George William Garrett** παρήγαγε ένα σχέδιο για υποβρύχιο που να δύναται να βάλει торπίλες το οποίο κατασκευάστηκε από τον Σουηδό κατασκευαστή πλοίων **Thorsten Nordentfelt**. Όταν οι δοκιμές για το **NORDENFELT #1** πραγματοποιήθηκαν στο Landskrone της Σουηδίας, ο **Nordentfelt** κάλεσε παρατηρητές του ναυτικού από πολλές Ευρωπαϊκές και Λατίνο-Αμερικάνικες χώρες. Παρόλο που κάποιοι παρατηρητές γύρισαν πίσω μη εντυπωσιασμένοι, η Ελληνική κυβέρνηση αποφάσισε να αγοράσει το NORDENFELT #1 για 9000 Βρετανικές λίρες. Μια πηγή δηλώνει ότι ο κακόφημος Βαρώνος **Βασίλης Ζαχάρωφ** έπαιξε το ρόλο του μεσάζοντα για αυτή την αγορά. (Υποστηρικτές της ITV1/PBS σειράς Reilly, «**Ace of Spies**», θα θυμούνται τον Ζαχάρωφ ως τον αρχικό και επίμονο αντίπαλο του Sydney Reilly). Αναφορικά, ο Ζαχάρωφ υποστήριζε ότι ήταν (τουλάχιστον εν μέρει) Ελληνικής καταγωγής και αναφορές στον πατριωτισμό του είχαν κάποια επιρροή στην απόφαση της Ελληνικής Κυβέρνησης. Ανεξαρτήτως της καταγωγής και του πατριωτισμού του ο Ζαχάρωφ πούλησε τα δύο επόμενα τύπου **NORDENFELT** υποβρύχια στην Οθωμανική Αυτοκρατορία. Ο Τούρκος Σουλτάνος ήθελε να εξουδετερώσει οιοδήποτε Ελληνικό πλεονέκτημα, και ήταν πρόθυμος να πληρώσει ακόμα περισσότερα χρήματα. Είναι δύσκολο να αποκομίσετε μια αληθινή αναφορά της πραγματικής επιχειρησιακής ικανότητας και εγκυρότητας του **NORDENFELT 1**. Από κατασκευής ήταν ατμοκίνητο, μήκους 33 μέτρων, εκτοπίσματος επιφανείας 160 τόνων, ταχύτητας 9 κόμβων στην επιφάνεια, είχε πλήρωμα τριών ανδρών και ήταν εξοπλισμένο με μία δοκιμαστική торπίλη.

Το Ελληνικό Ναυτικό χρησιμοποιούσε το Υ/Β σαν δοκιμαστική και εκπαιδευτική πλατφόρμα. Σύμφωνα με μια ημι-επίσημη πηγή, παρέμεινε στην Δύναμη του Στόλου μέχρι το 1901, χωρίς να είναι επιχειρησιακό. Δεν είναι σαφές αν μια τέτοια αναφορά δείχνει ότι, σαν εκπαιδευτική πλατφόρμα, το σκάφος δεν συμπεριλήφθηκε ποτέ στο Στόλο, ή αν δείχνει ότι στην πραγματικότητα το NORDENFELT 1 δεν δυνατό να πλεύσει και / ή να καταδυθεί.

1.3

Πυρηνικά Υποβρύχια

Η χρήση της πυρηνικής ενέργειας ως μέσου πρόωσης άνοιξε μια νέα εποχή και παράλληλα δημιούργησε το πραγματικό Υ/Β. Η επίσημη αυλαία αυτής της εποχής άνοιξε τον Ιανουάριο του 1955 όταν το USS Nautilus έγινε το 1ο πυρηνικό Υ/Β.

Οι πρώτες εκτιμήσεις των επιχειρησιακών του δυνατοτήτων ανέφεραν ότι «ήταν αδύνατο να εντοπισθεί από ραντάρ καθώς δεν χρειαζόταν να αναδύεται ή να χρησιμοποιεί αναπνευστήρα (snorkel), ήταν τόσο γρήγορο ώστε το ενεργό sonar δεν μπορούσε να εστιάσει πάνω του, ενώ η ταχύτητα και η ευελιξία του επέτρεπαν να αποφεύγει με ευκολία επιθέσεις εναντίον του με τορπίλες». Από την άλλη πλευρά όμως ήταν θορυβώδες, καθώς οι αντλίες κυκλοφορίας του νερού ψύξης του αντιδραστήρα έδιναν σημαντικό θόρυβο στις χαμηλές συχνότητες, όπως επίσης και οι μειωτήρες στροφών του άξονα που μετέδιδε την κίνηση από τον ατμοστρόβιλο στις προπέλες.

Ήταν λοιπόν προφανές ότι το βάρος της ανθυποβρυχιακής προσπάθειας έπρεπε να στραφεί στις μεθόδους παθητικού ηχοεντοπισμού, ενώ αντίστοιχα η εξέλιξη των Υ/Β έπρεπε να έχει ως κύριο άξονα τη μείωση του παραγόμενου θορύβου. Αυτός ο φαύλος κύκλος έμελλε να είναι η κεντρική ιδέα των εξελίξεων μέχρι σήμερα.

Το πρώτο Σοβιετικό πυρηνικό υποβρύχιο που εισήλθε σε υπηρεσία ήταν το K-3 (Λενίνσκι Κομσομόλ), το 1958, εγκαινιάζοντας την, για το ΝΑΤΟ, κλάση των November SSN. Οι τεχνολογικές εξελίξεις που ακολούθησαν ήταν ουσιαστικά αποτέλεσμα της έρευνας και εξελίξεις, αλλά και των επιχειρησιακών δογμάτων που ανέπτυξαν το Αμερικανικό και το Σοβιετικό Ναυτικό.

Αναπτύχθηκαν τρεις τύποι πυρηνικών Υ/Β, ανάλογα με την αποστολή για την οποία προορίζονταν.

Τα επιθετικά Υ/Β (SSN) με αποστολή τον εντοπισμό και καταστροφή άλλων Υ/Β, τα στρατηγικά Υ/Β (SSBN) ως πλατφόρμες εκτόξευσης στρατηγικών πυρηνικών όπλων (βαλλιστικών πυραύλων), και τα Υ/Β κατευθυνόμενων πυραύλων κατά σκαφών επιφανείας (SSGN) με στόχο την επίθεση κατά αεροπλανοφόρων.

Τα SSGN αναπτύχθηκαν κυρίως από τη Σοβιετική Ένωση καθώς το αεροπλανοφόρο ήταν το κατ' εξοχήν ναυτικό όπλο των ΗΠΑ, ενώ το Σοβιετικό Ναυτικό απέκτησε το πρώτο πραγματικό του αεροπλανοφόρο μόνο στα τέλη της δεκαετίας του 80.

1.3.1

Πυρηνικά υποβρύχια 2ης γενιάς

Η περίοδος από το 1965 έως τα μέσα της δεκαετίας του 70 χαρακτηρίστηκε από μια προφανή διαφορά στη σχεδιαστική φιλοσοφία ανάμεσα στις δύο υπερδυνάμεις. Ο κεντρικός άξονας κατεύθυνσης του Αμερικανικού Ναυτικού ήταν σαφέστατα η αναζήτηση μεθόδων περιορισμού της εκπομπής θορύβων από τις λειτουργίες του Υ/Β και η εξέλιξη των μεθόδων παθητικού ηχοεντοπισμού. Από την άλλη πλευρά το Σοβιετικό Ναυτικό προσπαθούσε να εξελίξει τα Υ/Β του στη λογική της αντιμετώπισης των τακτικών και στρατηγικών απειλών που αντιμετώπιζε. Ουσιαστικά η διαφορά ανάμεσα στις δύο φιλοσοφίες ήταν ότι οι Αμερικανοί ανέπτυσαν αυτόνομα τα πυρηνικά Υ/Β και δημιούργησαν ένα εντελώς νέο επιχειρησιακό περιβάλλον, ενώ οι Σοβιετικοί προσπαθούσαν να προσαρμόσουν τα πυρηνικά Υ/Β στο υπάρχον πλαίσιο ναυτικών επιχειρήσεων. Η κατάσταση αυτή οδήγησε αρκετές φορές το

Σοβιετικό Ναυτικό στην εξέλιξη κάποιων πραγματικά εντυπωσιακών υποβρυχίων (ZhTS, Para, Alfa) ή και σε σημαντικά τακτικά βήματα (πρώτη εκτόξευση πυραύλου cruise εν καταδύσει).

Κάθε τέτοια εξέλιξη προκαλούσε αρχικά πανικό στο Αμερικανικό Ναυτικό το οποίο αναζητούσε άμεσα την απάντηση.

Το παιχνίδι αυτό κρίθηκε υπέρ των Αμερικανών για δύο βασικούς λόγους: οι τεχνολογικές εξελίξεις των Σοβιετικών ήταν συχνά τεχνολογικά ασταθείς και μεσοπρόθεσμα προβληματικές και οι απαντήσεις των Αμερικανών ήταν σε επίπεδο αναδιαμόρφωσης των ανθυποβρυχιακών τακτικών τους και όχι σε αυτό της παρέκκλισης από το βασικό άξονα εξέλιξης (περιορισμός θορύβου, παθητικός ηχοεντοπισμός).

Το πρώτο Αμερικανικό Υ/Β δεύτερης γενιάς ήταν το SSN 637 Sturgeon (1967). Αρχικά το Sturgeon είχε σχεδιαστεί ως συνέχεια της κλάσης Thresher, όμως εξελίχθηκε σε νέα κλάση. Στα Υ/Β της κλάσης τοποθετήθηκαν συστήματα ανάλυσης συχνοτήτων και απομόνωσης των μηχανικών θορύβων, αξιοποιώντας τις τεχνικές επεξεργασίας σήματος LOFAR (Low Frequency Analysis and Ranging).

Παράλληλα στα Υ/Β της κλάσης ξεκίνησαν οι δοκιμές της χρήσης ρυμουλκούμενων sonar. Αυτά τα δύο στοιχεία ήταν και εκείνα που επέτρεψαν για πρώτη φορά τη δημιουργία βιβλιοθηκών με τις ηχητικές υπογραφές των Σοβιετικών Υ/Β. Κάθε κλάση και ακόμα και κάθε σκάφος είχαν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία μέσω του LOFAR μπορούσαν πια να αναλυθούν και να καταγραφούν. Έτσι ήταν δυνατή η ταυτοποίηση των Σοβιετικών Υ/Β σε επίπεδο σκάφους.

Μια άλλη δυνατότητα την οποία προσέφεραν για πρώτη φορά τα εξελιγμένα συστήματα παθητικού ηχοεντοπισμού σε συνδυασμό με το σφαιρικό sonar της πλήρης που εξασφάλιζε ευρύτερη κάλυψη χώρου, ήταν η δυνατότητα παρακολούθηση ενός Σοβιετικού Υ/Β από μικρή απόσταση, καθώς τα στοιχεία από την επεξεργασία των ηχητικών σημάτων ήταν αρκετά πιο αξιόπιστα σε ότι αφορά την απόσταση από το εντοπισμένο Υ/Β. Έτσι αναπτύχθηκε η τακτική της προσέγγισης του εχθρικού Υ/Β από τα νώτα σε μικρές αποστάσεις, και η παρακολούθηση εκ του σύνεγγυς. Από το 1967 έως το 1975 αναπτύχθηκαν 37 Υ/Β της κλάσης **Sturgeon**.

Τη ίδια περίοδο αναπτύχθηκαν και 2 ακόμα SSN τα οποία λειτούργησαν ως πιλοτικές πλατφόρμες δοκιμής νέων συστημάτων. Επρόκειτο για τα **SSN 671 Narwall** (1969), και **SSN 685 Lipscomb** (1974). Το Narwall χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή ενός συστήματος ροής του νερού ψύξης με φυσική συναγωγή, χωρίς δηλαδή αντλίες οι οποίες ήταν πάντα ένας από τους σημαντικούς παράγοντες θορύβου.

Το Lipscomb ήταν όμοιο με τα Sturgeon με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούσε σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης (Turbo Electric Drive System). Παρότι ήταν πολύ πιο αθόρυβο από τα άλλα Υ/Β της εποχής του, η αρκετά χαμηλή ταχύτητα το μεγάλο βάρος και ο όγκος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, απέκλεισαν τη χρήση TEDS στα Υ/Β που ακολούθησαν.

Τα Σοβιετικά Υ/Β δεύτερης γενιάς διακρίνονται σε αρκετές διαφορετικές κλάσεις. Αρχικά το Σοβιετικό Ναυτικό προσπάθησε να καλύψει την εμφανή υστέρησή του σε ότι αφορά τον αριθμό,

αλλά και την ποιότητα των SSBN. Έτσι ξεκίνησε το 1964 την ανάπτυξη της κλάσης **Yankee** τα οποία ήταν ουσιαστικά αντίγραφα των Αμερικανικών **George Washington**.

Αναπτύχθηκαν συνολικά 34 Yankee I και II τα οποία έφεραν μετά το 1972 16 πυραύλους SS-N-6 με ακτίνα δράσης 1.700 nm.

Αρκετά από τα Yankee υπέστησαν μετά το 1977 μετατροπές που αφορούσαν κυρίως τη δοκιμή διαφόρων τύπων βαλλιστικών πυραύλων αλλά και την εκτέλεση ειδικών αποστολών. Έτσι αρκετές φορές αναφέρονται και αρκετές υποκατηγορίες της κλάσης.

Στην πράξη, τα σημαντικά προβλήματα στη λειτουργία και την αξιοπιστία των Σοβιετικών δορυφόρων ναυτικής συνεργασίας ουσιαστικά αφαίρεσαν τη μία συνιστώσα του προβλήματος, καθώς τα Σοβιετικά SSGN θα συνέχιζαν να εξαρτώνται από αεροσκάφη ναυτικής συνεργασίας για την καθοδήγηση των πυραύλων.

Τελικά κατασκευάστηκαν μόνο 17 **Charlie** I και II τα οποία ουδέποτε απετέλεσαν την απειλή για την οποία προετοιμάστηκε το Αμερικανικό ναυτικό. Περίπου 12 χρόνια μετά, η εμφάνιση των **Oscar SSGN** σε συνδυασμό με την εξέλιξη νέων βελτιωμένων τύπων πυραύλων και την αποτελεσματική λειτουργία των δορυφόρων ναυτικής συνεργασίας. Το 1972 εμφανίστηκε η πρώτη έκδοση της κλάσης **Delta**. Οι πραγματικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα Yankee ήταν μικρές, άλλωστε για το Σοβιετικό Ναυτικό επρόκειτο απλά για μια παραλλαγή των τελευταίων. Αρχικά έφεραν 12 πυραύλους SS-N-8 με ακτίνα δράσης περίπου 4.200 nm. Στα επόμενα χρόνια εμφανίστηκαν αρκετές παραλλαγές των Delta. Συνολικά κατελήφθησαν 18 Delta I, 4 Delta II, 14 Delta III, ενώ μετά το 1985 αναπτύχθηκαν 7 Delta IV, 6 εκ των οποίων παραμένουν σε υπηρεσία μέχρι σήμερα. Προφανώς τα Delta IV αν και ως αρχικό σχέδιο ανήκουν στα πυρηνικά Y/B 2ης γενιάς ενσωματώνουν αρκετές από τις τεχνολογικές εξελίξεις της 3ης γενιάς.

Αν σε ότι αφορά τα SSBN 2ης γενιάς η προσέγγιση των Σοβιετικών ήταν σχεδιαστικά συμβατική, δε συνέβη το ίδιο με τα SSN και SSGN της ίδιας περιόδου. Αμέσως μετά την κατασκευή του 1ου Σοβιετικού πυρηνικού Y/B ξεκίνησε ο σχεδιασμός ενός επιθετικού Y/B το οποίο θα χρησιμοποιούσε 2 αντιδραστήρες ψυχόμενους από υγρό μέταλλο. Το αποτέλεσμα ήταν το Π645 ZhMT (1963). Το συγκεκριμένο σκάφος αντιμετώπισε πολλά προβλήματα με τους αντιδραστήρες του μέχρι που ένα σημαντικό ατύχημα το 1968 το έθεσε εκτός υπηρεσίας.

Το 1965 παρουσιάστηκαν τα Victor SSN με κύρια αποστολή τον εντοπισμό και καταστροφή εχθρικών SSBN. Σε σχέση με τα σύγχρονά τους Sturgeon ήταν αρκετά πιο γρήγορα (+5 knots) αλλά υστερούσαν σημαντικά σε ηχομόνωση. Σημαντικό στοιχείο του εξοπλισμού τους ήταν η ύπαρξη μιας πυρηνικής τορπίλης σε εξωτερικό τορπιλοσωλήνα, ενώ τα Victor ήταν τα πρώτα Σοβιετικά Y/B που είχαν μόνο ένα αντιδραστήρα. Συνολικά κατασκευάστηκαν 22 Victor I και II, ενώ το 1978 εμφανίστηκε μια παραλλαγή η οποία χαρακτηρίστηκε ως Victor III. Σε αυτή την παραλλαγή έγινε για πρώτη φορά κάποια σοβαρή προσπάθεια εκ μέρους του Σοβιετικού Ναυτικού σε ότι αφορά την ηχομόνωση ενώ παράλληλα ήταν και τα πρώτα Σοβιετικά Y/B που εξοπλίστηκαν με ρυμουλκούμενο sonar.

Τα Victor III ήταν ουσιαστικά η πρώτη ένδειξη για την αλλαγή του σχεδιαστικού κέντρου βάρους του Σοβιετικού Ναυτικού προς την κατεύθυνση της ηχομόνωσης και του παθητικού ηχοεντοπισμού, αποτελώντας το συνδετήριο κρίκο με τα Υ/Β τρίτης γενιάς που εμφανίστηκαν στη δεκαετία του 80. Το 1969 εμφανίστηκε το πιο γρήγορο, επιχειρησιακά ενεργό, Υ/Β που κατασκευάστηκε ποτέ. Το K-162 (Π661, ή Para για το NATO), ήταν ένα SSGN που φιλοδοξούσε να αποτελέσει το αντίδοτο στη Αμερικανική υπεροχή σε σκάφη επιφανείας. Λίγα πράγματα είναι γνωστά σε ότι αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πέραν του ότι ήταν κατασκευασμένο από κράμα τιτανίου, έφερε 10 πυραύλους SS-N-9 και έχει αναφερθεί ότι στη φάση των δοκιμών του έφτασε την απίστευτη ταχύτητα των 44,7 knots εν καταδύσει.

Βέβαια το τίμημα για αυτή την υψηλή ταχύτητα ήταν αφενός τα πολύ υψηλά επίπεδα θορύβου και αφετέρου το πολύ υψηλό κόστος κατασκευής. Το Para δεν αποτέλεσε κλάση καθώς δεν κατασκευάστηκε άλλο, μια και στα μέσα της δεκαετίας του 70 το Σοβιετικό Ναυτικό, στράφηκε οριστικά προς τους πιο «συμβατικούς» τύπους πυρηνικών Υ/Β. Η δεκαετία του 60 έκλεισε με μια πρωτιά για τα Σοβιετικά Υ/Β. Το 1969 τα Υ/Β της κλάσης Π670Α (κατά NATO Charlie I) έγιναν τα πρώτα στο κόσμο που είχαν τη δυνατότητα εκτόξευσης εν καταδύσει, πυραύλων κατά σκαφών επιφανείας. Παράλληλα με αυτή τη δυνατότητα, η εμφάνισή τους ήταν σχεδόν ταυτόχρονη με την εκτόξευση των πρώτων Σοβιετικών δορυφόρων με δυνατότητα κατεύθυνσης των πυραύλων. Οι δύο αυτές παράμετροι έδιναν λύση σε αρκετά από τα επιχειρησιακά προβλήματα που αντιμετώπιζαν τα **Echo** και έχουν ήδη αναφερθεί. Ουσιαστικά δηλαδή η δυνατότητα εκτόξευσης εν καταδύσει, σε συνδυασμό με τους δορυφόρους ναυτικής συνεργασίας, συνιστούσαν μια σημαντική απειλή η οποία αναστάτωσε το Αμερικανικό Ναυτικό και το ανάγκασε να εξελίξει τις ανθυποβρυχιακές επιχειρησιακές τακτικές των σκαφών επιφανείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια συνοπτική αναφορά για το ρόλο και την λειτουργία του υποβρυχίου, και θα γίνει αναφορά στην αναερόβια πρόωση των συμβατικών υποβρυχίων, και του πυρηνικού αντιδραστήρα ενός πυρηνικού υποβρύχιου.

2.1

Υποβρύχιο και ο ρόλος του

Σκοπός του υποβρυχίου είναι να μην παράγει θορύβους εσωτερικούς ώστε να μην γίνεται αντιληπτό από τον εχθρό. Τα πάντα είναι στερεωμένα με αντικραδασμικά. Όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα του υποβρύχιου προσανατολίζονται στον παθητικό εντοπισμό και όσα συστήματα είναι ενεργά είναι για λόγους ναυτιλίας και μόνο (Radar επιφανείας). Για εντοπισμό από αέρος υπάρχει το ESM (Electronic Support Measures).

Για εντοπισμό εντός νερού υπάρχει το SONAR (Sound Navigation Resign). Το οποίο εκμεταλλεύεται την υψηλή ταχύτητα των θορύβων που παράγουν τα πλοία. Υπάρχουν διάφορα σεντ υδροφωνων για λήψη και ανάλυση των ήχων που παράγονται από τα πλοία.

Οι ομάδες αυτές υδροφωνων είναι χωρισμένες ανάλογα το εύρος συχνοτήτων που λαμβάνουν τα Υδρόφωνα, εκμεταλλευόμενοι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που έχει κάθε μια από αυτές τις ομάδες. Τα υδροφωνα λαμβάνουν και αναλύουν χαμηλές συχνότητες (Low Frequency) πετυχαίνουμε μέγιστες αποστάσεις εντοπισμού (30.000 μάρδες) ή και παραπάνω ανάλογα με τις εκάστοτε βαθυθερμογραφικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή στην οποία βρισκόμαστε.

Με την μέτρηση – σύγκριση των χαρακτηριστικών του θορύβου κάθε πλοίου, μπορεί να φτιαχτεί μια βάση δεδομένων, η οποία θα βοηθήσει το υποβρύχιο χωρίς επαναλαμβανόμενη οπτική επαφή να γνωρίσει τον στόχο.

Πλήρες σύστημα επικοινωνιών όπως σε ένα εμπορικό πλοίο (High Frequency HF, Very High Frequency VHF, Ultra High Frequency UHF).

2.1.2

Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ

Το υποβρύχιο χωρίζεται σε 4 μέρη :

Τορπιλοστάσιο, κρεβάτια, τορπίλες προωρέα συστοιχία είναι το ένα μέρος, το άλλο μέρος είναι το διαμέρισμα διευθύνσεως ,δωμάτιο κυβερνήτου, επιχειρησιακό κομματιού υποβρυχίου, κεντρικό διαμέρισμα. (σχ. 2.1.2)

Εξωτερικά εάν δούμε το υποβρύχιο μας δίνει τη εντύπωση ότι χωράει λίγα και μετρημένα πράγματα, πλην όμως τα φαινόμενα απατούν. Στην πλώρη του υποβρυχίου γίνεται η παραλαβή των τορπιλών. Καθώς μπαίνουμε στο εσωτερικό του υποβρυχίου, το πρώτο πράγμα που αντικρίζουμε είναι μηχανήματα, σωλήνες, καλώδια, μετρητές βυθομέτρα, κρεβάτια, τραπέζια, πάγκους. Είναι ο χώρος αποθήκευσης, βολής τορπιλών, ενδαιτήσεων του πληρώματος καθώς και η μια συστοιχία μπαταριών. Στον επόμενο χώρο, είναι το διαμέρισμα διευθύνσεως. Είναι ο χώρος που έρχεται σε επαφή με τη γέφυρα και στο οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις για όλες τις κινήσεις του πλοίου. Στο χώρο αυτό βρίσκονται το σύστημα επικοινωνιών και εντοπισμού, το περισκόπιο, και υπολογιστές για το σύστημα βολής τορπιλών.

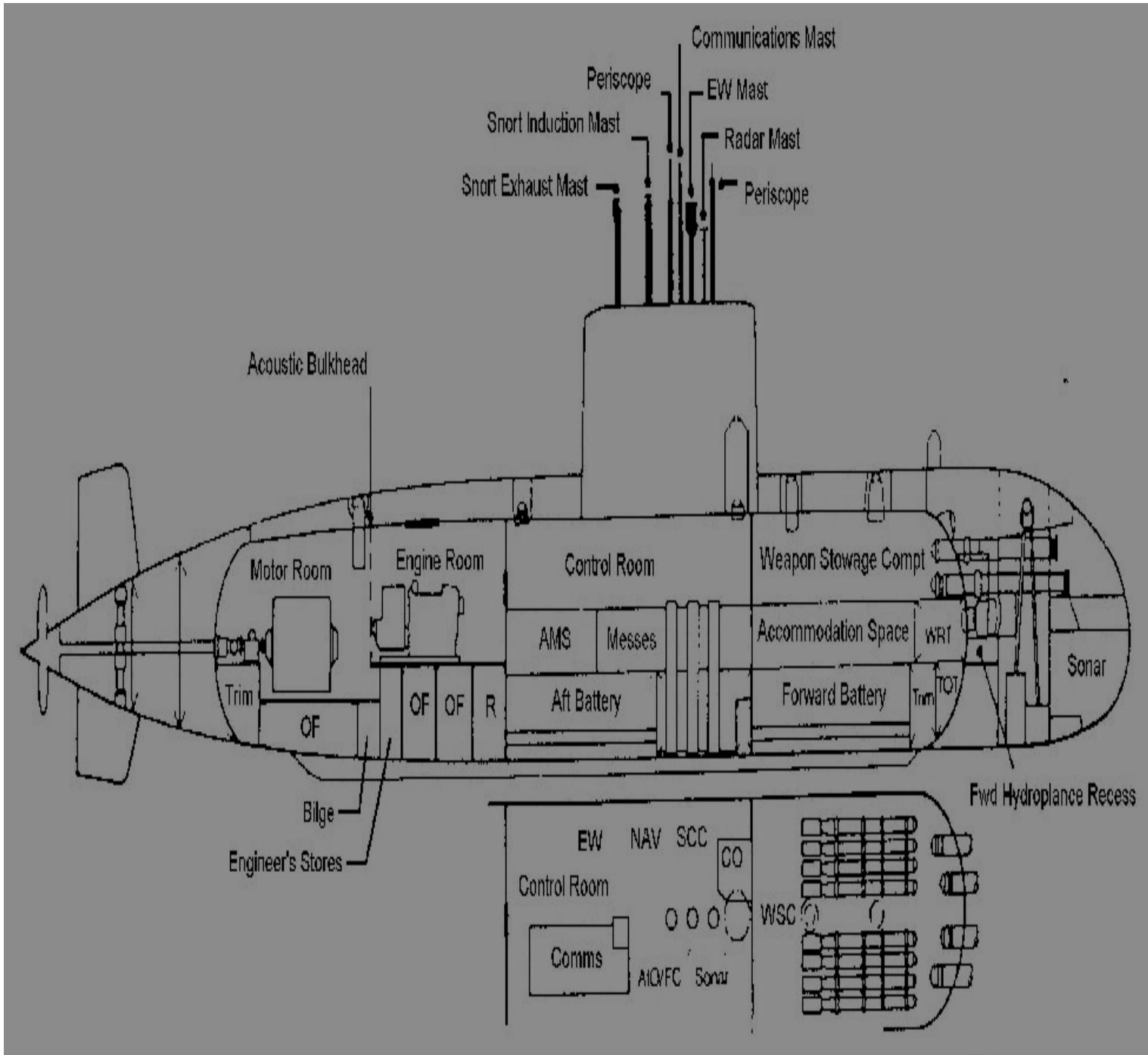
Ο αμέσως επόμενος χώρος είναι το κεντρικό διαμέρισμα στο οποίο εκτελείται και παρακολουθείται η πορεία και η ταχύτητα του υποβρυχίου, και εκεί βρίσκεται η δεύτερη συστοιχία μπαταριών.

Στο τελευταίο διαμέρισμα είναι το μηχανοστάσιο στο οποίο βρίσκονται μηχανές για την κίνηση και φόρτιση των συστοιχιών, οι γεννήτριες και το σύστημα πρόωσης.

ΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ

Πηδάλιο:	<i>Στρίβει το υποβρύχιο</i>
Έλικας:	<i>Προχωράει το υποβρύχιο</i>
Ηλεκτρικός κινητήρ	<i>Κάνει τον έλικα να γυρίζει</i>
Μηχανοστάσιο:	<i>Βρίσκονται οι μηχανές</i>
Μπαταρίες:	<i>Δίνει ενέργεια για να δουλέυει ο ηλεκτρικός κινητήρας</i>
Αντλιοστάσιο:	<i>Εκεί βρίσκονται οι αντλίες</i>
Θάλαμος ελέγχου:	<i>Ελέγχονται τα πάντα στο υποβρύχιο</i>
Τορπιλοβλητικοί σωλήνες:	<i>εκσφενδονίζονται οι τορπίλες</i>
Τορπίλες:	<i>Ένα είδος βόμβας των υποβρυχίων</i>
Καρρέ αξιωματικών	<i>Καμπίνες των αξιωματικών</i>
Γέφυρα:	<i>Η είσοδος του υποβρυχίου (δωμάτιο</i>

Σνόρκελ:	<i>Από εκεί που μπαίνουν στο υποβρύχιο (πόρτα)</i>
Διαμέρισμα πληρώματος:	<i>Καμπίνες του πληρώματος</i>

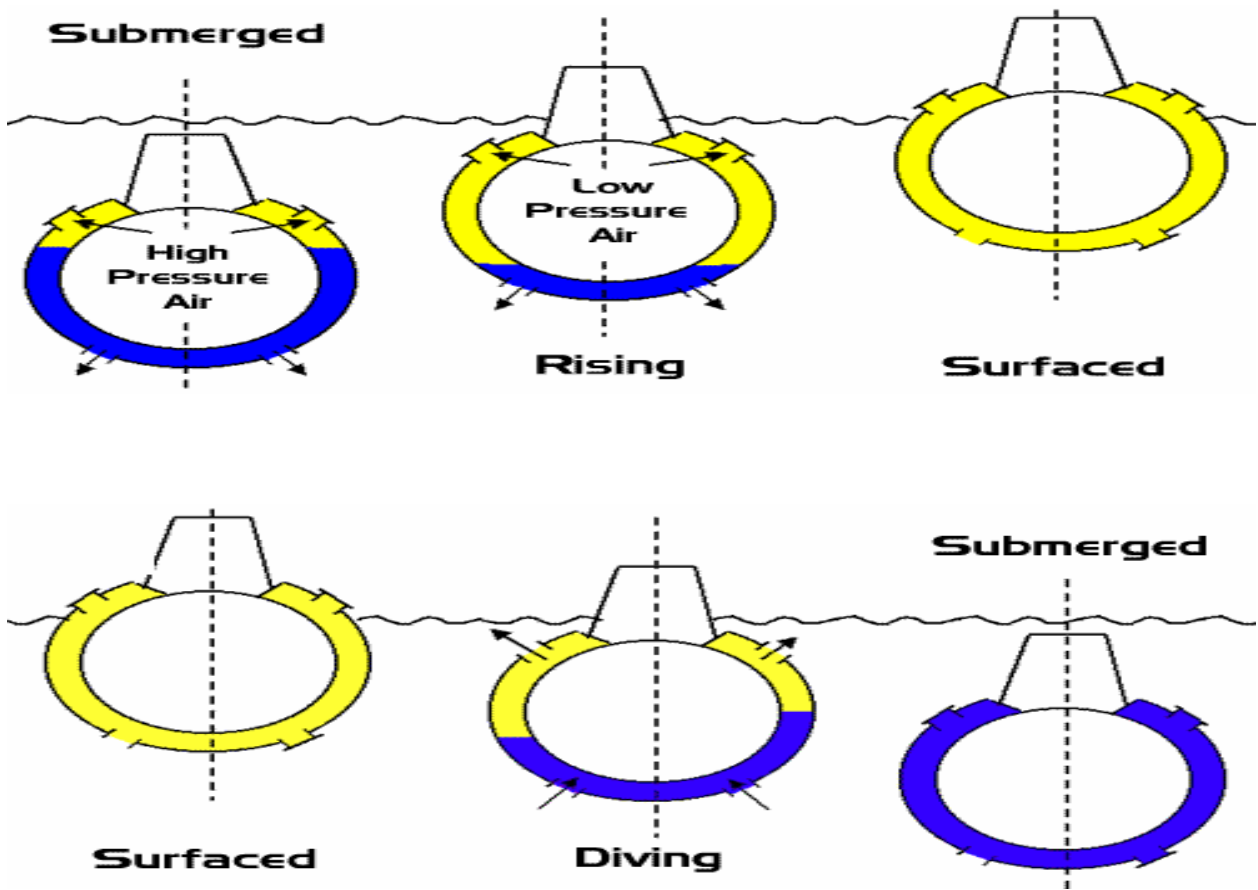


Σχήμα.2.1.2

2.1.3

Η κατάδυση, η ανάδυση και πως κινείται το υποβρύχιο

Τα υποβρύχια για την ανάδυση και την κατάδυση χρησιμοποιούν μια δεξαμενή. Το έρμα είναι το επιπλέον βάρος που κάνει ένα υποβρύχιο να βυθίζεται (εικ.2.1.3). Συνήθως είναι θαλασσινό νερό. Αυτό γεμίζεται και στις δεξαμενές. Όταν η δεξαμενή είναι γεμάτη με έρμα, το υποβρύχιο βρίσκεται κάτω από τη θάλασσα. Για να ανέβει λίγο πιο ψηλά, αδειάζετε η δεξαμενή και έτσι εισβάλλει λίγος αέρας. Όταν ένα υποβρύχιο βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας, η δεξαμενή είναι άδεια. Επίσης τα υποβρύχια έχουν από πίσω έναν έλικα και για να στρίβουν ένα οριζόντιο πηδάλιο. Όταν το πηδάλιο στρίβει αριστερά πάει και το νερό που εκτοξεύει ο έλικας αριστερά και έτσι το υποβρύχιο κινείται προς τα δεξιά. Στην (εικ.2.1.3.1) φαίνεται το σύστημα οδήγησης του υποβρυχίου.



Εικόνα .2.1.3



Εικόνα .2.1.3.1

2.1.4

Πώς φτάνει ο αέρας στα υποβρύχια

Τα υποβρύχια διαθέτουν διάφορα συστήματα για τον ανεφοδιασμό τους με αέρα. Όταν πλέον λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, αναδύεται έξω από το νερό ο αναπνευστήρας, μέσω του οποίου ρουφούν αέρα με αντλίες. Όταν τα υποβρύχια κατεβαίνουν σε μεγαλύτερο βάθος, τότε χρησιμοποιούν τον πεπιεσμένο αέρα, τον οποίο διαθέτουν σε μεγάλες ποσότητες, επειδή εξυπηρετεί το σκάφος στους ελιγμούς του κατά την κάθοδο και την άνοδο. Ο αέρας αυτός μπορεί να χρησιμεύσει και στο πλήρωμα, επιτρέποντάς του να αναπνέει για μία με δύο μέρες. Μια άλλη μέθοδος είναι η εξής: Ανοίγουν και σκορπίζουν στο χώρο φιαλίδια με μια χημική ουσία ικανή να απορροφά το διοξείδιο του άνθρακα, μετατρέποντάς το σε οξυγόνο. Για τις επείγουσες περιπτώσεις, κάθε μέλος του πληρώματος διαθέτει μια φιάλη οξυγόνου. Τα πυρηνικά υποβρύχια, μεγαλύτερα και αποτελεσματικότερα, έχουν μια συσκευή ανακύκλωσης, διαμέσου της οποίας ο αέρας περνά με δύναμη κι έπειτα ελευθερώνεται ξανά στο περιβάλλον.

2.1.5

ΠΕΡΙΣΚΟΠΙΟ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ

Στον πύργο του υποβρύχιου βρίσκονται δυο περισκόπια το ένα χρησιμοποιείται για περιπολία και το άλλο για επίθεση. Το περισκόπιο για περιπολία είναι ποιο μικρό από το επιθέσεως. Το επιθέσεως είναι ποιο λεπτό και ποιο ψηλό κατά 1μ. και ο λόγος είναι να μην γίνονται απόνερα και γίνει αντιληπτό από τον εχθρό. Το ύψος του περισκόπιου είναι γύρω στα 11μ. Είναι ηλεκτροδραυλικό δηλ. πρεσάρεται μια αντλία και δίνει κίνηση. Υπάρχει βέβαια και η χειροκίνητη διαδικασία. Μέσα από το φακό του περισκοπίου βλέπουμε τις γραμμές του ορίζοντα και την απόσταση του στόχου. Έχουμε δυνατότητα μεγέθυνσης 1,5 φορά στο χαμηλό (Low) και στο υψηλό (High) 6 έξι φορές (εικ. 2.1.5).

Όλες αυτές οι πληροφορίες μαζεύονται στο σύστημα διεύθυνσης τορπιλών.



Εικόνα 2.1.5

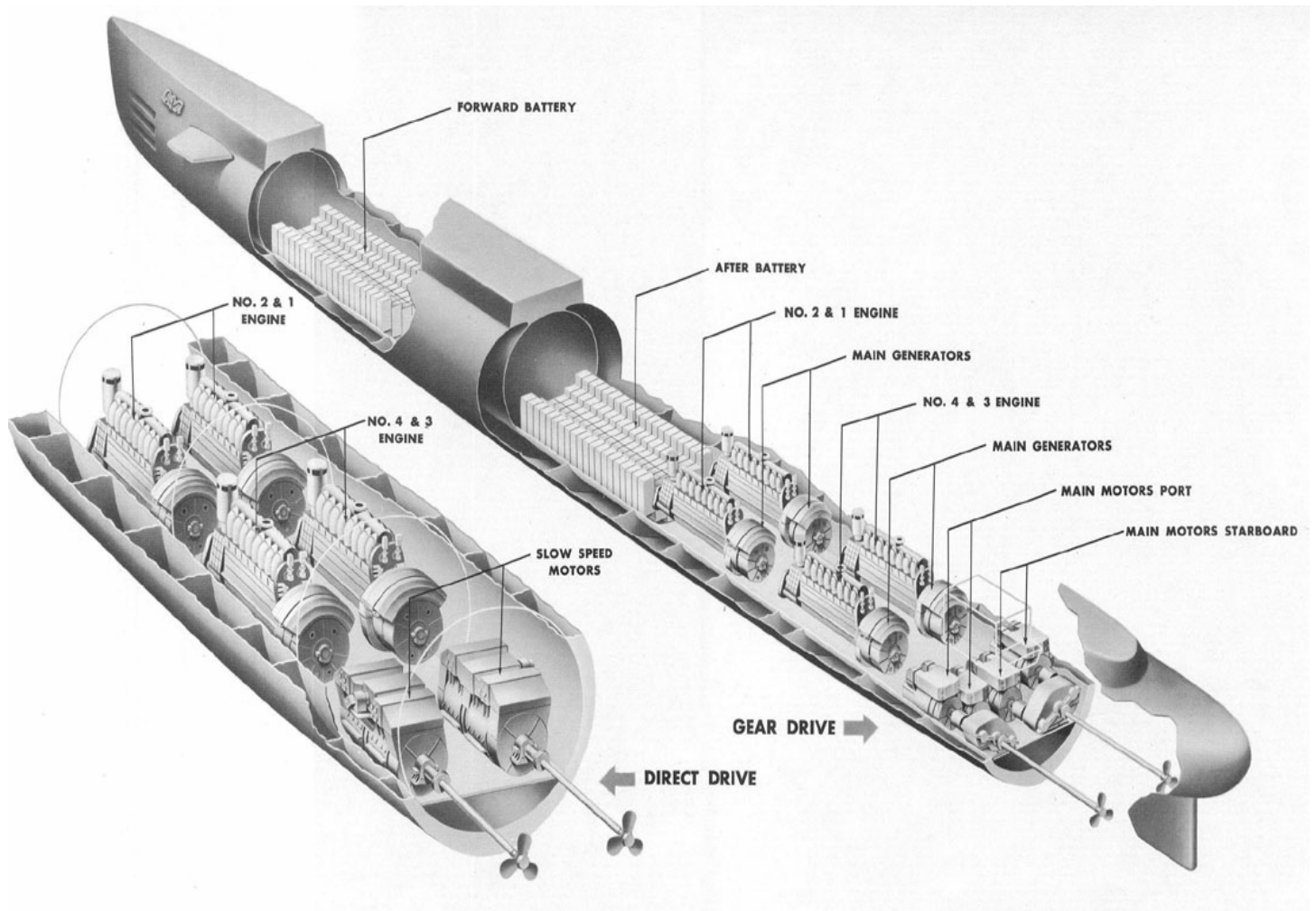
2.1.6

ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ

Οι μπαταρίες είναι μοναδικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας στην υποβρύχια ναυσιπλοΐα στα κλασικά (diesel- electric) υποβρύχια.(εικ. 2.1.6)

Οι υποβρύχιας μπαταρίες αποτελούνται από τα κύτταρα μολύβδου (Pb). Οι υποβρύχιας μπαταρίες πρέπει να είναι ικανές για να αποθηκεύσουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Συνήθως υπάρχουν 62 έως 144 ή ακόμα και περισσότερα κύτταρα. Στα ελληνικά υποβρύχια υπάρχουν γύρω στις 440 συστοιχίες χωρισμένες σε 4 τεταρτοστοιχίες οι οποίες ανάλογα με τις απαιτήσεις παραλληλίζονται ή μπαίνουν σε σειρά για να δώσουν την ανάλογη τάση στον κινητήρα και βέβαια να πάρουμε τα 440V τα οποία θα διανεμηθούν σε κάθε συσκευή του υποβρυχίου. Πλήρως το βάρος των μπαταριών είναι 12 έως 25 τοις εκατό μιας υποβρυχίας μετατόπισης.

Υπάρχουν συνήθως δύο χώροι μπαταριών σε ένα υποβρύχιο. Το μπροστινό δωμάτιο μπαταριών τοποθετείται κάτω από τα δωμάτια του προσωπικού και το οπίσθιο δωμάτιο μπαταριών τοποθετείται κάτω από το δωμάτιο ελέγχου. Υπάρχουν 2 έως 4 μπαταρίες σε ένα υποβρύχιο. Τα κύτταρα σε μια μπαταρία συνδέονται το ένα το άλλο στην τμηματική σύνδεση και οι μπαταρίες συνδέονται η μια την άλλη στην τμηματική ή παράλληλη σύνδεση.



Εικόνα 2.1.6

Τεχνική περιγραφή των κυττάρων:

- πλήρης χρεωμένη τάση 2,1 V (βολτ)
- πυκνότητα του ηλεκτρολύτη 1,28 κλ / κυβικό μέτρο (σε 30 βαθμούς Κελσίου)
- τάση χρέωσης χωρίς αέριο μέχρι τα 2,4V
- τάση χρέωσης με το αέριο μέχρι 2,8 V
- ελάχιστο που απαλλάσσει την τάση 1,8 V

Βασικά μέρη και κατασκευή ενός κυττάρου μολύβδου (Pb):

Τα βασικά μέρη ενός κυττάρου είναι ένα θετικό και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο και ένας ηλεκτρολύτης. Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα μέσο διεύθυνσης στο οποίο η ροή του ρεύματος συνοδεύεται από τη μετακίνηση του θέματος υπό μορφή ιόντων. Στο κύτταρο μολύβδου (Pb) ο ηλεκτρολύτης είναι μια λύση του θειικού οξέος (H_2SO_4) στο αποσταγμένο νερό (H_2O). Τα θετικά και τα αρνητικά ηλεκτρόδια αποτελούνται από ειδικές κατασκευασμένες πλάκες μολύβδου. Η θετική πλάκα είναι χρώματος καφέ και η αρνητική πλάκα είναι χρώματος γκρίζου. Οι πλάκες είναι χωρισμένες και βρίσκονται βυθισμένες σε ηλεκτρολύτη. Προκειμένου να κατασταθεί η ικανότητα των μπαταριών μεγαλύτερη, η επιφάνεια των πλακών πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Λόγω του ότι υπάρχουν λίγες πλάκες μολύβδου σε ένα κιβώτιο κυττάρων. Η πλάκες της ίδιας πολικότητας (κάθε μια "συν" και "μείον") συνδέονται με την παράλληλη σύνδεση, και λόγω αυτής η μπαταρία έχει τη μεγαλύτερη ικανότητα.

2.1.6.1

Ηλεκτρική ικανότητα των υποβρύχιων μπαταριών:

Η ηλεκτρική ικανότητα των μπαταριών είναι χαρακτηρισμένη σε "**Αμπερώριες**" (Ah). Αυτό μας δηλώνει για πόσο χρόνο θα παρέχει από τις μπαταρίες ηλεκτρική ενέργεια στο υποβρύχιο. Για παράδειγμα εάν έχουμε 40 Ah, μπορούμε να έχουμε ηλεκτρικό ρεύμα $0,5^A$ για 80 ώρες περίπου ενώ εάν χρειαζόμαστε 1^A τότε έχουμε ρεύμα για 40 ώρες.

Πρότυπα των υποβρύχιων μπαταριών:

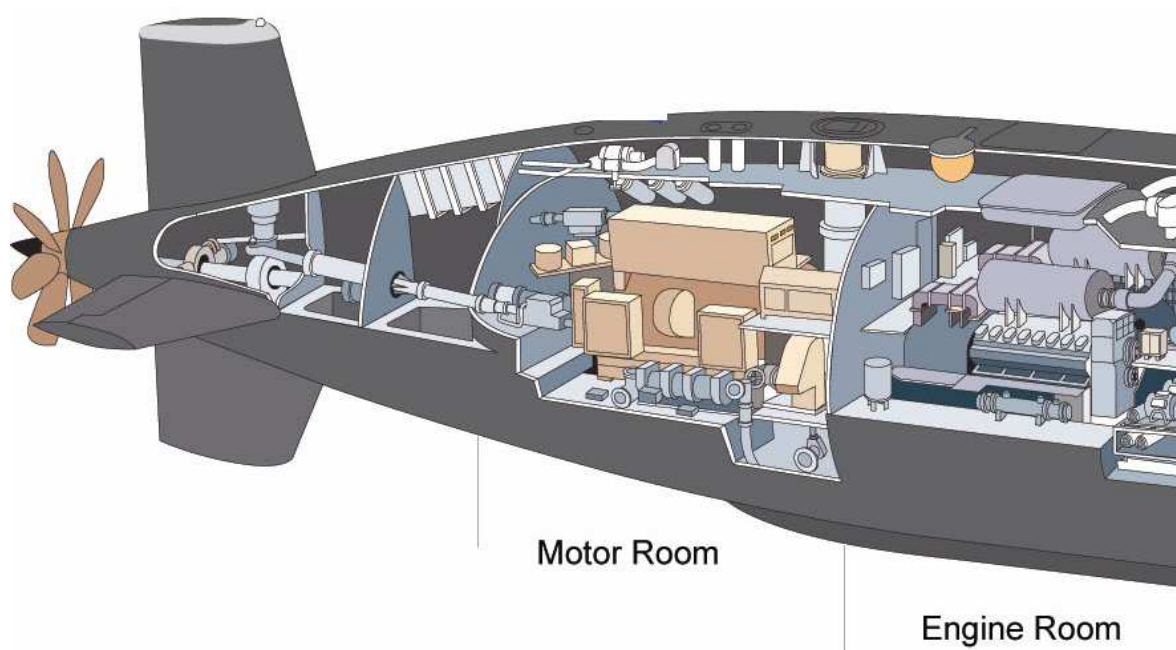
- δύναμη και ικανότητα όσο το δυνατόν μεγαλύτερες
- υψηλή αντίσταση στους μηχανικούς κλονισμούς (χτυπήματα και δονήσεις)
- μεγάλη διάρκεια (μακριά ζωή)
- δυνατότητα για γρήγορα να χρεώσει
- κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης δεν πρέπει να αναπτύξει το υδρογόνο και άλλα επιβλαβή αέρια .
- κατά τη διάρκεια της κλίσης ενός υποβρυχίου (μέχρι 45 βαθμοί) ο ηλεκτρολύτης δεν πρέπει να ρεύσει έξω από ένα κύτταρο

2.1.7

Αναερόβια πρόωση – AIP (Air Independed Propulsion)

Τα αναερόβια συστήματα πρόωσης υποβρυχίων σκαφών δεν έχουν ανάγκη για την λειτουργία τους τον ατμοσφαιρικό αέρα. Για τα συμβατικά υποβρύχια αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται η χρήση αναπνευστήρα (snorkel). Σήμερα, η αναερόβια πρόωση των υποβρυχίων συναντάται σε τρεις βασικές κατηγορίες τεχνολογιών: **(εικ. 2.1.7)**

- Στην πρόωση με πυρηνική ενέργεια
- Στις θερμικές μηχανές
- Κυψέλες καυσίμου



Εικόνα 2.1.7

2.1.7.1

Θερμικές Μηχανές

Οι θερμικές μηχανές (Stirling, Diesel κλειστού κύκλου, αμοστρόβιλος ή αεροστρόβιλος) βασίζονται στην ελκυσμένη ενέργεια από την καύση χημικών ουσιών. Συνήθως περιστρέφουν κάποια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος.

2.1.7.2

Μηχανή Stirling

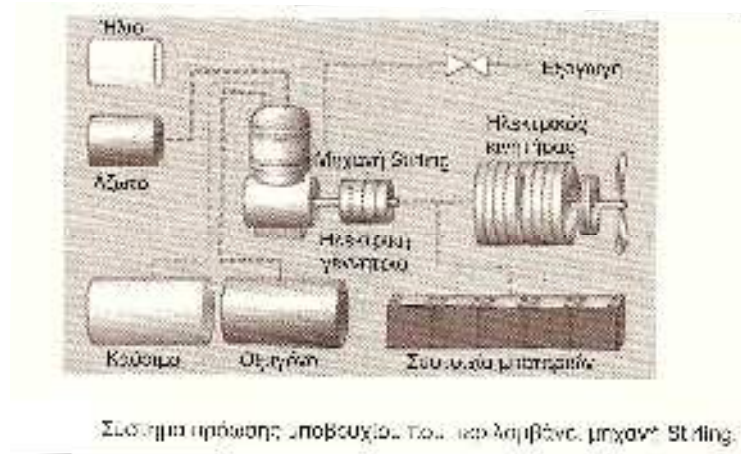
Γενικά, η μηχανή Stirling αποτελεί εμβολοφόρο (παλινδρομική) μηχανή εξωτερικής καύσης, χωρίς καθόλου βαλβίδες. Το εργαζόμενο αέριο μπορεί να είναι υδρογόνο (H₂) ή ήλιο (He). Επειδή η καύση για την θέρμανση του αερίου είναι συνεχής και η εκτόνωση του εργαζόμενου αερίου ήπια, ο παραγόμενος θόρυβος για εμβολοφόρο μηχανή είναι χαμηλός (επίπεδο συμπίεστη οικιακού κλιματιστικού). **(εικ. 2.1.7.2)**

Χαρακτηριστικό είναι το σφύριγμα της μηχανής κατά την αποβολή των καυσαερίων.

Η μηχανή Stirling καίει μίγμα κάποιου καυσίμου (πχ Diesel, jet A, προπάνιο ή μεθάνιο) και υγρό οξυγόνου μέσα σε κάποιο ειδικό υπό πίεση θάλαμο καύσης, με αναλογία 1:4. Το υγρό οξυγόνο είναι αποθηκευμένο σε κρυογενικές δεξαμενές.

Τα παραγόμενα προϊόντα καύσης εξαγονται απευθείας στο θαλάσσιο περιβάλλον χωρίς την χρήση συμπιεστή. Παρέχει αυτονομία 19 ημερών σε κατάδυση, ταχύτητες μικρότερες των 5 Knots. Διαθέτει υψηλή ισχύ ανά λίτρο μετατόπισης όγκου (~300 hp / liter στα 20 MPA). Ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται περί το 37%. Η παραγόμενη αξονική ισχύς εξόδου των μηχανών Stirling είναι της τάξης 5-15 Kw. Ειδική κατανάλωση υγρού οξυγόνου (LOX): 1,0 kg / kWh

Το σύστημα αυτό, εφαρμόζεται στα υποβρύχια. Σήμερα χρησιμοποιείται το σύστημα Mk2, ενώ ήδη βρίσκεται σε εξέλιξη το Mk3 που παρέχει αποδοτικότερα και πιο αθόρυβα ακόμη περισσότερη ισχύ, με εξαγωγή κλειστού τύπου.



Εικόνα 2.1.7.2

2.1.7.3

Στρόβιλος Walter

Το 1937, ο γερμανός μηχανικός Hellmuth Walter σχεδίασε ένα στροβιλοκινητήρα που θα χρησιμοποιούσε υπεροξείδιο του υδρογόνου. Σύμφωνα με τη φιλοσοφία της μηχανής της, κατάλληλοι χημικοί καταλύτες διασπούν το υπεροξείδιο του υδρογόνου σε νερό και οξυγόνο. Το οξυγόνο διοχετεύεται μαζί με το καύσιμο (πετρέλαιο) στο θάλαμο καύσης. Το νερό εγχέεται μέσα στο θάλαμο καύσης και μετατρέπεται σε ατμό υψηλής πίεσης. Ο ατμός μαζί με τα καυσαέρια οδηγείται σε ένα στρόβιλο παραγωγής της προωστήριας ισχύος. Η θερμική αυτή μηχανή δεν έτυχε πρακτικής εφαρμογής, αλλά μπορεί κατά κάποιο τρόπο να θεωρηθεί ότι αποτελεί τον πρόδρομο των συστημάτων πρόωσης AIP.

2.1.7.4

Closed Brayton Cycle (CBC)

Περιλαμβάνει έναν αεροστρόβιλο κλειστού τύπου, ο οποίος ως εργαζόμενο αέριο χρησιμοποιεί αργόν, και παράγει ονομαστική ισχύ εξόδου 30 Kw. Συγκεκριμένα αποτελεί σύστημα καύσης υγρού μετάλλου (λιθίου), το οποίο αντιδρά με SF₆ (οξειδωτικό) μέσα σε

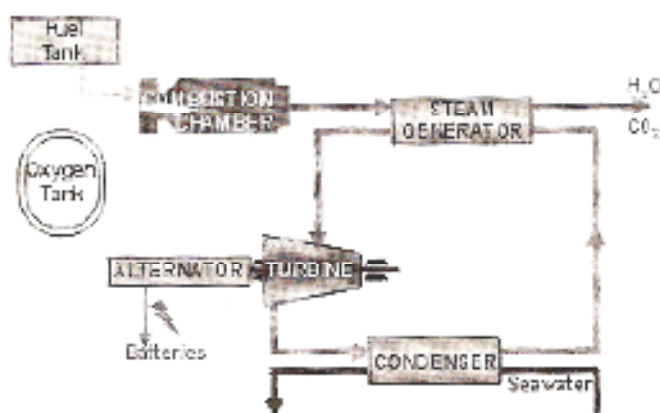
κάποιο θάλαμο καύσης. Στη συνέχεια, το θερμαινόμενο αέριο αργόν οδηγείται στον αεροστρόβιλο. Το σύστημα αυτό, έχει χρησιμοποιηθεί μόνο για την πρόωση μη – επανδρωμένων μικρών υποβρυχίων οχημάτων και τορπιλών.

2.1.7.5

Ατμοστρόβιλος MESMA (Module d' Energie Sous – Marine Autonome)

Η αυτόνομη μονάδα υποβρύχιας ενέργειας (MESMA), αποτελεί ένα συμβατικό κύκλωμα ατμού, στο θάλαμο καύσης του οποίου καίγεται αέριο μίγμα καυσίμου (Diesel ή αιθανόλης) και οξυγόνου. Το υγρό οξυγόνο είναι αποθηκευμένο μέσα σε κάποια κρυογενική δεξαμενή χαμηλής πίεσης. Η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική, μέσω ενός συμβατικού θερμοδυναμικού κύκλου Rankine (βαθμός απόδοσης ~ 25%) αποτελούμενο από ατμοστρόβιλο, στροβιλοηλεκτρικές γεννήτριες και ένα συμπυκνωτή (ψυγείο). Οι ρυθμοί ροής του οξυγόνου και του καυσίμου, καθορίζονται απευθείας από την απαιτούμενη ισχύ. Η παραγόμενη ισχύς κυμαίνεται από 150 έως 600 kW. Τα προϊόντα καύσης αποθηκεύονται υπό πίεση 60 bar, και στην συνέχεια εξαγονται απευθείας στο θαλάσσιο περιβάλλον χωρίς την χρήση συμπιεστή.

Το σύστημα MESMA, παρουσιάζει χαμηλότερο θόρυβο λειτουργίας από της μηχανές Stirling. Ειδική κατανάλωση υγρού οξυγόνου (LOX): 1.1 kg / kWh.(**εικ. 2.1.7.5**)



Το αναερόβιο σύστημα πρόωσης MESMA επεκτείνει τη διάρκεια παραμονής του υποβρυχίου σε κατάδυση 3 έως 5 φορές.

Εικόνα 2.1.7.5

2.1.7.6

Μηχανή Diesel κλειστού κύκλου (Closed Cycle Diesel Engine – CCDE)

Αποτελεί μια τυπική μηχανή Diesel μετασκευασμένη κατάλληλα, έτσι ώστε να λειτουργεί με κλειστό κύκλο καυσαερίων (CCDE). Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι κοινό πετρέλαιο

Diesel. Τα παραγόμενα καυσαέρια αποτελούνται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς και αιθάλη (καπνός). Οι υδρατμοί απομακρύνονται με συμπύκνωση σε κάποιο ψυγείο, ενώ η αιθάλη μειώνεται σημαντικά αυξάνοντας ελαφρά τη συγκέντρωση του παρεχόμενου οξυγόνου στην εισρόφηση της μηχανής. Η περίσσεια διοξειδίου του άνθρακα των καυσαερίων, απορροφάται από κάποιο μη-αναλώσιμο σύστημα θαλασσινού νερού ή αναλώσιμο αλλά μεγαλύτερης απορροφητικότητας διάλυμα ΚΟΗ. Η τελευταία μέθοδος ανεξαρτοποιεί πλήρως το σύστημα από το περιβάλλον του. Ορισμένες φορές, η προσθήκη αερίου αργόν στα καυσαέρια αποκαθιστά τις θερμοδυναμικές ιδιότητες αυτών, ώστε να προσομοιάζουν καλύτερα τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Στα ανακυκλούμενα καυσαέρια, εκτός από αργόν προστίθεται απαραίτητως και οξυγόνο. Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος υπερβαίνει το 40%. Αποτελεί την περισσότερο θορυβώδους λειτουργίας και πολυπλοκότητας τεχνική ΑΙΡ.

Ειδική κατανάλωση υγρού οξυγόνου (LOX): 0.75 kg / kWh.

2.1.7.7

Κυψέλες καυσίμου (Fuel cells)

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ελκυσόμενη ενέργεια από την ελεγχόμενη οξειδωτική χημικών ουσιών. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (συνεχούς τάσης) με ηλεκτροχημικές μεθόδους από κυψέλες καυσίμου, είναι γνωστή από το 1839. Η αρχή λειτουργίας είναι παρόμοια με τα συνήθη ηλεκτρικά στοιχεία (πχ μπαταρίες μολύβδου). Η χημική αντίδραση που διεξάγεται στις κυψέλες καυσίμου, είναι η καύση ενός αερίου ή υγρού καυσίμου που προάγεται συνεχώς μέσα στην κυψέλη, μαζί με την απαραίτητη ποσότητα οξυγόνου.

Η τεχνική χρησιμοποιείται από την γερμανική εταιρία HDW (σε συνεργασία με την Siemens). Εκτός από την πρόωση συμβατικών υποβρυχίων, οι κυψέλες καυσίμου συναντώνται και σε πολλές διαστημικές εφαρμογές, μεταφορικά μέσα, οικιακές εφαρμογές.

Ως καύσιμο χρησιμοποιείται είτε απευθείας καθαρό υδρογόνο, είτε μεθανόλη ή φυσικό αέριο από τα οποία μέσω μιας αναμόρφωσης με επίδραση υδρατμών σε υψηλή θερμοκρασία παράγεται το απαιτούμενο υδρογόνο. Στη δεύτερη περίπτωση παράγεται και το διοξείδιο του άνθρακα. Υπάρχουν πολλοί τύποι κύπελων καυσίμου. Στο περιβάλλον ενός συμβατικού υποβρυχίου μπορεί να λειτουργήσει μόνο ο αλκαλικός τύπος με ηλεκτρολύτη υδροξείδιο του καλίου, και ο τύπος μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων ή πολυμερούς ηλεκτρολύτη, με ηλεκτρολύτη στέρεο πολυμερές. Και οι δύο τύποι χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υδρογόνο με οξειδωτικό το οξυγόνο.

Το οξυγόνο φυλάσσεται σε υγρή μορφή υδριδίων κράματος τιτανίου – σιδήρου μέσα σε ειδικές δεξαμενές υπό πίεση. Το υδρογόνο αντιδρά στην επιφάνεια ενός αγώγιμου ηλεκτροδίου (-) και παράγει ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Τα ιόντα υδρογόνου μεταδίδονται μέσω ηλεκτρολύτη στο άλλο ηλεκτρόδιο (+), όπου απορροφούν ηλεκτρόνια και αντιδρούν με το οξυγόνο παράγοντας νερό (διαδικασία αντίστροφη από την ηλεκτρόλυση του νερού για την

παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου). Το μοναδικό απόβλητο προϊόν της καύσης είναι το νερό. Εκτός από ηλεκτρική ενέργεια παράγεται επίσης και θερμική ενέργεια, το αποβαλλόμενο μέρος της οποίας είναι σχετικά μικρό.

Ο τύπος AFC λειτουργεί σε θερμοκρασίες από 60 έως 120°C με αρκετά υψηλό βαθμό απόδοσης, και έχει δοκιμασθεί από το 1987 σε γερμανικό υποβρύχιο κλάσης U205 (κυψέλη καυσίμου ισχύος 100Kw).

Ο τύπος PEMFC λειτουργεί σε θερμοκρασίες από 20 έως 120°C με αρκετά υψηλό βαθμό απόδοσης (60 - 70%) και χρησιμοποιείται στα υποβρύχια κλάσης U212 και U214 (κυψέλη καυσίμου ισχύος 240 Kw). Το σύστημα αυτό, αυξάνει τη διάρκεια παραμονής του υποβρυχίου σε κατάδυση, έως και τέσσερις φορές.

Ειδική κατανάλωση υγρού οξυγόνου (LOX): 0.4 kg / kWh.

Πλεονεκτήματα κυψέλων καύσιμου συγκριτικά με τις θερμικές μηχανές :

1. Υψηλός βαθμός απόδοσης.
2. Αποβολή σχετικά μικρής ποσότητας θερμότητας (χαμηλή θερμική υπογραφή)
3. Αθόρυβη λειτουργία, χωρίς κινητά μέρη (χαμηλή ακουστική υπογραφή)
4. Μη – παραγωγή τοξικών απόβλητων.

Μειονεκτήματα κυψέλων καύσιμου συγκριτικά με τις θερμικές μηχανές :

1. Υψηλό κόστος κατασκευής
2. υψηλό κόστος λειτουργίας / συντήρησης

Η ηλεκτρική πρόωση αποτελεί βασική επιλογή στα μοντέρνα συμβατικά υποβρύχια. Κυριότεροι λόγοι είναι η αθόρυβη λειτουργία (μειωμένη ακουστική υπογραφή) και σχετικά απλή και ευέλικτη υλοποίηση.

Ο χρησιμοποιούμενος ηλεκτρικός κινητήρας μπορεί να είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Ορισμένοι τύποι κινητήρων που συναντώνται στην ηλεκτρική πρόωση υποβρυχίων, είναι οι ακόλουθοι:

1. Κινητήρας DC, διπλού επαγωγίμου. Ουσιαστικά πρόκειται για δυο ηλεκτρικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος, πάνω στον ίδιο άξονα.

2. PERMASYN (Permanent Magnet Synchronous) της Siemens. Αποτελεί σύγχρονο ηλεκτροκινητήρα, με διέγερση από μόνιμους μαγνήτες υψηλής ενεργειακής πυκνότητας στο στρεπτό μέρος (υψηλότερη ροπή στρέψης, 40% μικρότερος όγκος και βάρος για ισοδύναμη ισχύ συγκριτικά με κλασσικές διατάξεις).

2.1.7.8

Πυρηνική Ενέργεια

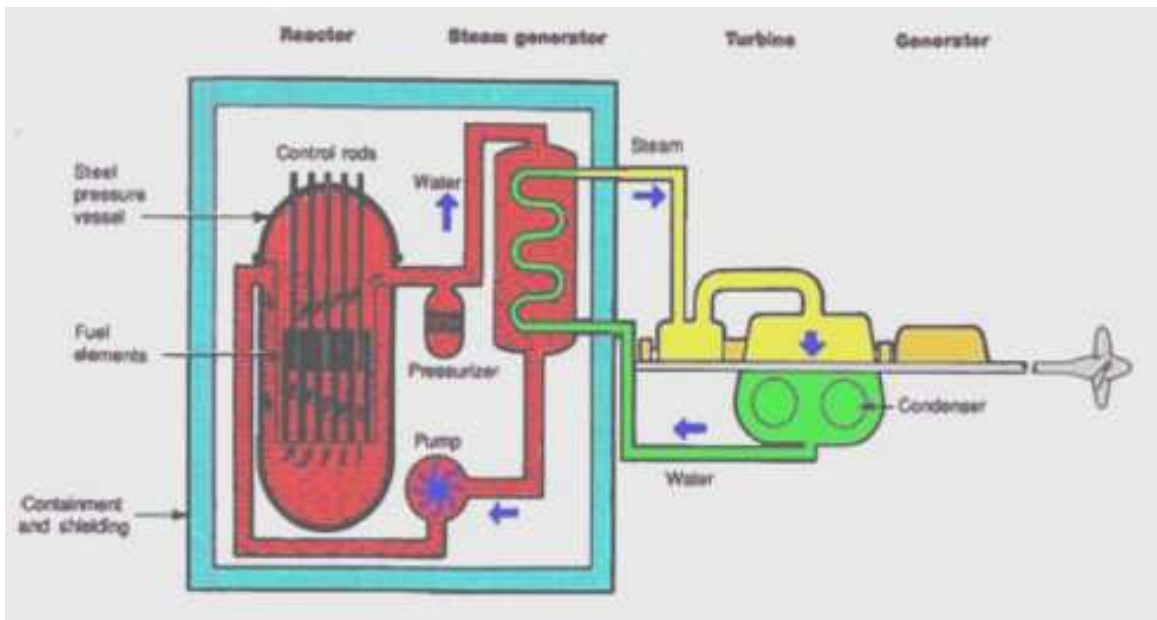
Η διαδικασία της πυρηνικής σχάσης (nuclear fission) διεξάγονται μέσα σε κάποιο πυρηνικό αντιδραστήρα παράγοντας τεράστιες ποσότητες θερμότητας, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον βρασμό νερού και την μετατροπή του σε ατμό (εικ. 2.1.7.8). Ο ατμός

χρησιμοποιείται τόσο για την πρόωση όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το μέγεθος των πυρηνικών αντιδραστήρων μπορεί να είναι μικρό ή μεγάλο (η θερμική τους ισχύ κυμαίνεται από 30 έως 380 Mwatts).

Πολύ συνηθισμένος τύπος πυρηνικού αντιδραστήρα που χρησιμοποιείται για την πρόωση υποβρυχίου, είναι συμπιεσμένου νερού PWR (Pressurized Water Reactor). Ο τύπος αυτός έχει τη μεγαλύτερη διάδοση σε εφαρμογές πυρηνικής πρόωσης υποβρυχίων, λόγω του σχετικά μικρού φυσικού μεγέθους (διαθέτει πυρήνα ψυχωμένο με συμπιεσμένο νερό).

Νεότερος τύπου αντιδραστήρα είναι ο υγρού μετάλλου LMR (Liquid Metal Reactor). Το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιεί ο τύπος MR. είναι λιωμένο μεταλλικό νάτριο ή μόλυβδος / βισμούθιο.

Οι εγκαταστάσεις πρόωσης των πυρηνοκίνητων υποβρυχίων έχουν σημαντικό πρόβλημα διατήρηση του παραγόμενου θορύβου σε αποδεκτά χαμηλό επίπεδο, λόγω κυρίως των πολλών αντλιών του κυκλώματος ψύξης του πυρήνα του αντιδραστήρα, αλλά και του κυκλώματος του ατμού.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά για της πηγές αυτοθορύβου που προκαλεί ένα υποβρύχιο, και πως αποφεύγεται ώστε να μην γίνει αντιληπτό από τον εχθρό.

3.1

ΑΥΤΟΘΟΡΥΒΟΣ (SELF NOISE)

Ο αυτοθόρυβος (self noise) SN προκαλείται από όλες τις πηγές θορύβου, είτε από το ίδιο σύστημα sonar είτε από την πλατφόρμα / φορέα αυτού. Κάθε υποβρύχιο, πλοίο παράγει το δικό του αυτοθόρυβο, ο οποίος χαρακτηρίζει τόσο την κλάση / τύπο που ανήκει όσο και τη συγκεκριμένη ταυτότητα του σκάφους. Πρακτικά ο αυτοθόρυβος μετράται με τη βοήθεια υδροφώνων τοποθετημένων επί του σκάφους.

3.1.2

Οι συνηθέστερες πηγές αυτοθορύβου, είναι οι ακόλουθες:

■ **Μηχανήματα (κύρια πρόωση και βοηθητικά μηχανήματα).** Προέρχεται από το κύριο σύστημα πρόωσης (στρόβιλοι, μηχανές Diesel, κύριοι άξονες μειωτήρες) και τα βοηθητικά μηχανήματα των υποβρυχίων (γεννήτριες, αντλίες, ανεμιστήρες, εξαεριστήρες, συμπιεστές). Επομένως ο θόρυβος αυτός παράγεται από μηχανήματα που περιλαμβάνουν τμήματα ευρισκόμενα σε περιστροφική ή παλινδρομική κίνηση, αφού υπάρχουν σε αυτά πάντοτε κάποια μη-ζυγοσταθμισμένα κινούμενα μέρη. Οι ανισοροπίες που οδηγούν στην παραγωγή μηχανικών κραδασμών και απαιτούν ζυγοστάθμιση, είναι τριών ειδών : α) **δυναμική ανισοροπία** (dynamic imbalance), η οποία παρατηρείται σε όλα τα περιστρεφόμενα μηχανήματα, αφού ποτέ δεν είναι δυνατόν να έχουμε τέλεια ζυγοσταθμισμένους περιστρεφόμενους άξονες και απόλυτα προσαρμοσμένους, στις βάσεις στήριξης αυτών. β) **κρουστική ανισοροπία** (impulse imbalance), που παρατηρείται σε όλες τις παλινδρομικές / εμβολοφόρες μηχανές (Diesel). γ) **ηλεκτρική ανισοροπία** (electrical imbalance), παρατηρείται σε μαγνητικά και ηλεκτρικά κυκλώματα.

Ο θόρυβος αυτός ακολουθεί διάφορα μονοπάτια μετάδοσης και τελικά εκπέμπεται στο νερό από την γάστρα του υποβρυχίου.

Λαμβάνεται από τα υδρόφωνα του συστήματος sonar είτε μέσω της ίδιας της πλατφόρμας φορέα είτε μετά από διάδοση μέσα στο νερό. Αποτελεί την επικρατέστερη μορφή αυτοθορύβου στις χαμηλές ταχύτητες πλου. Σημειώνεται, ότι σε χαμηλές ταχύτητες πλου ο θόρυβος περιβάλλοντος συνήθως είναι

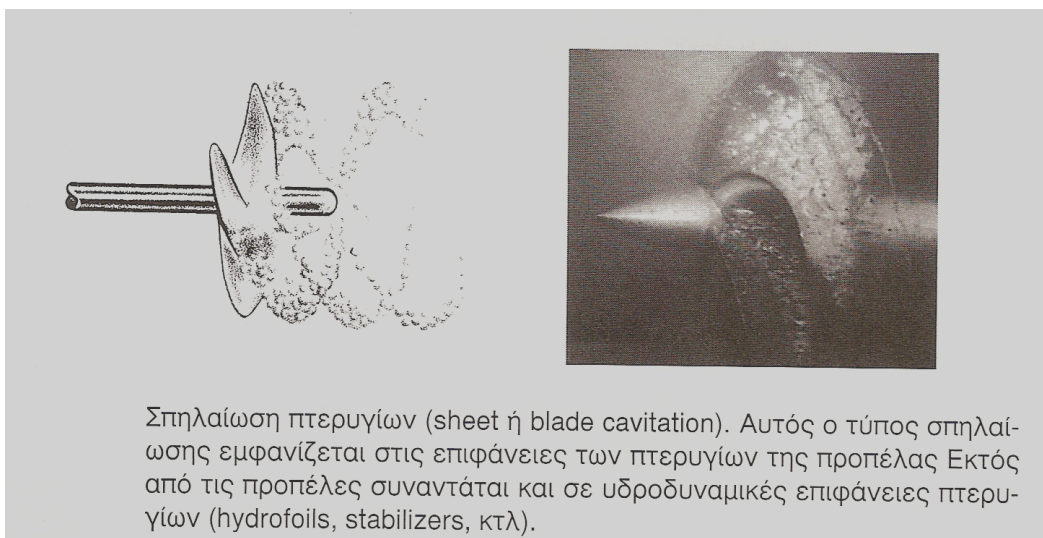
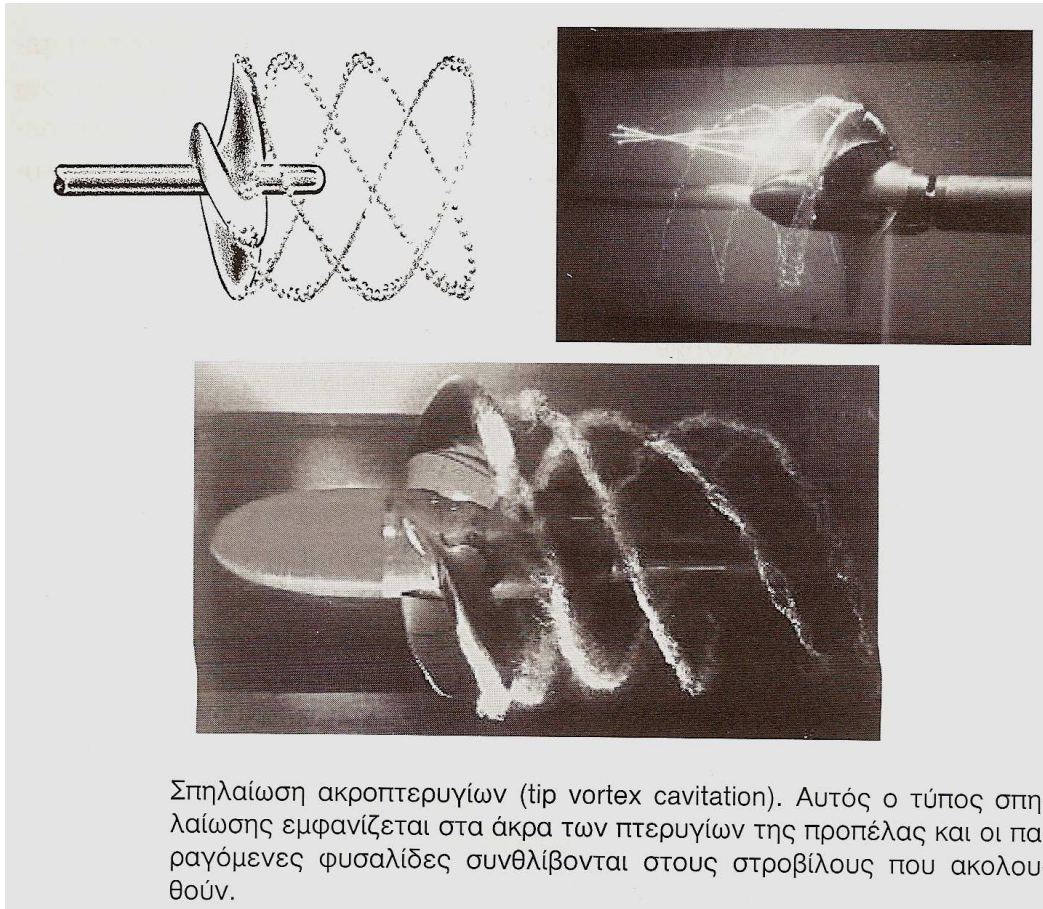
υψηλότερος του αυτοθορύβου. Ο θόρυβος των μηχανημάτων πρόωσης έχει τη μορφή διακριτών συχνοτήτων και ευρέως φάσματος ταυτόχρονα.

3.1.3

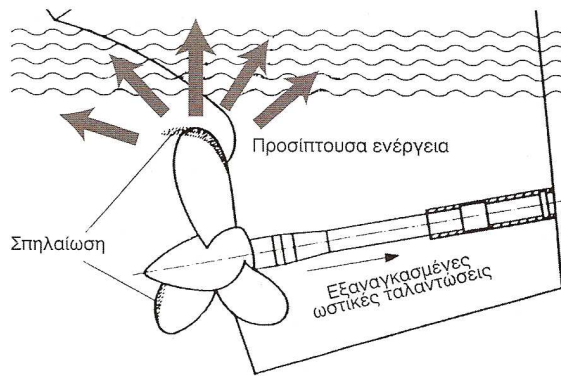
■ **Θόρυβος προπελών.** Οι προπέλες, αποτελούν μια από τις βασικότερες αιτίες θορύβου (υδροδυναμικός θόρυβος, σπηλαίωση), λόγω της μη – ομοιόμορφης ροής του νερού στην περιοχή τους. Βασική συνιστώσα είναι ο θόρυβος σπηλαίωσης (cavitation noise), ο οποίος αποτελεί έντονο, συνεχόμενο θόρυβο ευρέως φάσματος, επεκτεινόμενο ανάλογα με τη σχεδίαση της προπέλας μέσα σε μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων από 10 – 50 Hz έως και 100 kHz. Οφείλεται στο σχηματισμό φυσαλίδων ατμού και διαλυμένων αερίων, όχι λόγω μεταβολής θερμοκρασίας, αλλά λόγω της απότομης υποπίεσης (κάτω από τη μέγιστη τάση ατμών και νερού) που αναπτύσσεται σε ορισμένες περιοχές από τη γρήγορη περιστροφική κίνηση της προπέλας. Η υποπίεση αυτή, ουσιαστικά κατεβάζει το σημείο βράσιμο του νερού στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, οπότε οι σχηματιζόμενες φυσαλίδες αποτελούν κατά κύριο λόγο υδρατμούς (το νερό εξαερώνεται σε όλη του τη μάζα με μεγάλη ταχύτητα). Όταν πάψει το αίτιο που τις δημιουργήσε, οι φυσαλίδες αυτές σκάνε βιαία (συμπυκνώνεται με μεγάλη ταχύτητα σε χρόνο των 3 msec), προκαλώντας εκκωφαντικό θόρυβο. Οι μεγαλύτερες φυσαλίδες, προκαλούν θόρυβο στις χαμηλές συχνότητες, ενώ οι μικρότερες στις υψηλές συχνότητες. Ο θόρυβος αυτός επικρατεί στις υψηλές ταχύτητες, και συγκεκριμένα πάνω από την λεγόμενη ταχύτητα σπηλαίωσης. Η σπηλαίωση αυξάνει σημαντικά τους μηχανικούς κραδασμούς ολόκληρου του σκάφους, αφού το νερό που σχηματίζεται από την απότομη συμπύκνωση των υδρατμών προσκρούει στις μεταλλικές επιφάνειες που συναντά (και ταυτόχρονα τις διαβρώνει). Η διαμόρφωση του σχήματος της πρύμνης, καθώς και το διάστημα μεταξύ των άκρων των πτερυγίων και της γάστρας του υποβρυχίου αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες διέγερσης των τοιχωμάτων του υποβρυχίου. Η εμφάνιση της σπηλαίωσης, εξαρτάται εκτός από την ταχύτητα, και από την υδροστατική πίεση, τη σχεδίαση και την κατάσταση των πτερυγίων.

Η σπηλαίωση διακρίνεται σε δυο βασικούς τύπους : tip vortex cavitation (εμφανίζεται στα άκρα των πτερυγίων όπου παρατηρείται η υψηλότερη ταχύτητα κίνησης) και στο σημαντικότερο τύπο sheet cavitation (οφείλεται στις ίδιες

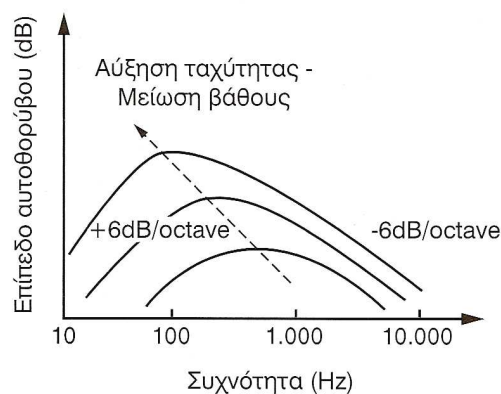
επιφάνειες των πτερυγίων) (εικ. 3.1.3). Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα, αρχικά εμφανίζεται το πρώτο και στη συνέχεια το δεύτερο είδος σπηλαίωσης που είναι το σημαντικότερο αφού παράγει τον εντονότερο θόρυβο.



Εικόνα 3.1.3



Το φαινόμενο της σπηλαιώσης, ανάμεσα στα άλλα διεγείρει τα πρυμναία τοιχώματα του πλοίου και θέτει σε έντονες μηχανικές ταλαντώσεις τον προωστήριο άξονα.



Το μέγιστο της σπηλαιώσης για πλοία επιφανείας και υποβρύχια εμφανίζεται στην περιοχή 100 – 1000 Hz, και μετατοπίζεται προς τις χαμηλότερες συχνότητες όταν αυξάνεται η ταχύτητα του πλοίου και μειώνεται το βάθος του υποβρυχίου.

Εικόνα 3.1.3.1

Γενικά, ο θόρυβος σπηλαιώσης λειτουργεί ως φέρον το οποίο διαμορφώνεται κατά πλάτος (blade beat noise) ανάλογα με τον αριθμό των προπελών, της ταχύτητας περιστροφής και του αριθμού των πτερυγίων της κάθε προπέλας. Αποδιαμορφώνοντας το διαμορφωμένο αυτό θόρυβο σπηλαιώσης, προκύπτουν χρήσιμα στοιχεία αναγνώρισης του τύπου και της ταχύτητας κίνησης του υποβρυχίου.

Οι προπέλες παράγουν επίσης και το γνωστό φαινόμενο συριγμού (singing propellers), σε μορφή μιας σειράς πολύ κοντινών μεταξύ τους διακριτών συχνοτήτων, με θεμελιώδη συχνότητα την τιμή της PSR (Propeller Shaft Rate).

Προέρχεται από τις έντονες μηχανικές ταλαντώσεις των πτερυγίων στις συχνότητες ιδιοσυntonισμού αυτών, όταν διεγερθούν είτε υδροδυναμικά (λόγω

τις μεταβαλλόμενης πίεσης) είτε από τον κύριο μειωτήρα μέσω του προωστήριου άξονα. Το φαινόμενο εμφανίζεται εντονότερο σε συγκεκριμένες ταχύτητες περιστροφής της προπέλας (συνήθως πριν την εμφάνιση της σπηλαίωσης)(**εικ. 3.1.3.1**) και οι παραγόμενες συχνότητες κυμαίνονται στην περιοχή από 90 Hz έως 2 kHz, ανάλογα με τον τύπο του πλοίου / προπέλας. Στους περισσότερους τύπους πλοίων, το φαινόμενο αυτό έχει περιστασιακή εμφάνιση και στα υδροφωνα ακούγεται ως οξύς συριγμός.

Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις (πχ πυρηνικά υποβρύχια και πολεμικά πλοία επιφανείας) εμφανίζεται το λεγόμενο φαινόμενο ραβδώσεις (striation). Αυτό, παρατηρείται στα LOFAR – gram κατά την διάρκεια της σπηλαίωσης, υπό τη μορφή κάποιας σειράς κεκλιμένων διακριτών γραμμών λίγο πάνω από τη θεμελιώδη συχνότητα περιστροφής των πτερυγίων BR (Blade Rate). Οι γραμμές αυτές, παρουσιάζουν κάποια κλίση προς ή από τη θεμελιώδη τιμή BR, ανάλογα με το εάν η πηγή πλησιάζει ή απομακρύνεται από τον αισθητήρα sonar (υδροφωνα). Το φαινόμενο αυτό, πιθανόν οφείλεται στην πολλαπλή ηχητική διάδοση (multipath) ορισμένων συνιστωσών της παραγόμενης ακουστικής υπογραφής του στόχου.

3.1.4

■ **Υδροδυναμικός θόρυβος (flow noise) (εικόνα 3.1.4).** Αποτελεί θόρυβο ευρέως φάσματος, ο οποίος παράγεται από την σχετική κίνηση του νερού γύρω στην περιοχή του προβολέα, της συστοιχίας υδροφώνων, τη γάστρα του σκάφους ή την κατακόρυφη κίνηση των ηχοσημαντήρων μέσα στο νερό. Ο θόρυβος αυτός, έχει σχέση και με την παραγωγή του κύματος πλώρης και των απόνερων (wake). Αυξάνεται με την ταχύτητα του σκάφους και την ύπαρξη ρύπανσης στη γάστρα (στρείδωνα) ιδιαίτερα στην περιοχή του θόλου του συστήματος sonar. Η τυρβώδης ροή του ύδατος (turbulent flow) του ύδατος (στροβιλισμοί), προκαλεί επί πλέον ταλαντώσεις των εξωτερικών επιφανειών της γάστρας. Ο υδροδυναμικός θόρυβος μειώνεται με την καλύτερη σχεδίαση της γάστρας, έτσι ώστε αυτή να διαθέτει ομαλές γραμμές χωρίς απότομες μεταβολές κλίσης. Επίσης μειώνεται με την καλύτερη σχεδίαση της πλώρης, των πτερυγίων γάστρας (παρατροπίδια) και των διαφόρων εισαγωγών / εξαγωγών θαλάσσης.

Προσοχή απαιτείται στα πτερύγια σταθεροποίησης (stabilizer fins), τα οποία κάτω από μεγάλες γωνίες κλίσης δημιουργούν σπηλαίωση.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των ελαστικών ή συνθετικών θόλων sonar έναντι των χαλύβδινων, είναι ο μειωμένος υδροδυναμικός θόρυβος που εμφανίζουν οι πρώτοι έναντι των δευτέρων.

Υδροδυναμικό θόρυβο παράγει ακόμη και η τυρβώδης ρευστών (αερίων, υγρών) μέσα σε σωλήνες και αντλίες, η οποία εκτός από συνεχόμενο θόρυβο ευρέως φάσματος, μπορεί επίσης να οδηγήσει και στην παραγωγή συγκεκριμένων φασματικών γραμμών λόγω του συντονισμού δοκιμών τμημάτων της εγκατάστασης που τίθεται σε διέγερση (εικ. 3.1.4.1).

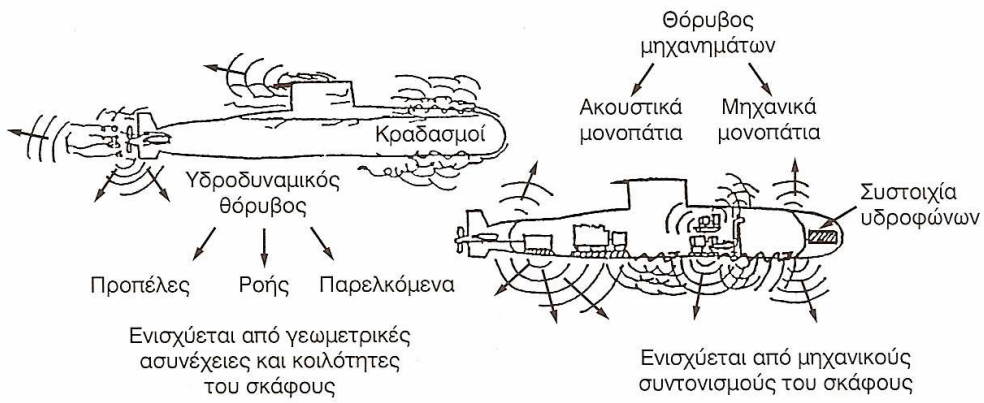
3.2

■ **Μηχανικοί κραδασμοί, του καλωδίου ρυμούλκησης του θόλου VDS ή του towed array**, οι οποίοι μεταδίδονται στον προβολέα του VDS και στα υδροφωνα της ρυμουλκούμενης συστοιχίας.

■ **Θόρυβοι από δραστηριότητες του πληρώματος**. Οι θόρυβοι αυτοί, συνήθως δεν επηρεάζουν δραστικά την ακουστική υπογραφή ενός στόχου, αλλά καλό είναι να διατηρούνται σε ελεγχόμενο επίπεδο μέσω της κατάλληλης επιμόρφωσης / εκπαίδευσης του πληρώματος.

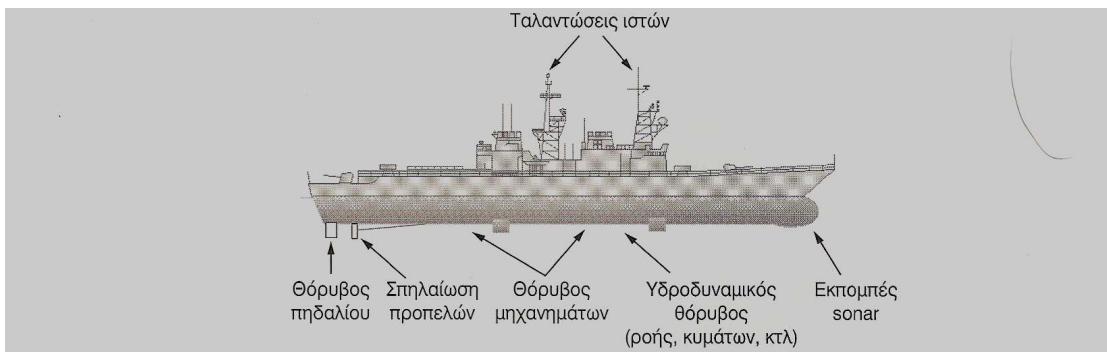
■ **Εσωτερικός αυτοθόρυβος ηλεκτρονικών κυκλωμάτων συστημάτων sonar**. Συνήθως, ο θόρυβος αυτός βρίσκεται σε πολύ χαμηλότερο επίπεδο από όλα τα υπόλοιπα είδη θορύβου (10 -20 db κάτω), και γι' αυτό δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα στα συστήματα sonar. Ένας εξειδικευμένος τύπος θορύβου είναι διάφορα τεχνουργήματα (artifacts), οφειλόμενα σε προβλήματα ηλεκτρικής τροφοδοσίας ή γείωσης, και τα οποία ενδεχομένως είναι δυνατό κατά την λειτουργία της συσκευής sonar (ενεργητικής ή παθητικής), να εμφανίσουν ψευδοστόχους.

■ **Μεταβατικά σήματα (transients)**. Προέρχονται από αναπόφευκτες δραστηριότητες, όπως πχ χειρισμός πηδαλίων, κίνηση πτερυγίων stabilizers, άνοιγμα πωμάτων τορπιλοσωλήνων, λειτουργία κλαπέ αναπνευστήρα (snorket), εκβολές απορριμμάτων.

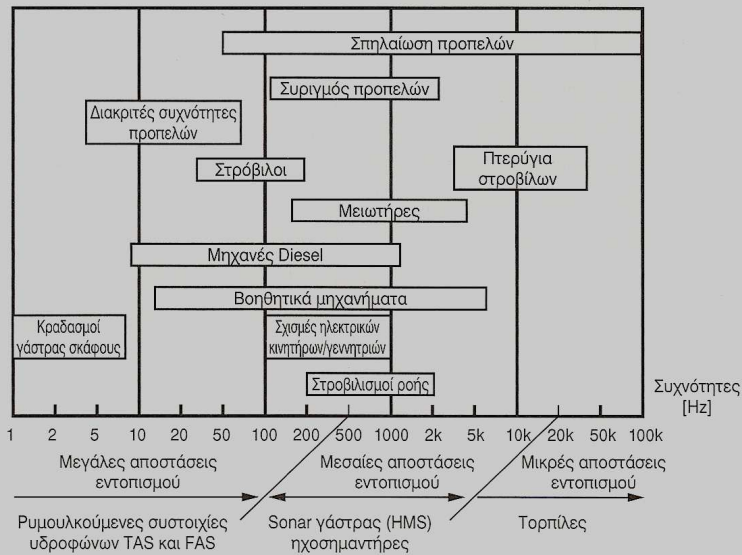


(α): Σημαντικότερες πηγές παραγόμενου θορύβου υποβρυχίου.

Εικόνα 3.1.4



(β): Σημαντικότερες πηγές παραγόμενου θορύβου πλοίου επιφανείας.



(α): Φασματική κατανομή σημαντικότερων πηγών εκπεμπόμενου αυτο-θορύβου πλοίων επιφανείας, υποβρυχίων και τορπιλών.

Εικόνα 3.1.4.1

Οι μετρήσεις αυτοθορύβου των πλοίων, θα πρέπει να εκτελούνται σε περιοχές σχετικά μεγάλου βάθους (> 200 m) και με καλή κατάσταση θαλάσσης (sea state < 2). Ένας πρακτικός κανόνας για τη διαπίστωση της ορθής λειτουργίας μιας συσκευής sonar, είναι ότι ο αυτοθόρυβος του πλοίου για κάθε κόμβο (knot) ταχύτητας δεν πρέπει να αυξάνεται περισσότερο από 1 – 2 db. Μεγάλες αυξήσεις αυτοθορύβου, αποτελούν ένδειξη κάποιου προβλήματος, πχ φθορά ή ρύπανση του θόλου του προβολέα της συσκευής sonar.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει πλήρης περιγραφή το πώς λειτουργούν τα υδροφωνα ενός υποβρυχίου, το σύστημα sonar, και το υποβρύχιο τηλέφωνο, ηχοβολιστικό. Οι συσκευές αυτές λειτουργούν όταν το υποβρύχιο βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ή σε περισκοπικό βάθος (14m έως 18m).

4.1

ΗΛΕΚΤΡΟ-ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

Μορφοτροπέας (transducer) ονομάζεται οποιαδήποτε διάταξη μετατρέπει μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας σε κάποια άλλη. Οι ηλεκτρο-ακουστικοί μορφοτροπέες των συστημάτων sonar μετατρέπουν την ηχητική ενέργεια σε ηλεκτρική, και αντίστροφα την ηλεκτρική ενέργεια σε ηχητική. Στην πρώτη περίπτωση είναι γνωστοί ως υδρόφωνα (hydrophones), ενώ στη δεύτερη περίπτωση ως προβολείς (projectors).

Οι μορφοτροπέες των περισσότερων συστημάτων sonar, είναι διατάξεις αποτελούμενες από πολλά στοιχεία (transducer elements). Σε ένα ενεργητικό sonar, οι διατάξεις αυτές συνήθως είναι οργανωμένες έτσι ώστε να σχηματίζουν μια κυλινδρική επιφάνεια, αποτελούμενη από κατακόρυφες στήλες στοιχείων (staves). Ο συνηθισμένος προβολέας TR-208 που συναντάται σε πολλά ενεργητικά sonar λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων 4.5 – 5.5 kHz, αποτελείται από μια κυλινδρική διάταξη 432 στοιχείων, διατεταγμένων σε 48 κατακόρυφες στήλες.

4.2

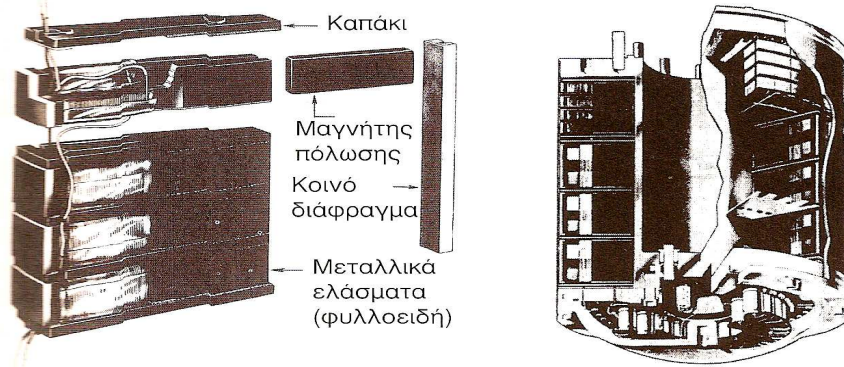
Οι ακουστικοί μορφοτροπέες sonar διακρίνονται σε διαφόρους τύπους όπως :

4.2.1

Μορφοτροπέις μαγνητοσυστολής (magnetostrictive transducer)

Ορισμένα υλικά, κάτω από την επίδραση εξωτερικού μαγνητικού πεδίου μεταβάλλουν ελαφρά τις φυσικές τους διαστάσεις (συστέλλονται ή διαστέλλονται), λόγω της ευθυγράμμισης των στοιχειωδών μαγνητικών περιοχών που τα αποτελούν. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται μαγνητοσυστολή. Η μαγνητοσυστολή παρουσιάζεται ανεξάρτητη της φοράς του πεδίου, η ανάστροφη

της πολικότητας του οποίου δεν αναστρέφει την κατεύθυνση της παραμόρφωσης. Υλικά που παρουσιάζουν έντονα το φαινόμενο της μαγνητοσυστολής, είναι διάφορα σιδηρομαγνητικά κράματα (ferromagnetic), όπως νικέλιο – σίδηρος , φερρίτες (εικ. 4.2.1).



Στοιχεία μαγνητοσυστολής πιστονικής λειτουργίας με κοινό διάφραγμα (single-ended piston radiator). Υπάρχουν επίσης στοιχεία μαγνητοσυστολής με δακτυλιοειδή πυρήνα (ring/scroll type), πχ free flooded ring transducers. Τομή κλασσικού προβολέα μαγνητοσυστολής.

Εικόνα 4.2.1

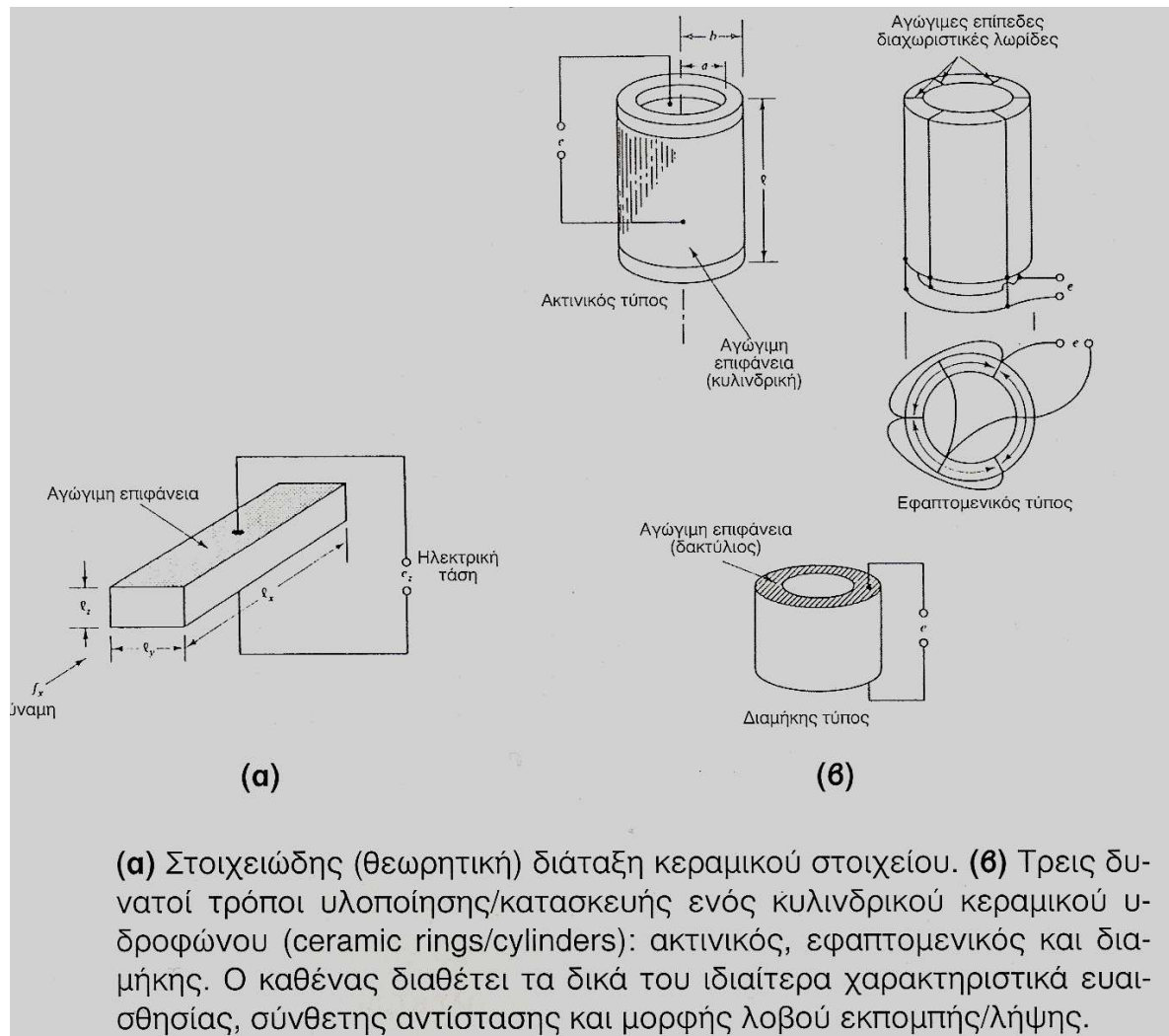
4.2.2

Μορφοτροπείς ηλεκτροσυστολής (electrostrictive transducer)

Ορισμένα διηλεκτρικά κρυσταλλικά υλικά γνωστά ως φεροηλεκτρικά (ferroelectric), μεταβάλλουν τις φυσικές τους διαστάσεις (ελαστική παραμόρφωση) όταν εφαρμόζεται σε αυτά ηλεκτρικό πεδίο.

Το φαινόμενο αυτό, οφείλεται στα ίδια τα πολικά μόρια του υλικού, τα οποία παρουσιάζουν μόνιμη ηλεκτρική ροπή / πολικότητα, ονομάζεται ηλεκτροσυστολή.

Η ηλεκτροσυστολή είναι ανεξάρτητη της φοράς του ηλεκτρικού πεδίου, δηλαδή η ανάστροφη της πολικότητας του πεδίου δεν αναστρέφει και την κατεύθυνση της παραμόρφωσης (εικ. 4.2.2).



Εικόνα 4.2.2

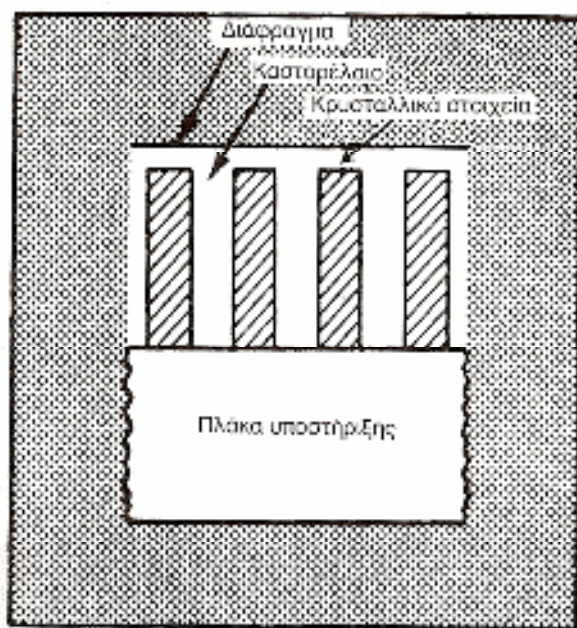
4.2.3

Πιεζοηλεκτρικοί μορφοτροπέις (piezoelectric transducer)

Αποτελεί παραλλαγή των μορφοτροπέων ηλεκτροσυστολής. Όλα τα φεरोηλεκτρικά υλικά είναι πιεζοηλεκτρικά.

Ορισμένοι τύποι διηλεκτρικών, φεροηλεκτρικών υλικών τα οποία είναι κυρίως μονοκρυσταλλικά, όταν είναι κομμένα κάτω από συγκεκριμένες γωνίες σχετικά με τα κέντρα / άξονες / επίπεδα συμμετρίας τους, τότε οι παραγόμενες από ασκούμενες εξωτερικές δυνάμεις μηχανικές παραμορφώσεις μεταξύ συγκεκριμένων επιφανειών τους, παράγουν ηλεκτρική πόλωση του υλικού (εμφάνιση ηλεκτρικών φορτίων).

Το φαινόμενο αυτό λέγεται πιεζοηλεκτρικό,(εικ. 4.2.3) όταν οφείλεται στις ασυμμετρίες (μικρά ηλεκτρικά δίπολα) του κρυσταλλικού πλέγματος του υλικού. Με άλλα λόγια, το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο οφείλεται στη μετατόπιση ιοντικών φορτίων μέσα στην κρυσταλλική δομή του υλικού, το οποίο είναι συνήθως χαμηλής συμμετρίας (εικ. 4.2.3.1, εικ.4.2.3.2).

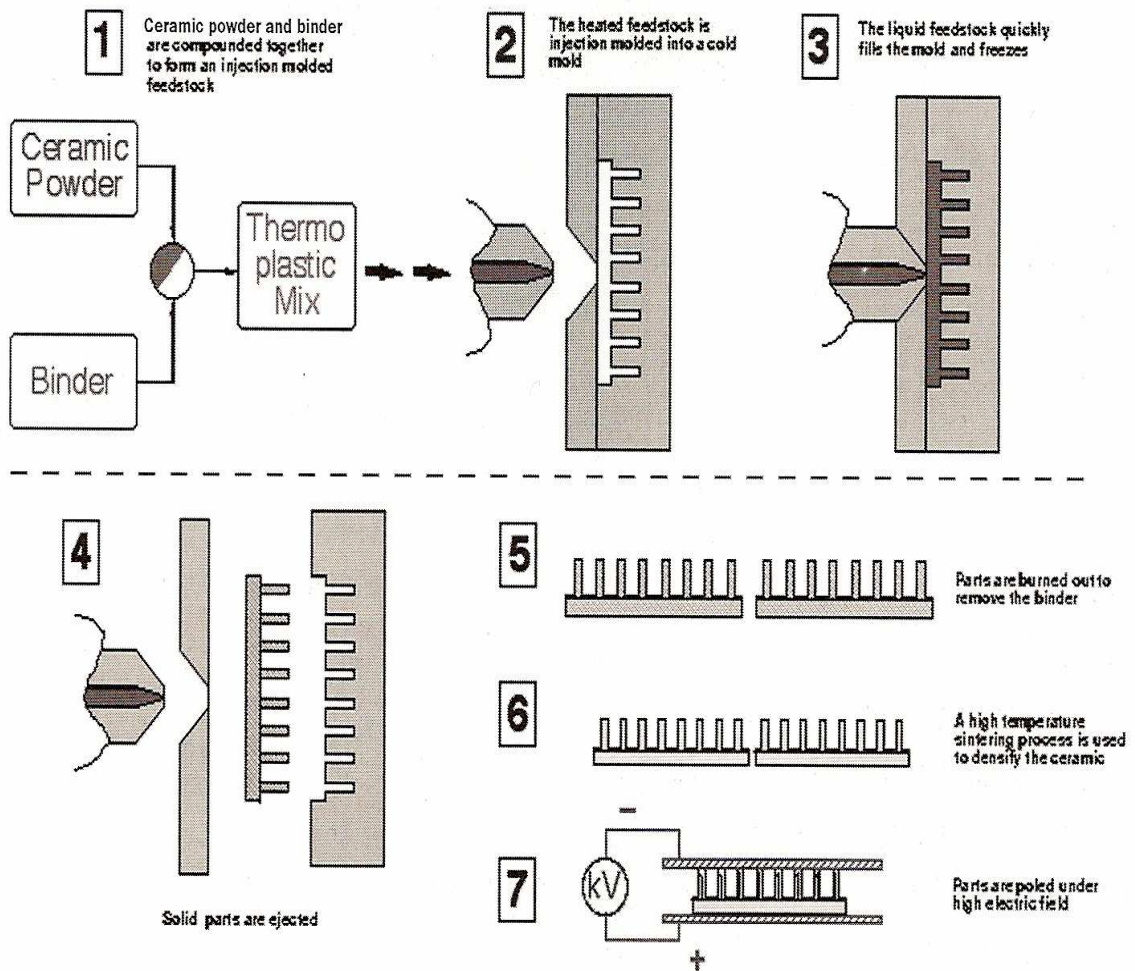


Διάταξη πιεζοηλεκτρικών στοιχείων.



Διάταξη επίπεδων στοιχείων PVDF πλευρικής συστοιχίας υδροφώνων υποβρυχίου PFAS (Planar Flank Array Sonar).

Εικόνα 4.2.3

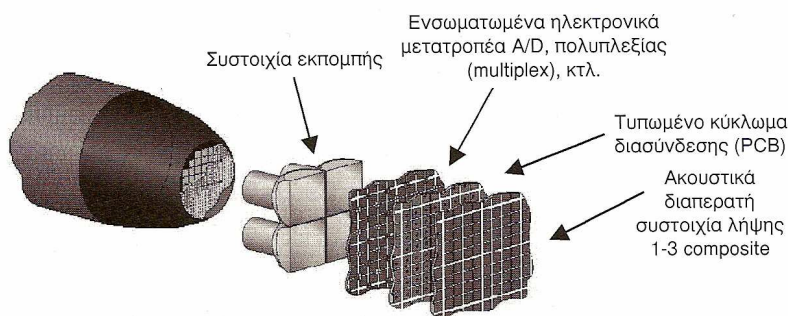


Τα διαδοχικά στάδια κατασκευής μίας διάταξης πιεζοηλεκτρικού πολυμερούς με την τεχνική της έγχυσης για ομοιόμορφες ιδιότητες και χαμηλό κατασκευαστικό κόστος: **(1)** Δημιουργία του θερμοπλαστικού μίγματος από σκόνη κεραμικού υλικού (πχ PZT ή PMN) και συνδετικής ουσίας, με βάση πχ το κερί. **(2)** Έγχυση υπό πίεση θερμαινόμενου μίγματος σε ψυχρό καλούπι. **(3)** Ψύξη του κεραμικού μίγματος μέσα στο καλούπι. **(4)** Αφαίρεση του στερεοποιημένου υλικού από το καλούπι. **(5)** Θέρμανση του υλικού για την απομάκρυνση της συνδετικής ουσίας. **(6)** Διαδικασία για την απόκτηση του τελικού σχήματος του υλικού (sintering). **(7)** Πόλωση του υλικού για την απόκτηση φερροηλεκτρικών ιδιοτήτων με την εφαρμογή ηλεκτρικής τάσης χιλιάδων Volts.

Εικόνα 4.2.3.1

Πίνακας : Σύγκριση βασικών ηλεκτρο-ακουστικών ιδιοτήτων πιεζοηλεκτρικών/κεραμικών υλικών μορφοτροπέων sonar

	Lead metaniobiate $PbNb_2O_6$	PZT Lead zirconate-titanate	PVDF PVDF-TrFE	1-3 piezocomposite (PZT)
Σύνθετη ακουστική αντίσταση (Mrayls)	20	29 - 32	3.9-4.5	8 - 12
Ηλεκτρομηχανικός συντελεστής σύζευξης (k^2)	<0.3	0.42 - 0.59	0.15 - 0.3	0.5 - 0.7
Διηλεκτρική σταθερή	225-300	250 - 2000	6-12	200 - 600
Πυκνότητα μάζας (gr/cm^3)	6.2	7.8	2	3.5 - 4



Μία δυνατή μελλοντική αναβάθμιση του μορφοτροπέα της ανθυποβρυχιακής torpιδής Mk-54 της Raytheon, περιλαμβάνει τη χρήση συστοιχίας λήψης υψηλής ανάλυσης, της κατηγορίας 1-3 piezocomposite.

Εικόνα 4.2.3.2

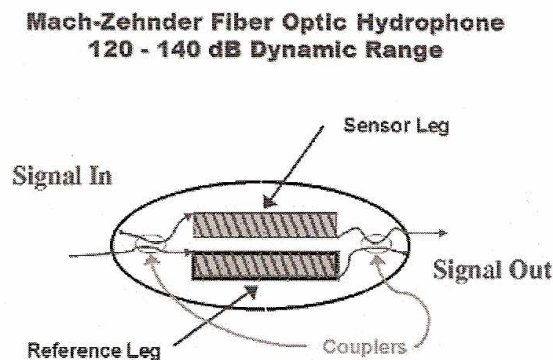
4.2.4

Υδροφωνα οπτικής ίνας (fiber optic hydrophones)

Αποτελούνται από ένα ελαστικό / εύκαμπτο κύλινδρο ή φούσκα, η κάτοψη του οποίου έχει το σχήμα δίσκου (εικ.4.2.4). Πάνω σε αυτόν το κύλινδρο / φούσκα είναι στερεωμένες πολλές σπείρες μονότροπης οπτικής ίνας (single mode fiber), διατεταγμένες συνήθως σε δυο στρώματα (ένα εξωτερικό και ένα εσωτερικό). Όταν ο κύλινδρος παραμορφώνεται από κάποια εξωτερική διαταραχή (ηχητικό κύμα), τότε το εσωτερικό στρώμα οπτικής ίνας παραμορφώνεται διαφορετικά από το εξωτερικό. Το αποτέλεσμα είναι να μεταβάλλεται τόσο το μήκος L όσο και ο δείκτης διάθλασης n του πυρήνα της ίνας, και κατ' επέκταση να προκαλούνται διακυμάνσεις στη διάφορα φάσης $\Delta\phi$ κατά την διαδρομή του διερχόμενου οπτικού σήματος laser ($\sim 1,55 \mu m$) μέσα από τις δυο στρώσεις της ίνας. Αυτή η μεταβολή της διαφοράς φάσης ανιχνεύεται με τη βοήθεια ενός οπτικού συμβολόμετρου (interferometer), και

είναι ευθέως ανάλογη τόσο της παραγόμενης τάσης του σήματος εξόδου, όσο και της ηχητικής έντασης του λαμβανόμενου σήματος.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα των υδρόφωνων αυτού του τύπου είναι η σχετικά μικρή ευαισθησία στις χαμηλές ακουστικές συχνότητες. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα υδρόφωνα οπτικής ίνας, είναι το μικρό μέγεθος / βάρος, η αποφυγή χρήσης ηλεκτρικών / ηλεκτρονικών κυκλωμάτων μέσα στο υδάτινο διαβρωτικό περιβάλλον, και γενικά η χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος.



Διάταξη υδροφώνου οπτικής ίνας, με οπτικό συμβολόμετρο Mach-Zehnder δυναμικού εύρους 120-140 dB. Πολλές τέτοιες διατάξεις στη σειρά και με την εφαρμογή τεχνικών πολυπλεξίας TDM/WDM μπορούν να δημιουργήσουν συστοιχίες υδροφώνων.

Εικόνα 4.2.4

4.2.5

Μορφοτροπείς εγκάρσιων ταλαντώσεων (flextensional transducer)

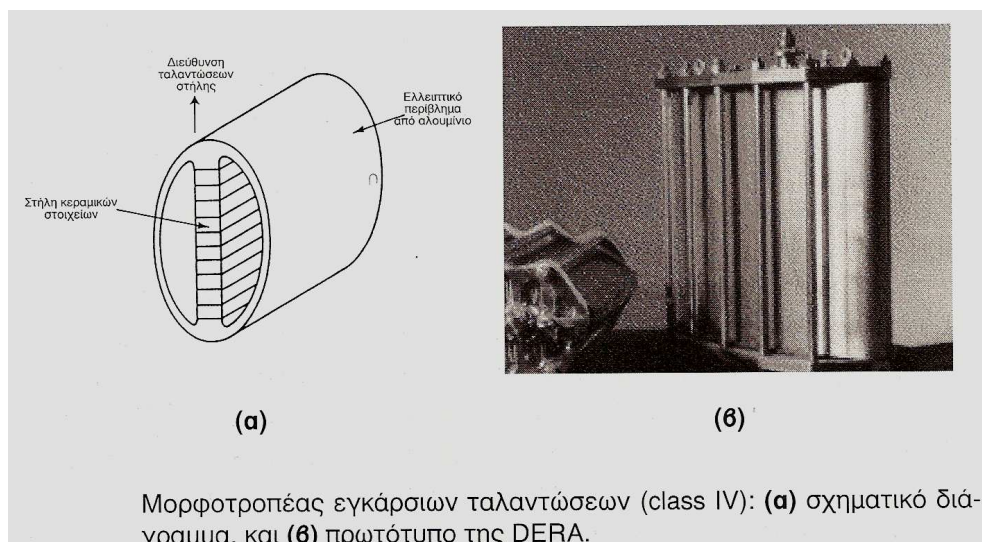
Για την εκπομπή χαμηλών ακουστικών συχνοτήτων και υψηλής ισχύος, υπάρχουν ορισμένοι ειδική τύποι μορφοτροπέων, όπως οι flextensional, cylindrical, υβριδικοί (μαγνητοσυστολής / ηλεκτροσυστολής). Ορισμένοι από τους τύπους αυτούς χρησιμοποιούνται ως πηγές εκπομπής σημάτων ευρέως φάσματος (broadband transducer), σε εφαρμογές υποβρύχιας τηλεφωνίας, τηλεμετρίας, ειδικών εφαρμογών ηχοεντοπιστικών συσκευών.

Στη συνέχεια, περιγράφονται οι κυριότεροι από τους μορφοτροπείς εγκάρσιων ταλαντώσεων. Ο πιο διαδεδομένος τύπος είναι ο **CLASS IV flextensional (εικ.4.2.5)**. Αυτός, διαθέτει ένα συντονιζόμενο ελλειπτικό περίβλημα (πχ από αλουμίνιο ή fiberglass), το οποίο παίζει το ρόλο του μηχανικού διαφράγματος.

Στο εσωτερικό του υπάρχουν στοίβες πιεζοηλεκτρικών / κεραμικών στοιχείων οδήγησης (ή ακόμη και μαγνητοσυστολής νέου τύπου), τοποθετημένες κατά το μεγαλύτερο άξονα της έλλειψης.

Σκοπός είναι η διέγερση του πρώτου ρυθμού εγκάρσιων ταλαντώσεων του διαφράγματος (1st bending mode). Οι εγκάρσιες ταλαντώσεις του διαφράγματος (**flexural modes**) μελετώνται με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων **FEM** (**Finite Element mode**) και με βάση αυτή διεξάγεται η σχεδίαση.

Οι μορφοτροπίες αυτοί επιτυγχάνουν εξαιρετικό βαθμό απόδοσης (**Electro acoustic Efficiency**), ορισμένες φορές μέχρι και 80%, μέσα σε μία ευρεία περιοχή χαμηλών συχνοτήτων (μεγαλύτερη της οκτάβας). Οι συχνότητες λειτουργίας τυπικά κυμαίνονται από 100 Hz έως 3 kHz, ανάλογα με το πάχος του υλικού του ελλειπτικού διαφράγματος. Το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι σχεδόν ισοκατευθυντικό (± 3 dB). Για την επίτευξη της επιθυμητής τιμής SL και κατευθυντικότητας, συνήθως διατάσσονται σε κατακόρυφες στοίβες των 3 - 6 στοιχείων. Η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος, συνήθως επηρεάζεται από το βάθος λειτουργίας (πολλές φορές περιορίζεται μέχρι τα 200 - 300 m). Οι μορφοτροπίες αυτοί, χρησιμοποιούνται τόσο ως προβολείς ανθυποβρυχιακών συστημάτων **LFAS** (**Low Frequency Active Sonars**), όσο και σε διάφορες πολιτικές εφαρμογές (πχ σεισμικές έρευνες).

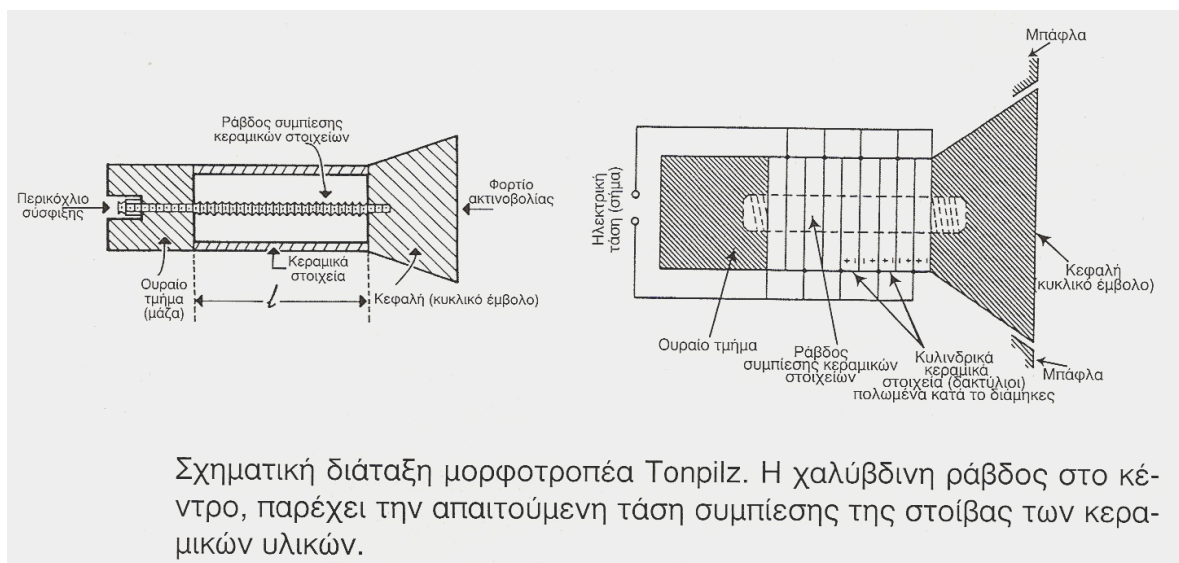


Εικόνα 4.2.5

Μία ειδική κατηγορία (όχι όμως στην πραγματικότητα **flextensional**), η οποία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διατάξεις SONAR με απαιτήσεις υψηλής ισχύος εκπομπής σε μεσαίες και χαμηλές ακουστικές συχνότητες, αποτελεί ο

πιστονικού τύπου μορφοτροπέας **Tonpilz**, (εικ.4.2.5.1) διαμηκών ταλαντώσεων (**Longitudinal Vibrator**). Αυτός, κατασκευάζεται με τη στερέωση δύο διαφορετικών μεταλλικών μαζών, ενός αλουμινένιου κυκλικού εμβόλου (**Projector face circular piston**) και ενός χαλύβδινου ουραίου τμήματος (**Base plate**), στα δύο άκρα μίας στοίβας περί τους δέκα πιεζοηλεκτρικούς / κεραμικούς δακτύλιους. Οι δακτύλιοι αυτοί πολώνονται κατά το διάμηκες, ώστε να ικανοποιήσουν πολύπλοκες σχεδιαστικές απαιτήσεις.

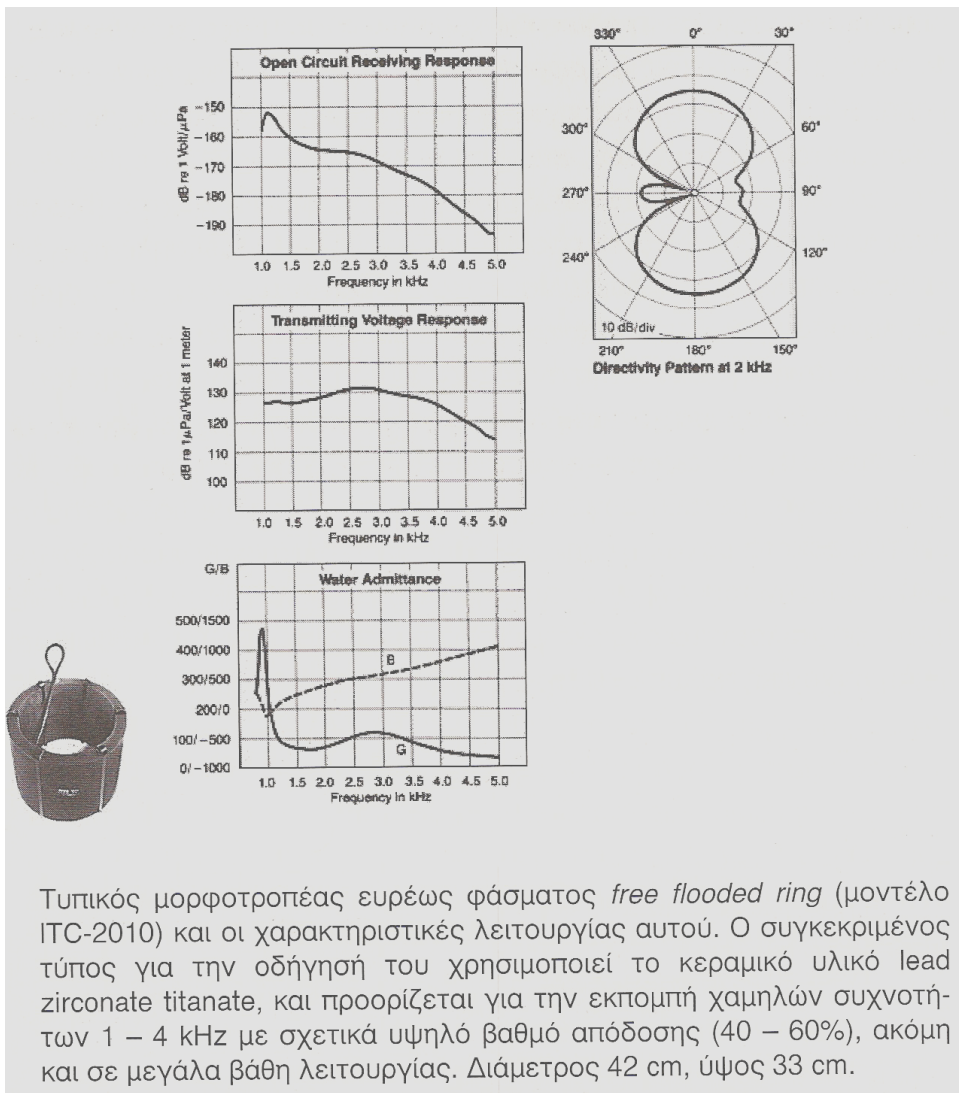
Για την καλύτερη προσαρμογή της σύνθετης αντίστασης με τους ενισχυτές εξόδου, χρησιμοποιείται μετασχηματιστής. Ολόκληρη η κατασκευή έχει μήκος ίσο με $\lambda/2$ της συχνότητας εκπομπής. Βασικός σκοπός είναι η επίτευξη καλύτερης προσαρμογής μεταξύ των ενεργών στοιχείων και της μάζας του νερού, μέσω της αρκετά μεγαλύτερης αύξησης της επιφάνειας ακτινοβολίας συγκριτικά με αυτήν των ενεργών πιεζοηλεκτρικών / κεραμικών υλικών. Μειονεκτήματα, αποτελούν το σχετικά μεγάλο μέγεθος και βάρος, καθώς επίσης η υψηλή μηχανική πολυπλοκότητα και κόστος υλοποίησης (εικ. 4.2.5.2)



Εικόνα 4.2.5.1

Ως εναλλακτικές λύσεις των πιεζοηλεκτρικών / κεραμικών υλικών για την παραγωγή υψηλής ισχύος χαμηλών συχνοτήτων (μερικών εκατοντάδων Hz), εξετάζονται διάφοροι νέοι τύποι υλικών μαγνητοσυστολής, πχ κράματα μετάλλων σπανίων γαιών (λανθανίδες).

Παράδειγμα αποτελεί το **TERFENOL D**, ένα μεταλλικό κράμα από τέρβιο και δυσπρόσιο σε συνδυασμό με σίδηρο, το οποίο παράγει μεγάλη ακουστική ισχύ σε σχετικά χαμηλές συχνότητες, με υψηλότερη αξιοπιστία και ευρύτερη μπάνα απόκρισης συχνοτήτων. Το υλικό αυτό, είναι ικανό για την παραγωγή μηχανικών παραμορφώσεων (**STRAIN**) $\Delta\chi / \chi$ της τάξης των 1000-2000 ppm ή $\mu\text{L} / \text{L}$ (**glant magnetostriction**).



Εικόνα 4.2.5.2

4.3

ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ ΜΟΡΦΟΤΡΟΠΕΩΝ

Η παράμετρος k^2 είναι γνωστή ως συντελεστής ηλεκτρομηχανικής σύζευξης (**electromechanical coupling coefficient**) ενός υλικού μορφοτροπέα (μαγνητοσυστολής, πιεζοηλεκτρικού, κτλ). Εκφράζει το ποσοστό της ενέργειας που μετατρέπεται από τη μία μορφή στην άλλη (μηχανική ή ηλεκτρική). Συγκεκριμένα, ισούται με το λόγο της μετατραπείσας ενέργειας εξόδου προς τη συνολικά εφαρμοζόμενη ενέργεια εισόδου. Μέγιστη θεωρητική τιμή του συντελεστή k^2 είναι η μονάδα (ή 100%). Η τιμή της παραμέτρου αυτής είναι η ίδια, ανεξάρτητα από το ποια μορφή ενέργειας μετατρέπεται. Επίσης, η τιμή του συντελεστή k^2 σε δυναμική κατάσταση λειτουργίας είναι διαφορετική και πάντοτε μικρότερη της αντίστοιχης στατικής τιμής (**dc**), και τυπικά βρίσκεται στο 75-90% αυτής. Ο συντελεστής σύζευξης αποτελεί ένα βασικό μέτρο σύγκρισης μεταξύ των διαφορετικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ηλεκτρο-ακουστικών μορφοτροπέων (είναι επιθυμητές οι μεγαλύτερες τιμές). Η τιμή της παραμέτρου k^2 είναι περίπου ανάλογη του βαθμού απόδοσης της διάταξης του μορφοτροπέα (όχι όμως ίση). Στη συνέχεια, παρατίθενται ορισμένες τυπικές τιμές συντελεστών σύζευξης k^2 , διάφορων υλικών. Οι τιμές μεταβάλλονται ανάλογα με το εφαρμοζόμενο πεδίο πόλωσης, τη γήρανση του υλικού και τις συνθήκες περιβάλλοντος (για ποσοστιαία έκφραση πολλαπλασιάζουμε επί 100):

Υλικά μαγνητοσυστολής (η τιμή εξαρτάται από τη θερμική επεξεργασία και το μαγνητικό πεδίο)

Νικέλιο : 0.0225-0.102

TERFENOL – D : 0.2809 - 0.444 (εξαρτάται και από τις αναλογίες του κράματος, τον προσανατολισμό των κόκκων, κτλ)

Πιεζοηλεκτρικά υλικά

Χαλαζίας (**quartz**) : 0.01 (πολύ χαμηλή τιμή, δεν χρησιμοποιείται σχεδόν καθόλου σε μοντέρνες εφαρμογές υδροακουστικής)

Lithium salphate

(**LiSO4 H2O**) : 0.09

ROCHELL SALT : 0.1024 - 0.4225 (χρησιμοποιήθηκε στα πρώτα χρόνια ανάπτυξης της υδροακουστικής)

ADP : 0.0784 (χρησιμοποιήθηκε προς αντικατάσταση του **ROCHELL SALT** κατά τη δεκαετία του 1940)

PVDF : <0.3 (συνθετικό υλικό υπό διαρκή ανάπτυξη, για βελτίωση των ιδιοτήτων του).

Υλικά ηλεκτροσυστολής (κεραμικά)

Lead Metaniobate : 0.1444-0.3

Barium Titanate : 0.0361 (αντικατέστησε τα πιεζοηλεκτρικά υλικά από τη δεκαετία του 1950 και μετά)

PZT : 0.424 - 0.59 (οι διάφορες κατηγορίες PZT αποτελούν τα πιο διαδεδομένα υλικά μορφοτροπέων στα περισσότερα είδη **sonar** και άλλων εφαρμογών)

PZN / PT : ~0.9(**lead zinc niobate / lead titanate**, μονοκρυσταλλικό υλικό)

PMN / PT : -0.9 (**lead magnesium niobate / lead titanate**, μονοκρυσταλλικό υλικό)

PSN / PT : ~0.9(**lead scandium niobate /lead titanate**, μονοκρυσταλλικό υλικό)

Οι τρεις τελευταίες κατηγορίες υλικών παρέχουν δυνατότητα λειτουργίας ευρέως φάσματος με υψηλό ενεργειακό βαθμό απόδοσης, πράγμα το οποίο τα καθιστά ελκυστικά σε μελλοντικές ναυτικές εφαρμογές, ως προς το διαδεδομένο σήμερα **PZT-8**. Ο συντελεστής ποιότητας μηχανικού συντονισμού **Q_m** (**Mechanical quality factor**) σχετίζεται με την ύπαρξη απωλειών (τριβών) μέσα στο υλικό, κατά τη διάρκεια των μηχανικών ταλαντώσεων. Το αντίστροφο $1 / Q_m$ λέγεται *συντελεστής* μηχανικής απόσβεσης (**Mechanical damping coefficient**). Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει ο συντελεστής **Q_m**, τόσο χαμηλότερες είναι οι απώλειες αλλά και τόσο στενότερη είναι η απόκριση συχνοτήτων. Για ένα υλικό χωρίς απώλειες **Q_m**. Ο συντελεστής αυτός, ισούται με τη μάζα αντίδρασης **m_w** (ή τη σκληρότητα αντίδρασης **s / ω**) προς την αντίσταση απόσβεσης.

Για παράδειγμα, η κατηγορία προβολέων **class IV flextensional** διαθέτει χαμηλές τιμές **Q_m**, ενώ τα διάφορα κεραμικά υλικά (**PZT, barium titanate**) διαθέτουν τιμές που κυμαίνονται από 400 έως 1000 (εξαίρεση αποτελεί το **lead Metaniobate με Q_m = 11**). Γενικά, υπάρχουν εφαρμογές όπου οι σχεδιαστές προτιμούν υλικά με συντελεστή μηχανικού συντονισμού μεγαλύτερο του 100,

αλλά και περιπτώσεις στις οποίες είναι επιθυμητές ακόμη και πολύ μικρότερες τιμές (για ευρύτερη απόκριση συχνοτήτων).

4.4

SONAR



(SONAR ROOM)

4.4.1

Η λειτουργία του Sonar

Προέρχεται από την αγγλική τεχνική ορολογία **Sound Navigation and Ranging** που σημαίνει ηχητικός εντοπιστής .

Χωρίζεται σε δυο κατηγορίες : α) στο ενεργητικό **SONAR** το οποίο εκπέμπει ένα ήχο στο νερό και περιμένει να επιστρέψει ,

β) το παθητικό **SONAR** το οποίο ακούει τους ήχους που παράγονται από αλλά πλοία. Συχνότητες λήψεως του παθητικού **SONAR** είναι από 100Hz έως 100Khz στο εύρος αυτό των συχνοτήτων έχουμε την δυνατότητα ανάλυσης επιλεκτικά οιοδήποτε εύρους ως προς την συχνότητα και ως προς την

διόπτευση. Επίσης μας δίνεται η δυνατότητα να αναλύσουμε ηχητικούς παλμούς που προέρχονται από άλλα πλοία ως προς την ένταση του παλμού την συχνότητα και τον τρόπο διαμόρφωσης του παλμού.

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί SONAR χαμηλών συχνοτήτων λόγω της καλύτερης διάδοσης των ήχων χαμηλών συχνοτήτων μέσα στο νερό.

Όταν ένα υποβρύχιο καταδύεται το ραντάρ επιφανείας βγαίνει εκτός λειτουργίας και το περισκόπιο και το SONAR είναι τα μάτια και τα αυτιά του υποβρυχίου. Επειδή όμως είναι επικίνδυνο να χρησιμοποιείται συχνά το περισκόπιο λόγω εντοπισμού από αλλά εχθρικά πλοία χρησιμοποιούμε μόνο το SONAR. Οπότε οι χειριστές του **SONAR** είναι η ψυχή του υποβρυχίου είναι αυτοί οι οποίοι εντοπίζουν τον εχθρό. Οποιαδήποτε σκάφος που κινείται στην θάλασσα βγάζει ένα ήχο, οι χειριστές **SONAR** είναι αυτοί οι οποίοι θα ξεχωρίσουν πιο σκάφος είναι φιλικό ή εχθρικό. Σημαντικό για ένα χειριστή SONAR είναι να μπορεί να ξεχωρίζει του δικούς του θορύβους δηλαδή τους θορύβους που προέρχονται από το υποβρύχιο.

Το **SONAR** αποτελείται από (4) τέσσερα ουσιαστικά μέρη :

α) Υδρόφωνα τα οποία είναι (3) τρία στον αριθμό και βρίσκονται το ένα στο πάνω μέρος του υποβρυχίου κοντά στην πλώρη του και τα άλλα δυο στο κάτω μέρος της καρίνας του υποβρυχίου.

β) Δέκτης Ενισχυτής η συσκευή αυτή λαμβάνει όλους τους ήχους δια μέσου των υδρόφωνων.

γ) Τα Ακουστικά τα οποία συνδέονται στο Δέκτη Ενισχυτή και από εκεί ο χειριστής διακρίνει όλους τους ήχους.

δ) Ηλεκτρικοί Μηχανικοί ελεγχόμενοι διακόπτες οι οποίοι γυρίζουν σε οποιαδήποτε επιθυμητή θέση τα Υδρόφωνα.

4.4.2

Υδρόφωνα

Χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα στην διάταξη και την συχνότητα που ακούνε . LF (Low frequency) 100Hz έως 2,4KHz , σε μια άλλη ενδιάμεση κατηγορία 1KHz έως 12KHz, και στην υψηλή μπάντα 10 – 100KHz.

Τα Υδρόφωνα χρησιμοποιούν ένα σύστημα ώστε με ηλεκτρικό τρόπο να μπορούν να στρέψουν.

Χρήση γραμμών καθυστερήσεων στην εκπομπή και στη λήψη ηχητικών σημάτων προκειμένου να ελέγχουμε το μέτωπο της εκπομπής και της λήψης. Το οποίο μεταφράζεται σε χρόνο.

Υδρόφωνα λήψης χαμηλών συχνοτήτων βρίσκονται μέσα σε ελαστικούς σωλήνες γεμάτο με λάδι και ο λόγος είναι για την καλή μηχανική λειτουργία του κινητήρα των υδροφώνων.

Επίσης χρησιμοποιούνται υδροφωνα τα οποία βρίσκονται σε καλώδιο και ονομάζεται παρασυρόμενη κεραία ομιλιών. Το ολικό μήκος μιας κεραίας υδρόφωνων και οι αποστάσεις μεταξύ των υδρόφωνων ορίζουν και την χαμηλότερη συχνότητα που μπορεί να κάνει λήψη η κεραία αυτή. Μέσα στην κεραία υπάρχει ένας υβριδικός προενισχυτής που σαν σκοπό έχει την ενίσχυση του ήχου. Μετά την ενίσχυση πάμε στο λεγόμενο beam former φορμάρισμα της δέσμης ψηφιοποιούμε το σήμα όπου εκεί γίνεται ανάλυση σήματος σε σχέση με το χρόνο, διόπτευση, συχνότητα και ταχύτητα. Μετά την επεξεργασία του σήματος αυτό απεικονίζεται σε οθόνη ή σε χαρτί.

Το μήκος της κεραίας των υδροφώνων είναι 1,5 – 5Km παρασυρόμενη κεραία.

4.5

Τρόπος λειτουργίας ηχοεντοπιστηκών συστημάτων(SONAR)

Τα ηχοεντοπιστικά συστήματα sonar (sound navigation and ranging), εκμεταλλεύονται την διάδοση της ηχητικής ενέργειας μέσα στην θάλασσα, όπως ακριβώς τα συστήματα ραντάρ που εκμεταλλεύονται την διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα. Βασική εργασία των συστημάτων sonar είναι οι υποθαλάσσιες επικοινωνίες, ο εντοπισμός των υποβρυχίων και διάφορων αντικειμένων στο βυθό. Από όλες τις τεχνικές που έχουν εφαρμοσθεί μέχρι σήμερα για τις υποθαλάσσιες εφαρμογές (οχ χρήση συστημάτων ραντάρ, laser, ανίχνευση διαταραχών μαγνητικού πεδίου, κτλ), η αποδοτικότερη που έχει προκύψει είναι η χρήση του υποβρύχιου ήχου. Η ηχητική ενέργεια μπορεί να διαδοθεί σε μεγάλες αποστάσεις μέσα στην θάλασσα ακόμα και στερεά στρώματα του βυθού κάτω από τον πυθμένα, την στιγμή που άλλες μορφές ενέργειας, όπως η ηλεκτρομαγνητική, απορροφάται ταχύτατα.

Οι μέθοδοι εντοπισμού με την χρήση υποβρύχιου ήχου διακρίνονται γενικά σε ενεργητικές και παθητικές.

Κατά την ενεργητική μέθοδο, το ηχητικό σήμα εκπέμπεται εσκεμμένα μέσα στο νερό, και ακολούθως διαδίδεται στο υποθαλάσσιο περιβάλλον αναμένοντας τον εντοπισμό του στόχου μέσω της λήψης του ανακλώμενου από αυτόν σήματος (αρχή λειτουργίας του κλασσικού ραντάρ).

Κατά την παθητική μέθοδο, το ηχητικό σήμα που εκμεταλλευόμαστε παράγεται από τον ίδιο τον στόχο (αρχή λειτουργίας παρόμοια με των παθητικών συστημάτων υπέρυθρου / θερμικού εντοπισμού). Σε αυτήν την περίπτωση, ο εντοπισμός βασίζεται στην αποκάλυψη μέσα από τον θόρυβο περιβάλλοντος, των χαρακτηριστικών εκείνων ακουστικών συχνοτήτων που εκπέμπονται από τον στόχο ενδιαφέροντος (ένα παθητικό σύστημα εντοπισμού δεν εκπέμπει καθόλου δική του ενέργεια μέσα στο νερό). Ορισμένα συστήματα sonar, συνδυάζουν ταυτόχρονα λειτουργίες ενεργητικού και παθητικού εντοπισμού, οι οποίες δρουν μεταξύ τους συμπληρωματικά.

Τα πυρηνικά υποβρύχια τα οποία θεωρούνται και ως περισσότερο θορυβώδη συγκριτικά με τα αντίστοιχα συμβατικής πρόωσης, έχουν καταστεί δραματικά αθόρυβα (περίπου κατά 35dB ή 3000 φορές), με αποτέλεσμα οι αποστάσεις παθητικού ηχοεντοπισμού να έχουν μειωθεί από μερικές εκατοντάδες ναυτικά μίλια σε μόλις μερικές χιλιάδες γυάρδες (1 γυάρδα = 0,9144 m και 1 ναυτικό μίλι = 1852 m (= 2000 γυάρδες)).

Το υποβρύχιο είναι από τη φύση του ένας εξαιρετικά δύσκολος αντίπαλος τόσο για να εντοπισθεί, όσο και για να εξουδετερωθεί. Είναι γεγονός, ότι τα αθόρυβα συμβατικά υποβρύχια, τα οποία είναι εξοπλισμένα με υψηλών επιδόσεων / δυνατοτήτων όπλα και επιχειρούν σε περιοχές των παράκτιων υδάτων (littoral waters), αποτελούν για τα πλοία επιφανείας μια από τις μεγαλύτερες και περισσότερο ασύμμετρες απειλές (asymmetrical threats) Ιδιαίτερη μάλιστα απειλή αποτελούν τα μικρά και ευέλικτα υποβρύχια με εκτόπισμα της τάξης 1000-1400 τόνων. Οι πιο εξελιγμένοι τύποι υποβρύχιων διαθέτουν αναερόβια πρόωση AIP (Air Independent Propulsion) γεγονός το οποίο τους παρέχει δυνατότητα συνεχούς παραμονής σε κατάδυση για διάστημα μέχρι και 15 – 25 ημερών, χωρίς την παραμικρή εκτέλεση του αναπνευστήρα (snorkeling).

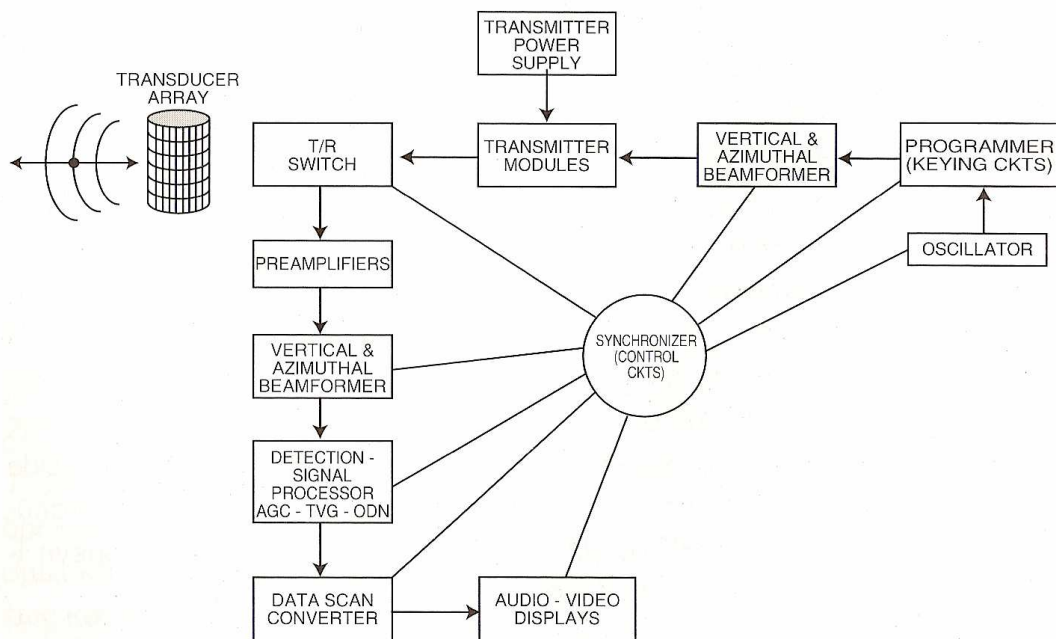
Σήμερα, το υποβρύχιο, εκτός από την πυρηνική αποτροπή σε στρατηγικό επίπεδο, μπορεί επίσης να συμμετάσχει σε πολλών ειδών επιχειρήσεις, όπως πχ στην συλλογή πληροφοριών και στην προσβολή στόχων ξηράς (land strike),

όμως πρωταρχικά και παραδοσιακά εξακολουθεί να αποτελεί μέσο αμφισβήτησης του θαλάσσιου ελέγχου (sea denial) του αντιπάλου.

4.6

ΒΑΣΙΚΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΟΥ SONAR

Τα βασικά λειτουργικά μέρη ενός τυπικού ενεργητικού sonar είναι: (εικ. 4.6)



Βασικό λειτουργικό διάγραμμα ενεργητικού συστήματος sonar.

Εικόνα 4.6

4.6.1

Συγχρονιστής (Synchronizer ή Control Circuits)

Παρέχει τον απαραίτητο συγχρονισμό σε όλα τα τμήματα για την ομαλή λειτουργία της συσκευής. Παρέχει μια περιοδική σειρά στενών παλμών (trigger pulses), στη συχνότητα επανάληψης εκπομπής (PRF). Η τιμή PRF, ουσιαστικά ρυθμίζεται από την επιλογή της κλίμακας απόστασης (range scale). Σε κάθε νέο παλμό, η σάρωση στον ενδείκτη απεικόνισης μηδενίζεται, για την έναρξη ενός νέου κύκλου μέτρησης της απόστασης.

4.6.2

Ταλαντωτής (Oscillator)

Παράγει την κεντρική ακουστική συχνότητα εκπομπής της συσκευής (φέρουσα συχνότητα), ανάλογα με την επιλογή του χειριστή.

4.6.3

Προγραμματιστής (Programmer ή Keying circuits)

Εδώ, εισέρχεται το ακουστικό σήμα του ταλαντωτή και ρυθμίζεται η χρονική διάρκεια (και προαιρετικά η διαμόρφωση FM) του εκπεμπόμενου παλμού, σύμφωνα με τις επιλογές του χειριστή της συσκευής. Ο προγραμματιστής είναι γνωστός και ως διαμορφωτής (modulator).

4.6.4

Κατακόρυφος και οριζόντιος μορφοποιητής λοβών (Vertical & Azimuth Beam former)

Εδώ, δημιουργούνται οι λοβοί του σήματος εκπομπής, ανάλογα με την επιλογή μεθόδου λειτουργίας (omni, RDT, TRDT) από τον χειρίστη της συσκευής. Ο σχηματισμός των ακουστικών λοβών, εκτελείται μέσω κατάλληλου έλεγχου των στοιχείων εκπομπής της συστοιχίας.

4.6.5

Ενισχυτές πομπού (Transmitter amplifiers)

Οι ενισχυτές του πομπού, ενισχύουν την ενέργεια του εκπεμπόμενου παλμού. Ουσιαστικά, το τμήμα αυτό αποτελεί έναν πολυκάναλο ενισχυτή ισχύος ακουστικών συχνοτήτων (audio power amplifier). Η στάθμη της εκπεμπόμενης ισχύος εξόδου μπορεί να επιλέγεται από τον χειρίστη.

4.6.6

Διπλέκτης (Duplexer ή T/R switches)

Προστατεύει τα κυκλώματα του δέκτη κατά την εκπομπή, και οδηγεί τα λαμβανόμενα σήματα στο δέκτη κατά την λήψη. Πρακτικά, υλοποιείται με τη βοήθεια ηλεκτρονόμων (relay switches).

4.6.7

Μορφοτροπέας (Transducer array)

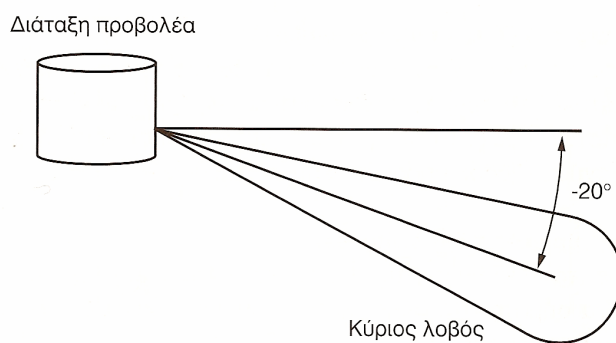
Ο μορφοτροπέας sonar αποτελεί μια συστοιχία απλών ηλεκτρομηχανικών στοιχείων εκπομπής / λήψης της ηχητικής ενέργειας (transducer elements), καθένα από τα οποία μεμονωμένα διαθέτει πολύ μικρή κατευθυντικότητα. Η συστοιχία αυτή, βρίσκεται τοποθετημένη μέσα σε νερό (ή ειδικό λαδί).

Κατά την λειτουργία της εκπομπής, η ηλεκτρική ενέργεια του πομπού μετατρέπεται από τον μορφοτροπέα (transducer) σε εκπεμπόμενη ηχητική ενέργεια, μέσα σε ένα επιθυμητό λοβό εκπομπής (ο οποίος συνήθως εκτελεί σάρωση στο χώρο). Κατά την διάρκεια της λήψης, τα ίδια στοιχεία του μορφοτροπέα λειτουργούν ως υδρόφωνα, μετατρέποντας την λαμβανόμενη ηχητική ενέργεια σε ηλεκτρική.

Σε κάποιες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται διαφορετικές διατάξεις στοιχείων για εκπομπή και λήψη (διστακτικά συστήματα).

Η εκπεμπόμενη ηχητική πίεση SL (Source Level) ενός μορφοτροπέα, μετράται επί του κύριου ακουστικού άξονα του λοβού εκπομπής και σε απόσταση ενός μέτρου από το ακουστικό του κέντρου. Τα στοιχεία του μορφοτροπέα διατάσσονται έτσι ώστε να αυξήσουν την κατευθυντικότητα του συστήματος, με σκοπό την αύξηση της τιμής SL κατά την εκπομπή και την μείωση της τιμής NL (Noise Level) κατά την λήψη. Η συνήθης διάταξη στοιχείων σε ενεργητικά συστήματα sonar είναι κυλινδρική, ενώ μερικές φορές συναντάται και η σφαιρική, πχ τα συστήματα γάστρας της Thomson Marconi (κεντρική συχνότητα λειτουργίας 7 kHz) (εικ. 4.6.7).

Ορισμένες φορές υφίσταται δυνατότητα προς τα κάτω κλίση του κύριου λοβού από το οριζόντιο επίπεδο, για διαφόρους λόγους, πχ εκμετάλλευση της ανάκλασης στο βυθό ή την ζώνη σύγκλησης, είτε για την αποφυγή θορύβου επιφάνειας.



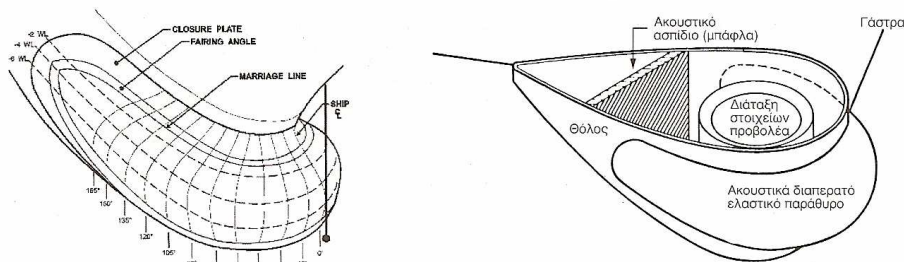
Κατακόρυφη κλίση κύριου λοβού κυλινδρικής συστοιχίας.



Ο σφαιρικός μορφοτροπέας του ενεργητικού συστήματος sonar *Spherion* (UMS 4131) της Thomson Marconi, είναι εγκατεστημένος σε διάφορα μοντέρνα πολεμικά πλοία επιφανείας, όπως για παράδειγμα στις φρεγάτες ANZAC του Αυστραλιανού Ναυτικού.² Το σύστημα αυτό, διαθέτει αυξημένες δυνατότητες ενεργητικού/παθητικού εντοπισμού τորπιλών και αποφυγής ναρκών (mine/obstacle avoidance).

Εικόνα 4.6.7

Ο προβολέας ενός ενεργητικού sonar περιβάλλεται πάντοτε από κάποιο προστατευτικό θόλο (sonar dome) συνήθως γεμάτο με νερό. Ο θόλος αυτός έχει υδροδυναμικό σχήμα, και είναι κατασκευασμένος από χάλυβα ή ενισχυμένα συνθετικά (καουτσούκ). Τα πλεονεκτήματα των ελαστικών ή συνθετικών θόλων έναντι των χαλύβδινων, είναι η μεγάλη διαπερατότητα που παρουσιάζουν στην ηχητική ενέργεια (μικρότερες απώλειες διάδοσης), οι μειωμένες αντηχήσεις στο εσωτερικό τους (επιτυγχάνουν περί τα 15 dB υψηλότερο κέρδος στην αλυσίδα επεξεργασία για τον εντοπισμό στόχων), αλλά και ο χαμηλότερος υδροδυναμικός θόρυβος. Ιδιαίτερα στην περίπτωση των ελαστικών θόλων, είναι δυνατή η συμπλήρωσή τους με νερό υποπίεση (περί της δυο ατμόσφαιρες επιπλέον της εξωτερικής πίεσης), πράγμα το οποίο βοηθά στην επίτευξη υψηλότερων τιμών SL, χωρίς την εμφάνιση ανεπιθύμητου φαινομένου της σπηλαιώσης (φυσαλίδες στην πρόσοψη του διαφράγματος των στοιχείων) **εικ. 4.6.7.1**).



Γεωμετρία ελαστικού θόλου SDRW (Soft Dome Rubber Window). Οι ελαστικοί θόλοι είναι ενισχυμένοι με χάλυβδινα σύρματα. Ο απεικονιζόμενος τύπος αφορά σε πλοία επιφανείας με hull mounted sonar AN/SQS-26CX ή τα νεότερα DE1160LF και AN/SQS-53D.

Εικόνα 4.6.7.1

4.6.8

Δεκτής (Receiver)

Ο δέκτης αποτελεί το τμήμα λήψης της επιστρεφόμενης ηχητικής ενέργειας, στο εκτελείται η κατάλληλη επεξεργασία για ανίχνευση και απεικόνιση του σήματος ενδιαφέροντος. Περιλαμβάνει τους προενισχυτές (preamplifiers), το μορφοποιητή λοβών λήψης (vertical & azimuth beam former), τον ανιχνευτή / φωρατή σήματος (signal detector) και τον μετατροπέα σάρωσης στοιχείων (data scan converter). Το τελευταίο, αποτελεί εκείνο το τμήμα του δέκτη, το οποίο εκτελεί την κατάλληλη επεξεργασία / προετοιμασία του σήματος για απεικόνιση στον ενδείκτη audio ή video του συστήματος. Στους μοντέρνους δέκτες, το λαμβανόμενο αναλογικό σήμα υπόκειται σε δειγματοληψία (sample / hold) και μετατρέπεται σε ψηφιακό (analog to digital conversion) από το στάδιο της προενίσχυσης. Στον υπάρχουν ακόμη διάφορα ειδικά κυκλώματα ελέγχου του κέρδους λήψης (gain control), τα οποία βελτιώνουν την ανίχνευση και απεικόνιση των στόχων, πχ AGC, TVG.

Με τις τεχνικές αυτές, βελτιστοποιείται η δυναμική περιοχή (dynamic range) του συστήματος, για ικανοποιητική απεικόνιση / ακρόαση ισχυρών και ασθενών ακουστικών σημάτων ταυτόχρονα.

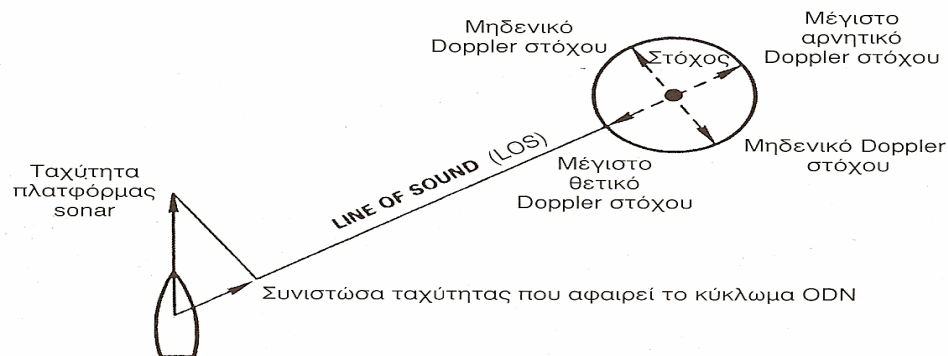
Το κέρδος (gain) του δέκτη ενός συστήματος sonar, εκφράζει την ενίσχυση που παρέχει στο λαμβανόμενο σήμα εισόδου. Η τιμή του κέρδους μπορεί να ρυθμιστεί με δυο τρόπους τουλάχιστον. Ο απλούστερος και πιο κλασσικός τρόπος ρυθμίζει την απεικόνιση στους ενδείκτες και στα καταγραφικά χαρτιού του συστήματος, είτε χειροκίνητα (manual gain control) είτε αυτόματα (AGC – Automatic Gain Control). Μια άλλη τεχνική, γνωστή ως TVG (Time Varied Gain) αυξάνει σταδιακά την ενίσχυση του δέκτη με την πάροδο του χρόνου, μέσα σε κάθε κύκλο σάρωσης λήψης. Αυτό, βασίζεται στο ότι οι πλησιέστερες επιστροφές έχουν υψηλότερη ένταση από τις πιο απομακρυσμένες. Ο ρυθμός αύξησης της ενίσχυσης μπορεί να είναι είτε γραμμικός είτε κάποιας άλλης μορφής επιλεγόμενης από τον χειριστή της συσκευής.

Στο δέκτη εκτελείται επίσης και η επεξεργασία Doppler για τον προσδιορισμό της ταχύτητας μεταβολής απόστασης του στόχου (αποτελεί πολύ σημαντικό στοιχείο εναντίον του παρακολουθούμενου υποβρυχίου). Το εύρος διέλευσης συχνοτήτων των δεκτών ενεργητικών sonar, συνήθως είναι της τάξης των 300 – 1600Hz (ανάλογα με την κεντρική συχνότητα λειτουργίας), έτσι ώστε

να καλύπτει ικανοποιητικά την παραγόμενη ολίσθηση Doppler (προσέγγισης και απομάκρυνσης των στόχων). Η πληροφορία Doppler απεικονίζεται σε ειδικούς ενδείκτες απόστασης / Doppler (**εικ.4.6.8**)



Ολίσθηση συχνότητας Doppler (ή Doppler degree) για στόχους διαφόρων ταχυτήτων (knots) και εγκλίσεων (aspects) στην περίπτωση πλατφόρμας με ενεργητικό σύστημα sonar.



Η λειτουργία *ODN* (*Own Doppler Nullification*) αφαιρεί τη συνιστώσα της ολίσθησης Doppler που οφείλεται στην κίνηση της πλατφόρμας του ενεργητικού sonar. Όταν επιλεγεί η λειτουργία αυτή, τότε από κάθε λοβό λήψης του συστήματος αφαιρείται διαφορετική τιμή ολίσθησης Doppler.

Εικόνα 4.6.8

4.6.9

Ενδείκτης απεικόνισης (Display / Indicator)

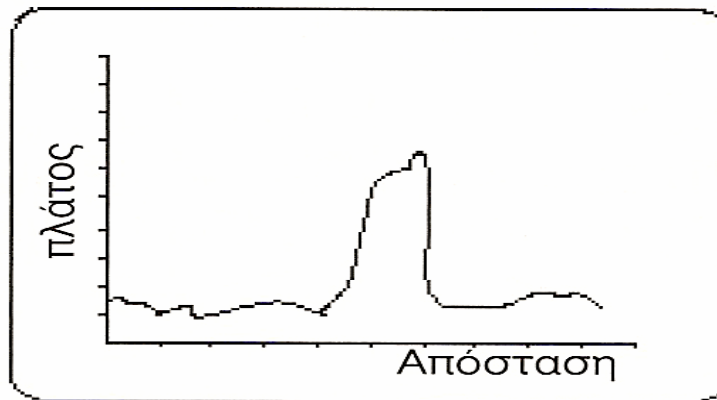
Ο ενδείκτης απεικόνισης χρησιμεύει για την απεικόνιση των λαμβανομένων σημάτων. Επομένως, αποτελεί το τμήμα εκείνο το οποίο παρατηρεί ο χειριστής της συσκευής για την ανίχνευση του στόχου ενδιαφέροντος.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ενδείκτων απεικόνισης οι κυριότεροι από τους οποίους είναι οι ακόλουθοι:

4.6.9.1

A-scan: Για κάθε λοβό λήψης (ακρόασης), παρέχει το πλάτος του λαμβανομένου σήματος ως προς την απόσταση. Η εφαρμογή του σπανίζει σε ενεργητικές συσκευές sonar. Συναντάται σε τεχνικές έρευνας ζώνης σύγκλισης

(convergence zone) και ανάκλασης στο βυθό (bottom bounce), στις οποίες μάλιστα παρουσιάζει εξαιρετικές τιμές κατωφλιού εντοπισμού. Ορισμένοι ενδείκτες A-scan συγκρατούν τις ποιο πρόσφατες σαρώσεις (track history), ώστε με αυτόν τον τρόπο να παρέχουν πληροφορίες που διευκολύνουν τον εντοπισμό των ηχητικών επαφών (εικ.4.6.9.1).



Ενδείκτης απεικόνισης A-scan.

Εικόνα 4.6.9.1

4.6.9.2

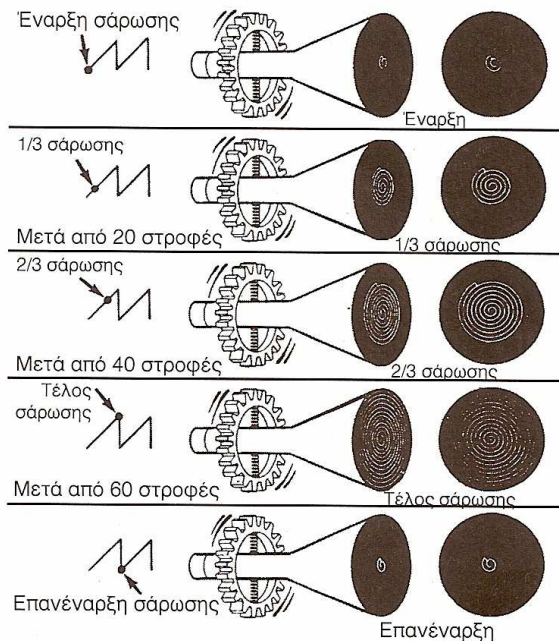
PPI (Plan Position Indicator)

Αποτελεί μια καθοδική ενδεικτική λυχνία, (εικ. 4.6.9.2) η οποία αναπαριστά τη γεωγραφική κάτοψη της περιοχής γύρω από την πλατφόρμα (πανοραμικός ενδείκτης), σε πολικό σύστημα συντεταγμένων. Στο κέντρο του ενδείκτη βρίσκεται η πλατφόρμα. Η σάρωση του ενδείκτη είναι σπειροειδής (spiral scan). Συγκεκριμένα, εκτελείται διαδοχική απεικόνιση των λοβών ακρόασης σε όλες τις διοπτρεύσεις περιφερειακά, ενώ ταυτόχρονα η σάρωση επεκτείνεται ακτινικά ανάλογα με την ταχύτητα του ήχου στο νερό. Τα επιστρεφόμενα σήματα απεικονίζουν την κατάλληλη θέση, κατά διόπτρευση (αζιμουθίου) και ακτινική απόσταση. Αποτελεί αρκετά συνηθισμένο τύπο ενδείκτη στα παλαιότερα ενεργητικά sonar, ο οποίος παρέχει οικειότητα στο χειριστή ως προς την αίσθηση του χώρου.

Η πριονωτή τάση εφαρμόζεται στον περιστρεφόμενο κινητήρα του καθοδικού σωλήνα. Στα νεότερα PPI δεν υπάρχουν καθόλου μηχανικά περιστρεφόμενα τμήματα.



(α)



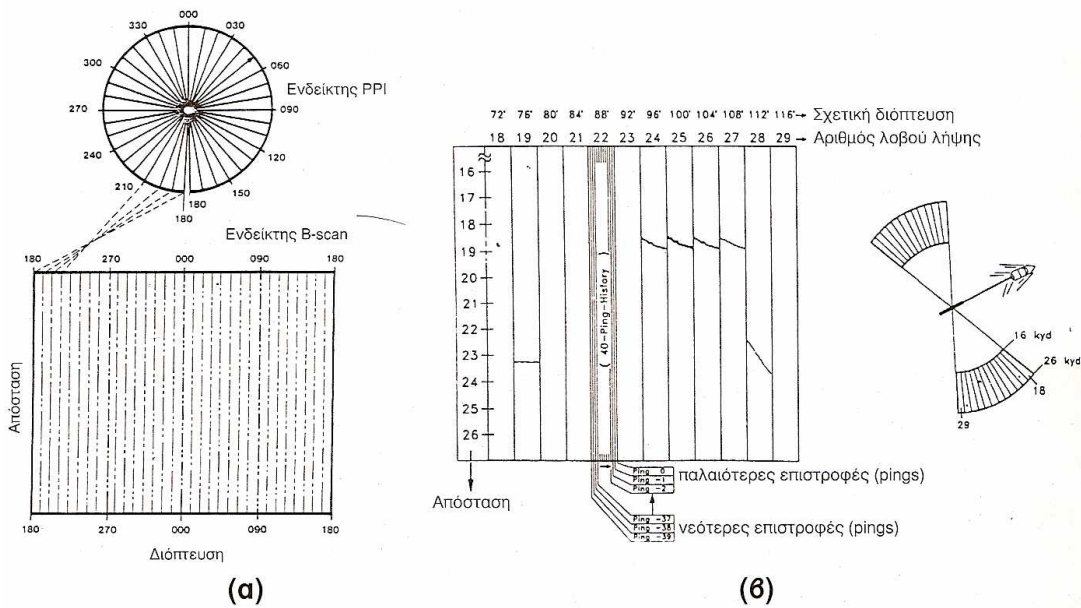
(β)

(α) Ενδείκτης PPI. Με τη χρήση του κέρσορα προσδιορίζεται η απόσταση και διόπτρευση της θέσης του στόχου (echo). (β) Διαδοχικά στάδια παραγωγής σπειροειδούς σάρωσης σε ενδείκτη PPI.

Εικόνα 4.6.9.2

4.6.9.3

B-scan: Αποτελεί μια καθοδική ενδεικτική λυχνία, στην οποία η γεωγραφική περιοχή απεικονίζεται σε ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων. Συγκεκριμένα, κατακόρυφα απεικονίζεται η απόσταση, ενώ οριζόντια η διόπτρευση (γωνία αζιμουθίου). Αποτελεί πολύ συνηθισμένο τύπο ενδείκτη στα μοντέρνα ενεργητικά sonar. Πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου τύπου ενδείκτη έναντι του PPI, είναι η μικρότερη παραμόρφωση του ειδώλου video των στόχων (ομοιόμορφη απεικόνιση και καλύτερη ανάλυση), η ομοιόμορφη πυκνότητα αντηχήσεων σε όλες τις αποστάσεις και η καλύτερη τιμή κατωφλιού εντοπισμού. Επίσης, στον ίδιο λειτουργικό χώρο της κονσόλας ελέγχου της συσκευής παρέχει διπλάσια απόσταση γεωγραφικής περιοχής, συγκριτικά με το PPI (εικ. 4.6.9.3).



(α) Σύγκριση ενδεικτών PPI και B-scan. (β) Ενδείκτης B-scan συστήματος LFAS, με δυνατότητα απεικόνισης της ιστορίας των ιχνών (ping history).

Εικόνα 4.6.9.3

Τέλος, δεν πρέπει να παραλειφθεί η έξοδος ακουστικού σήματος audio ή aural του δέκτη, η οποία και αυτή παρέχει καλύτερη τιμή DT, από τον ενδείκτη PPI. Η τιμή της συχνότητας του σήματος βρίσκεται στην περιοχή της μέγιστης ευαισθησίας του ανθρώπινου συστήματος ακοής (800 Hz – 1 kHz).

4.7

ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ SONAR (PASSIVE SONAR)

Στα παθητικά συστήματα sonar, η ηχητική πηγή είναι ο ίδιος ο στόχος. Σημαντικός παράγοντας για την ουσιαστική απόδοση των παθητικών ηχοεντοπιστικών συστημάτων, είναι η προηγούμενη γνώση (έστω και κάποιων στοιχείων) των ακουστικών χαρακτηριστικών των στόχων ενδιαφέροντος, πράγμα το οποίο επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, κυρίως μέσω υποκλοπών.

Ανάλογα με τον τύπο του συγκεκριμένου συστήματος, τα παθητικά sonar είναι σε θέση να παρέχουν τα ακόλουθα στοιχεία:

- **Διόπτευση (γωνία αζιμουθίου) στόχου**
- **Συχνότητα λαμβανόμενου σήματος στόχου**
- **Ολίσθηση συχνότητας Doppler λαμβανόμενου σήματος στόχου**
- **Πλάτος λαμβανόμενου σήματος στόχου (dB)**

Ορισμένα παθητικά συστήματα, κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας (εφαρμογής αλγόριθμων παρακολούθησης) παρέχουν επιπρόσθετα στοιχεία, όπως ταχύτητα μεταβολής διόπτευσης, εκτίμηση απόστασης, εκτίμηση πορείας και εκτίμηση ταχύτητας του στόχου. Κάτω από ορισμένες συνθήκες είναι επίσης δυνατό να εκτιμηθεί με καλή ακρίβεια το βάθος του υποβρύχιου στόχου.

4.7.1

Οι κυριότερες κατηγορίες παθητικών sonar, είναι οι ακόλουθες:

4.7.1.1

■ HMS (Hull Mounted Sonar)

Για τα συστήματα αυτά, ισχύουν τα ίδια με τα αντίστοιχα των ενεργητικών sonar's. Διακρίνονται και αυτά σε BMS και KMS. Πολλές φορές χρησιμοποιείται ο ίδιος ο μορφοτροπέας της ενεργητικής συσκευής. Αυτό είναι εφικτό να εκτελείται ταυτόχρονα, λόγω της διαφορετικής μπάντας ενεργητικής και παθητικής λειτουργίας.

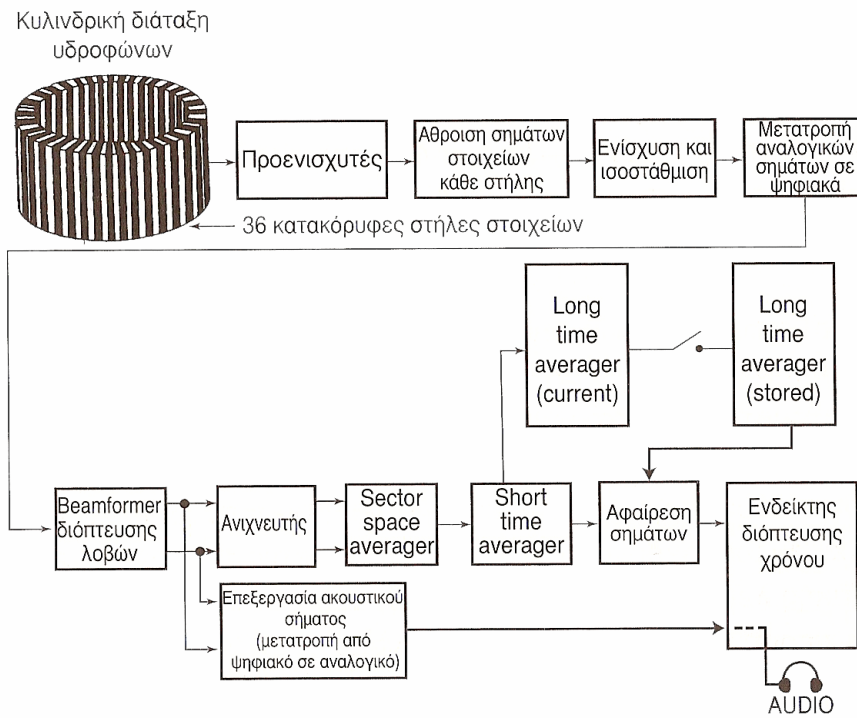
4.7.1.2

■ DIMUS (Digital MULTibeam Steering)

Αποτελεί μια από τις πρώτες ψηφιακές τεχνικές επεξεργασίας ευρέως φάσματος (broadband), η οποία εφαρμόστηκε σε παθητικά συστήματα sonar (πλοίων επιφανείας και υποβρύχιων) (σχ. 4.7.2.1). Σκοπός, ήταν ο ταυτόχρονος σχηματισμός πολλών σταθερών (προσχηματισμένων) λοβών ακρόασης (τυπικά 72) από κάποια συστοιχία υδροφώνων (πχ κυλινδρική), έτσι ώστε να καλύπτεται ολόκληρος ο οριζόντιος / αζιμουθιακός τομέας (360°).

Συγκεκριμένα, η τεχνική **DIMUS** εφαρμόζει χρονικές καθυστερήσεις, αποθηκεύοντας σε κάποιους καταχωρητές ολίσθησης (shift registers) κατάλληλα ψαλιδισμένα δείγματα των λαμβανόμενων σημάτων από τα υδρόφωνα. Η απεικόνιση εκτελείται σε ένα ενδείκτη / καταγραφέα διόπτρευσης – χρόνου BTR (Bearing – Time Recorder).

Επειδή, τα υδρόφωνα είναι πάντοτε βελτιστοποιημένα για μέγιστη απόκριση σε κάποια συγκεκριμένη συχνότητα, πριν από την ψηφιοποίηση των λαμβανόμενων σημάτων εκτελείται πρώτα ισοστάθμιση (equalization) της απόκρισης αυτών.



Βασικό λειτουργικό διάγραμμα των σταδίων επεξεργασίας ενός παθητικού συστήματος DIMUS.

Σχήμα 4.7.1.2

4.7.1.3

■ **TASS (Towed Array Sonar Systems)**

Αποτελεί ένα σύστημα γραμμικής συστοιχίας υδρόφωνων, η οποία ρυμουλκείται από κάποιο πλοίο επιφάνειας ή υποβρύχιο. Τα συστήματα TASS εμφανίστηκαν την δεκαετία του 1970, με σκοπό την αντιμετώπιση της αυξανόμενης απειλής των Σοβιετικών υποβρύχιων της εποχής. Ένα σύστημα TASS αποτελεί αυστηρά παθητικό sonar χαμηλών συχνοτήτων, το οποίο υπερνικά τα προβλήματα του μικρού φυσικού μεγέθους και της εισαγωγής αυτοθορύβου, τα οποία είναι χαρακτηριστικά των αντιστοιχών παθητικών HMS, ενώ ταυτόχρονα παρέχει τη δυνατότητα λειτουργίας στο επιθυμητό βάθος.

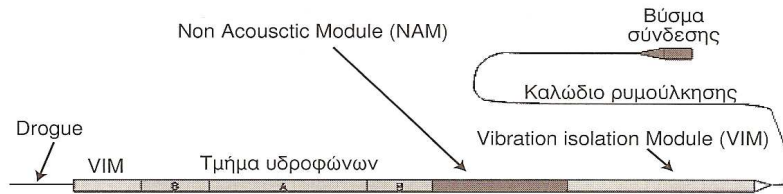
Το ακουστικό μήκος της συστοιχίας μπορεί να επιλεγεί από τον σχεδιαστή του συστήματος οσοδήποτε μεγάλο, έτσι ώστε να καλύπτεται ικανοποιητικά η εξαγωγή σχετικά ακριβούς διόπτεισης πηγών πολύ χαμηλών συχνοτήτων που βρίσκονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, καθώς και η απόρριψη του θορύβου περιβάλλοντος μέσω της επιτυγχανόμενης υψηλής κατευθυντικότητας των λοβών λήψης.

Όπως είναι γνωστό, οι πολύ χαμηλές συχνότητες (≤ 150 Hz) διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις, λόγω των αμελητέων απωλειών διάδοσης που παρουσιάζουν, ενώ ταυτόχρονα καταπιέζονται δύσκολα από τα πλοία επιφανείας και τα υποβρύχια, ακόμα και από τα ποιο μοντέρνα κατασκευής.

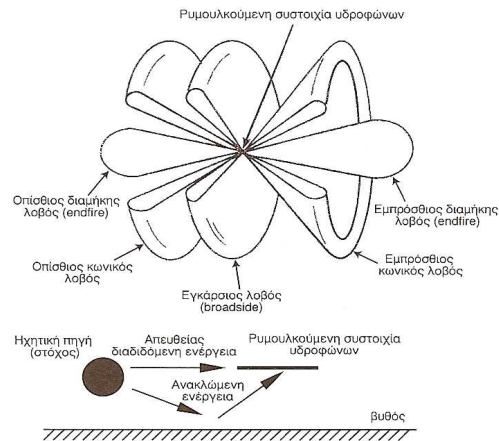
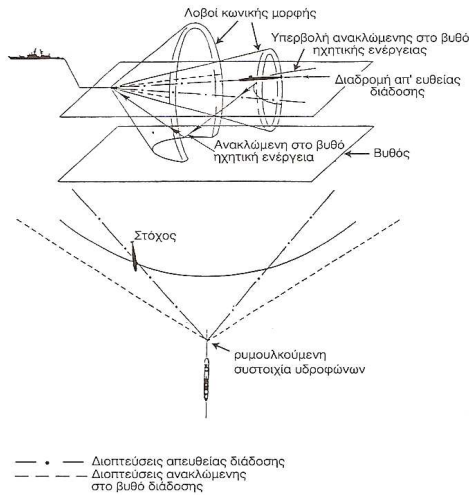
Για την αποφυγή του θορύβου επιφάνειας, η παρέαση των ρυμουλκούμενων συστοιχιών θα πρέπει να διεξάγεται στο μεγαλύτερο δυνατό βάθος τυπικά ≥ 150 m (ανάλογα και με τη βαθυμετρία της περιοχής). Επίσης, η παρακολούθηση των στόχων θα πρέπει να εκτελείται κυρίως με τους εγκάρσιους λοβούς, στους οποίους ο λαμβανόμενος θόρυβος είναι χαμηλότερος και η κατευθυντικότητα του συστήματος είναι μεγαλύτερη.

Οι ρυμουλκούμενες συστοιχίες υδροφώνων διακρίνονται σε συστήματα DTAS (Depressed Towed Array Sonars) CATAS (Critical Angle Towed Array Sonars) (εικ.4.7.1.3). Στα DTAS το βάθος παρέασης ρυθμίζεται από το βάθος στο οποίο βρίσκεται το ρυμουλκούμενο σώμα (towed body), ενώ στα CATAS ρυθμίζεται από την ταχύτητα, το μήκος το βάρος του καλωδίου ρυμούλκησης. Επίσης, διακρίνονται στα μικρότερου μήκους τακτικά συστήματα TACTAS (TACTical Towed Array Sonars) τα οποία είναι εγκατεστημένα σε φρεγάτες, και στα μεγαλύτερα μήκους στρατηγικά συστήματα SURTASS (Surveillance Towed Array Sonar / Sensor System) ρυμουλκούμενα με χαμηλές ταχύτητες (2-3 Knots).

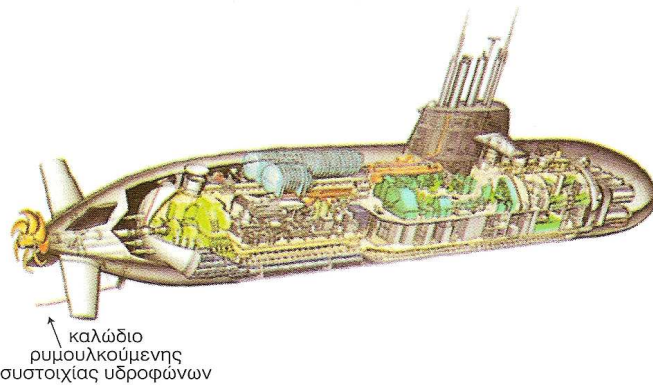
Οι ρυμουλκούμενες από υποβρύχια συστοιχίες υδροφώνων είναι ουδέτερης πλευστότητας, και είναι γνωστές ως STAS (Submarine Towed Array Sonar).



Ρυμουλκούμενη συστοιχία υδροφώνων. Τα υδρόφωνα μαζί με τους προενισχυτές αυτών βρίσκονται στο εσωτερικό ενός ελαστικού σωλήνα (προστατευτικό κάλυμμα), ο οποίος περιέχει κάποιο ειδικό υγρό παραφίνης (πχ ISOPAR-M).



Λήψη ανακλάσεων από το βυθό σε ρυμουλκούμενη συστοιχία υδροφώνων.

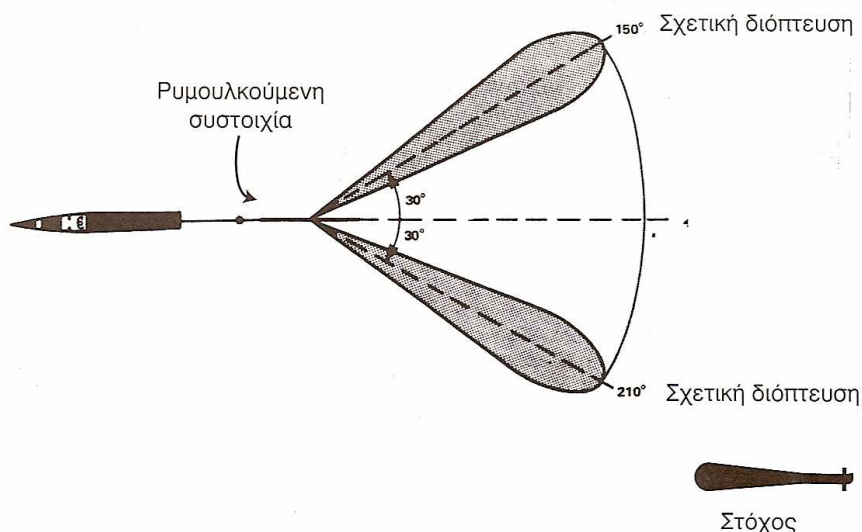


Τα αναερόβια πρόωσης γερμανικά συμβατικά υποβρύχια τύπου 212Α εξοπλίζονται με τη ρυμουλκούμενη συστοιχία υδροφώνων TAS-3 της Atlas Elektronik, για ανίχνευση και αναγνώριση ακουστικών σημάτων χαμηλών συχνοτήτων.

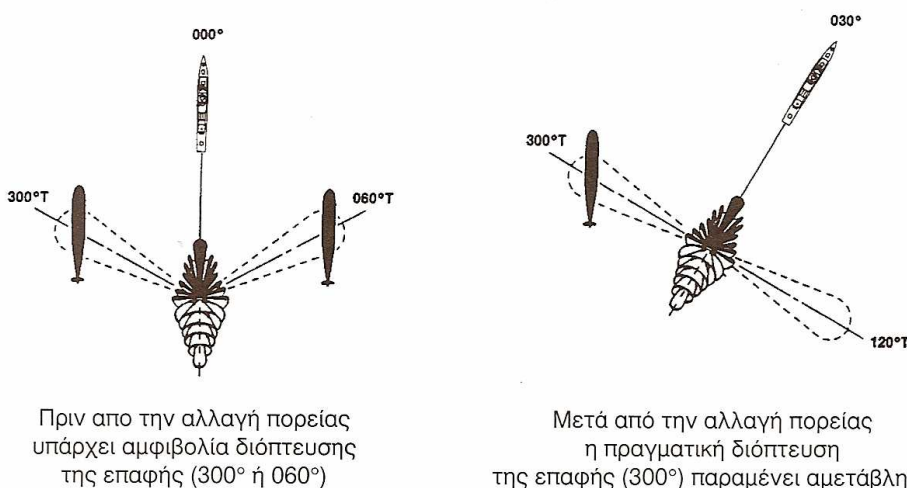
Εικόνα 4.7.1.3

Ο beam former ενός συστήματος TASS σχηματίζει σταθερούς και συμμετρικούς ως προς τον άξονα της συστοιχίας λοβούς, μορφής χωνιού, οι οποίοι δεν διαθέτουν κατακόρυφη κατευθυντικότητα. Για το λόγο αυτό, προκαλούνται προβλήματα ακριβούς εξαγωγής διόπτευσης λόγω ανακλάσεων στο βυθό (bottom bounce) καθώς και αμφιβολία διόπτευσης (bearing ambiguity).

Το τελευταίο σημαίνει, ότι δεν διακρίνονται τα ακουστικά σήματα εάν λαμβάνονται από την δεξιά ή από την αριστερή πλευρά της συστοιχίας (εικ.4.7.1.3.1).



Σχήμα 1.26(α): Αμφιβολία διόπτρευσης σε σύστημα TASS.



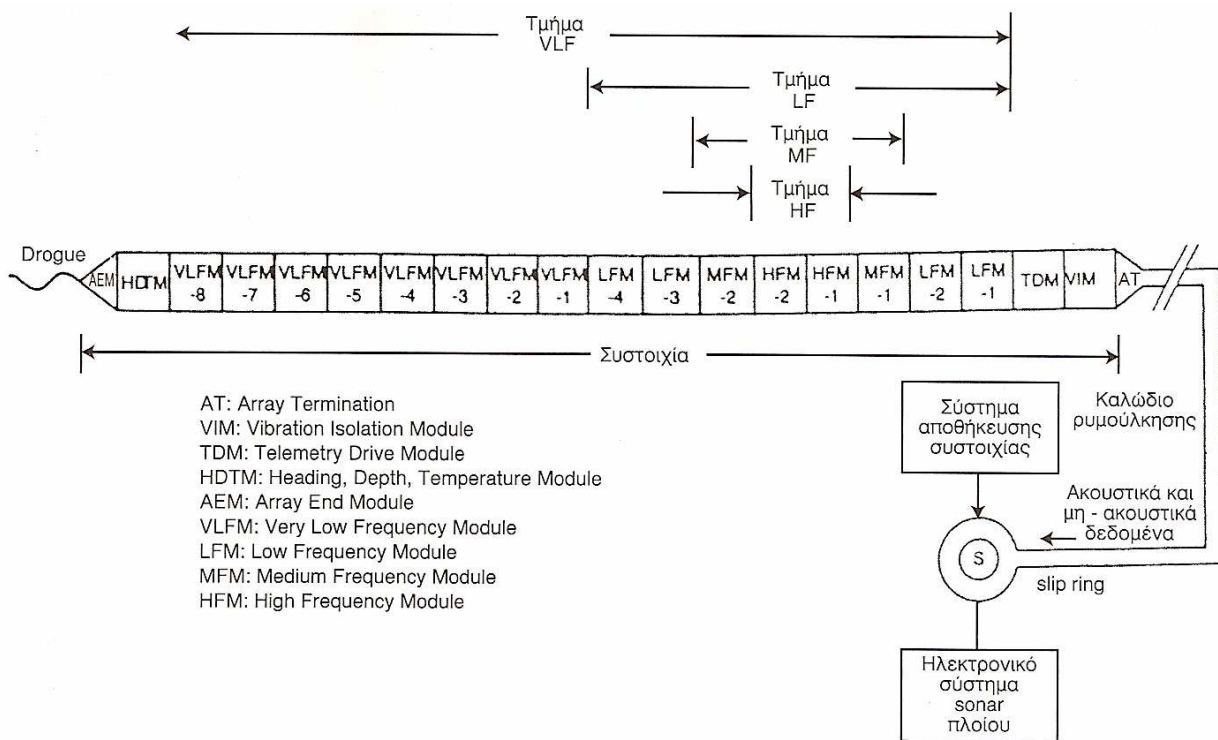
Επίλυση αμφιβολίας διόπτρευσης με αλλαγή πορείας του πλοίου.

Εικόνα 4.7.1.3.1

Το πρόβλημα της αμφιβολίας διόπτρευσης, επιλύεται με κατάλληλο χειρισμό του πλοίου (αλλαγή πορείας ή αριστερά), και παρατήρηση της φοράς μεταβολής (πρόωρα ή πρίμα) της σχετικής διόπτρευσης της επαφής στον παθητικό ενδείκτη ευρέως φάσματος.

Η αμφιβολία διόπτρευσης, μπορεί επίσης να επιλυθεί (τουλάχιστον στις υψηλότερες συχνότητες), με τη χρήση ομάδων υδρόφωνων καρδιοειδούς απόκρισης ή με τη διάταξη διπλής ή ακόμη και τριπλής σειράς υδροφώνων, βοηθούν αποτελεσματικά στη στιγμιαία επίλυση της αμφιβολίας διόπτρευσης.

Ένα σοβαρό πρόβλημα που έχει επίπτωση στην ακριβή μορφοποίηση των λοβών των ρυμουκούμενων συστοιχιών υδροφώνων (ιδιαίτερα στις μεγάλοι μήκους), είναι οι αποκλίσεις της γραμμικής διάταξης από την ευθεία (εικ. 4.7.1.3.2). Σήμερα, υπάρχουν διάφορες τεχνικές εκτίμησης (real time) των αποκλίσεων αυτών και αντιστάθμισης της επίδρασης στην επεξεργασία σήματος (towed array shape estimation), πχ φίλτρα **Kalman** ή διάφοροι προσαρμοζόμενοι αλγόριθμοι. Για τον ίδιο σκοπό υπάρχουν ορισμένα μη – ακουστικά συστήματα παρακολούθησης της θέσης / κίνησης των υδροφώνων στο χώρο ανά πάσα χρονική στιγμή (πχ αισθητήρες βάθους, πορείας) προκειμένου σε συνδυασμό με κάποιο ακριβές υδροδυναμικό μοντέλο να λαμβάνονται τα κατάλληλα εκείνα διορθωτικά μέτρα στη διαδικασία beamforming. Με τον τρόπο αυτό, η διαδικασία beamforming λειτουργεί αξιόπιστα (χωρίς να παρέχει εσφαλμένες διοπτεύσεις) ακόμα και κατά τις αλλαγές πορείας του σκάφους.



Διάταξη ρυμουκούμενης συστοιχίας υδροφώνων AN/SQR-1 TACTAS. Περιλαμβάνει οκτώ ακουστικά τμήματα για τη λειτουργία VLF (0 – 187 Hz), τέσσερα για την LF (187 – 375 Hz), δύο για την M (375 – 750 Hz) και δύο για την HF (750 – 1500 Hz). Το συνολικό μήκος του ενεργού ακουστικού τμήματος είναι 192 m (μήκος καλώδιο ρυμούλκησης 1700 m).

Εικόνα 4.7.1.3.2

4.7.1.4

UQQ-2 SURTASS (Surveillance Towed Array Sensor / Sonar System)

Αποτελεί κινητό παθητικό σύστημα υποβρύχιας επιτήρησης χαμηλών ακουστικών συχνοτήτων, το οποίο χρησιμοποιεί διάφορων τύπων ρυμουλκούμενες μικρής διαμέτρου συστοιχίες υδροφώνων. Τυπικό μήκος οριζόντιας συστοιχίας υδροφώνων >1500m. Είναι εγκατεστημένο σε αμερικανικά υποβρύχια SSBN και χρησιμοποιήθηκε για επιτήρηση των κινήσεων των Σοβιετικών υποβρυχίων, σε περιοχές που δεν κάλυπταν τα μόνιμα εγκατεστημένα συστήματα ξηράς. Τα συλλεγόμενα στοιχεία αποστέλλονται μέσω δορυφόρων (SHF) σε κατάλληλα κέντρα επεξεργασίας στις ΗΠΑ. Στη συνέχεια, τα επεξεργασμένα στοιχεία αναμεταδίδονται στις επιχειρησιακές μονάδες που βρίσκονται σε αποστολή, για ανάλογη εκμετάλλευση.

Η εξέλιξη των SURTASS για την βελτίωση της απόδοσης εντοπισμού σε παράκτια ύδατα, περιλαμβάνει ορισμένες σχεδιάσεις με δυο ρυμουλκούμενες συστοιχίες υδροφώνων (twin – line), ευρισκόμενες σε σταθερή μεταξύ τους απόσταση (twin line array).

Η τεχνική αυτή, καταπιέζει το λαμβανόμενο θόρυβο περιβάλλοντος και αναδεικνύει τα σήματα ενδιαφέροντος, με αντίτιμο τη μεγαλύτερη απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα τεχνική που επεκτείνει τις δυνατότητες των SURTASS, είναι η χρήση κάποιας κατακόρυφης πηγής χαμηλών συχνοτήτων, που έχει σκοπό τη μετατροπή του συστήματος σε LFAS (Low Frequency Active Sonar).

4.7.1.5

■ FAS (Flank Array Sonar)

Αποτελούν συστοιχίες υδροφώνων εγκατεστημένες σε ειδικές αντικραδασμικές βάσεις εξωτερικά των δυο πλευρών των υποβρυχίων. Σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων FAS, είναι η μεγαλύτερη ευελιξία χειρισμών εκ μέρους του υποβρυχίου, λόγω της σταθερής γεωμετρίας της συστοιχίας σε αλλαγές πορείας του σκάφους. Συνήθως, το ακουστικό (ενεργό) μήκος μιας συστοιχίας FAS συμβατικού υποβρυχίου, δεν υπερβαίνει τα 30m.

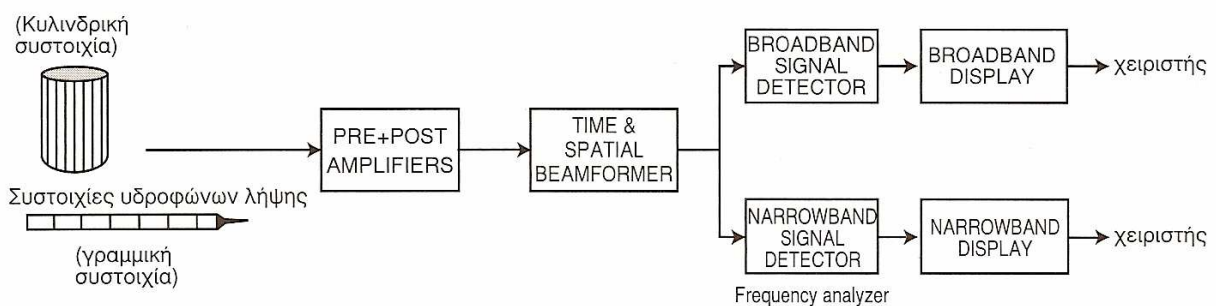
Στα συστήματα αυτά όμως υπεισέρχονται εντονότερα οι αυτοθόρυβοι του φορέα (υποβρύχιου), ενώ λόγω του σχετικά μικρότερου μήκους των συστοιχιών υδροφώνων, το οποίο περιορίζεται από το μήκος του ανθεκτικού του υποβρύχιου, οι σχηματιζόμενοι λοβοί είναι σημαντικά μικρότερης κατευθυντικότητας, ιδιαίτερα στις χαμηλότερες συχνότητες.

Στις υψηλότερες όμως συχνότητες τα συστήματα FAS αποφεύγουν τη λεγόμενη αμφιβολία διόπτευσης (bearing ambiguity), η οποία είναι χαρακτηριστική αδυναμία των περισσότερων συστημάτων TASS σε ολόκληρη την μπάντα συχνοτήτων λειτουργίας τους. Γενικά, τα συστήματα FAS όπως και τα TASS χρησιμοποιούνται τόσο για έρευνα όσο και για την διερεύνηση στόχων μετά τον πρώτο εντοπισμό από κάποια άλλα μέσα. Σημειώνεται, ότι οι περιοχές βέλτιστης ακρόασης των FAS βρίσκονται στις εγκάρσιες διευθύνσεις (στενότεροι λοβοί).

4.8

ΒΑΣΙΚΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ SONAR

Στη συνέχεια περιγράφονται τα βασικά λειτουργικά μέρη ενός τυπικού παθητικού sonar (σχ.4.8.)



Βασικό λειτουργικό διάγραμμα παθητικού συστήματος sonar.

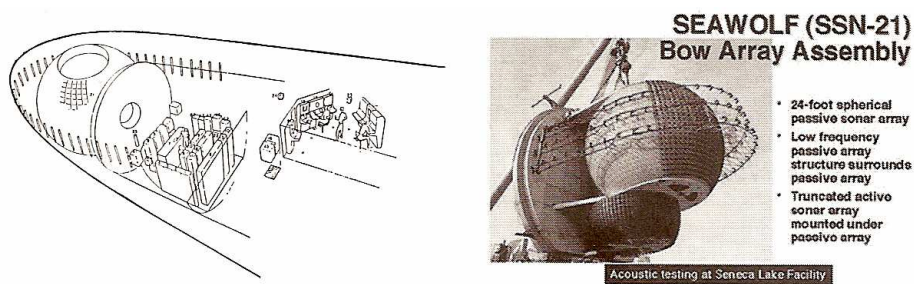
Σχήμα 4.8

4.8.1

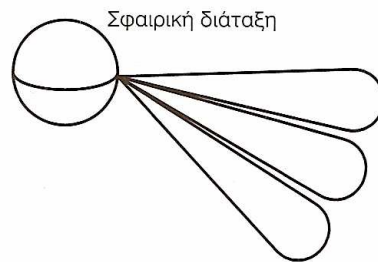
Συστοιχία υδροφώνων (hydrophone array ή wet end)

Η συστοιχία υδροφώνων αποτελεί απαραίτητο τμήμα κάθε παθητικού συστήματος sonar, αφού είναι αυτή που συλλαμβάνει τους ασθενείς ήχους που παράγουν οι υποβρύχιοι στόχοι και τους μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα για περαιτέρω επεξεργασία.

Αρχικά, τα σήματα των υδροφώνων ενισχύονται / ζυγίζονται (amplitude weighting / shading) σύμφωνα με τους συντελεστές διωνύμου ή τους συντελεστές πολυώνυμων Chebyshev (μέθοδος Dolph – Chebyshev) για τη βελτιστοποίηση των σχηματιζόμενων λοβών (εφαρμογή παράθυρων ζύγισης πλάτους). Η διαδικασία αυτή, μπορεί να υλοποιηθεί μέσω προενισχυτών προγραμματιζόμενου κέρδους. Τα σήματα αυτά, αφού μετατραπούν σε ψηφιακά (Analog – to digital Converters), στη συνέχεια οδηγούνται στο μορφοποιητή (beamformer) για το σχηματισμό των επιθυμητών λοβών ακρόασης. Συνήθεις μορφές συστοιχιών είναι οι γραμμικές, οι κυλινδρικές, οι σφαιρικές και οι σύμμορφες. Οι σφαιρικές συστοιχίες συνηθίζονται περισσότερο στα συστήματα sonar των υποβρύχιων, επειδή διαθέτουν ευρύτερο κατακόρυφο γωνιακό εύρος σάρωσης των σχηματιζόμενων λοβών (πάνω και κάτω από το οριζόντιο επίπεδο), πράγμα το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τα πυρηνικά υποβρύχια που επιχειρούν στα βαθιά ωκεάνια ύδατα (εικ. 4.8.1).



(α)



(β)

(α) Η σφαιρική συστοιχία υδροφώνων του παθητικού συστήματος sonar BSY-2 των αμερικανικών υποβρυχίων SSN της κλάσης Seawolf. Η διαμέτρου 24 ft σφαίρα περιβάλλεται από το σκελετό της παθητικής σύμμορφης συστοιχίας (conformal array) του υποβρυχίου. Κάτω από τη σφαιρική συστοιχία διακρίνεται η διάταξη προβολέα της ενεργητικής συσκευής του υποβρυχίου. (β) Σχηματισμός λοβών στο κατακόρυφο επίπεδο, σε μία σφαιρική συστοιχία υδροφώνων. Στα πλοία επιφανείας, οι σφαιρικές συστοιχίες θεωρείται ότι παρέχουν αποδοτικότερο σχηματισμό λοβών, ανεξάρτητα των κινήσεων του πλοίου (pitch, roll, κτλ).

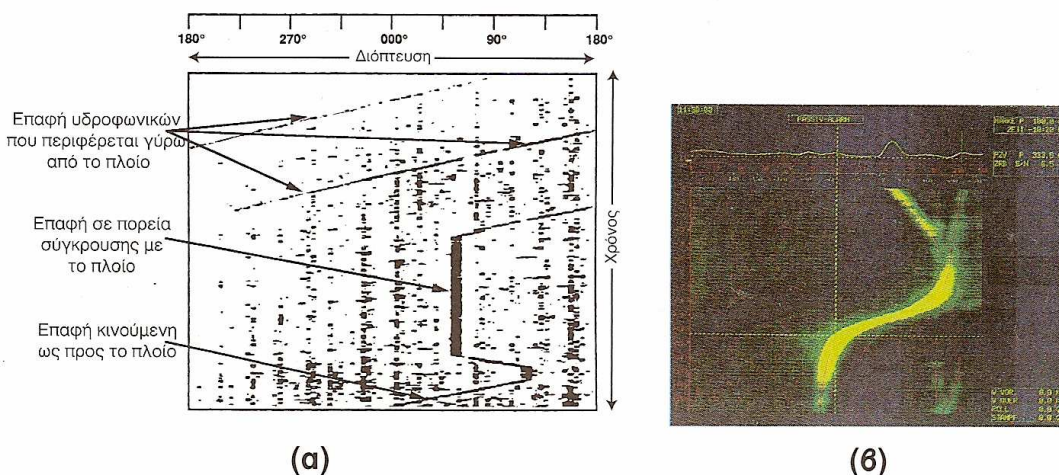
Εικόνα 4.8.1

4.8.2

Παθητικός ενδείκτης ευρέως φάσματος συχνοτήτων (broadband display)

Η έξοδος από το μορφοποιητή λοβών αφού οδηγηθεί για ανίχνευση σήματος (signal detection), στη συνέχεια απεικονίζεται σε ένα ενδείκτη ευρέως φάσματος συχνοτήτων (broadband processing / display) (εικ. 4.8.2). Ο ενδείκτης αυτός, παρέχει την διόπτευση (γωνία αζιμουθίου) των λαμβανόμενων σημάτων / θορύβων (υδροφωνικών) μέσα σε κάποια σχετικά ευρεία μπάντα συχνοτήτων, ως προς το χρόνο.

Με αυτόν το τρόπο επιτυγχάνεται μια καλή απεικόνιση / παρακολούθηση της συμπεριφοράς και του τρόπου κίνησης του στόχου.



(α) Αναπαράσταση παθητικού ενδείκτη διόπτεισης - χρόνου BTD ή BTH (Bearing - Time Display/History) συστήματος sonar πλοίου επιφανείας, όπου απεικονίζεται η ιστορία του ίχνους κίνησης διαφόρων στόχων. (β) Υδροφωνικά πλοίου επιφανείας που χειρίζεται, όπως απεικονίζονται σε έναν ενδείκτη διόπτεισης - χρόνου (Bearing/Time Display - BTD) παθητικού συστήματος sonar υποβρυχίου. Η οριζόντια καμπύλη στο πάνω τμήμα του ενδείκτη, αναπαριστά το πλάτος των πιο πρόσφατα ληφθέντων θορύβων. Απεικονίσεις του τύπου αυτού είναι χρήσιμες για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση πηγών ευρέως φάσματος συχνοτήτων.

Εικόνα 4.8.2

Οι νεότερες πληροφορίες εμφανίζονται στο πάνω μέρος του ενδείκτη, ενώ οι παλαιότερες εξαφανίζονται στο κάτω μέρος του ενδείκτη. Το γωνιακό εύρος που επιτυγχάνει ο μορφοποιητής λοβών, καθορίζει και την ακρίβεια μέτρησης της διόπτεισης. Ο συνολικός απεικονιζόμενος χρόνος, μπορεί να επιλεγεί από το χειριστή ανάμεσα σε κάποιες προκαθορισμένες τιμές.

Μικρές τιμές χρόνου απεικόνισης επιλέγονται για επαφές που βρίσκονται σχετικά κοντά, των οποίων οι διοπτεύσεις μεταβάλλονται γρήγορα. Οι μεγαλύτερες τιμές χρόνου απεικόνισης επιλέγονται για τον εντοπισμό στόχων σε μεγάλες αποστάσεις, για τους οποίους οι διοπτεύσεις παρουσιάζουν αργή μεταβολή.

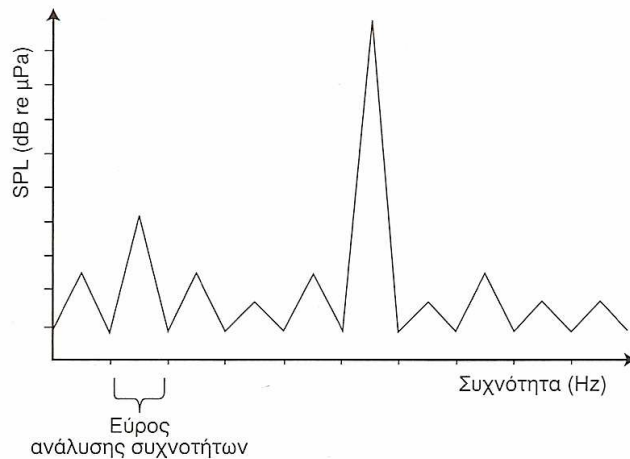
4.8.3

Αναλυτής φάσματος συχνοτήτων (frequency / spectrum analyzer)

Η έξοδος από το μορφοποιητή λοβών (beamformer), μπορεί παράλληλα να οδηγηθεί για επεξεργασία / ανάλυση συχνοτήτων (narrowband processing), για κάθε λοβό / κανάλι λήψης ανεξάρτητα.

Ο αναλυτής συχνοτήτων (frequency / spectrum analyzer), εκτελεί την απαιτούμενη επεξεργασία στενού φάσματος, δηλαδή αναδεικνύει από το λαμβανόμενο ακουστικό σήμα τις διακριτές συχνότητες από τις οποίες αυτό αποτελείται(εικ. 4.8.3). Η επεξεργασία στενού φάσματος εκτελείται μέσω χωρισμού του φάσματος σε μικρές στενές μπάντες ανάλυσης (frequency bins).

Το εύρος της κάθε μπάντας, είναι επιλεγόμενο από το χειριστή της συσκευής και είναι γνωστό ως εύρος ανάλυσης συχνοτήτων (analysis bandwidth).



Απεικόνιση ανάλυσης συχνοτήτων A-scan (πλάτος σήματος στον κατακόρυφο άξονα ως προς τη συχνότητα στον οριζόντιο άξονα). Η απεικόνιση αυτή, χρησιμεύει κυρίως για τη διάκριση της σχετικής έντασης (dB) μεταξύ σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων.

Εικόνα 4.8.3

Με την ταύτιση του εύρους ανάλυσης (frequency bin) ενός παθητικού **συστήματος** sonar με το αντίστοιχο φασματικό εύρος του λαμβανόμενου σήματος στενού φάσματος, επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση της τιμής SNR. Αυτό βέβαια είναι δυνατό με την πλήρη γνώση των χαρακτηριστικών των σημάτων που εκπέμπει ο στόχος. Σε διαφορετική περίπτωση, η επιτυγχανόμενη τιμή SNR είναι μικρότερη (είτε γιατί το εύρος ανάλυσης είναι πολύ μεγάλο οπότε αυξάνεται η στάθμη του εισερχόμενου θορύβου, είτε γιατί το εύρος ανάλυσης είναι πολύ μικρό οπότε μέρος του σήματος μοιράζεται στις γειτονικές μπάντες ανάλυσης).

Από τις θετικά αναγνωρισμένες διακριτές συχνότητες (tonals) ενός στόχου που προκύπτουν από την φασματική ανάλυση του λαμβανόμενου σήματος, μπορούν ακόμη να εξαχθούν στοιχεία σχετικής κίνησης λόγω ολίσθησης συχνοτήτων Doppler.

4.8.4

Παθητικός ενδείκτης στενού φάσματος συχνοτήτων (narrowband display)

Μετά από την επεξεργασία / ανάλυση συχνοτήτων το σήμα οδηγείται για απεικόνιση σε ένα ενδείκτη στενού φάσματος. Πέραν του ενδείκτη A-scan του σχήματος υπάρχει και ο ενδείκτης B-scan. Στον ενδείκτη αυτό, απεικονίζεται η ανάλυση συχνοτήτων του λαμβανόμενου σήματος, ως προς το χρόνο. Με την απεικόνιση αυτή, είναι δυνατό να επιτύχουμε χαρακτηρισμό της ταυτότητας (αναγνώριση) στόχου (εικ. 4.8.4).

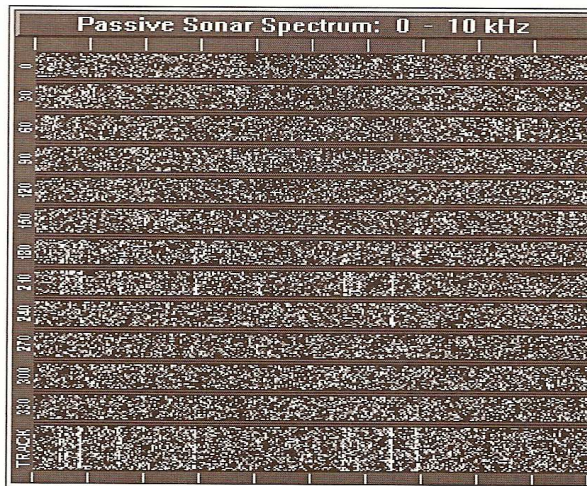


Αναπαράσταση παθητικού ενδείκτη απεικόνισης συχνοτήτων - χρόνου B-scan (χρόνος στον κατακόρυφο άξονα, συχνότητα στον οριζόντιο άξονα). Η απεικόνιση αυτή, γνωστή και ως LOFAR-gram, χρησιμεύει για την ευκολότερη διάκριση των μεταβαλλόμενων διακριτών γραμμών / συχνοτήτων (tonals) μέσα στο περιβάλλον του θορύβου. Παρόμοια είναι και η έξοδος ενός καταγραφικού EGR (Electro-Graphic Recorder). Όσο εντονότερη σκίαση παρουσιάζει κάποια διακριτή γραμμή, τόσο μεγαλύτερη ηχητική ενέργεια αντιπροσωπεύει και συνήθως τόσο μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων καταλαμβάνει.

Εικόνα 4.8.4

Οι νεότερες πληροφορίες εμφανίζονται στο πάνω μέρος του ενδείκτη B-scan, ενώ οι παλαιότερες χάνονται στο κάτω μέρος (ενδείκτης τύπου καταρράκτη). Πολλές φορές, η απεικόνιση συχνοτήτων ως προς το χρόνο, εκτελείται για πολλούς λοβούς / κανάλια ταυτόχρονα, έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα έρευνας και σε άλλους γωνιακούς τομείς ή γεωγραφικές περιοχές (εικ. 4.8.4.1).

Η ταυτόχρονη απεικόνιση πολλών πληροφοριών φασματικής ανάλυσης, απαιτεί μεγάλη και τεταμένη προσοχή εκ μέρους του χειριστή του συστήματος για τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση αυτών



Τυπική απεικόνιση ανάλυσης LOFAR (B-scan) 12 διαφορετικών λοβών ταυτόχρονα που αντιστοιχούν σε διαφορετικές αζιμουθιακές κατευθύνσεις (διοπτεύσεις). Στο τέλος απεικονίζεται ένας λοβός παρακολούθησης (track beam).

Εικόνα 4.8.4.1

Ένας ειδικός τύπος απεικόνισης, ο οποίος αρχικά είχε δημιουργηθεί για την απεικόνιση σημάτων από ηχοσημαντήρες DIFAR αλλά σήμερα χρησιμοποιείται και από παθητικές συστοιχίες υδροφώνων, είναι ο λεγόμενος BFI (Bearing-Frequency Indicator) ή FRAZ (Frequency Azimuth). Στον ενδείκτη αυτό απεικονίζονται οι συχνότητες στον οριζόντιο άξονα και οι διοπτεύσεις (γωνίες αζιμουθίου) στον κατακόρυφο άξονα. Με τον τρόπο αυτό, διευκολύνεται η συσχέτιση των λαμβανόμενων συχνοτήτων με κάποια πηγή προς συγκεκριμένη διόπτευση. Τα στοιχεία με τα οποία συντίθεται η απεικόνιση του ενδείκτη BFI, βασίζονται σε μεγάλους χρόνους ολοκλήρωσης, για την μείωση της επίδρασης των ανεπιθύμητων διακυμάνσεων της γωνίας αζιμουθίου.

Ένας ειδικά αλγόριθμος επεξεργασίας που εφαρμόζεται κατά κρίση του χειριστή, για την βελτίωση της απεικόνισης BFI των σημάτων ηχοσημαντήρων DIFAR, είναι ο λεγόμενος BBC (Bearing Bias Correction). Ο αλγόριθμος αυτός, μειώνει την επίδραση των ευρέως φάσματος κατευθυντικών θορύβων / παρεμβολών (broadband directional noise / interference) που μπορεί να λαμβάνονται επί της εκτιμώμενης διόπτευσης του στόχου (με οριζόντια γωνιακή διαφορά μικρότερη των 40° περίπου). Με τον τρόπο αυτό, βελτιώνεται η ακρίβεια της παρεχόμενης διόπτευσης του λαμβανόμενου σήματος του στόχου.

4.9

Υποβρύχιο Τηλέφωνο

Συχνότητα εκπομπής : **8.875 kHz**. Η συχνότητα αυτή χρησιμοποιείται σαν φέρουσα και πάνω σε αυτή φορτώνεται η ακουστική συχνότητα (ομιλία) **300 Hz** έως **3kHz**. εύρος ζώνης. Η συνήθης εκπομπή στα πρότυπα του **NATO** είναι το **USB (Upper Side Band)** με μια πλευρική δηλ. **8.875 kHz + 300 Hz** ή **8.875 kHz - 300 Hz**. Υπάρχει δυνατότητα επιλογής της φέρουσας μέσα στο φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων έως 100 kHz καθώς επίσης επιλογή του τρόπου διαμόρφωσης. Η απόσταση στην οποία το ένα υποβρύχιο με το άλλο υποβρύχιο μπορεί να επικοινωνήσει κάτω από τη θάλασσα είναι τα 14 km.

Τα στοιχεία που εκπέμπουν είναι μπροστά αριστερά, δεξιά και πίσω, και υπάρχει δυνατότητα επιλογή εκπομπής.

4.10

Ηχοβολιστικό

Ο ρόλος του ηχοβολιστικού συστήματος είναι ανά πάσα στιγμή να γνωρίζει το υποβρύχιο σε ποιο βάθος της θάλασσας βρίσκεται.

Το ηχοβολιστικό ενός υποβρυχίου αποτελείται από της εξής συσκευές : σονάρ, τον πομποδέκτη, σύστημα ψηφιακής καταγραφής, και αναλογικής καταγραφής σε ανάλογο καταγραφικό.

Για να εξηγήσουμε πως δουλεύει ένα ηχοβολιστικό θα περιγράψουμε το ηχοβολιστικό σύστημα πλευρικής σάρωσης πυθμένα.

Ηχοβολιστικό Σύστημα Πλευρικής Σάρωσης Πυθμένα:

Ηχοβολιστικό σύστημα πλευρικής σάρωσης πυθμένα - side scan sonar (Geoacoustics Ltd - GB). Αποτελείται από τη μονάδα καταστρώματος (transceiver unit Model SS941), το καλώδιο πόντισης, το οποίο είναι τυλιγμένο σε ηλεκτρουδραυλικό βαρούλκο (εικ. 4.10), τον πομποδέκτη-τορπίλη (TowFish Model 159D) , σύστημα ψηφιακής καταγραφής (εικ. 4.11) (Helios, Company Muse Research Inc.) και ταυτόχρονης αναλογικής καταγραφής σε κατάλληλο καταγραφικό (EPC Labs, USA , Model 9800 Analog /1086 Digital)



Εικόνα 4.10



Εικόνα 4.11

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Συχνότητα λειτουργίας 114/410 (100/500)
Μήκος καλωδίου πόντισης: 25m ,100m 1800m
Επιχειρησιακό βάθος: 600m μέγιστο
Εύρος δέσμης : 50 X 1 / 40 X 0.5

Το ηχοβολιστικό σύστημα πλευρικής σάρωσης χρησιμοποιείται για την ακουστική αποτύπωση της ποιότητας του πυθμένα και τον εντοπισμό πιθανών αντικειμένων ή δομών επάνω στον πυθμένα, όπως ναυαγίων, αγωγών, μορφολογικών ανωμαλιών και εμποδίων (π.χ. βράχων), ανθρωπογενών επεμβάσεων στον πυθμένα όπως απόθεση υλικών και ίχνη αλιευτικών εργαλείων κ.λ.π. Η μέγιστη διακριτικότητα (resolution) που παρέχεται από το σύστημα στον εντοπισμό δομών ή αντικειμένων εξαρτάται από την συχνότητα και τον ρυθμό εκπομπής του ηχητικού σήματος και είναι της τάξης των 10-20 εκατοστών σε διεύθυνση κάθετα προς την πορεία πλεύσης και 20-40 εκατοστών παράλληλα προς αυτήν, ανάλογα με τη ταχύτητα πλεύσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει περιγραφή για το Radar υποβρυχίου, δευτερεύοντα Radar, ηλεκτρονικά αντίμετρα, πομπός του υποβρυχίου και τον δέκτη του υποβρυχίου. Οι συσκευές αυτές λειτουργούν όταν το υποβρύχιο βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.



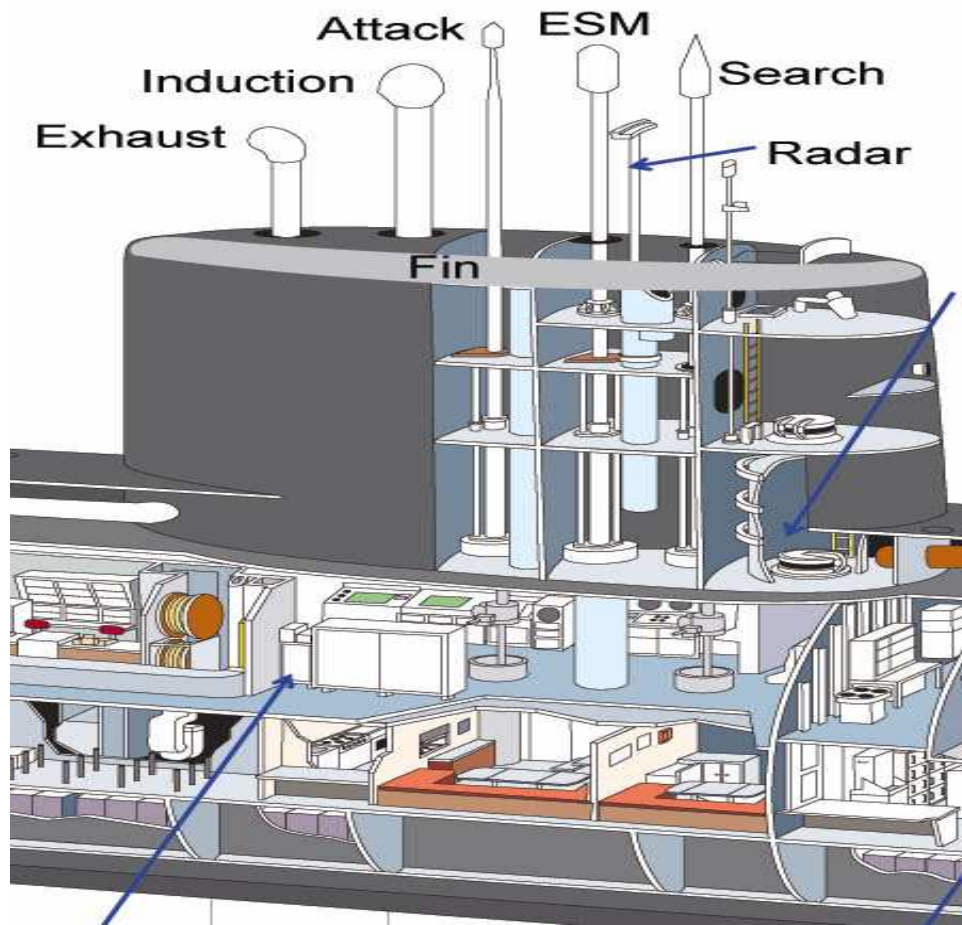
(COMMAND CONTROL)

5.1

RADAR ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ

Το υποβρύχιο έχει ένα πλήρες σύστημα επικοινωνιών (Radar, ESM, HF, VHF, UHF, GPS) όπως τα πλοία επιφανείας. Όσο αναφορά για το radar του υποβρυχίου η περιστροφική του κεραία είναι πιο μικρή σε όγκο σε σχέση με τα πλοία επιφανείας, ο εντοπισμός διόπτευσης στόχων είναι 70 μίλια, και έχει δυνατότητα εκπομπής σε τομέα ή συνεχόμενα.

Στο θέμα radar, θα εξηγήσουμε τη είναι το radar και ποιος ο σκοπός του, θα γίνει πλήρης αναφορά για την αρχή λειτουργία ενός radar, και στην συνέχεια θα αναφερθούμε σε ένα πλήρες παλμικό radar.



Εικόνα 5.1

5.2

RADAR

Radar προέρχεται από την αγγλική ορολογία **Radio Direction Ranging** που σημαίνει ανίχνευση παρουσίας στόχων και μέτρηση απόστασης. Το Radar είναι μια ηλεκτρομαγνητική συσκευή η οποία δύναται να εντοπίσει (ανιχνεύσει) την παρουσία αντικειμένων και καθορίζει την απόσταση των, την διόπτευση (διεύθυνση) και το ύψος των. Έτσι είναι δυνατόν να συλλέγουν πληροφορίες για είδος και πλήθος κινούμενων ή σταθερών μεταλλικών αντικειμένων. Αυτή η κατασκευή υλοποιήθηκε σχεδόν παράλληλα στη Γερμανία, τη Βρετανία και τη Σοβιετική Ένωση στα τέλη της δεκαετίας του 1930, με κύριο στόχο την αντιμετώπιση αντιπάλων αεροπλάνων και πλοίων κατά το β' παγκόσμιο πόλεμο. Το έτος 1849 είχε μετρήσει ο Γάλλος Φυσικός **Armand Fizeau** (Φιζώ, 1819-1896) την ταχύτητα του φωτός με την καταγραφή του χρόνου που χρειάζεται μια φωτεινή δέσμη να ανακλαστεί σε εμπόδιο που βρίσκεται σε δεδομένη απόσταση, και να επιστρέψει στον πομπό της.

Από τη στιγμή που είναι γνωστή η ταχύτητα του φωτός, μπορούμε να επαναλάβουμε το πείραμα με στόχο τον προσδιορισμό της απόστασης, στην οποία βρίσκεται το εμπόδιο. Όμως, το φως δεν προσφέρεται για τέτοιες εφαρμογές, γιατί ανακόπτεται εύκολα από διάφορα εμπόδια και επίσης απορροφάται και σκεδάζετε σε μεγάλο βαθμό από την υγρασία και τη σκόνη της ατμόσφαιρας. Το έτος 1866 είχε διαπιστώσει πειραματικά ο **Rudolf_Hertz** ότι τα ραδιοκύματα αντανακλώνονται σε μεταλλικά αντικείμενα. Στα τέλη της δεκαετίας του 1870 επανέλαβε ο Ινδός **Jagadish Chandra Bose** (Μπόουζ, 1858-1937) τα πειράματα του **Χερτς** στην Καλκούτα, χρησιμοποιώντας μικρότερα μήκη κύματος. Με τα αποτελέσματα από αυτά τα πειράματα οδηγήθηκε ο Μπόουζ στην κατασκευή των πρώτων κυματοδηγών. Τη μέθοδο Φιζώ για εντοπισμό μεταλλικών αντικειμένων αλλά με ραδιοκύματα εφάρμοσε το έτος 1904 ο Γερμανός φοιτητής **Christian Huelsmeyer** (Χυλσμάγερ, 1881-1957), ο οποίος στα πλαίσια πειραμάτων ως υποψήφιος εκπαιδευτικός, προσδιόρισε την ακριβή απόσταση πλοίων στη θάλασσα από το εργαστήριό του. Τα ραδιοκύματα είναι κατάλληλα για μετρήσεις απόστασης μεταλλικών αντικειμένων εφόσον έχουν υψηλή συχνότητα (μικρό μήκος κύματος), αλλιώς κάμπτονται κατά την πρόσκρουση σε μεταλλικά εμπόδια και αλλάζουν κατεύθυνση εκπομπής. Τα κύματα μεγάλης συχνότητας (μικροκύματα) είναι διεισδυτικά και διαπερνούν τα σύννεφα. Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που έλαβε ο **Χυλσμάγερ** το ίδιο έτος έχει τίτλο: «Μέθοδος ειδοποίησης ενός παρατηρητή για την ύπαρξη απομακρυσμένων μεταλλικών αντικειμένων με χρήση ραδιοκυμάτων».

5.3

Εισαγωγή στο Radar

Ο εντοπισμός στόχων γίνεται δια της κατεύθυνσης μιας δέσμης ενεργείας ραδιοσυχνότητας προς ελεγχόμενη περιοχή. Όταν η ενέργεια της δέσμης προσκρούσει επί της επιφάνειας του αντικειμένου ανακλάται και η ενέργεια επανακτινοβολείται. Ένα μικρό τμήμα της επιστρέφει προς το σύστημα του Radar.

Ένας ευαίσθητος δέκτης ευρισκόμενος μαζί με τον πομπό μπορεί να ανιχνεύσει την ηχώ των σημάτων και έτσι την παρουσία των στόχων.

Ο καθορισμός της ακριβούς αποστάσεως και διευθύνσεων βασίζονται στο γεγονός του ότι η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ταξιδεύει με την σταθερή ταχύτητα του φωτός και το σύστημα λήψεως μπορεί να γίνει ευθύγραμμο. Το radar χρησιμοποιείται να μεγαλώσει η ικανότητα της οράσεως, παρατηρήσεις του περιβάλλοντος εν σχέση με την όραση.

Δεν είναι μόνο ότι αντικαθιστά την όραση αλλά κάνει κάτι που δεν μπορεί να κάνει ο οφθαλμός. Βεβαίως το radar δεν μπορεί να μας δώσει λεπτομέρειες ούτε είναι ικανό να αναγνωρίσει τα χρώματα στο βαθμό του οφθαλμού μπορεί τουλάχιστον μέχρι σήμερα. Όμως το radar έχει κατασκευασθεί να μπορεί να διακρίνει καταστάσεις όπως το χαλάζι, ομίχλη, βροχή, χιόνι, και σκοτάδι. Αλλά το μεγάλο του πλεονέκτημα είναι ότι μας δίνει την απόσταση του αντικειμένου που είναι και το ποιο ενδιαφέρον.

Ένας βασικός τύπος radar αποτελείται από μια κεραία ακτινοβολούσα ηλεκτρομαγνητική ενέργεια η οποία παράγεται από ένα ταλαντωτή (πομπό) για ένα μικρό χρονικό διάστημα και τον δέκτη. Ένα μέρος του εκπεμπόμενου σήματος αντανακλάται από το αντικείμενο (target) και επανεκπέμπεται προς όλες της διευθύνσεις. Η ενέργεια που επιστρέφει πίσω προς το radar συλλέγεται από διάφορες διαδικασίες παρουσιάζεται η ακριβής θέση (απόσταση) και η σχετική ταχύτητα. Η απόσταση του στόχου καθορίζεται δια της μετρήσεως του χρόνου για το σήμα του radar που χρειάστηκε να ταξιδέψει έως τον στόχο και να επιστρέψει πίσω στον δέκτη. Η διεύθυνση στόχου η μπορεί να καθορισθεί από την διεύθυνση των επιστρεφόμενων ανακλάσεων του σήματος.

Η λειτουργία του radar βασίζεται πάνω σε δυο γνωστές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

α) Την ταχύτητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που είναι σταθερή και την γνωρίζουμε ακριβώς ($3 \cdot 10^8$ στην 8 m/sec).

β) και ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ανακλώνται ή επανεκπέμπονται σε μεταλλικό ή άλλο εμπόδιο.

5.3.1

Παράμετροι Radar

- 1) Η συχνότητα εκπομπής
- 2) Η συχνότητα επαναλήψεως παλμών PRF.
- 3) Η διάρκεια ή εύρος ενός παλμού
- 4) Η ισχύς εκπομπή

Η συχνότητα εκπομπής στο Ραντάρ του Υποβρυχίου είναι 8,95 Ghz.

Η συχνότητα επαναλήψεων παλμών ή PRF είναι ο αριθμός των εκπεμπόμενων παλμών ανά δευτερόλεπτο.

Η χρονική διάρκεια μεταξύ της αρχής τάσεως παλμού και της αρχής του επόμενου ονομάζεται χρόνος επαναλήψεως παλμού. Μετά εκπομπής του παλμού από το ραντάρ και προς την εκπομπή του επόμενου πρέπει να περάσει αρκετός χρόνος ώστε να προφθάσει να επιστρέψει και να χρονομετρηθεί και η πλέον μακρινή ηχώ.

Αν κάποια ηχώ επιστρέψει μετά την εκπομπή του επόμενου παλμού τότε θα εμφανισθεί σαν στόχος σε μια απόσταση πολύ μικρότερη της πραγματικής.

Μια τέλεια ηχώ καλείται ηχώ δευτέρου ήχους ή second time around. Δια ημιτονοειδές μεταβολής του PRF $\pm 10\%$ σε κάθε περιστροφή της κεραίας έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση της ηχούς σε διαφορετική απόσταση στον ενδείκτη και θεωρείται ως παράσιτο.

Το PRF καθορίζει και την μέγιστη ωφέλιμη εμβέλεια της συσκευής η οποία ευρίσκεται αν διαιρεθεί ο αριθμός 80.915 δια του PRF. Υψηλό PRF δίνει την δυνατότητα εντοπισμού στόχων πιο εύκολα και πιο μακριά γιατί θα αντήθει ο αριθμός επιστρεφόμενων σημάτων.

Επίσης προς επίτευξη μεγάλης εμβέλειας πρέπει ο εκπεμπόμενος πόλος να έχει αρκετή ενέργεια να φθάσει τον στόχο και να επιστρέψει πριν απορροφηθεί κατά την διαδρομή από την ατμόσφαιρα. Ο αριθμός παλμών που θα χτυπήσει τον στόχο εξαρτάται και από την ταχύτητα περιστροφής της κεραίας. Όσο μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής τόσο μικρότερο διάστημα η κεραία σκοπεύει το στόχο. Βασικό μειονέκτημα με χρήση χαμηλού PRF είναι ότι ένας μικρός στόχος σε μικρή απόσταση ίσως εντοπισθεί αργότερα από το ότι αν το PRF κυμαίνεται μεταξύ 800 και 3000 P.P.S.

PULSE WINDTH. Η ελάχιστη απόσταση κατά την οποία ο στόχος μπορεί να ανιχνευθεί καθορίζεται ευρέως από το πλάτος του εκπεμπόμενου παλμού. Εάν ένας στόχος είναι τόσο κοντά στον πομπό όντως ώστε η ηχώ να επιστρέψει στο ραντάρ (receiver) πριν ο πομπός τεθεί εκτός, η λήψη της ηχούς ασφαλής θα σκεπασθεί από τον πομπό εκπομπής.

Η ελάχιστη απόσταση εντοπισμού μετριέται σε υάρδες δια του τύπου.

$$R_{\min} = 164 * PW \text{ υάρδες}$$

5.3.1.1

Βασικά πλεονεκτήματα της μικρής διάρκειας παλμών PW

1) Καθορίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη θέση του στόχου στην οθόνη με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ακρίβεια στην μέτρηση αποστάσεως.

2) Αυξάνει την διαχωριστική και απόσταση ικανότητα του ραντάρ (range resolution) είναι ικανότητα του ραντάρ να διαχωρίζει δυο στόχους που είναι στην ίδια διόπτρευση και ο ένας πολύ κοντά στον άλλο.

Η χρήση όμως παλμών μεγάλης διάρκειας που περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας και συνεχής λήψη από μεγαλύτερες αποστάσεις οπότε η μικρότερη διάρκεια παλμού είναι προτιμότερη

Ισχύς

Μονάδα μέτρησης ενέργειας = joule

Η ποσότητα ενέργειας που ελευθερώνεται σ' ένα δευτερόλεπτο καλείται ισχύς και μετριέται σε watt.

$$1\text{watt} = 1\text{joule} \setminus 1\text{sec}$$

5.3.1.2

Μέγιστη Ισχύς

Ένας πομπός ραντάρ παράγει ενέργεια ραδιοσυχνοτήτων σε μορφή υψηλών στενών παλμών και κατόπιν σταματά για ένα σχετικό μεγάλο διάστημα.

Η χρήση της ισχύς του πομπού είναι αυτή που περιέχεται στους εκπεμπόμενους παλμούς και ονομάζεται Peak Power του συστήματος. Η ισχύς φυσιολογικά μετριέται σαν μέση τιμή (average) σε σχέση με την μέγιστη χρονική περίοδο λήψεως. Επειδή ο πομπός αναπαύεται για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα σε σχέση με τον χρόνο λειτουργίας η μέση ισχύς αποδίδεται κατά την

διάρκεια της λειτουργίας ενός κύκλου και είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με την Peak Power που ήταν διατεθειμένη κατά την χρονική διάρκεια του παλμού. Καθορισμένη σχέση υπάρχει μεταξύ Average Power καταναλωθείσας πάνω στη μέγιστη διάρκεια του χρόνου και της Peak Power η οποία καταναλίσκετο κατά την διάρκεια του παλμού. Ο χρόνος λειτουργίας μιας περιόδου είναι ανάλογος της συχνότητας επαναλήψεως $T = 1/F$.

Μεγαλύτερη διάρκεια του παλμού (PW) υψηλότερη η μέση ισχύς (Average) και μεγαλύτερο το PRT μικρότερη η μέση ισχύς $\text{average power} / \text{peak power} = \text{pulse width} / \text{PRT}$.

Η μέγιστη ισχύς = ενέργεια παλμού / διάρκεια παλμού

Μέση ισχύς = ενέργεια παλμού / χρόνος επαναλήψεων παλμού = ενέργεια παλμού * PRF

Duty Cycle

Ο κύκλος λειτουργίας του πομπού ροής μπορεί να περιγράψει από το πόσον του συνολικού χρόνου που εκπέμπεται η ενέργεια ραδιοσυχνότητας. Αυτή η χρονική σχέση καλείται κύκλος χρησιμοποίησης και μπορεί να αντιπροσωπευθεί σαν

DC = πλάτος παλμού (PW) / χρόνος επαναλήψεως παλμού (PRT)

5.3.1.3

Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των P/E (ραδιοεντοπιστής)

- 1) ακτινοβολούμενη ισχύς
- 2) Μέγεθος κεραίας
- 3) Διάρκεια παλμού εκπομπής
- 4) Συχνότητα επαναλήψεως του παλμού
- 5) Συχνότητα εκπομπής
- 6) Χαρακτηριστικά στόχου

Παράγοντες που επηρεάζουν την μέγιστη εμβέλεια

- 1) Συχνότητα
- 2) Μέγιστη ισχύς εκπομπής
- 3) Διάρκεια του παλμού
- 4) PRF
- 5) Εύρος δέσμης

Για καλή απόδοση πρέπει η δέσμη να χτυπά τον ίδιο στόχο τουλάχιστον 5 – 10 φορές .

- 6) Χαρακτηριστικά στόχου (ύψος, υλικό)
- 7) Μέγεθος
- 8) Προσανατολισμός στόχου
- 9) Σχήμα
- 10) Είδος επιφανείας (υφή)

Παράγοντες που επηρεάζουν την ελάχιστη απόσταση εντοπισμού

- 1) Διάρκεια παλμού
- 2) Επιστροφές θαλάσσης
- 3) Στόχοι ηλεκτρικών λοβών
- 4) Κατακόρυφο άνοιγμα δέσμης και ύψος κεραίας

5.3.1.4

Εξήγηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ελάχιστη απόσταση εντοπισμού.

- 1) εκτός της μικρές διάρκειες του παλμού είναι και ο χρόνος που απαιτείται να μεταπέσει ο διακόπτης από την κατάσταση εκπομπής σε κατάσταση λήψεως.
- 2) Η κυματώδη κατάσταση θαλάσσης μπορεί να καλύψει μικρούς στόχους λόγω του αρκετά έντονων ανακλάσεων.
- 3) Στόχοι ηλεκτρικών λοβών μπορεί να καλύψουν την οθόνη γύρω από το κέντρο και έτσι κοντινοί στόχοι να καλύπτονται.
- 4) Στόχοι πολύ κοντά στην κεραία δεν εμφανίζονται όταν ευρίσκονται κάτω της δέσμης ακτινοβολίας και η κεραία σε μεγάλο ύψος.

Παράγοντες την κατ' απόσταση διαχωριστική ικανότητα του ραντάρ.

- 1) Η διάρκεια του παλμού εκπομπής
- 2) Ο βαθμός ενισχύσεως του δέκτη
- 3) Η χρησιμοποιούμενη κλίμακα αποστάσεως
- 4) Το μέγεθος του ενδείκτη

5.3.1.5

Εξήγηση των παραπάνω:

Μεγάλη κατ' απόσταση διαχωριστική ικανότητα προϋποθέτει βραχύ εκπεμπόμενο παλμό, χαμηλό βαθμό ενίσχυσης του δέκτη και μικρή κλίμακα αποστάσεων.

- 1) **PW.** Δυο στόχοι της αυτής διόπτουσας πλησίον αλλήλων δεν παρουσιάζονται παρά μονάχα εάν μεταξύ τους μεσολαβεί απόσταση μεγαλύτερη από την μισή διάρκεια του παλμού εκφρασμένη σε απόσταση.

$$\text{Απόσταση Διαχωρισμού} = 0.5 * PW * 308 \text{ σε υάρδες.}$$

- 2) ενδέχεται αυξημένη λαμπρότητα κηλίδος μειώνει την κατ' απόσταση διαχωριστικό κατά λόγω αύξησης του μεγεθού της.
- 3) Κλίμακες μικρότερες και δυνατότητα τοποθέτησεως εκκεντρικά επί της οθόνης της θέσεως του πλοίου.

- 4) Μεγαλύτερο μέγεθος ενδείκτου μεγαλύτερη διαχωριστική ικανότητα.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη ακρίβεια αποστάσεως του στόχου.

- 1) σταθερό σφάλμα.
- 2) Τάση τροφοδοτήσεως.
- 3) Στρόμβος αποστάσεων.

Παράγοντες που επηρεάζουν την κατ' διόπτρευση ακρίβεια.

- 1) οριζόντιο εύρος ζώνης
- 2) μεγαλύτερη κεραία
- 3) κινούμενος στόχος ταχέως παρουσιάζονται με μικρότερη κατά διόπτρευση ακρίβεια από τους ακίνητους.

Παράγοντες επηρεάζοντας την διαχωριστική ικανότητα κατά διόπτρευση.

- 1) Ως διαχωριστική ικανότητα κατά διόπτρευση ορίζεται η ικανότητα του ραντάρ να παρουσιάσει ξεχωριστά δυο στόχους που ευρίσκονται στην ίδια απόσταση και επί διαφορετικών γειτονικών διοπτρεύσεων. Αυτή είναι η κατ' διόπτρευση διαχωριστική ικανότητα του ραντάρ.
- 2) Το οριζόντιο άνοιγμα δέσμης καθορίζει την κατ' διόπτρευση διακριβώτικη ικανότητα.
- 3) Gain δέκτου.
- 4) Μέγεθος στόχου.
- 5) Μέγεθος κηλίδας

Σχέση γωνιακής και γραμμικής απόστασης στόχων για δέσμη κεραίας P/E ανοίγματος 2°

- 1) βαθμός ενισχύσεως δέκτου.
- 2) Μέγεθος κηλίδας.

Επίδραση καιρικών συνθηκών

- 1) Άνεμος
- 2) Βροχή
- 3) Χιόνι
- 4) Χαλάζι
- 5) Ομίχλη
- 6) Χαμηλές νεφώσεις

5.3.1.6

Επίδραση της διαδόσεως ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Η διάδοση εξαρτάται από :

- 1) Σύνθεση ατμόσφαιρας στη διαδρομή της διαδόσεως η οποία και καθορίζει την κάμψη που υφίσταται τα κύματα στο πέρασμά τους.
- 2) Η ανάκλαση των κυμάτων του ραντάρ στην επιφάνεια της θαλάσσης.
- 3) Η σκέδαση των κυμάτων του ραντάρ πάνω στην γραμμή του ορίζοντα που τα στέλνει να ταξιδέψουν.
- 4) Η απορρόφηση ενέργειας από την ατμόσφαιρα καθώς τα κύματα διαδίδονται μέσω αυτής.
- 5) Μέγεθος και χαρακτηριστικά του στόχου

Διάθλαση με φυσιολογικές ατμοσφαιρικές συνθήκες

α) Απόσταση ορίζοντα P/E $d = 1,22\sqrt{h} \rightarrow 6\%$

$h =$ ύψος κεραίας σε πόδια

β) Απόσταση οπτικού ορίζοντα $d = 1,15\sqrt{h}$

Λόγο κάποιου ύψους του στόχου ο τύπος γίνεται :

$$d = 1,22\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}$$

Η σχέση αφορά φυσιολογικές καιρικές συνθήκες και συχνότητα P/E επιφανείας γύρω στα 10GHz

5.3.1.7

Υπερδιάθλαση

Η υπερβολική προς τα κάτω κάμψη της διαδρομής διαδόσεως των κυμάτων και παρακολούθηση σε μεγαλύτερο βαθμό της καμπυλότητας της γης λόγω ειδικών καιρικών συνθηκών ,πχ στρώμα από θερμό αέρα και ξηρό αέρα πάνω από στρώμα κρύου αέρα.

Αντίστροφη διάθλαση

Η κάμψη προς τα επάνω της διαδρομής διαδόσεως κυμάτων και έτσι η μείωση εμβέλειας, πχ στρώμα από κρύο υγρό αέρα ευρίσκεται πάνω από λεπτό στρώμα από Θέρμο ξηρό αέρα.

Ducting

Φαινόμενα που συμβαίνουν κατά την διάρκεια ακραίων περιπτώσεων υπερβολικής διαθλάσεως ενέργεια ακτινοβολούμενη.

5.3.1.8

Δημιουργία ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Οποιοσδήποτε αγωγός μεταφέρει ρεύμα παράγει μαγνητικό πεδίο το επίπεδο του οποίου είναι κάθετο προς την διεύθυνση κινήσεως των ηλεκτρονίων.

Η διάταξη των αγωγών καλείται κεραία ή διπλοκεραία Hertz. Η πηγή δημιουργεί εναλλασσόμενο ρεύμα στα τεμάχια αγωγού και κατά μήκος αυτού αναπτύσσεται εναλλασσόμενοι τάση που έχει σαν συνέπεια να δημιουργούνται γύρω από τον αγωγό.

α) Ένα ηλεκτρικό πεδίο του οποίου η δυναμική γραμμή (E) είναι καμπύλες που έχουν σαν αρχή το θετικό σημείο και τέλος το αρνητικό.

β) Ένα μαγνητικό πεδίο του οποίου οι δυναμικές γραμμές είναι η κυκλικές ή κάθετες προς τον αγωγό.

Η ένταση εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος έχει δε την μεγαλύτερη τιμή στην μέση του αγωγού της κεραίας και μηδενίζεται στα άκρα καθώς το εναλλασσόμενο ρεύμα μεταβάλλει τη φάση ($0^\circ - 360^\circ$) τα πεδία (μαγνητικό – ηλεκτρικό) ακολουθούν την ίδια ακριβώς μεταβολή φάσεως.

Επομένως κατά μήκος των τεμαχίων των αγωγών που τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενο ρεύμα έχουμε συγχρόνως εναλλασσόμενα πεδία (ηλεκτρικό – μαγνητικό) που είναι κάθετα μεταξύ τους και η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος τροφοδοτήσεως της κεραίας. Όταν η τάση του A.C φθάσει τις πιο μεγάλες τιμές της τότε και το ηλεκτρικό πεδίο παρουσιάζει την μεγαλύτερη ένταση, αντίθετα το μαγνητικό πεδίο παρουσιάζει την μεγαλύτερη ένταση όταν η τάση παρουσιάζει την μεγαλύτερη ταχύτητα μεταβολής της (φάση 0° , 180° , 360°) και η οποία μειώνεται προοδευτικά για να μηδενισθεί όταν δεν υπάρχει μεταβολή τάσεως (90° , 270°).

Μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που περιβάλλει τον αγωγό με την μορφή των πεδίων που περιγράφηκαν πιο πάνω, ακτινοβολεί στο χώρο που διαδίδεται με μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Η ακτινοβολία είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό. Και τα δυο πεδία, ηλεκτρικό E και μαγνητικό H έχουν συχνότητα εναλλαγής και τάση ίση προς εκείνη του ρεύματος από τον οποίο προήλθαν και διαδίδονται στο χώρο με ταχύτητα του φωτός $3 \cdot 10^8$ στην $8^{\text{η}}$ m/sec.

Οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου είναι κάθετες μεταξύ τους.

Ακόμα θα πρέπει να σημειωθεί όταν το ηλεκτρικό έχει μεγάλη τιμή το μαγνητικό έχει μηδενική τιμή και αντιστρόφως. Και τα δυο πεδία παρουσιάζουν την μεγαλύτερη ένταση του στην διεύθυνση της μεσοκάθετος της κεραίας. Στην επόμενη εναλλαγή ρεύματος θα δημιουργηθεί η ίδια εναλλαγή πεδίου ενώ η πρώτη απομακρύνεται από την κεραία με την ταχύτητα του φωτός.

5.3.1.9

Χαρακτηρίστηκα

α) τον κύκλο που είναι η πλήρης εναλλαγή της εντάσεως των πεδίων.

β) Την συχνότητα (F) του αριθμού των πλήρων εναλλαγών που γίνονται στο δευτερόλεπτο.

γ) Περίοδο δηλ. τον χρόνο που απαιτεί να συμπληρωθεί ένα κύκλος.

δ) Φάση, το ποσοστό του κύκλου που έχει συμπληρωθεί σε μια δεδομένη στιγμή.

ε) (E) μήκος κύματος (wave length) δηλ. την απόσταση που διανύει το κύμα σε χρόνο ίσο με την περίοδο του.

Έτσι:

$\lambda = c / f$ δηλ. το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας, το μήκος κύματος μετριέται σε μέτρα ή εκατοστόμετρα για τις πολύ υψηλές συχνότητες.

Πόλωση (Polarization) εννοούμε την κατεύθυνση των δυναμικών γραμμών του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Λέμε ότι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι κατακόρυφες πολώσεις όταν οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου είναι οριζόντιες. Κατακόρυφη κεραία δημιουργεί κύμα κάθετες πολώσεις ενώ οριζόντια κεραία δημιουργεί κύμα οριζόντιου πόλωσης.

5.3.1.10

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

α) Με κύματα εδάφους (ground waves) δηλ. κύματα που ακολουθούν την επιφάνεια της γης, τέτοια κύματα είναι το VLF – LF – MF. Πάνω από την θάλασσα η διάδοση έχει μεγαλύτερες αποστάσεις απ' ότι είναι στην ξηρά λόγω της αγωγιμότητας του νερού.

β) Κύματα χώρου (sky waves) δεν ακολουθούν την επιφάνεια της γης αλλά διαδίδονται σε μια ή διαδοχικές ανακλάσεις στην ιονόσφαιρα και στη επιφάνεια της γης MF – IFF.

Όσο αυξάνει η συχνότητα παραπάνω από το όριο τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαπερνούν την ιονόσφαιρα χωρίς να υφίσταται ανάκλαση και έτσι δεν διαδίδονται με τον πιο πάνω τρόπο.

Ιονόσφαιρα : καλείται η περιοχή πάνω από την τροπόσφαιρα στη οποία η παρουσία ιόντων και ελευθέρων ηλεκτρονίων που προέρχονται από την διάσπαση αέρος από την ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία και κοσμική ακτινοβολία. Αποτέλεσμα του ιονισμού είναι η εμφάνιση αγώγιμων στρωμάτων.

Τρία είναι τα βασικά στρώματα της ιονόσφαιρας τα οποία επιδρούν σοβαρά στην διάδοση των βραχέων ιδίως κυμάτων και ειδικότερα προξενούν κάμψη, μεταβολή πολώσεως και απορρόφηση.

1^ο Στρώμα F ή Appleton που σχηματίζεται σε ύψος 300 χιλιομέτρων από διάσπαση ατόμων οξυγόνου ψηλότερα στο στρώμα και ο ιονισμός ελαττώνεται λόγω μείωσης των ατόμων, χαμηλότερα επίσης ελαττώνεται λόγω εξασθενήσεως της ακτινοβολίας.

2^ο Στρώμα σε ύψος 100χλμ η εναπομένουσα ακτινοβολία συναντά μόρια αέρος τα οποία διασπώνται και τα ιόντα τους σχηματίζουν το στρώμα E.

3^ο Στρώμα κάτω από το στρώμα E σε ύψος 25 περίπου μιλίων συναντάται ένα ασθενές στρώμα P προερχόμενο από ιονισμό του άξονος. Στο στρώμα αυτό οφείλεται η απορρόφηση των κυμάτων υψηλής συχνότητας και η ανάκλαση των κυμάτων χαμηλής συχνότητας.

Με την δύση του ηλίου τα ελεύθερα ιόντα ενώνονται με τα ηλεκτρόνια και έτσι αποιονίζεται ένα μεγάλο μέρος της ιονόσφαιρας με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται ανωμαλίες στη μετάδοση κυμάτων χώρου. Ιδιαίτερα το στρώμα D εξαφανίζεται κατά την νύχτα.

Απευθείας κύμα (VHF, UHF, EMF) τα κύματα αυτά διαδίδονται κατ' ευθεία γραμμή λόγω όμως της διαθλάσεως τους στην τροπόσφαιρα υφίσταται μια σχετική καμπύλωση με αποτέλεσμα την αύξηση της αποστάσεως διάδοσης τους. Λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας και της βαρομετρικής πίεσεως μετά του ύψους , το ηλεκτρομαγνητικό κύμα δεν συναντά ομοιογενές μέσο και διαθλάται.

Επειδή δε σε ομαλές συνθήκες τα χαμηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας είναι πυκνότερα το κύμα υφίσταται καμπύλωση προς την επιφάνεια της γης με αποτέλεσμα την αύξηση της διαδόσεως του.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα κατά την διαδρομή τους υφίστανται, Ανάκλαση(Replection), Διάθλαση(Repraction).

5.4

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΥΣΚΕΥΩΝ RADAR

Οι ναυτιλιακές συσκευές Radar χρησιμοποιούνται ευρέως στα πλοία, υποβρύχια, αεροσκάφη για να ερευνούν την γύρω προς αυτά περιοχή ειδικά κατά την διάρκεια της νύχτας και ομίχλης. Οι συσκευές αυτές έχουν ειδικά μηχανικά και ηλεκτρονικά συστήματα μέσω των οποίων προσδιορίζουν με μεγάλη ακρίβεια την διόπτευση και την απόσταση των στόχων.

Όταν το Radar συνδεθεί ηλεκτρικός με την γυροσκοπική πυξίδα και το δρομόμετρο του υποβρυχίου εκτός από τα στοιχεία του στόχου (απόσταση διόπτευση) δύναται επίσης να εξακριβώσει αν ο στόχος είναι κινητός ή σταθερός και είναι κινητός να προσδιορίσει την ταχύτητα του και την πορεία του.

5.4.1

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η αρχή λειτουργίας των συσκευών στηρίζεται στη μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο χώρο.

Η λειτουργία του Radar για τον εντοπισμό ενός στόχου αναλύεται σε τρεις διαφορετικές φάσεις. Εκπομπή, Λήψη, Ένδειξη.

Κατά την πρώτη φάση το Radar μέσω της κεραίας ακτινοβολεί στο χώρο ηλεκτρομαγνητική ενέργεια υπό μορφή στενής δέσμης (εκπομπής). Η δέσμη αυτή μεταδίδεται στο χώρο ευθύγραμμη και με σταθερή ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός. ($3 \cdot 10^{10}$ στην 8 m/s). Όταν το κύμα κατά την μετάδοση προσπέσει σε ένα αντικείμενο ένα μέρος της ενέργειας επιστρέφει.

Το Radar μέσω της κεραίας λαμβάνει την ανακλώμενη ενέργεια του στόχου και στη συνέχεια μέσω ειδικής ηλεκτρονικής μονάδας μετατρέπει αυτή σε οπτικό σήμα. Στην συνέχεια με άλλη συσκευή μέτρα με ακρίβεια το χρόνο το κύμα θα φύγει από την κεραία του υποβρυχίου και θα επανέλθει.

5.5

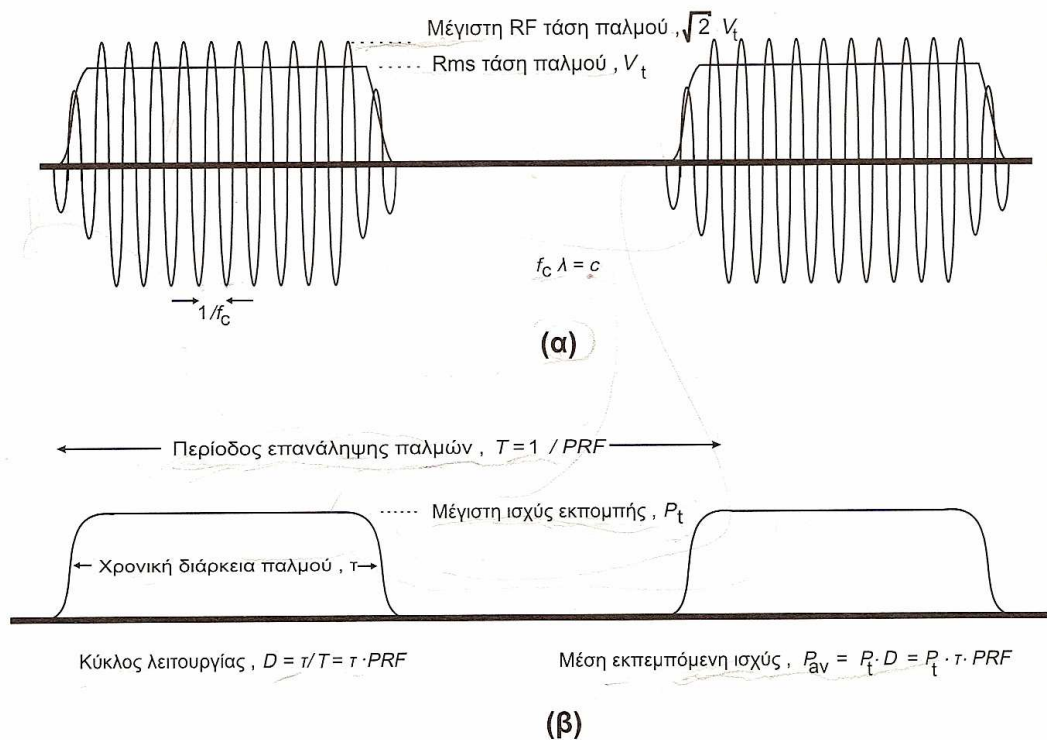
ΤΟ ΠΑΛΜΙΚΟ ΡΑΝΤΑΡ (PULSED RADAR)

5.5.1

Βασικοί ορισμοί

Η αρχή λειτουργίας του παλμικού ραντάρ (pulsed radar), βασίζεται στην εύρεση της θέσης των στόχων, μέσω της εκπομπής και λήψης σειράς μικρής χρονικής διάρκειας ραδιοπαλμών, συνήθως τετραγωνικής (ορθογώνιας) μορφής περιβάλλουσας, με σύντομους χρόνους ανόδου και καθόδου και σταθερό πλάτος καθ' όλη τη διάρκεια του παλμού (παλμική διαμόρφωση). Η κυματομορφή (σήμα) εκπομπής του παλμικού ραντάρ (σχ.1.1) καθορίζεται από τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά μεγέθη (παράμετροι λειτουργίας):

1. Την ημιτονοειδή **φέρουσα συχνότητα (carrier frequency)** F_c των ραδιοπαλμών.
2. Την **περίοδο επανάληψης παλμών (Pulse Repetition Period / Time Interval)**. Το αντίστροφο της περιόδου αυτής, ονομάζεται **συχνότητα επανάληψης παλμών (Pulse Repetition Frequency / Rate)** PRF ή PRR (σχήμα 5.5.1).
3. Το **χρονικό εύρος ή διάρκεια παλμού (pulse width / duration)** τ ή PW.
4. Τη **μέγιστη ισχύ εκπομπής** P_t . Το γινόμενο της ισχύος αυτής επί το χρονικό εύρος του παλμού, παρέχει την ενέργεια ανά παλμό.



Σχήμα 1.1: Σήμα εκπομπής παλμικού ραντάρ, (α) κυματομορφή και (β) περιβάλλουσα σήματος.

Σχήμα 5.5.1

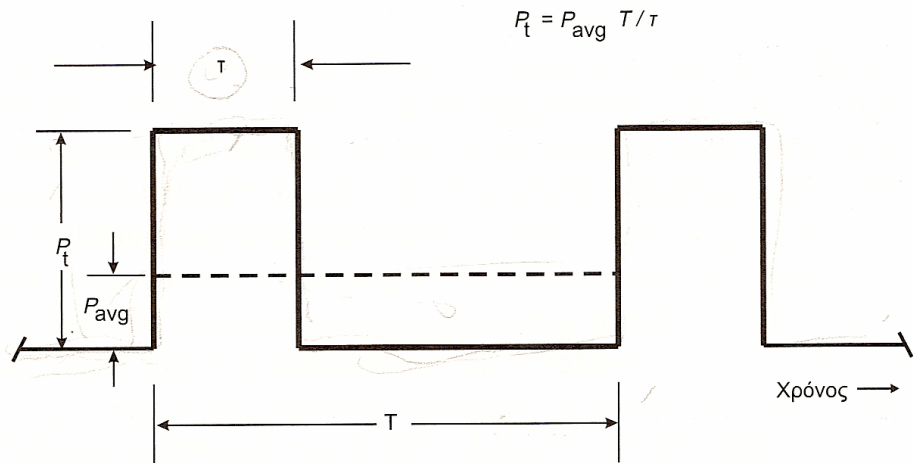
Άλλα βασικά μεγέθη του παλμικού ραντάρ, τα οποία όμως προκύπτουν από τα προηγούμενα, είναι τα ακόλουθα:

5. **Η μέση εκπεμπόμενη ισχύς, P_{avg} .** Είναι η ισχύς των παλμών ισοκατανε-μημένη μέσα σε ολόκληρη την περίοδο επανάληψης παλμών. Ισούται με το γινόμενο της μέγιστης ισχύος επί το πηλίκο PW / PRI :

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

6. **Ο κύκλος λειτουργίας ή εργασίας ή εκπομπής (duty cycle / factor) D** αποτελεί το λόγο PW / PRI , ο οποίος εκφράζει ποσοστιαία τη χρονική διάρκεια εκπομπής του παλμού, ως προς τη συνολική διάρκεια της περιόδου επανάληψης παλμών T (σχήμα 5.5.1.2).

Όλα τα παραπάνω μεγέθη, για την ευκολία του αναγνώστη συνοψίζονται στον ακόλουθο πίν. 1.1:



Απεικόνιση μέγιστης και μέσης ισχύος εκπεμπόμενων ραδιοπαλμών, ως συνάρτηση του χρόνου.

Σχήμα 5.5.1.2

Πίνακας 1.1: Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη (παράμετροι λειτουργίας) του παλμικού ραντάρ

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ - ΣΧΕΣΗ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Συχνότητα εκπομπής ή φέρουσα συχνότητα (Radio/carrier frequency)	f_c	Hz
Περίοδος επανάληψης παλμών (Pulse Repetition Period/ Time/Interval)	T ή PRI ή PRT	sec
Εύρος παλμού (Pulse Width/Duration)	τ ή PW	sec
Συχνότητα επανάληψης παλμών (Pulse Repetition Frequency/Rate)	f_r ή PRF ή $PRR = 1/PRI$	Hz
Κύκλος εκπομπής (Duty cycle/factor)	$D = PW/PRI$	Αδιάστατο μέγεθος
Μέγιστη εκπεμπόμενη ισχύς (Peak power)	P_t	Watts
Μέση εκπεμπόμενη ισχύς (Average power)	$P_{avg} = P_t PW/PRI$	Watts
Ενέργεια εκπεμπόμενου παλμού (Pulse energy)	$E = P_t PW$	Joules
Ρυθμός περιστροφής κεραίας (Aerial Rotation Frequency)	ARF	rpm (στροφές ανά λεπτό)

πίνακας 1.1

5.6

Το φάσμα συχνοτήτων του σήματος ενός παλμικού ραντάρ

Στη συνέχεια, επιχειρείται ο καθορισμός του φάσματος συχνοτήτων του λαμβανόμενου μετά από την ανάκλαση στο στόχο, σήματος ενός παλμικού ραντάρ. Στην πραγματικότητα, ο στόχος δέχεται έναν πεπερασμένο αριθμό N / παλμών (πρακτικά 8 έως 20), από το ραντάρ που τον 'φωτίζει'. Γενικά, ο συνολικός χρόνος κατά τον οποίο ένας στόχος βρίσκεται εντός του κύριου λοβού του ραντάρ ονομάζεται **χρόνος επί του στόχου (time on target) t_{OT}** οτ, και είναι ευθέως ανάλογος με το γωνιακό εύρος του κυρίου λοβού και αντιστρόφως ανάλογος με το ρυθμό / συχνότητα περιστροφής της κεραίας. Εάν, είναι γνωστή η περίοδος επανάληψης παλμών T , καθώς και ο συνολικός αριθμός N των παλμών που δέχεται ο στόχος σε κάθε περιστροφή της κεραίας του ραντάρ, τότε θα έχουμε:

$$t_{OT} = NT$$

Έτσι, τα στοιχεία του προς ανάλυση λαμβανόμενου σήματος (ήχους στόχου), είναι τα ακόλουθα :(**σχ. 5.6**)

* Γωνιακή ή κυκλική συχνότητα σήματος εκπομπής (φέροντος κύματος) ω_c
= $2\pi f_c$

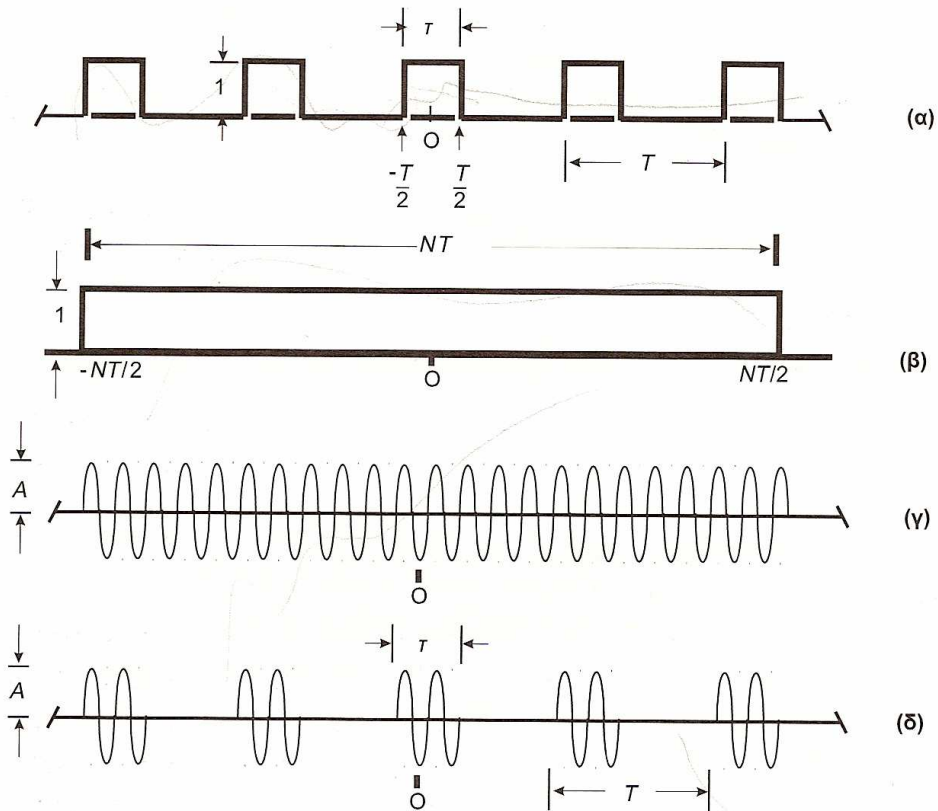
* Εύρος παλμού, τ

* Αριθμός παλμών που δέχεται ο στόχος, N

* Γωνιακή ή κυκλική συχνότητα επανάληψης παλμών (PRF), $\omega_r = 2\pi f_r$

* Περίοδος επανάληψης παλμών (PRI), T

* Πλάτος φέροντος κύματος, A



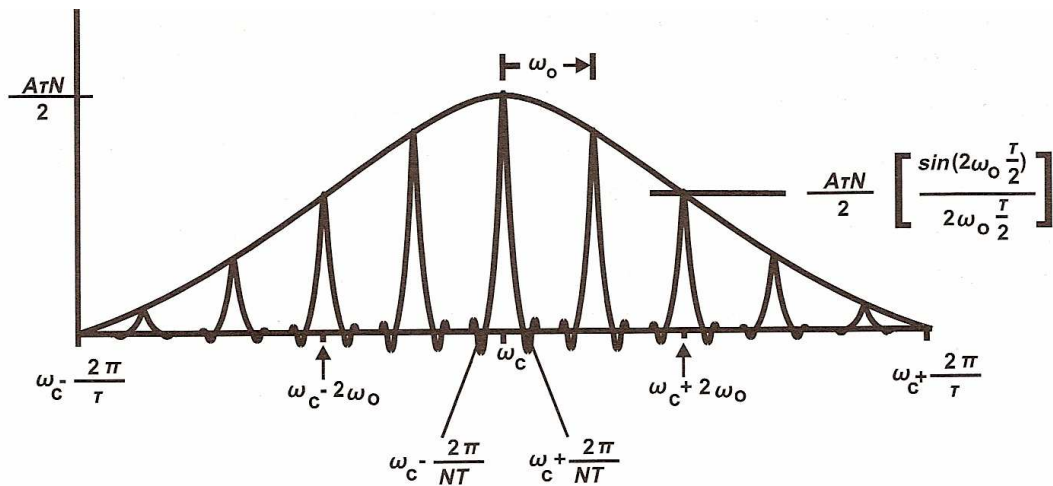
Οι συναρτήσεις (α) $f_1(t)$, (β) $f_2(t)$, και (γ) $f_3(t)$, το γινόμενο των οποίων αποτελεί το λαμβανόμενο από το δέκτη σήμα $f_4(t)$. (δ) Η συνάρτηση $f_4(t)$.

Σχήμα 5.6

5.6.1

Η γραφική απεικόνιση του όρου αυτού, παρουσιάζεται στο σχήμα.

Παρατηρούμε αρχικά, ότι το φάσμα της διαμορφωμένης παλμοσειράς που επιστρέφει από το στόχο, αποτελείται από πολλές καμπύλες της μορφής $\sin x / x$, οι οποίες 'περιβάλλονται' από μία μεγαλύτερη καμπύλης της ίδιας μορφής. Η περιβάλλουσα αυτή, μηδενίζεται σε αποστάσεις $2\pi/\tau$, από την κυκλική συχνότητα του φέροντος ω_c . Οι περιβαλλόμενες συνιστώσες $\sin x / x$, εμφανίζονται τοποθετημένες συμμετρικά γύρω από την ω_c και σε μεταξύ τους αποστάσεις ω_r . Επίσης, κάθε συνιστώσα $\sin x / x$, μηδενίζεται σε αποστάσεις $2\pi / NT$ πάνω και κάτω από την κεντρική της συχνότητα (σχ. 5.6.1).



Γραφική απεικόνιση του θετικού τμήματος συχνοτήτων της $F(j\omega)$, η οποία αποτελεί το φάσμα του επιστρεφόμενου σήματος, στην περίπτωση του παλμικού ραντάρ.

Σχήμα 5.6.1

Στη συνέχεια, θα εξεταστούν ορισμένοι παράγοντες που επηρεάζουν το φάσμα συχνοτήτων $F(j\omega)$, καθώς και οι οριακές μορφές τις οποίες μπορεί αντίστοιχα αυτό να λάβει:

α. Συχνότητα φέροντος κύματος ω_c

Η μεταβολή της τιμής της συχνότητας ω_c προκαλεί 'μετατόπιση' του φάσματος στον άξονα συχνοτήτων, χωρίς καμία όμως μεταβολή της μορφής του.

β. Εύρος /διάρκεια παλμού, τ

Η τιμή του εύρους παλμού τ , επηρεάζει τη μορφή της περιβάλλουσας της καμπύλης. Όσο αυτή μειώνεται, τόσο η περιβάλλουσα 'τείνει' να γίνει ευθεία γραμμή, καλύπτοντας όλο και μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων. Με αυστηρή μαθηματική διατύπωση, η περιβάλλουσα λαμβάνει τη μορφή ευθείας, όταν ο εκπεμπόμενος παλμός περιγράφεται από τη συνάρτηση δέλτα (Dirac). Αντίστοιχα, όταν το εύρος παλμού αυξάνεται, τότε μειώνεται και το φάσμα συχνοτήτων που καλύπτει η περιβάλλουσα (εύρος συχνοτήτων μεταξύ των πρώτων μηδενισμών της περιβάλλουσας, $2/\tau$). Μοντέρνες τεχνικές (**Ultra Wide Band** ή **Impulse Radars**) εκμεταλλεύονται την ιδιότητα αυτή, έτσι ώστε εκπέμποντας 'στενούς' παλμούς να καλύπτουν πολύ μεγάλες περιοχές συχνοτήτων.

γ. Συχνότητα επανάληψης παλμών, PRF

Η συχνότητα επανάληψης παλμών, καθορίζει την απόσταση μεταξύ των καμπυλών $\sin x / x$, που αποτελούν το φάσμα. Αυξανόμενης της PRF, αυξάνεται η απόσταση αυτή, και αντίστροφα. Επίσης, η μεταβολή της PRF επηρεάζει και τη χρονική διάρκεια NT, κατά την οποία ο στόχος 'φωτίζεται' από το σήμα του ραντάρ.

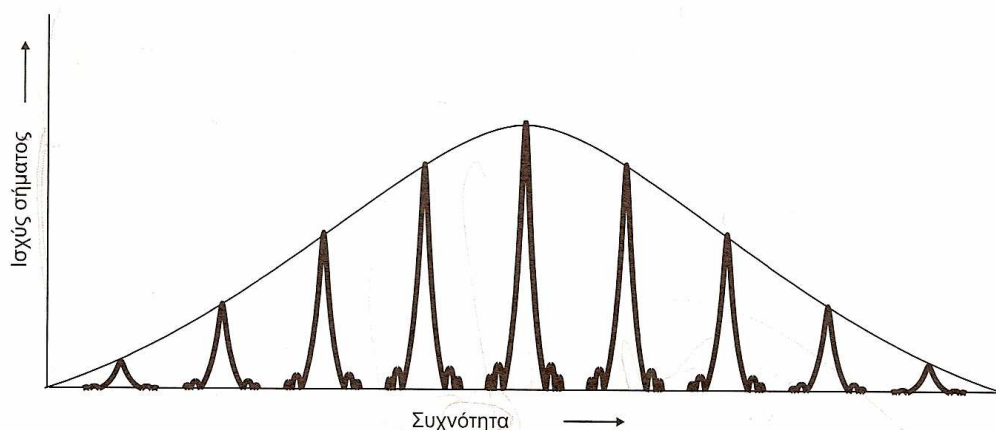
δ. Χρονική διάρκεια φωτισμού του στόχου, NT

Η χρονική διάρκεια NT επηρεάζει τη μορφή των συνιστωσών καμπύλων $\sin x / x$. Όταν η διάρκεια τείνει στο άπειρο, τότε οι καμπύλες αυτές τείνουν να γίνουν συναρτήσεις δέλτα. Αντίθετα, το φασματικό τους εύρος αυξάνεται, όταν η χρονική διάρκεια NT ελαττώνεται. Το εύρος συχνοτήτων μεταξύ των πρώτων μηδενισμών κάθε συνιστώσας, είναι $2 / NT$ ή $2PRF / N$.

ε. Πλάτος φέροντος κύματος, A

Το πλάτος φέροντος κύματος δεν επηρεάζει το εύρος συχνοτήτων που καλύπτει το φάσμα. Αντιθέτως, καθορίζει τις τιμές 'κορυφής' τόσο της περιβάλλουσας ($A \tau N / 2$), όσο και των συνιστωσών καμπυλών $\sin x / x$.

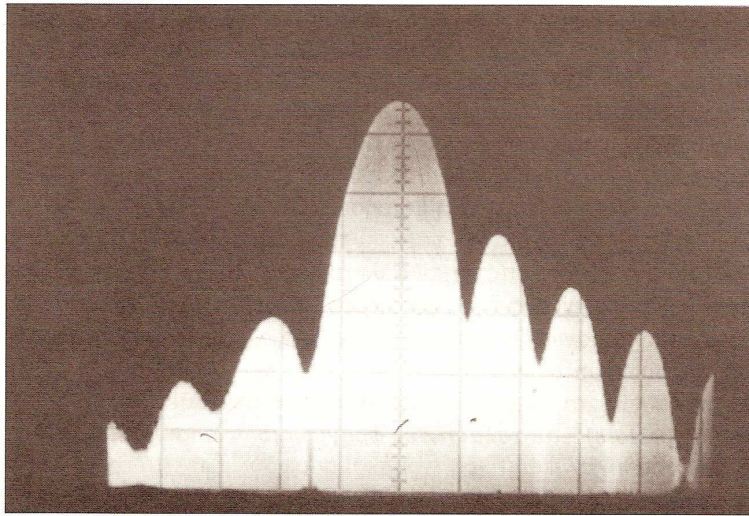
Τετραγωνίζοντας τις τιμές πλάτους του φάσματος $F(j\omega)$, παίρνουμε την φασματική ισχύ (power spectrum) της λαμβανόμενης διαμορφωμένης παλμοσειράς. Το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας κάτω από τις καμπύλες του διαγράμματος της φασματικής ισχύος, παρέχει τη συνολική ενέργεια του σήματος (θεώρημα Parseval)(σχ. 5.6.1.2 και 5.6.1.3).



(α)

(α) Διάγραμμα φασματικής ισχύος και ενέργειας, διαμορφωμένης παλμοσειράς, που επιστρέφει στο δέκτη μετά από ανάκλαση σε κάποιο στόχο.

Σχήμα 5.6.1.2



(θ)

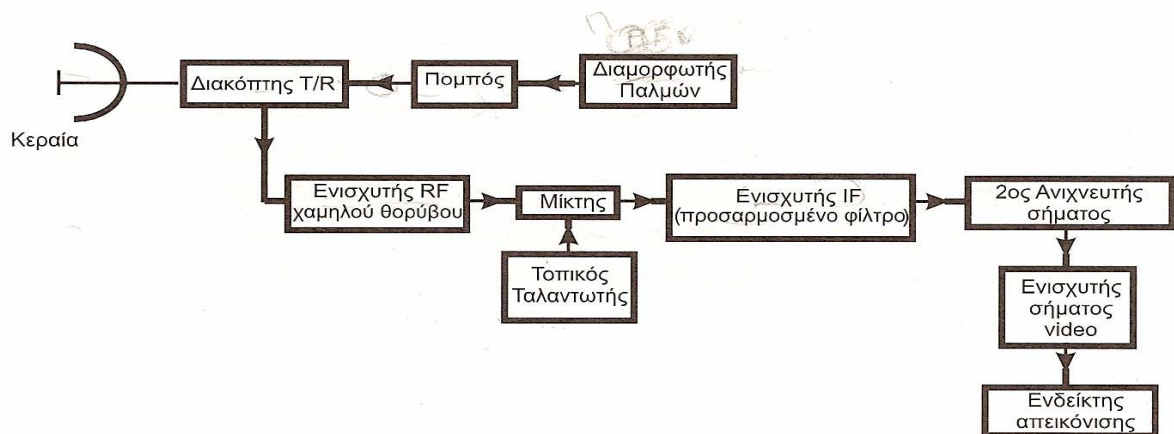
(θ) Πραγματικό φάσμα παλμοσειράς με συχνότητα φέροντος 1300 MHz, διάρκεια παλμού 1.6μs και περίοδο επανάληψης παλμών 1.3ms. (Cole [2]).

Σχήμα 5.6.1.3

5.6.2

Το δομικό διάγραμμα του παλμικού ραντάρ

Στο σχήμα, απεικονίζεται το βασικό δομικό διάγραμμα (**block diagram 5.6.2**) ενός τυπικού παλμικού ραντάρ. Τα κύρια μέρη, από τα οποία αποτελείται, είναι τα ακόλουθα:



Δομικό διάγραμμα βασικών λειτουργικών μερών, ενός τυπικού παλμικού ραντάρ

Block diagram 5.6.2

5.6.2.1

α) Χρονοιστής ή Συγχρονοιστής (**Synchronizer ή triggering generator**)

Ο χρονοιστής ή συγχρονοιστής συγχρονίζει, τη λειτουργία του πομπού και του ενδείκτη, παράγοντας μία περιοδική σειρά στενών παλμών (trigger pulses), στη συχνότητα επανάληψης PRF. Οι παλμοί αυτοί, προσδιορίζουν το χρόνο έναρξης του σήματος εκπομπής και τροφοδοτούν ταυτόχρονα το διαμορφωτή του πομπού και τον ενδείκτη απεικόνισης, έτσι ώστε να αρχίζει η μέτρηση του χρόνου. Με αυτόν τον τρόπο, υπολογίζεται η χρονική διάρκεια της διαδρομής, που έκανε ο παλμός από ραντάρ στο στόχο και πάλι πίσω. Επομένως, ο συγχρονοιστής αποτελεί την αναφορά της συχνότητας επανάληψης παλμών PRF, αλλά και της παραγωγής παλμών ελέγχου προς τις διάφορες υπομονάδες του συστήματος ραντάρ.

Ως κυκλώματα συγχρονοιστών, χρησιμοποιούνται είτε πολυδομητές (multivibrators) είτε ταλαντωτές φραγμού (**blocking oscillators**).

5.6.2.2

β) Διαμορφωτής (**Modulator**)

Ο διαμορφωτής παλμών αποτελεί ένα κύκλωμα, το οποίο μόλις λάβει το σήμα συγχρονισμού από το συγχρονοιστή, τότε παράγει αμέσως έναν τετραγωνικό παλμό (οίο) υψηλής ισχύος και μικρής χρονικής διάρκειας t , τον οποίο τροφοδοτεί στον πομπό. Με αυτόν τον τρόπο, καθορίζεται η επιθυμητή διάρκεια της παλμικής εκπομπής του ραντάρ.

5.6.2.3

γ) Πομπός (**Transmitter**)

Ο πομπός αποτελείται από έναν ταλαντωτή υψηλής ισχύος (πχ λυχνία magnetron). Καθ' όλη τη διάρκεια που η magnetron δέχεται τον τετραγωνικό παλμό από το διαμορφωτή, παράγει ένα ημιτονοειδές σήμα υψηλής ισχύος, (από μερικά KW έως και μερικές δεκάδες MW), το οποίο αποτελεί και το σήμα εκπομπής του ραντάρ). Η ακριβής τιμή της συχνότητας του σήματος αυτού, είτε είναι προκαθορισμένη από τα κατασκευαστικά στοιχεία της λυχνίας, είτε μπορεί να μεταβάλλεται από το χειριστή μέσα σε ένα εύρος 10% περίπου από κάποια κεντρική τιμή.

Κατόπιν, το σήμα εκπομπής μεταφέρεται μέσω ενός κυματοδηγού και του διακόπτη T/R στην κεραία, από όπου και εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα.

5.6.2.4

δ) Διακόπτης TR (TR switch duplexer)

Η μονάδα αυτή., συνδέει τη μία και μοναδική κοινή, κεραία με τον πομπό και το δέκτη, καθιστώντας ανεξάρτητες μεταξύ τους τις λειτουργίες της εκπομπής και της λήψης. Συγκεκριμένα, επιτρέπει στο υψηλής ισχύος σήμα που εξέρχεται από τον πομπό να περάσει στην κεραία με ελάχιστες απώλειες, ενώ ταυτόχρονα εμποδίζει τη διέλευση του προς το δέκτη.

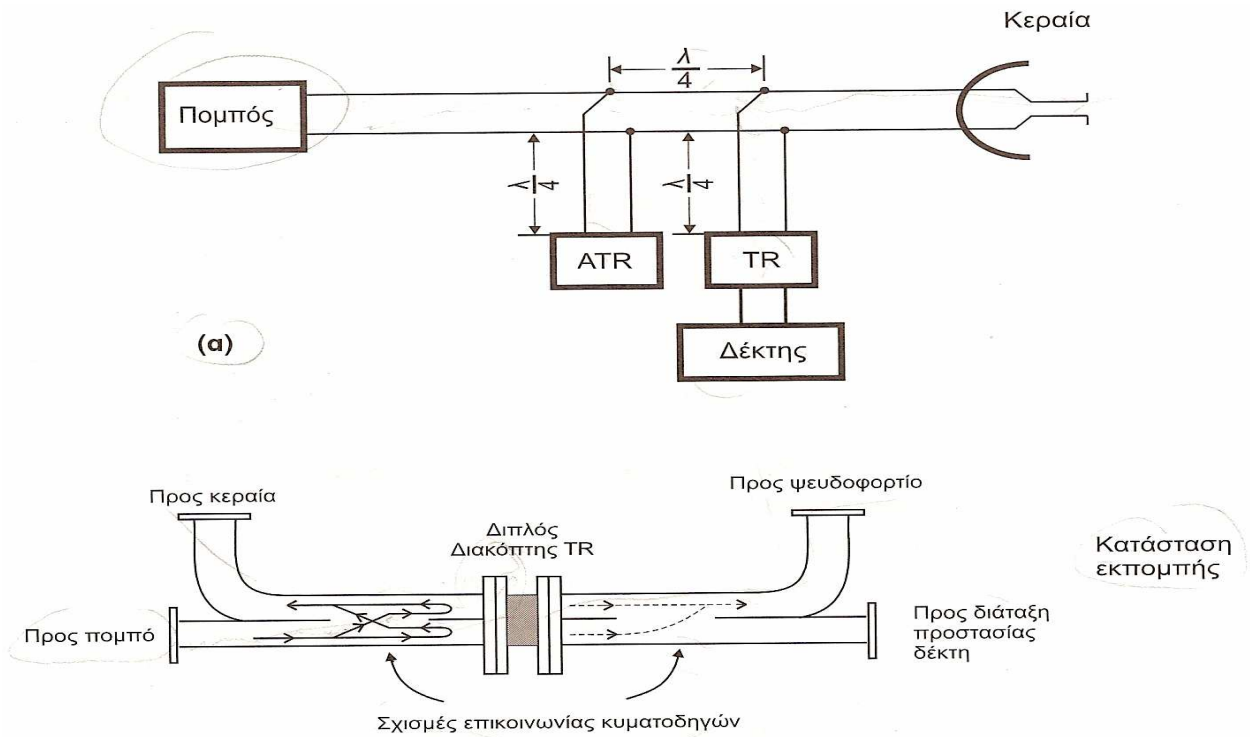
Εάν ο δέκτης δεν απομονωθεί κατά την εκπομπή, τότε κινδυνεύει να καταστραφεί. Κατά τη λήψη, ο διακόπτης TR οδηγεί το λαμβανόμενο σήμα από την κεραία στο δέκτη, εμποδίζοντας τη δίοδο προς τον πομπό.

Οι λειτουργίες του διακόπτη TR, βασίζονται αποκλειστικά στη διεύθυνση ροής του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Οι βασικές διατάξεις τέτοιων διακοπών, είναι ο παλαιότερος τύπος διακλάδωσης (**branch type duplexer**) και ο νεότερος ισοροπημένος τύπος (**balanced duplexer**).

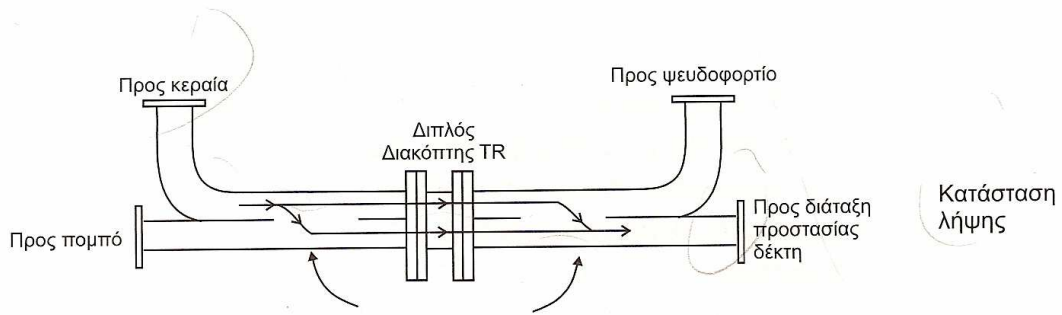
Ο διακόπτης διακλάδωσης, αποτελείται από δύο στοιχεία (TR – Transmit receive & ATR – Anti Transmit Receive). Τα στοιχεία αυτά, μπορεί να είναι στερεάς κατάστασης (ημιαγωγοί), φερρίτες (κεραμικά υλικά) ή να αποτελούνται από αεροστεγή τμήματα κυματοδηγού κατάλληλου μήκους (tubes), τα οποία περιέχουν μικρές ποσότητες ιονιζόμενου αερίου, πχ υδρατμών, αργού ή νέου. Οι διακόπτες αερίου (tubes) TR και ATR ιονίζονται κατά την εκπομπή. Αποτέλεσμα, είναι ο πρώτος να βραχυκυκλώνει (εμποδίζει) την είσοδο του παλμού εκπομπής προς το δέκτη, ενώ κατά τη λήψη ο δεύτερος να βραχυκυκλώνει (εμποδίζει) την είσοδο του λαμβανόμενου σήματος προς τον πομπό. Ο διακόπτης ATR δεν έχει καμία επίδραση κατά την εκπομπή. Οι χρόνοι ιονισμού και αποϊονισμού (επαναφοράς) των διακοπών αυτών, παίζουν σημαντικό ρόλο στην ελάχιστη απόσταση εντοπισμού και την ευαισθησία λήψης του συστήματος ραντάρ.

Στον ισορροπημένο τύπο , δύο τμήματα κυματοδηγού εφάπτονται μεταξύ τους και επικοινωνούν μέσω μία βραχείας εγκοπής / σχισμής στο κοινό τους τοίχωμα. Στο μέσο της κοινής επαφής, υπάρχουν δύο διακόπτες (tubes) TR, οι οποίοι κατά την εκπομπή ιονίζονται και εμποδίζουν τη διέλευση του σήματος προς το δέκτη, ενώ κατά τη λήψη την επιτρέπουν (σχ. 5.6.2.4)

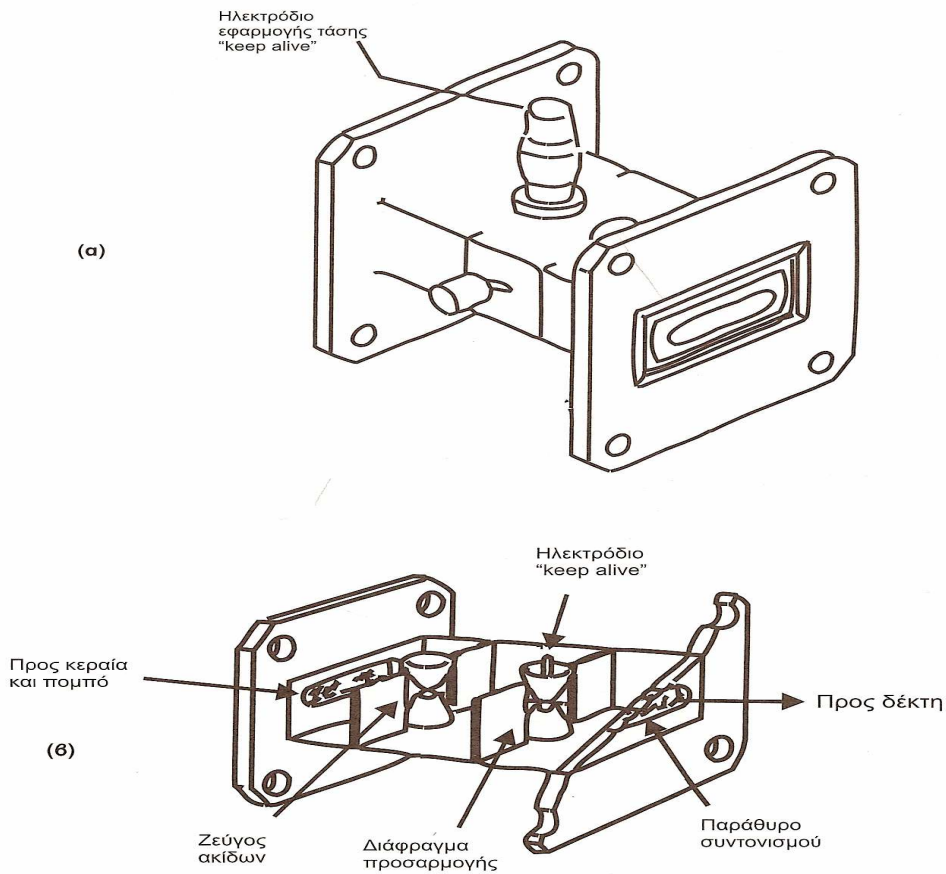


Σχήμα 5.6.2.4 (α)

(β)



Αρχή λειτουργίας διακόπτη duplexer, (α) τύπου διακλάδωσης (branch-type duplexer), και (β) ισοροπημένου τύπου (balanced duplexer).



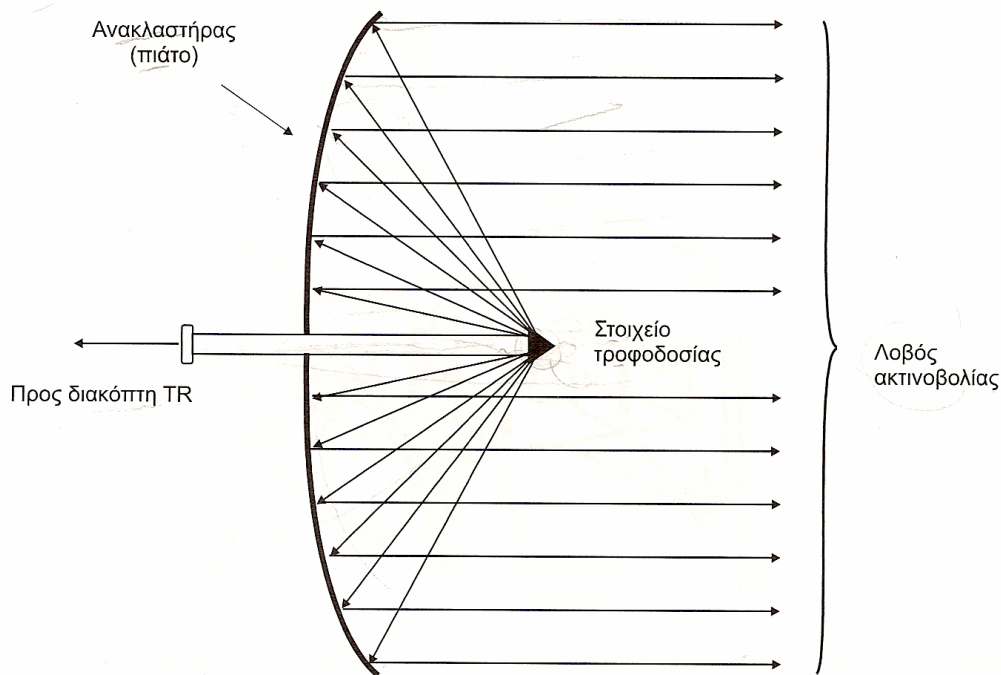
Λυχνία TR, (α) εξωτερικά φυσικά χαρακτηριστικά, (β) εσωτερική κατασκευή. Η λυχνία TR φέρει δύο ζεύγη ακίδων, το ένα από τα οποία χρησιμοποιείται για την εφαρμογή κάποιας συνεχούς τάσης προϊονισμού (*keep alive voltage*), έτσι ώστε να διατηρείται διαρκώς κάποιος αριθμός ιόντων για την ταχύτατη δυνατή απόκριση κατά την εκπομπή. Η λυχνία ATR έχει παρόμοια κατασκευή, αλλά φέρει ένα και μοναδικό ζεύγος ακίδων και χωρίς καμία σύνδεση για τάση προϊονισμού, αφού ιονίζεται αυτόματα όταν γίνει αισθητή η υψηλή ισχύς του παλμού εκπομπής.

Σχήμα 5.6.2.4 (β)

5.6.2.5

ε) Κεραία (Antenna)

Υπάρχουν πολλοί τύποι κεραιών ραντάρ, πχ με ανακλαστήρα, σχισμοσειρά, κτλ. Μία τυπική κεραία παλμικού ραντάρ, αποτελείται από μία μονάδα τροφοδοσίας / τροφοδότη (feed) και έναν παραβολικό ανακλαστήρα (reflector). Η μονάδα τροφοδοσίας είναι ουσιαστικά η απόληξη του κυματοδηγού που μεταφέρει το σήμα εκπομπής από το διακόπτη T/R και βρίσκεται στην εστία της παραβολής. Έτσι, αφού το σήμα προσπέσει πάνω στην επιφάνεια του ανακλαστήρα, στη συνέχεια εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα λαμβάνοντας τη μορφή στενής δέσμης / λοβού (narrow beam). Αντίστροφα, το επιστρεφόμενο κύμα, αφού ανακλαστεί πάνω στον παραβολοειδή δίσκο, καταλήγει στον τροφοδότη, και από εκεί μέσω του διακόπτη T/R στο δέκτη, για περαιτέρω επεξεργασία. (σχ. 5.6.2.5)



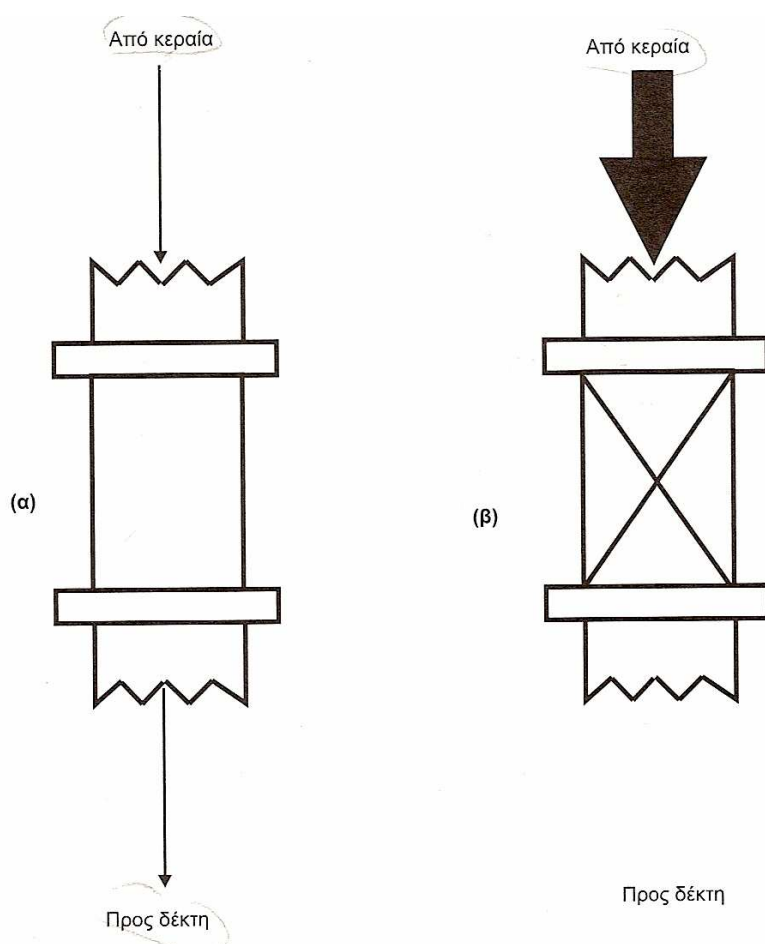
Διάταξη μίας τυπικής παραβολικής κεραίας παλμικού ραντάρ.

Σχήμα 5.6.2.5

5.6.2.6

στ) Διάταξη προστασίας δέκτη (Receiver protection device)

Η μονάδα αυτή, προστατεύει το δέκτη από το ποσοστό εκείνο της ενέργειας του πομπού, το οποίο επιστρέφει από την κεραία πίσω στον διακόπτη T/R, και στη συνέχεια διαρρέει προς το δέκτη, λόγω πχ κακής προσαρμογής φορτίων (impedance mismatch), ισχυρών επιστροφών από στόχους ή ακόμη και εκπομπών γειτονικών ραντάρ. Ουσιαστικά, η διάταξη αυτή αποτελεί έναν υψηλής ταχύτητας μικροκυματικό διακόπτη (αερίου ή στερεάς κατάστασης), ο οποίος εμποδίζει τη δίοδο προς τα κυκλώματα του δέκτη, μεγάλου ποσού ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, ικανού να του προκαλέσει βλάβη. (σχ. 5.6.2.6)



Διάταξη προστασίας δέκτη. (α) Τα ασθενικά σήματα από τις επιστροφές των στόχων, διέρχονται ανεπηρέαστα, (β) ενώ τα ισχυρά σήματα αποκόπτονται.

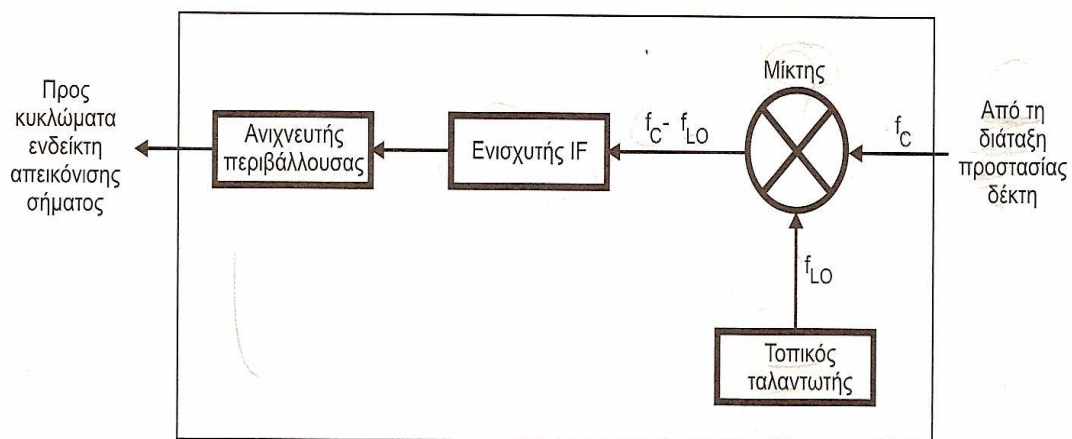
Σχήμα 5.6.2.6

5.6.2.7

Ζ) Δέκτης (Receiver)

Στην είσοδο του δέκτη, ως πρώτη βαθμίδα μερικές φορές υπάρχει κάποιος προενισχυτής ραδιοσυχνότητας, χαμηλού θορύβου (low noise RF amplifier), για την ενίσχυση του λαμβανόμενου σήματος πριν από κάθε άλλη επεξεργασία.

Ένα τυπικό παλμικό ραντάρ διαθέτει το λεγόμενο υπερετερόδυνο δέκτη (superheterodyne receive), ο οποίος απεικονίζεται στο σχήμα. Στο δέκτη αυτό, η τιμή της κεντρικής ραδιοσυχνότητας εκπομπής /λήψης f_c μειώνεται κατάλληλα, έτσι ώστε στη συνέχεια να διευκολυνθεί η επεξεργασία του σήματος επιστροφής (καλύτερη ενίσχυση, αφού είναι ευκολότερη η κατασκευή ενισχυτών υψηλού κέρδους σε χαμηλότερες συχνότητες). Για το σκοπό αυτό, ένα κύκλωμα μίκτης, αφού δεχθεί ως είσοδο τη λαμβανόμενη ραδιοσυχνότητα f_c , στη συνέχεια περνάει στην έξοδο τη διαφορά $f_{if} = f_c - f_{LO}$ (ενδιάμεση συχνότητα), όπου f_{LO} είναι η συχνότητα ενός τοπικού ταλαντωτή (local oscillator). Ο τοπικός ταλαντωτής μπορεί να είναι κάποια λυχνία reflex Klystron ή κάποια συστοιχία ημιαγωγών. Κατόπιν, η έξοδος του μίκτη ενισχύεται και φιλτράρεται από έναν ενισχυτή μεσαίων συχνοτήτων (IF amplifier). Ο ενισχυτής αυτός, επιτρέπει τη διέλευση, μόνο των συχνοτήτων του σήματος, ενώ απορρίπτει αυτές που προέρχονται από θορύβους και παρεμβολές. Μία τυπική τιμή για την ενδιάμεση συχνότητα f_{if} είναι τα 30 MHz για τα περισσότερα ραντάρ, ενώ άλλα έχουν τιμή 59-61 MHz. Το εύρος διέλευσης συχνοτήτων του ενισχυτή IF, κυμαίνεται από 1 έως 10 MHz (καθορίζεται από το αναμενόμενο εύρος συχνοτήτων του λαμβανόμενου σήματος και ισούται κατά προσέγγιση με $1.2 / PW$).

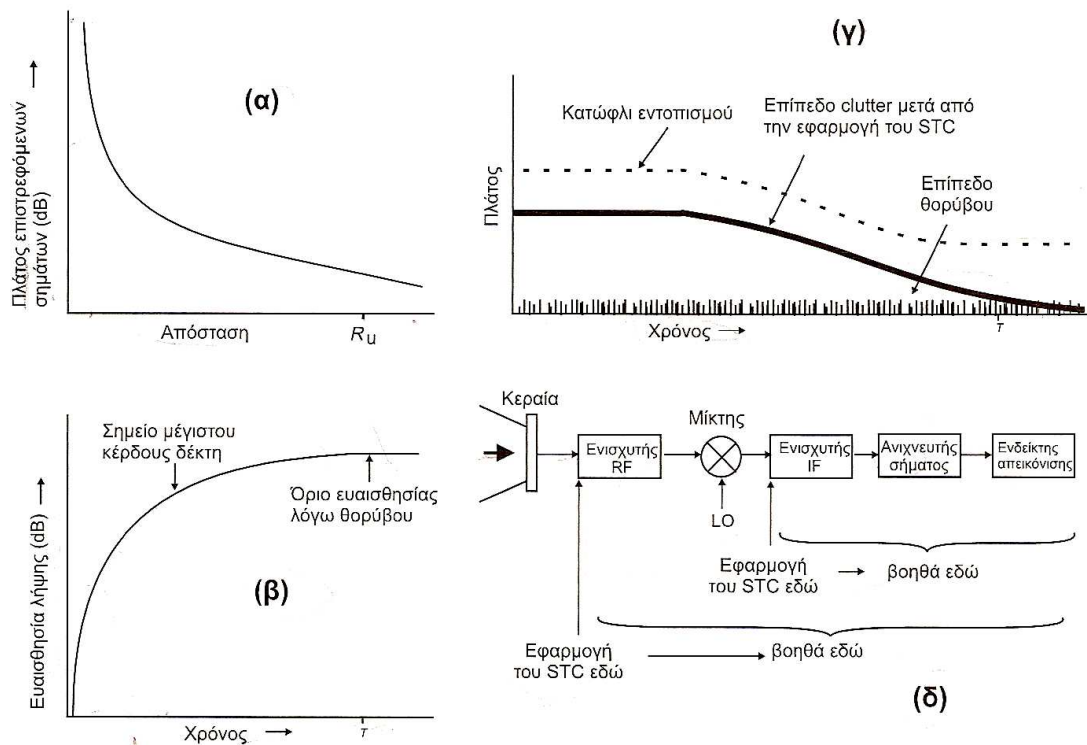


Διάταξη υπερετερόδυνου δέκτη παλμικού ραντάρ.

Ένα κύκλωμα αυτόματου ελέγχου κέρδους (AGC – Automatic Gain Control), ελέγχει συνεχώς την απολαβή του ενισχυτή IF, έτσι ώστε οι επιστροφές από τους διάφορους στόχους να διατηρούνται σε προκαθορισμένα, σχετικά σταθερά επίπεδα, και ταυτόχρονα να καταπιέζονται τα παράσιτα και οι παρεμβολές.

Ένα κύκλωμα αυτόματου ελέγχου, συχνότητας (AFC – Automatic Frequency Control), ελέγχει συνεχώς τη συχνότητα που παράγει ο τοπικός ταλαντωτής, έτσι ώστε αυτή να διαφέρει από το επιστρεφόμενο σήμα σταθερή τιμή, ίση με την ενδιάμεση συχνότητα. Αυτή είναι πολύ σημαντική λειτουργία, αφού η συχνότητα των επιστρεφόμενων σημάτων διαφέρει από παλμό σε παλμό.

Σε πολλά συστήματα ραντάρ⁵, κατά προτίμηση στον ενισχυτή RF που ευρίσκεται στην είσοδο του δέκτη, υπάρχει κάποιο κύκλωμα ελέγχου της ευαισθησίας με το χρόνο (STC Sensitivity Time Control). Συγκεκριμένα, το κύκλωμα STC κατά την έναρξη της σάρωσης αμέσως μετά το τέλος του παλμού εκπομπής, μειώνει την ευαισθησία, έτσι ώστε να αποφεύγεται ο κορεσμός που προκαλούν στα κυκλώματα του δέκτη οι ισχυρές επιστροφές, από κοντινά εμπόδια (πχ clutter από την επιφάνεια της θάλασσας, κτλ). Με την πάροδο όμως του χρόνου, η ευαισθησία αυξάνεται σταδιακά, αποκτώντας τη μέγιστη τιμή της σε μεγαλύτερες αποστάσεις, εκεί δηλαδή όπου ενδιαφέρει περισσότερο ο εντοπισμός ασθενικών επιστροφών από μακρινούς στόχους. Με αυτόν τον τρόπο, αποφεύγεται ο κορεσμός και βελτιώνεται η απεικόνιση στόχων που ευρίσκονται σε μικρές από το ραντάρ αποστάσεις (διεύρυνση δυναμικής περιοχής)(σχ. 5.6.2.7.1).



Αρχή λειτουργίας κυκλώματος ελέγχου της ευαισθησίας με το χρόνο (STC - Sensitivity Time Control). (α) Το πλάτος των επιστρεφόμενων σημάτων, μειώνεται με την απόσταση. (β), (γ) Η ευαισθησία ανίχνευσης (λήψης) του συστήματος είναι αρχικά χαμηλή και σταδιακά αυξάνεται μέχρι του ορίου μέγιστου κέρδους του δέκτη. Ακολούθως, η ευαισθησία συνεχίζει να αυξάνεται, αλλά μέσω αντίστοιχης μείωσης του κατώφλι εντοπισμού, μέχρι να φθάσει το επίπεδο θορύβου (λίγο πάνω από αυτό), όπου και στη συνέχεια παραμένει σταθερή. (δ) Εφαρμογή του κυκλώματος STC σε διάφορα σημεία του συστήματος λήψης.

Σχήμα 5.6.2.7.1

Το τελευταίο στάδιο του δέκτη είναι ο φωρατής ή ανιχνευτής περιβάλλουσας (envelope detector). Σε αυτόν, επιτρέπεται να διέλθει μόνο το σήμα πληροφορίας, ενώ αντίθετα 'φιλτράρεται' (αποκόπτεται) το φέρον κύμα." Κατόπιν, η έξοδος από τον φωρατή μεταδίδεται σε έναν ενισχυτή video και στα κυκλώματα του ενδείκτη απεικόνισης (indicator).

5.6.2.8

η) Ενδείκτης απεικόνισης (indicator)

Ο περισσότερο διαδεδομένος τύπος ενδείκτη' σε διατάξεις ραντάρ έρευνας, είναι ο λεγόμενος πανοραμικός ενδείκτης PPI (Plan Position Indicator), ο οποίος αποτελείται από μία καθοδική ενδεικτική λυχνία. Η ηλεκτρονική δέσμη της λυχνίας σαρώνει τη οθόνη ακτινικά, ξεκινώντας από το κέντρο τη στιγμή που εκπέμπεται ο παλμός. Αυτό σημαίνει, ότι η θέση του φορέα του ραντάρ αντιστοιχεί στο κέντρο της κυκλικής οθόνης του ενδείκτη PPI. Κάθε ανάκλαση του παλμού εκπομπής από κάποιο εμπόδιο (στόχο), εμφανίζεται ως φωτεινό στίγμα (video) πάνω στη φωσφορίζουσα οθόνη.

Η απόσταση του στόχου από το ραντάρ είναι ανάλογη με την απόσταση του φωτεινού στίγματος από το κέντρο της οθόνης.

Η εκτροπή της ηλεκτρονικής δέσμης, συνήθως εκτελείται από κάποια μαγνητικά πεδία κατάλληλα διατεταγμένων πηνίων (διάταξη yoke). Σε ορισμένους άλλους τύπους ενδείκτων, η εκτροπή μπορεί να εκτελείται με τη βοήθεια κάποιων εσωτερικών ηλεκτροστατικών πλακών οριζόντιας και κατακόρυφης απόκλισης.

Μία **γεννήτρια βάσης χρόνου (time base generator)** ή **γεννήτρια σάρωσης (sweep generator)**, παράγει το κατάλληλο πριονωτό σήμα, το οποίο κατά τη στιγμή της εκπομπής του παλμού, αρχίζει να εκτρέπει την ηλεκτρονική δέσμη, της λυχνίας από το κέντρο προς την περιφέρεια, ισοταχώς. Στο τέλος της ακτινικής σάρωσης, η δέσμη επανέρχεται ταχύτατα στο κέντρο της ενδεικτικής οθόνης.

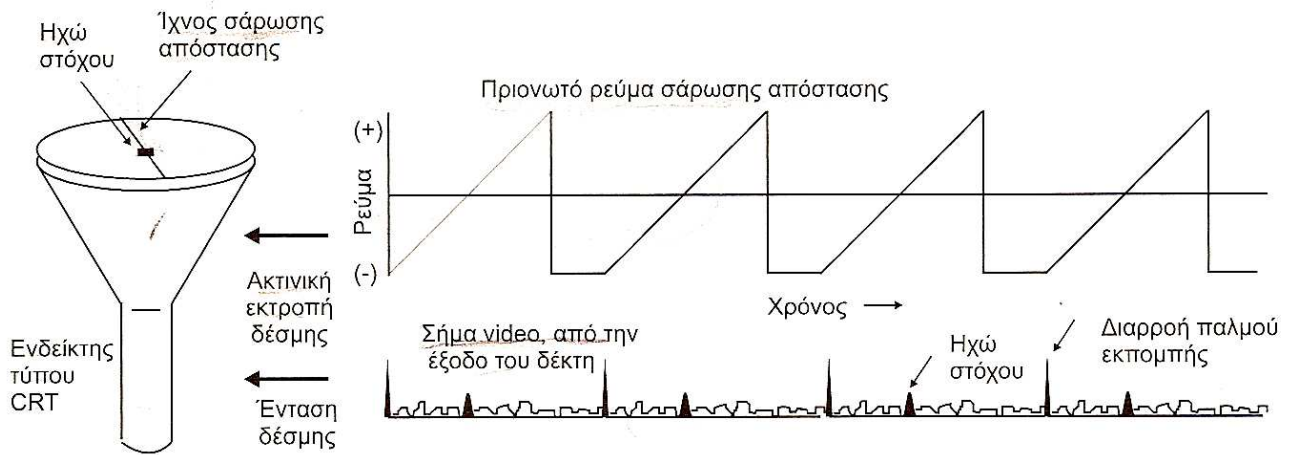
Ταυτόχρονα, η ακτίνα που διαγράφει η ηλεκτρονική δέσμη, στρέφεται και παρακολουθεί με ακρίβεια την περιστροφική κίνηση της κεραίας του ραντάρ. Η περιφέρεια του ενδείκτη είναι βαθμονομημένη σε γωνιακές μονάδες (μοίρες) του αζιμουθιακού κύκλου, οι οποίες αντιστοιχούν στη σάρωση της κεραίας. Η θέση στην οποία κάθε φορά βρίσκεται το φωτεινό σήμα μέσα στον ενδείκτη, δείχνει την αζιμουθιακή γωνία, πάνω στην οποία βρίσκεται ο στόχος (διόπτρευση στόχου).

Η σάρωση όπως περιγράφηκε προηγουμένως, αρχίζει ακριβώς από το κέντρο της οθόνης και καλύπτει ολόκληρη την περιφέρεια 360°. Μπορούμε επίσης, να έχουμε απεικόνιση με την αρχή της σάρωσης εκτός κέντρου οθόνης (offset PPI), ή να έχουμε απεικόνιση γωνιακού τομέα (sector PPI). Η τελευταία μέθοδος, κατά την οποία η αρχή της σάρωσης βρίσκεται επί της περιφέρειας της οθόνης, συνήθως εφαρμόζεται στα ραντάρ των αεροσκαφών.

Για την λειτουργία του ενδείκτη PPI, απαιτείται ένα κατάλληλο σύστημα πηνίων εκτροπής της δέσμης, το οποίο λειτουργεί σε συγχρονισμό με τη σάρωση της κεραίας, μέσω κάποιου **συστήματος συγχρομετάδοσης (synchro transmission)**.

Αυτό, επιτυγχάνεται, είτε (α) με την παλαιότερη τεχνική της μηχανικής περιστροφής ενός πηνίου, το οποίο διαρρέεται από πριονωτό ρεύμα, γύρω από τον εξωτερικό λαιμό της λυχνίας του ενδείκτη,

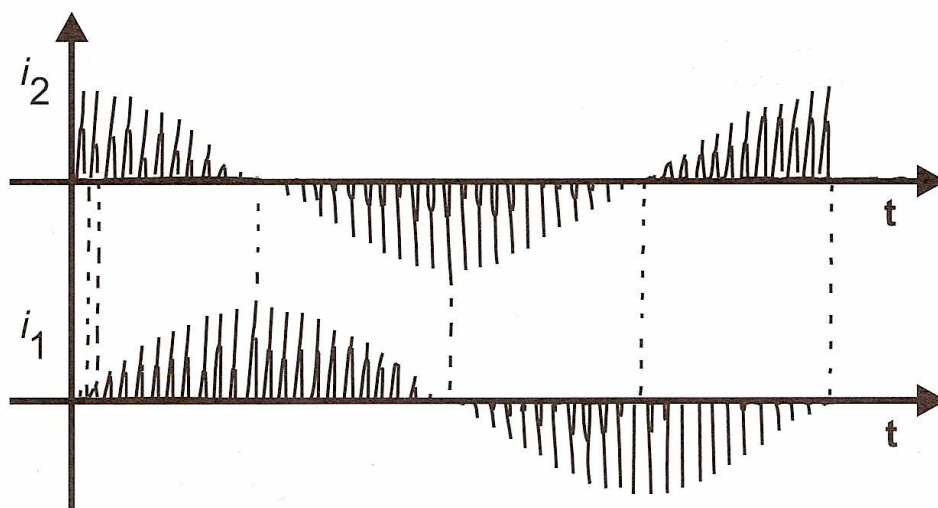
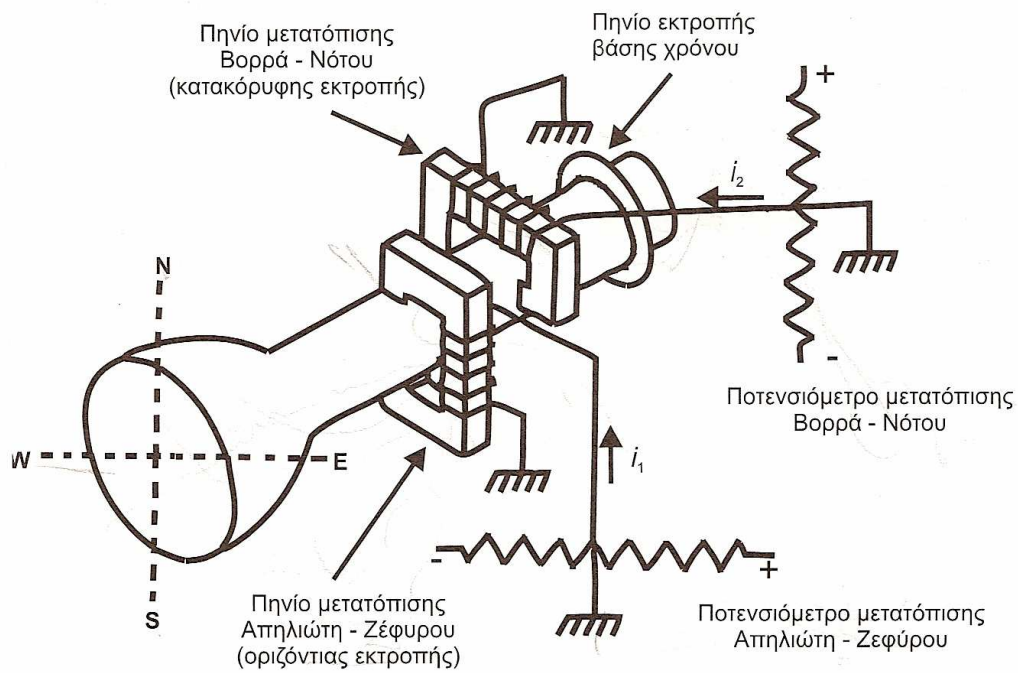
είτε (β) με τη νεότερη τεχνική των δύο σταθερών και κάθετων μεταξύ τους πηνίων εκτροπής τοποθετημένων εξωτερικά στο λαιμό της καθοδικής λυχνίας, τα οποία διαρρέονται από κατάλληλα μεταβαλλόμενα ρεύματα σε μέτρο και φορά. Τα πηνία αυτά, είναι υπεύθυνα για την οριζόντια (Απηλιώτης - Ζέφυρος) και κατακόρυφη εκτροπή (Βορράς - Νότος) της ηλεκτρονικής δέσμης. Τα μεταβαλλόμενου πλάτους και φοράς πριονωτά ρεύματα διέγερσης των πηνίων, έχουν περίοδο ανάλογη με τα σήματα του συγχρονιστή της συσκευής (**σχ. 5.6.2.8.2**). Άλλοι τύποι ενδείκτων είναι το **A-scope** (απεικονίζει το πλάτος του σήματος επιστροφής ως προς την απόσταση / χρόνο), το **B-scope** (απεικονίζει την απόσταση και διόπτρευση του στόχου σε ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων) και το **C-scope** (απεικονίζει τη γωνία ύψωσης σε συνάρτηση με τη διόπτρευση του στόχου). Στα μοντέρνα συστήματα ραντάρ, χρησιμοποιούνται ολοκληρωμένες διατάξεις μικροϋπολογιστών, στις οθόνες των οποίων απεικονίζεται η συνθετική εικόνα και όχι τα σήματα video των στόχων (**synthetic video display**) **σχήμα 5.6.2.8.3**).



(α)

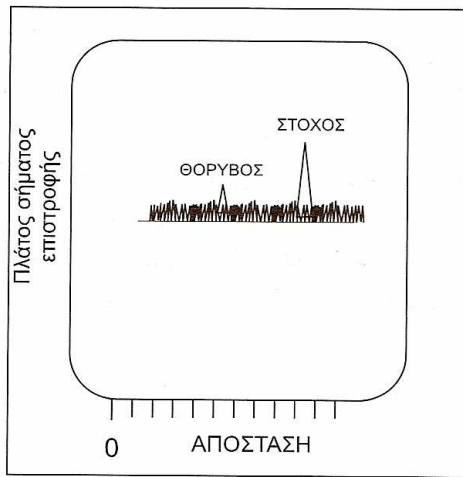
Αρχή λειτουργίας ενδείκτη απεικόνισης PPI. **(α)** Πριονωτό ρεύμα για την ακτινική σάρωση της δέσμης (*offset PPI*), στην περίπτωση ενός μηχανικά περιστρεφόμενου πηνίου εκτροπής.

Σχήμα 5.6.2.8

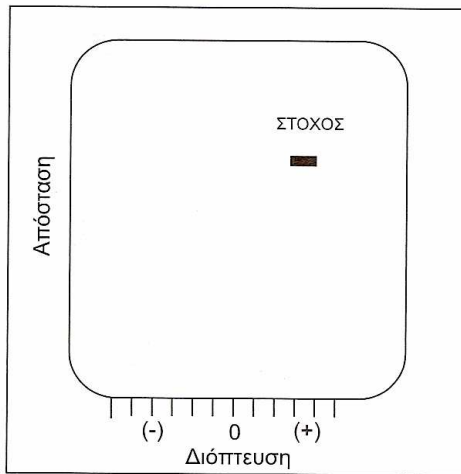


(θ) Διάταξη σταθερών πηνίων κατακόρυφης και οριζόντιας εκτροπής της ηλεκτρονικής δέσμης (yoke), στο λαιμό της καθοδικής λυχνίας του ενδείκτη, και τα αντίστοιχα ρεύματα διέγερσης αυτών.

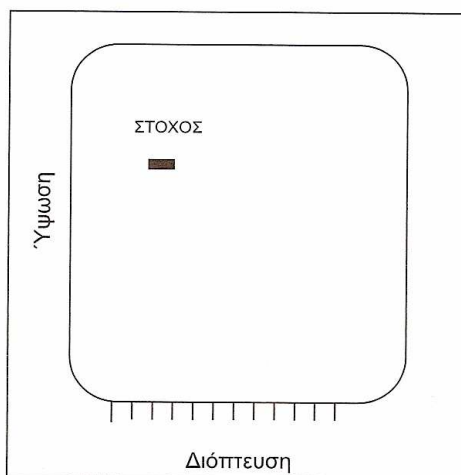
Σχήμα 5.6.2.8.2



Ενδείκτης τύπου Α



Ενδείκτης τύπου Β



Ενδείκτης τύπου C

Ενδείκτες απεικόνισης τύπων Α, Β και C.

Σχήμα 5.6.2.8.3

5.7

Ηλεκτρονικός πόλεμος

Με τον όρο ηλεκτρονικό πόλεμο εννοούμε την εκμετάλλευση του φάσματος των ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών του εχθρού. Που σκοπό έχει αφ'ενός την συλλογή πληροφοριών που αφορούν προθέσεις, δυνατότητες και τακτικές και αφ'ετέρου την παρεμπόδιση της ομαλής λειτουργίας των ηλεκτρονικών συσκευών. Με άλλα λόγια, ο ηλεκτρονικός πόλεμος περιλαμβάνει το σύνολο των μεθόδων που αποσκοπούν στον περιορισμό της αποτελεσματικής χρησιμοποίησης του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από τον αντίπαλο (σχ.5.7). Ο ηλεκτρονικός πόλεμος διακρίνεται στις ακόλουθες τρεις επί μέρους κατηγορίες:

- α. Τα ηλεκτρονικά μέτρα υποστήριξης (Electronic Support Measures, ECM)
- β. Τα ηλεκτρονικά αντίμετρα (Electronic Counter Measures, ESM)
- γ. Τα ηλεκτρονικά αντι-αντίμετρα (Electronic Counter – Counter Measures, ECCM)

Σκοπός των ηλεκτρονικών μέτρων υποστήριξης (ESM), είναι ο εντοπισμός και η υποκλοπή των εκπομπών ραντάρ του εχθρού, για περαιτέρω καταγραφή και ανάλυση των βασικών παραμέτρων, όπως η συχνότητα εκπομπής, το εύρος παλμού, η συχνότητα επανάληψης παλμών, ο ρυθμός περιστροφής της κεραίας, κτλ. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η αναγνώριση του συγκεκριμένου τύπου ραντάρ και κατ' επέκταση η ανάληψη των απαραίτητων εκείνων ενεργειών, ανάλογα με την προτεραιότητα της απειλής (πχ η υποκλοπή εκπομπής ραντάρ, διεύθυνση βολής πυροβολικού, συνήθως απαιτεί και γρήγορες αντιδράσεις απ' ότι η υποκλοπή ενός κοινού ραντάρ ναυτιλίας.

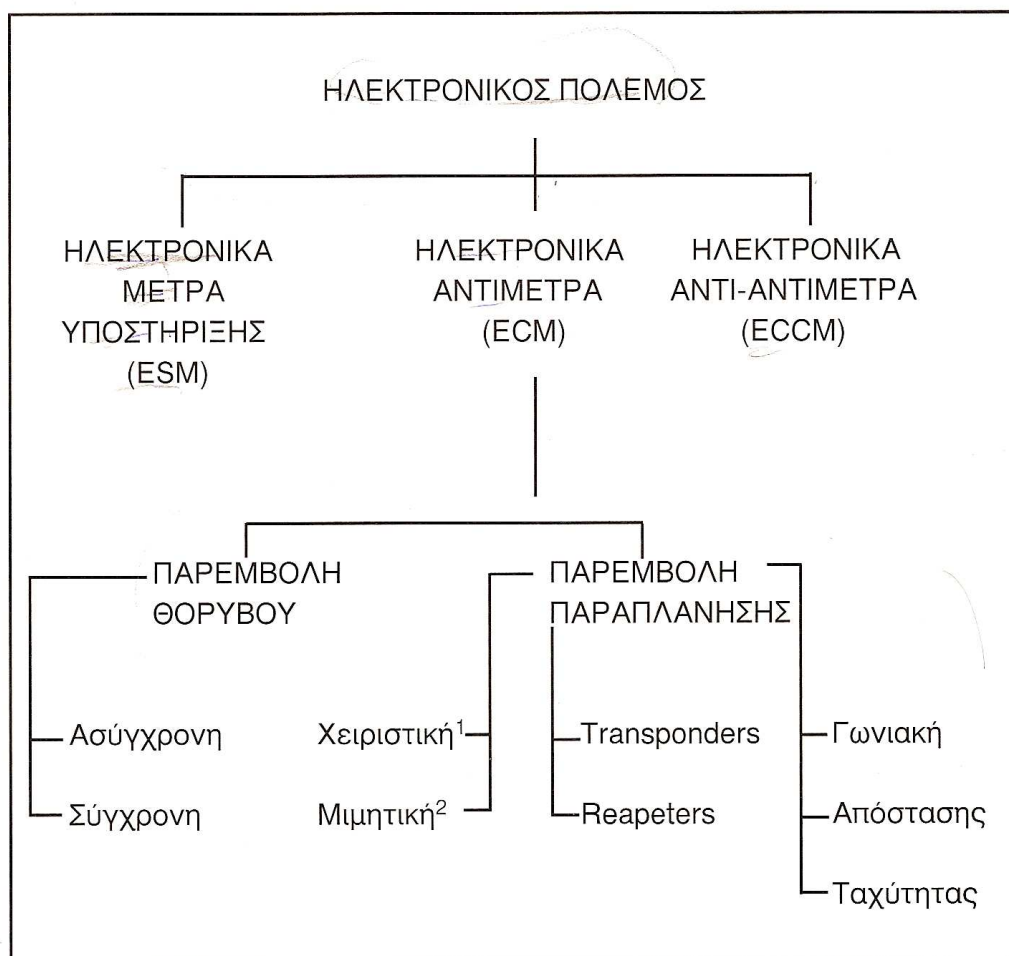
Σκοπός των ηλεκτρονικών αντίμετρων (ECM) είναι η αποστέρωση της ομαλής λειτουργίας και αποτελεσματικής λειτουργίας των εχθρικών συστημάτων ραντάρ, η οποία επιτυγχάνεται με ειδικές τεχνικές και μεθόδους παρεμβολής, ανάλογα με την φιλοσοφία κατασκευής του κάθε τύπου ραντάρ. Η παρεμβολή αυτή, υποδιαιρείται περαιτέρω σε παρεμβολή θορύβου και παρεμβολή παραπλάνησης. Με την παρεμβολή θορύβου αυξάνεται το επίπεδο θορύβου στο δέκτη του εχθρικού ραντάρ, με αποτέλεσμα το ίχνος του στόχου να καλύπτεται από ισχυρά παράσιτα.

Με την παρεμβολή παραπλάνησης επιχειρείται τόσο η εισαγωγή εσφαλμένων στοιχείων στο εχθρικό ραντάρ, σχετικά με τις συντεταγμένες και τα στοιχεία κίνησης της φίλιας μονάδας, όσο και η δημιουργία ψευδοστόχων με σκοπό την σύγχυση του εχθρού.

Τέλος, τα ηλεκτρονικά αντί-αντίμετρα (ECCM) αποτελούν τεχνικές ή συστήματα με τα οποία επιχειρείται η αποφυγή της αποτελεσματικής χρησιμοποίησης των ηλεκτρονικών αντίμετρων, από την πλευρά του εχθρού. Στοχεύουν στην εναλλαγή / μεταβολή των παραμέτρων λειτουργίας του φίλιου ραντάρ, έτσι ώστε να μην είναι δυνατή η βέλτιστη χρησιμοποίηση των εχθρικών συστημάτων παρεμβολής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρονικού πολέμου είναι ολοκληρωμένα, συνδυάζοντας ταυτόχρονα τις λειτουργίες υποκλοπών και παρεμβολών.

Μία τυπική μορφή δένδρου ηλεκτρονικού πολέμου



Σχήμα 5.7

5.7.1

Ηλεκτρονικά μέτρα υποστήριξης (ESM)

Τα συστήματα ESM χρησιμοποιούνται στην έρευνα, υποκλοπή, καταγραφή, εντοπισμό θέσης, ανάλυση και αναγνώριση της ταυτότητας των εχθρικών ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών. Οι πληροφορίες αυτές, υποστηρίζουν τις φίλιες επιχειρήσεις και είναι χρήσιμες για τους χειριστές των φίλιων συστημάτων ραντάρ, καθώς και για τα φίλια κέντρα αποφάσεων.

Τα συστήματα δέκτες ESM διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

(1) δέκτες έγκαιρης προειδοποίησης άμεσης απειλής (Radar Warning Receivers – RAWER), οι οποίοι λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο για την αυτοπροστασία του φορέα (αεροσκάφος, πλοίο, υποβρύχιο). Σκοπό έχουν την έγκαιρη προειδοποίηση εγκλωβισμού από κάποιο εχθρικό ραντάρ άμεσης απειλής προκειμένου να ληφθούν άμεσα τα κατάλληλα μέτρα, στο ταχύτερο δυνατό χρόνο. Συνήθως, οι δέκτες RWR είναι μικρού μεγέθους, χαμηλού κόστους, ευρείας μπάνας συχνοτήτων (wideband), υψηλής πιθανότητας εντοπισμού και σχετικά χαμηλής ευαισθησίας. Για τους λόγους αυτούς, οι δέκτες αυτοί φέρονται κυρίως από μαχητικά αεροσκάφη.

(2) δέκτες επιτήρησης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την υποκλοπή, συλλογή, ανάλυση, προσδιορισμό θέσης και ταυτότητας αναγνώρισης των εχθρικών εκπομπών, με σκοπό την αντιμετώπιση της απειλής με διάφορα μέσα, την κατάλληλη χρονική στιγμή. Οι δέκτες αυτοί, είναι ογκωδέστεροι και συνήθως φέρονται από πολεμικά πλοία, υποβρύχια, ναυτικά ελικόπτερα.

Η ηλεκτρονική αναγνώριση (Electronic Reconnaissance – ER) αποτελεί τη διαδικασία συγκέντρωσης συλλογής όλων των απαιτούμενων πληροφοριών (SIGINT – Signal INTelligence), και στην συνέχεια ορθή ανάλυση και αναγνώριση των εχθρικών ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών.

Διακρίνεται σε δυο κύρια τμήματα:

(1) **ELINT** (Electronic INTelligence), είναι οι πληροφορίες που αποκτώνται από την υποκλοπή εκπομπών συστημάτων ραντάρ, ναυτιλιακών βοηθημάτων, εκτός από συσκευές συνεννοήσεις.

(2) **COMINT** (Communication INTelligence) είναι οι πληροφορίες που αποκτούνται από την υποκλοπή εκπομπών συσκευών συνεννόησης (επικοινωνιών). Όλες οι συλλεγόμενες πληροφορίες από τους δέκτες επιτήρησης,

συγκεντρώνονται σε ειδικούς σταθμούς πληροφοριών (Electronic Order of Battle – EOB).

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότεροι δέκτες ESM είναι βελτιστοποιημένοι για την λήψη παλμικών σημάτων ραντάρ, και πολύ λιγότερο για την λήψη σημάτων CW, συμπιεσμένων παλμών ή σημάτων μορφής θορύβου.

5.7.2

Χαρακτηριστικά δεκτών ESM

Ένας δέκτης ESM, θα πρέπει να εκτελεί με επιτυχία τις ακόλουθες σημαντικές λειτουργίες:

(1) Έρευνα με υψηλή πιθανότητα εντοπισμού υποκλοπών και ταχεία μέτρηση σημάτων, οποιασδήποτε συχνότητας και από οποιαδήποτε διόπτευση (διεύθυνση).

(2) Καθορισμός τύπου διαμόρφωσης και χρησίμων χαρακτηριστικών υποκλαπέντος σήματος.

(3) Αναγνώριση υποκλαπέντος σήματος και αντίστοιχου φορέα / πλατφόρμας

Για την πλήρη επίτευξη των ανωτέρω λειτουργιών, στην ι τα απαιτούνται πολλές κεραιές λήψης και πολλοί δέκτες.

Οι βασικές απαιτήσεις και παράμετροι λειτουργίας μίας συσκευής ESM, είναι οι ακόλουθες:

(1) Ακρίβεια διόπτευσης (DF accuracy)

Η ακρίβεια διόπτευσης σε μοίρες (rms) ενός συστήματος ESM, παρέχεται πειραματικά από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Ακρίβεια διόπτευσης (rms τιμή)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\text{σφάλμα διόπτευσης})^2}{N}}$$

όπου, N το πλήθος των μετρήσεων

Για την εξαγωγή της διόπτευσης του λαμβανόμενου σήματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε η τεχνική της σύγκρισης πλάτους, είτε η τεχνική της σύγκρισης φάσης.

Τα συστήματα *σύγκρισης πλάτους* - (*amplitude comparison*) παρουσιάζουν σχετικά υψηλότερη ευαισθησία, αλλά χειρότερη ακρίβεια διοπτεύσεων (τυπικές τιμές $+3^\circ$ έως $\pm 10^\circ$ rms). Την τεχνική αυτή, εφαρμόζουν τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης άμεσης απειλής (PWR).

Τα συστήματα *σύγκρισης φάσης* (*phase interferometer DF*) παρουσιάζουν σχετικά χαμηλότερη ευαισθησία, αλλά μεγαλύτερη ακρίβεια διοπτεύσεων (τυπικές τιμές $+0.1^\circ$ έως $+3^\circ$ rms). Την τεχνική αυτή, εφαρμόζουν οι δέκτες επιτήρησης.

(2) Εύρος μέτρησης συχνοτήτων (*frequency range / coverage*)

Συνήθως κυμαίνεται από 0.2-έως 18 GHz, σπανίως περισσότερο (έως και 35 GHz). Το εύρος αυτό, λόγω της πολύ μεγάλης έκτασης που καλύπτει, διαμοιράζεται σε περισσότερους του ενός διαφορετικούς δέκτες (έως και 5).

(3) Ακρίβεια μέτρησης συχνοτήτων (*frequency accuracy / resolution*)

Μετράται σε MHz, πχ ± 1 έως ± 5 MHz (rms) ή σε ποσοστιαία τιμή, ανάλογα με τη συχνότητα λήψης και τον, τύπο του δέκτη. Συνήθως, η ακρίβεια χειροτερεύει σε μεγαλύτερες συχνότητες.

(4) Ευαισθησία (*sensitivity / gain*)

Εκφράζει την στάθμη (dBm) του ασθενέστερου λαμβανόμενου σήματος, ικανού να εντοπίσει η συσκευή. Μοντέρνες συσκευές διαθέτουν αρκετά υψηλή ευαισθησία, κυμαινόμενη από -60 έως και -90 dBm.

(5) Συχνότητα επανάληψης παλμών (*PRF*)

Η τιμή PRF των διαφόρων συστημάτων ραντάρ, κυμαίνεται από μερικά Hz έως και 100.000 Hz και μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια της τάξης του ± 1 Hz.

(6) Πυκνότητα παλμών (*pulse density*)

Αποτελεί το συνολικό αριθμό παλμών από διαφορετικά ραντάρ, τα οποία μπορεί να λάβει και να επεξεργαστεί ταυτόχρονα ένα σύστημα ESM. Μετράται σε παλμούς ανά δευτερόλεπτο (*pulse per second - pps*), πχ 1.000.000 pps.

(7) Μήκος /διάρκεια παλμού (*pulse width*)

Το μήκος παλμού των διαφόρων συστημάτων ραντάρ, κυμαίνεται από 0,1 έως 100 μ sec και μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια της τάξης των ± 0.02 έως $+ 0.1$ μ sec.

(8) Περίοδος περιστροφής κεραίας (*aerial scan period*)

Αποτελεί χαρακτηριστική παράμετρο αναγνώρισης για τα ραντάρ με περιστρεφόμενη κεραία, και λαμβάνει τιμές πχ από 0.1 έως 20 sec.

(9) Χρόνος αντίδρασης (reaction time)

Αποτελεί τα χρονικό διάστημα, από τη στιγμή της εισόδου του λαμβανόμενου σήματος στη συσκευή, μέχρι την απεικόνιση του στον ενδείκτη. Για τα μοντέρνα συστήματα ESM, ο χρόνος αντίδρασης κυμαίνεται περί το 1 sec.

5.7.3

Τεχνικές μέτρησης διόπτευσης

Οι δέκτες επιτήρησης υψηλής ευαισθησίας /κέρδους και χαμηλής πιθανότητας υποκλοπής, χρησιμοποιούν είτε μία απλή κατευθυντική κεραία διόπτευσης (*Direction Finding Antenna*), η οποία περιστρέφεται μέχρι τη διεύθυνση μεγιστοποίησης του πλάτους του λαμβανόμενου σήματος, είτε μία στοιχειοκεραία αποτελούμενη από δύο ή περισσότερα σταθερά στοιχεία. Στην τελευταία περίπτωση χρησιμοποιείται η τεχνική σύγκρισης φάσης (*phase comparison*). Οι κεραίες αυτές, επιτυγχάνουν μεγάλη ακρίβεια μέτρησης διόπτευσης (λιγότερο από $\pm 3^\circ$ rms), και εμφανίζουν σχετική αναισθησία στα multipath (πολλαπλή διάδοση).

Οι δέκτες έγκαιρης προειδοποίησης άμεσης απειλής (PWR), χρησιμοποιούν πολλαπλή κεραία περιφερειακής κάλυψης (*Omni directional Antenna*), πχ 4, 6 ή 8 σταθερών και ισαπεχόντων μεταξύ τους στοιχείων, καθένα από τα οποία διαθέτει το δικό του ανεξάρτητο δέκτη. Η μέτρηση της διόπτευσης επιτυγχάνεται μέσω σύγκρισης πλάτους (*amplitude comparison*) των σημάτων των κεραιών αυτών. Η μέθοδος αυτή, χαρακτηρίζεται από χαμηλότερο κόστος υλοποίησης και πολυπλοκότητα. Οι κεραίες αυτές, επιτυγχάνουν υψηλή πιθανότητα υποκλοπής και περιορισμένη ακρίβεια μέτρησης διόπτευσης, έως και $\pm 10^\circ$ rms. Επίσης, διαθέτουν σχετικά χαμηλότερο κέρδος /ευαισθησία (τα *multipaths* μπορεί να προκαλέσουν μεγάλα σφάλματα διόπτευσης).

5.7.4

Κεραίες δεκτών ESM

Η συνήθης απαίτηση των κεραιών δεκτών ESM, είναι η υψηλή πιθανότητα υποκλοπής / προειδοποίησης. Αυτό, επιτυγχάνεται με τις ακόλουθες τεχνικές προδιαγραφές:

(1) Περιφερειακή κάλυψη 360°, η οποία επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση πολλαπλής κεραίας σταθερών στοιχείων με αλληλοκαλυπτόμενους λοβούς λήψης, είτε με μία ταχέως περιστρεφόμενη κατευθυντική κεραία (200 έως 300 rpm).

(2) Μεγάλο εύρος λήψης συχνοτήτων.

(3) Λήψη σημάτων άγνωστης πόλωσης, πχ με τη χρήση στοιχείων κεκλιμένων υπό γωνία 45° ή ζευγών στοιχείων κατακόρυφης και οριζόντιας πόλωσης.

Η μορφή των κεραιών υψηλής πιθανότητας υποκλοπής, μπορεί να είναι **κωνική (HORN)** με γέμιση κάποιου συνθετικού υλικού για αυξημένο εύρος συχνοτήτων, σπειροειδής (spiral) ή λογαριθμοπεριοδική (logperiodic).

5.7.5

Τύποι δεκτών ESM

Οι συνηθέστεροι τύποι δεκτών ESM, οι οποίοι διακρίνονται κυρίως από την τεχνική που εφαρμόζουν για τη μέτρηση της συχνότητας, είναι οι ακόλουθοι:

(1) Δέκτης φώρασης video ή κρυσταλλικός δέκτης (CVR – CRYSTAL VIDEO RECEIVER). Αποτελεί τον απλούστερο τύπο, χαμηλότερου κόστους και μεγέθους μικροκυματικό δέκτη, απευθείας εντοπισμού (direct detection) (σχ. 5.7.5).

Χρησιμοποιεί μία ημιαγωγό δίοδο φωρατή (crystal diode), για την ανάδειξη του πλάτους και την απόρριψη της πληροφορίας φάσης και συχνότητας καθώς και έναν ενισχυτή video. Όλα αυτά, περιέχονται μέσα στο συγκρότημα της κεραίας της συσκευής. Ο δέκτης αυτός, διαθέτει μεγάλο εύρος **λήψης** συχνοτήτων (wideband), υψηλή πιθανότητα εντοπισμού υποκλοπής, αλλά χαμηλή ευαισθησία (-45 έως -50 dBm στην καλύτερη περίπτωση) και *καμία δυνατότητα μέτρησης συχνότητας*.

Με τη χρήση ενός *πολυπλέκτη συχνοτήτων*, και πολλών μεταξύ τους παράλληλων δεκτών τέτοιου τύπου, είναι δυνατό να διαχωριστεί το φάσμα του εισερχόμενου σήματος σε κάποιες σχετικά λιγότερο ευρείες ζώνες συχνοτήτων.

Μία άλλη παραλλαγή, χρησιμοποιεί ένα συντονισμένο φίλτρο RF (πχ YIG), το οποίο ενεργεί ως ζωνοπερατό φίλτρο στενού εύρους συχνοτήτων, ακολουθούμενο από έναν και μοναδικό δέκτη CVR.

Βασικό μειονέκτημα του συστήματος, αποτελεί ο εύκολος κορεσμός του κάτω από πυκνό ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον (αλληλοκάλυψη των λαμβανόμενων σημάτων).

(2) Δέκτης σάρωσης συχνότητας video(Scanning Video Receiver).

Αποτελεί το ισοδύναμο ενός στενού εύρους δέκτη crystal video, ο οποίος διαθέτει δυνατότητα μέτρησης συχνότητας του σήματος, με αυτόματη σάρωση συχνότητας. Το λαμβανόμενο σήμα διέρχεται μέσω κάποιου ελάχιστων απωλειών φίλτρου YIG (Yttrium Iron Garnet),⁴ το οποίο επιτρέπει τη διέλευση των συχνοτήτων ανάλογα με το εξωτερικά εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο. Επομένως, αποτελεί μέθοδο στενού εύρους συχνοτήτων (narrowband), κατά την οποία ολόκληρο το εύρος συχνοτήτων της συσκευής σαρώνεται με μεγάλη ταχύτητα, οπότε κάθε λαμβανόμενη συχνότητα που ανιχνεύεται οδηγείται ανάλογα στον ενδείκτη απεικόνισης.

(3) Δέκτης άμεσης μέτρησης συχνότητας (FM Instantaneous Frequency Measurement receiver).

Αποτελεί μικροκυματικό δέκτη απευθείας εντοπισμού (direct detection). Χρησιμοποιεί κεραία περιφερειακής κάλυψης και κάποιο διευκρινιστή συχνότητας (frequency discriminator), ο οποίος εξάγει τη συχνότητα του εισερχόμενου σήματος RF, από τη μέτρηση της γωνίας φάσης μεταξύ του σήματος και μίας χρονικά καθυστερημένης μορφής του. Για την επίτευξη της επιθυμητής ανάλυσης της μετρούμενης συχνότητας συνήθως χρησιμοποιείται μία τράπεζα παράλληλων διευκρινιστών συχνότητας, οι οποίοι λειτουργούν με διαφορετική χρονική καθυστέρηση ο καθένας.

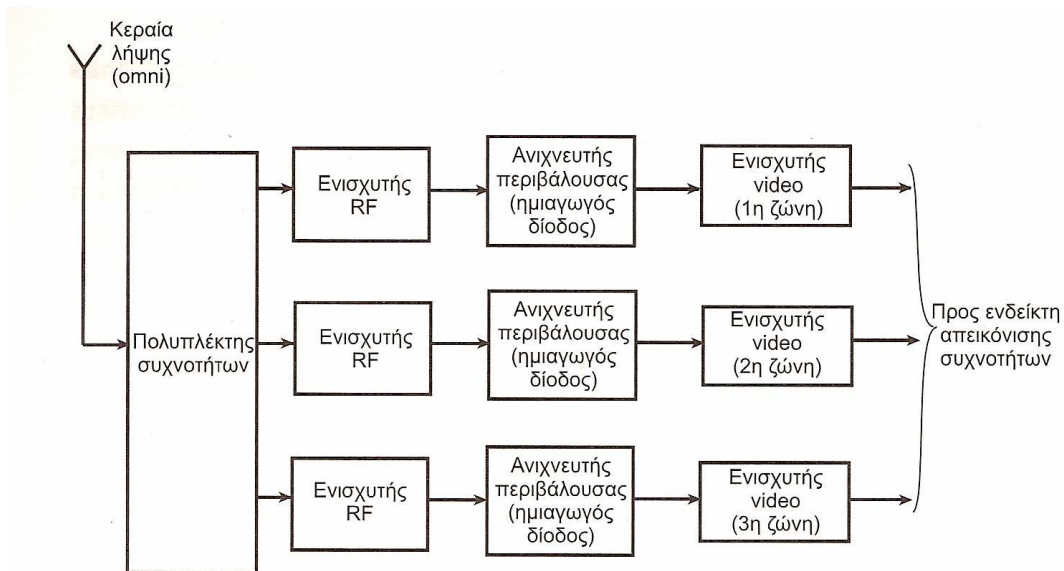
Αποτελεί μέθοδο σχετικά μεγάλου εύρους λήψης συχνοτήτων (wideband), υψηλής πιθανότητας υποκλοπής, χαμηλής ευαισθησίας, η οποία επιτυγχάνει άμεση μέτρηση συχνότητας ακρίβειας μερικών MHz, χωρίς όμως δυνατότητα μέτρησης διόπτευσης. Οι δέκτες αυτοί, είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι στον εντοπισμό και απεικόνιση ραντάρ που εφαρμόζουν frequency agility και τεχνικές συμπίεσης παλμών.

Οι ψηφιακοί δέκτες IFM γνωστοί ως DIFM (Digital IFM) έχουν πλέον αντικαταστήσει τους παλαιότερους αναλογικούς δέκτες, των οποίων η λειτουργία περιγράφηκε προηγουμένως. Στους DIFM, η μετρούμενη τιμή συχνότητας παρέχεται μέσω κάποιας ψηφιακής λέξης.

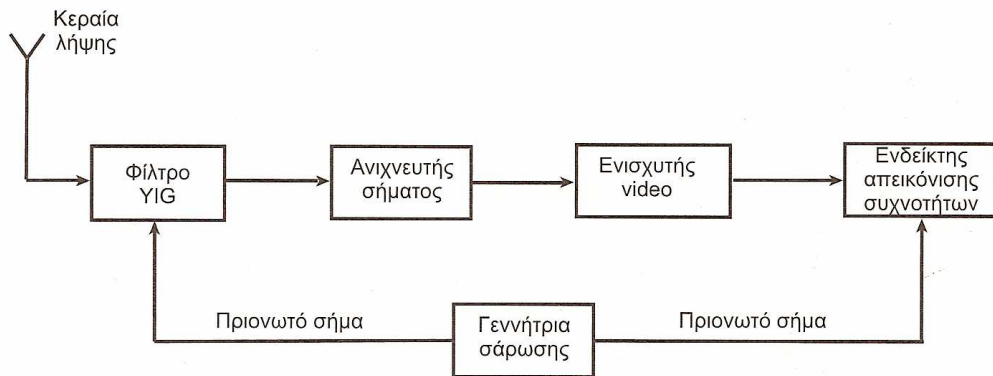
(4) Υπερετερόδυνος δέκτης χειροκίνητου συντονισμού, στενού εύρους συχνοτήτων (*Manually Tuned Superhet Receiver*).

Επιτυγχάνει υψηλή ευαισθησία και καλή ανάλυση συχνότητας (επιλεκτικότητα), με τη χρήση στενού εύρους συχνοτήτων (narrowband) ενισχυτών IF, αλλά διαθέτει χαμηλή πιθανότητα υποκλοπής, αφού η σάρωση του εύρους λήψης συχνοτήτων της συσκευής, εκτελείται χειροκίνητα από το χειριστή. Η μέγιστη απόδοση επιτυγχάνεται, όταν η διαφορά συχνοτήτων μεταξύ του λαμβανόμενου σήματος και του σήματος του τοπικού ταλαντωτή, ισούται με το εύρος διέλευσης του σταδίου IF.

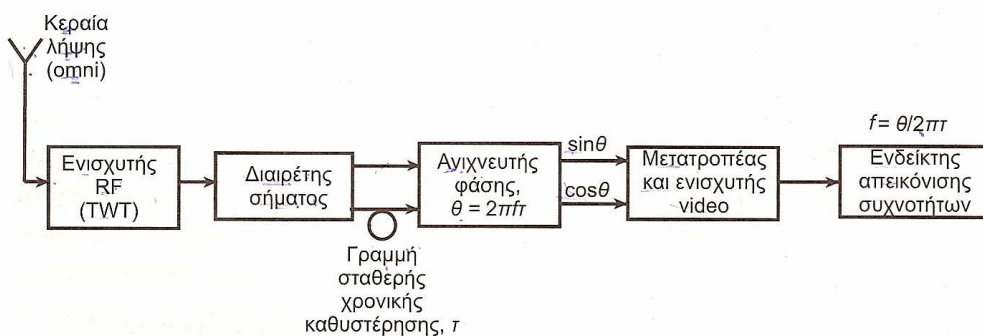
(5) Υπερετερόδυνος δέκτης σάρωσης συχνότητας, στενού εύρους (*Scanning Superhet Receiver*). Αποτελεί βελτίωση του προηγούμενου τύπου, προκειμένου να επιτυγχάνεται υψηλή ταχύτητα ηλεκτρονικής σάρωσης της μπάντας της συσκευής (παρέχει μεγαλύτερη πιθανότητα εντοπισμού από τον προηγούμενο τύπο). Η σάρωση εκτελείται αυτόματα, πχ με τη χρήση ενός YIG ελεγχόμενου ταλαντωτή. Όσο μεγαλύτερη όμως είναι η ταχύτητα σάρωσης, τόσο μειώνεται η ευαισθησία και η ανάλυση συχνότητας της συσκευής. Η τυπική τιμή του εύρους ενδιάμεσης συχνότητας κυμαίνεται από 20 έως 60 MHz. Μερικές φορές, χρησιμοποιούνται φίλτρα YIG ευρύτερης μπάντας διέλευσης (100 έως 200 MHz), για τη μείωση του χρόνου έρευνας.



Δέκτης φώρασης video (CVR), με πολυπλέκτη συχνοτήτων.



Δέκτης σάρωσης συχνότητας video.



Δέκτης άμεσης μέτρησης συχνότητας (IFM).

Σχήμα 5.7.5

5.7.6

(6) Πολυκάναλος δέκτης (Channelized Superhet Receiver).

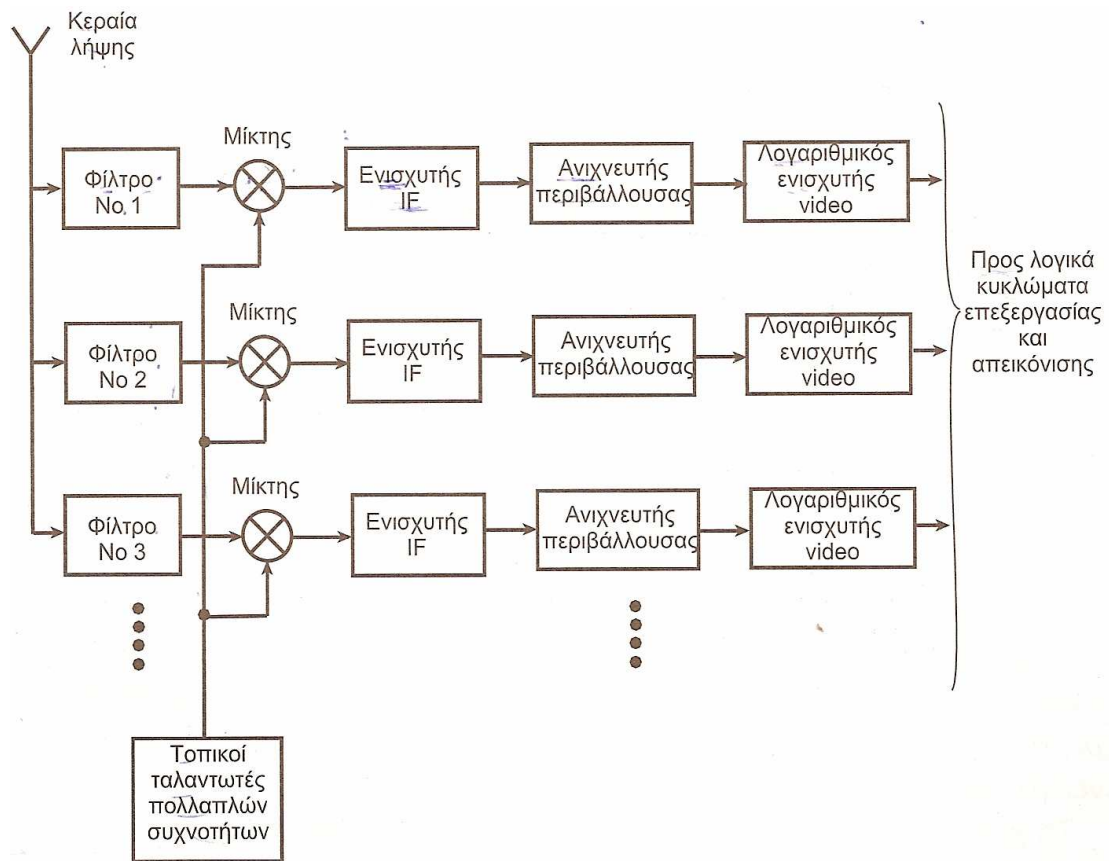
Συνδυάζει την υψηλή πιθανότητα ,υποκλοπής ενός δέκτη IFM και ταυτόχρονα την εξαιρετικά υψηλή ευαισθησία ενός υπερετερόδунου δέκτη (πχ - 85 dBm). Αποτελεί μία από τις καλύτερες λύσεις για ηλεκτρομαγνητικά κορεσμένα περιβάλλοντα. Η παρεχόμενη ανάλυση συχνότητας, εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο αριθμό καναλιών (όσο περισσότερα κανάλια τόσο πιο βελτιωμένη ανάλυση).

Ο πολυκάναλος δέκτης υπάρχει σε διάφορες εκδόσεις, πχ ο *γνήσιος πολυκάναλος δέκτης*, ο οποίος χρησιμοποιεί κάποια τράπεζα παράλληλων φίλτρων που συνολικά καλύπτουν ολόκληρο το εύρος ζώνης συχνοτήτων λειτουργίας της συσκευής, ο *δέκτης αναδίπλωσης ζωνών*, ο οποίος αναδιπλώνει έναν αριθμό ζωνών σε μία κοινή υπομπάντα και ο *δέκτης διαίρεσης χρόνου*, ο οποίος επιλέγει διακοπτικά μόνο εκείνα τα κανάλια που είναι ενεργά μέσα σε μία κοινή υπομπάντα.

Τα χρησιμοποιούμενα φίλτρα μπορεί να είναι τα ηλεκτρομηχανικά φίλτρα τύπου *επιφανειακού ακουστικού κύματος (Surface Acoustic Wave SAW)*. Τα φίλτρα αυτά, έχουν ευρεία διάδοση σε πολλές εφαρμογές , αφού είναι σχετικά μικρά σε φυσικό μέγεθος, δεν απαιτούν συντονισμό και προσαρμόζονται εύκολα στα διάφορα κυκλώματα (ένας τυπικός πολυκάναλος δέκτης μπορεί να διαθέτει 100 έως 200 τέτοια φίλτρα, ή ακόμη και περισσότερα).

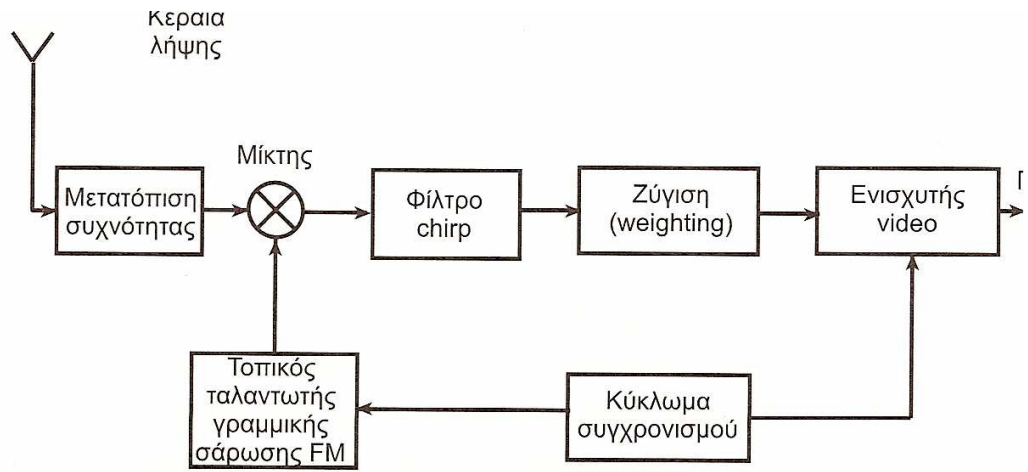
Ένα φίλτρο SAW, υλοποιείται από μία γυαλισμένη κρυσταλλική επιφάνεια (χαλαζίας, κτλ), πάνω στην οποία διαδίδεται ένα υψηλής συχνότητας ακουστικό κύμα, με μικρές απώλειες. Η ταχύτητα του επιφανειακού κύματος, κυμαίνεται από 1500 έως 4000 msec, ανάλογα με το υλικό του κρυστάλλου. Οι ιδιότητες του φίλτρου, επιτυγχάνονται μέσω της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας του σήματος σε ακουστική, και το με τη βοήθεια του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου. Τα ηλεκτρόδια εισόδου και εξόδου, αποτελούν τους λεγόμενους μετατροπείς IDT (Inter Digital Transducers), από τη σχεδίαση των οποίων εξαρτάται και η κρουστική απόκριση του φίλτρου. Για μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, οι αποστάσεις μεταξύ των λωρίδων κάθε ηλεκτροδίου, θα πρέπει να ισούνται με το $\lambda/2$ του επιφανειακού ακουστικού κύματος.

Τα φίλτρα SAW, επιτυγχάνουν εύρος διέλευσης συχνοτήτων έως και 1GHz, και χρονική καθυστέρηση έως 200 μ sec (**σχ. 5.7.6**).

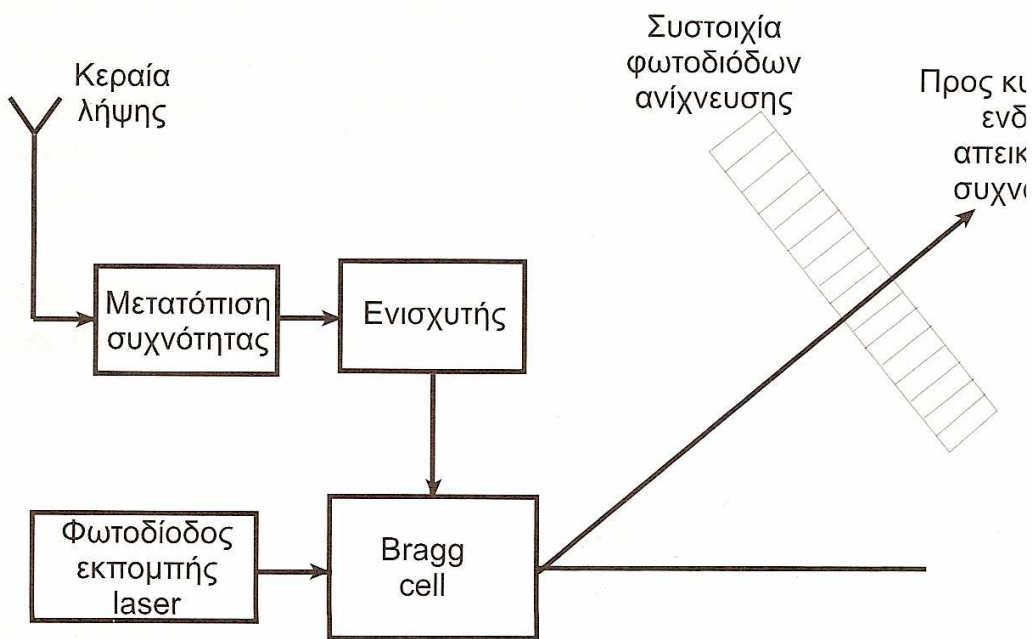


Γνήσιος πολυκάναλος δέκτης.

Σχήμα 5.7.6



Δέκτης συμπίεσης σήματος.



Δέκτης στοιχείου Bragg.

Σχήμα 5.7.7

5.7.7

(7) Δέκτης συμπίεσης σήματος (Compressive Receiver). (Σχ.5.7.7)

Αποτελεί ένα δέκτη κατάλληλο για χρήση σε ηλεκτρομαγνητικά κορεσμένα περιβάλλοντα. Μία κυματομορφή chirp, παράγεται από έναν τοπικό ταλαντωτή γραμμικής σάρωσης FM. Το σήμα αυτό, μιξάρεται /πολλαπλασιάζεται με το εισερχόμενο σήμα, έτσι ώστε κάθε συνιστώσα να μετατρέπεται σε ένα σήμα chirp, της ίδιας κλίσης, αλλά με συχνότητα έναρξης ίση με τη συχνότητα της κάθε συνιστώσας. Στη συνέχεια, η έξοδος του μикτή οδηγείται σε κάποιο φίλτρο chirp(γραμμή καθυστέρησης με διασπορά συχνοτήτων), το οποίο 'συμπιέζει', δηλαδή παράγει τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης. για όλα τα εισερχόμενα σήματα

chipr, μεταφέροντας κατάλληλα όλες τις αρχικές συνιστώσες του σήματος εισόδου.

Το φίλτρο αυτό, μπορεί να είναι κάποιο κατάλληλης σχεδίασης ηλεκτρομηχανικό φίλτρο, τύπου *επιφανειακού ακουστικού κύματος (Surface Acoustic Wave SAW)*. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να διαθέτει προοδευτικά μεταβαλλόμενες αποστάσεις μεταξύ των λωρίδων κάθε ηλεκτροδίου, υλοποιώντας με αυτόν τον τρόπο ένα φίλτρο, προσαρμοσμένο στην κυματομορφή chipr του τοπικού ταλαντωτή σάρωσης FM.

Τυπικές τιμές επιτυγχανόμενης ευαισθησίας, κυμαίνονται από -78 έως -92 dBm(οι καλύτερες τιμές αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα μήκη παλμών).

5.7.8

(8) Δέκτης στοιχείου Bragg (Bragg cell Receiver).

Αποτελεί δέκτη κατάλληλο για χρήση σε ηλεκτρομαγνητικά κορεσμένα περιβάλλοντα. Τυπική τιμή επιτυγχανόμενης ευαισθησίας είναι τα -60dBm. Οι λειτουργίες του δέκτη είναι παρεμφερείς με τον προηγούμενο τύπο, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιεί κάποιο οπτικο-ακουστικό φασματικό αναλυτή AOSA (Acoustic Optic Spectrum Analyzer) ή Bragg cell. Ο αναλυτής αυτός, εκτρέπει μία προσπίπτουσα δέσμη laser, ανάλογα με τη συχνότητα του εφαρμοζόμενου σε αυτόν σήματος. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια κάποιο φακού, η δέσμη εστιάζεται πάνω σε μία συστοιχία φωτοδιόδων ανίχνευσης. Η χωρική κατανομή του παραγόμενου σήματος κατά μήκος της συστοιχίας αυτής, παρέχει και το στιγμιαίο φασματικό περιεχόμενο του εισερχόμενου σήματος.

Βελτιωμένες εκδόσεις των τριών τελευταίων τύπων δεκτών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των ραντάρ χαμηλής πιθανότητας υποκλοπής (LPI).

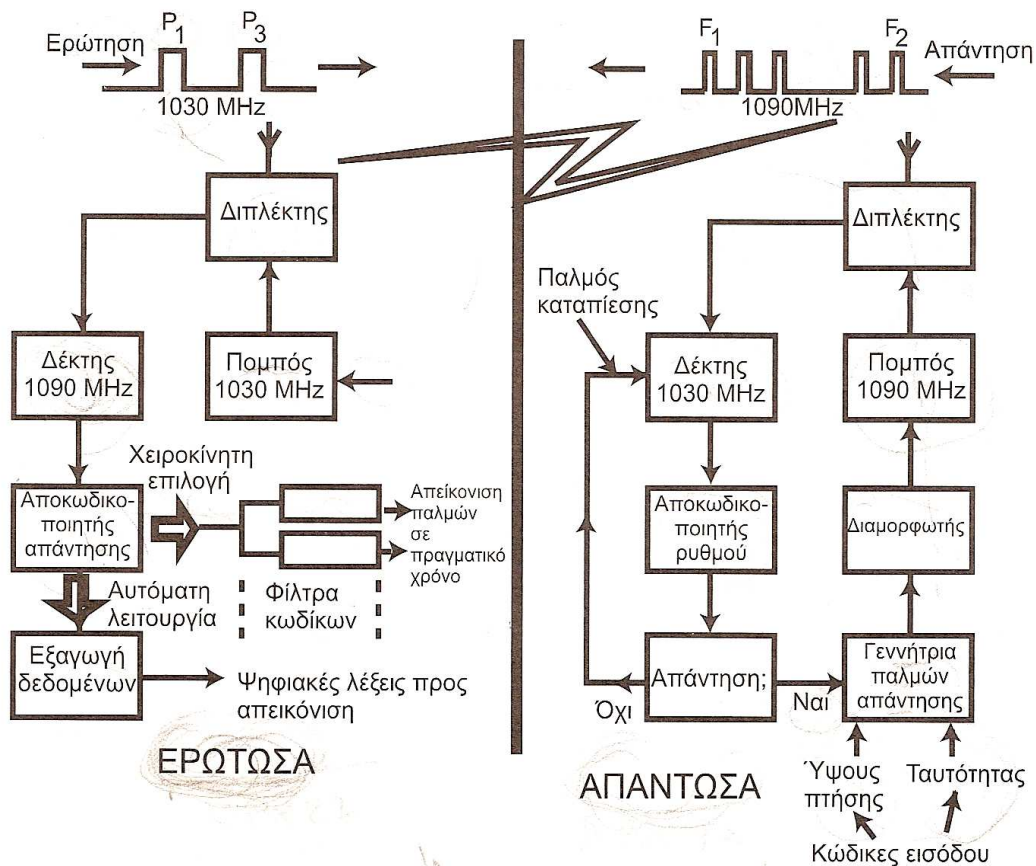
5.8

Δευτερεύοντα Ραντάρ Επιτήρησης(IFF)

Το δευτερεύον ραντάρ επιτήρησης (Secondary Surveillance Radar SSR), αποτελεί ένα ενεργητικό σύστημα αναγνώρισης φίλιων ή εχθρικών στόχων, πλοίων ή αεροσκαφών (Identification Friend or Foe - IFF). Χρησιμοποιείται τόσο για στρατιωτικούς όσο και για ειρηνικούς σκοπούς' (πχ παροχή βοήθειας σε κινδυνεύοντα αεροσκάφη, έλεγχος εναέριας κυκλοφορίας, κτλ). Οι τεχνικές IFF άρχισαν να εφαρμόζονται σε πρωτόγονη μορφή από το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, αλλά εκσυγχρονίστηκαν για πρώτη φορά, το 1972.

Ένα σύστημα SSR βασίζεται στην εκπομπή κατάλληλης παλμοσειράς από την ερωτώσα (interrogator), με σκοπό τη διέγερση (triggering) του δέκτη της απαντώσας (transponder) του στόχου- και την αυτόματη πρόκληση (challenge) εκπομπής σήματος απάντησης από τον πομπό της απαντώσας του, στόχου, με σκοπό τη λήψη της αντίστοιχης απόκρισης (response) από το δέκτη της απαντώσας. Τα σήματα ερώτησης έχουν φέρουσα συχνότητα 1030 MHz ενώ τα σήματα απάντησης έχουν φέρουσα συχνότητα 1090 MHz. Η χρήση διαφορετικών συχνοτήτων για τις δύο λειτουργίες μειώνει την επίδραση του clutter και εξασφαλίζει την επιτήρηση σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις από την εμβέλεια του πρωτεύοντος ραντάρ (έως και τριπλάσιες) (**σχ 5.8**). Το υποβρύχιο έχει την απαντώσα. Σε μια τυπική αναγνώριση αεροσκάφους και υποβρυχίου, το αεροσκάφος στέλνει ένα παλμό (κωδικό ερωτώσα) και ενεργοποιείται αυτόματα η απαντώσα του υποβρυχίου, και εάν αυτό είναι φίλιο του στέλνει ένα παλμό επιστροφής και αναγνωρίζεται στη συσκευή του αεροσκάφους σαν φίλιο ή όχι (εχθρός)

Η κεραία ερωτώσας του SSR συνήθως, είναι τύπου στοιχειοκεραίας (συστοιχία δίπολων), εγκατεστημένη πάνω στην κεραία του ραντάρ έρευνας αέρος (πρωτεύον ραντάρ), και σχηματίζει λοβό που περιστρέφεται μαζί της. Το εύρος του λοβού είναι στενό κατά διόπτρευση (αζιμούθιο), πχ περί τις 7°, και ευρύτερο καθ' ύψωση, πχ_50°. Η χρησιμοποιούμενη πόλωση είναι κατακόρυφη. Η κεραία της απαντώσας είναι ισοκατευθυντική.



Κύκλος λειτουργίας και απλό δομικό διάγραμμα συστήματος SSR.

Σχήμα 5.8

Οι παλμοί της ερωτώσας εκπέμπονται με κάποια μικρή χρονική καθυστέρηση από αυτούς του πρωτεύοντος ραντάρ (πχ 3μsec), οπότε η απόκριση της απαντώσας ακολουθεί την ηχώ του στόχου, με αποτέλεσμα το video του IFF να εμφανίζεται στο PPI σε ελαφρά μεγαλύτερη απόσταση.

5.8.1

Χαρακτηριστικά ρυθμών (modes) λειτουργίας

Η διάρκεια κάθε εκπεμπόμενου παλμού από την ερωτώσα, είναι **0.8 μsec**. Ο πρώτος παλμός ονομάζεται P1, ο δεύτερος παλμός P2 (αποτελεί παλμό ελέγχου που εκπέμπεται **2μsec** μετά από τον πρώτο και ο τρίτος P3. Ο παλμός **P2**, χρησιμεύει στην καταπίεση των πλευρικών λοβών (Side Lobe Suppression SLS) (σχήμα 5.8.1). Τα interrogation modes λειτουργίας των συστημάτων IFF, είναι τα ακόλουθα:

Mode 1

Η απόσταση μεταξύ των παλμών P1 και P3, είναι 3 μsec.

Mode 2

Η απόσταση μεταξύ P1 και P3 είναι 5 μsec .

Mode 3/A

Η απόσταση μεταξύ των παλμών P1 και P3, είναι 8 μsec .

Mode B

Η απόσταση μεταξύ των παλμών P1 και P3, είναι 17 μsec .

Mode C

Η απόσταση μεταξύ των παλμών P1 και P3 είναι 21 μsec .

Mode D

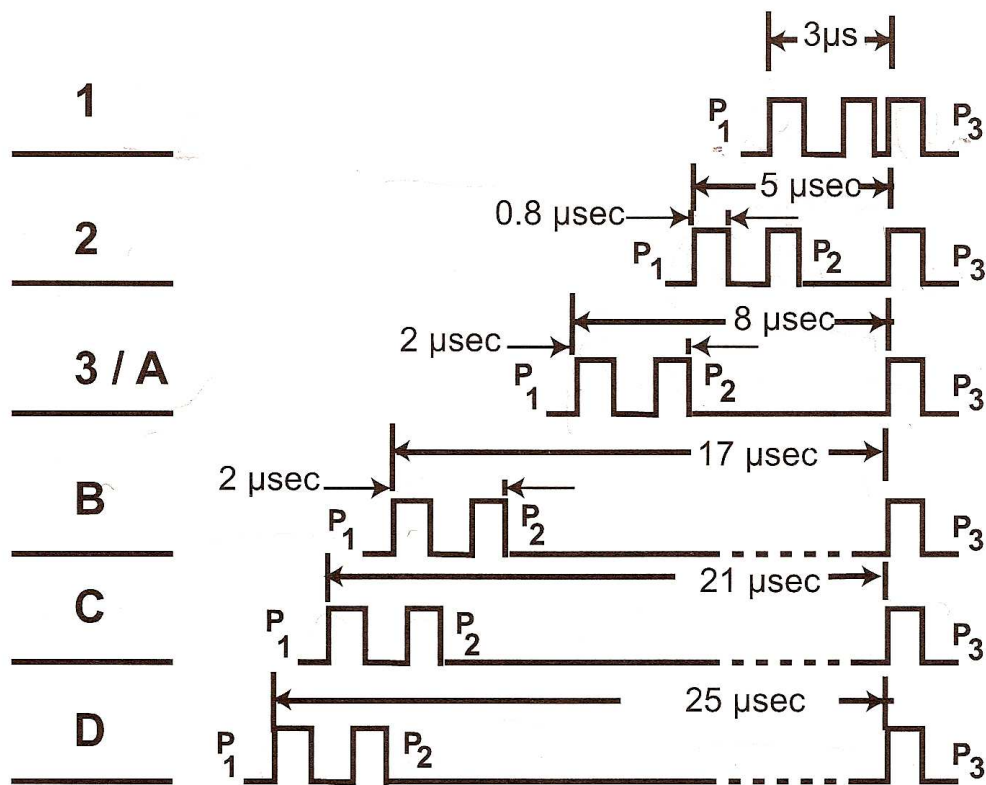
Η απόσταση μεταξύ των παλμών P1 και P3, είναι 25 μsec .

Υπάρχει ακόμη, ένα καθαρά, στρατιωτικό mode διαφορετικό από τα προηγούμενα, το λεγόμενο **mode A**, η κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση του οποίου εκτελείται από κάποιον εξωτερικό ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το σήμα της ερωτώσας αποτελείται από πέντε παλμούς διάρκειας 0.5 μsec ο καθένας (ο τελευταίος παλμός χρησιμοποιείται για την ακύρωση των πλευρικών λοβών). Οι πέντε αυτοί παλμοί, μπορεί να ακολουθούνται από άλλους 32 παλμούς, οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους 2 μsec . Το σήμα της απαντώσας, αποτελείται από τρεις παλμούς που απέχουν μεταξύ τους 1.8 μsec .

Η απόκριση της απαντώσας, αποτελεί μία παλμοσειρά με παλμό αρχής F1 παλμό τέλους F2 σε απόσταση 20,3 μsec . Οι ενδιάμεσοι παλμοί (13 το μέγιστο). παρέχουν την απάντηση του ερωτηθέντος στόχου, κωδικοποιημένη στο οκταδικό σύστημα αρίθμησης, το περιεχόμενο της οποίας εξαρτάται από τον κώδικα της ερώτησης. Οι αποστάσεις μεταξύ δύο γειτονικών θέσεων ενδιάμεσων παλμών, είναι 1.45 μsec , και όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί παλμών είναι $2^{13} = 8192$.

Σε **Mode 1** χρησιμοποιούνται μόνο οι παλμοί A1, A2, A4, B1, B4, δηλαδή σύνολο δυνατών συνδυασμών $2^5 = 32$. Ο μεγαλύτερος κώδικας στο **Mode 1** είναι ο 73. Ο κώδικας αυτός είναι αποκλειστικά στρατιωτικός, και χρησιμοποιείται για το τοπική αναγνώριση, αναγνώριση διοικητού σχηματισμού, κτλ.

Σε **Mode 2** χρησιμοποιούνται οι παλμοί A1, A2, A4, B1, B2, B4, C1, C2, C4, D1, D2 & D4 δηλαδή σύνολο δυνατών συνδυασμών $2^{12} = 4096$. Ο μεγαλύτερος κώδικας στο **Mode 2** είναι ο 7777. Ο κώδικας αυτός, είναι αποκλειστικά στρατιωτικός, και χρησιμοποιείται για την αναγνώριση ενός συγκεκριμένου στόχου (Individual or Personal Identification).



Κώδικες εκπομπής ερωτώσας.

Σχήμα 5.8.1

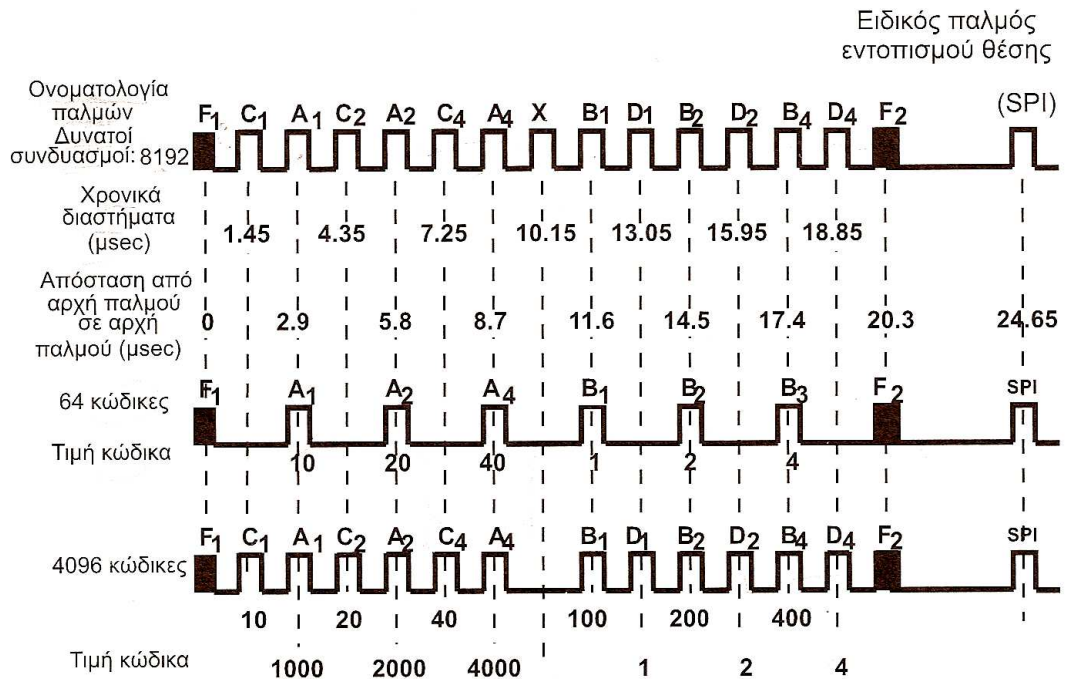
Σε **Mode 3A** χρησιμοποιούνται οι παλμοί A1, A2, A4, B1, B2, B4, C1, C2, D1, D2 & D4 δηλαδή σύνολο δυνατών συνδυασμών $2^{12} = 4096$. Ο μεγαλύτερος κώδικας στο **Mode 3/A** είναι ο 7777. Ο κώδικας αυτός, είναι στρατιωτικός και πολιτικός, και χρησιμοποιείται για έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας και για διάφορες καταστάσεις ανάγκης (emergencies), πχ 7500 δηλώνει αεροπειρατεία (hi jacking), 7600 βλάβη

τηλεπικοινωνιών, 7700 κάποιο γενικό κίνδυνο ή ανάγκη, κτλ.

Το **Mode C** χρησιμοποιείται για την ένδειξη του ύψους πτήσης (Fight level-FL) του αεροσκάφους σε χιλιάδες πόδια, πχ 015.3 σημαίνει, 15300 ft (είναι απ' ευθείας συνδεδεμένο με το υψόμετρο πίεσης). Ο κώδικας αυτός, είναι στρατιωτικός και πολιτικός. Το σύνολο των δυνατών κωδικών συνδυασμών είναι $2^{11}=2048$ (χρησιμοποιούνται οι παλμοί A1, A2, A4, B1, B2, B4, C1, C2, C4, D2 & D4). Ο παλμός D4 υπάρχει μόνο στην ειδική λειτουργία SPI, η οποία περιγράφεται αμέσως παρακάτω.

Η κλίμακα των υψομέτρων των αεροσκαφών, κωδικοποιείται από 1000 ft (-320 m) έως + 100 μέτρων (+32 000 m), σε βήματα των .100 ft (320 m).

Όταν δεν υπάρχει σύνδεση με το υψόμετρο πίεσης, τότε εκπέμπονται μόνον οι παλμοί P1 και P2.



Κώδικες εκπομπής απαντώσας. Ο παλμός X επιτρέπει την αναγνώριση ειδικών τύπων αεροσκαφών, πχ drones (αεροσκάφη χωρίς πιλότο).

Σχήμα 5.8.1.2

Μία σημαντική λειτουργία του συστήματος IFF, είναι η λεγόμενη **αναγνώριση θέσης (Special Position Identification SPI)**, κατά την οποία ο πιλότος του αεροσκάφους, μετά από αίτηση του σταθμού εδάφους επιλέγει την εκπομπή ειδικού παλμού σε θέση 4.35 μsec, αμέσως μετά από τον παλμό πέρατος F2. Με αυτόν τον τρόπο, εκτελείται αναγνώριση θέσης του συγκεκριμένου αεροσκάφους (σχ. 5.8.1.2).

5.8.3

Περιορισμοί και προβλήματα του συστήματος IFF / SIP

Οι προκαλούμενες παρεμβολές από τις διάφορες ανεπιθύμητες απαντήσεις αεροσκαφών σε άλλους γειτονικούς σταθμούς ελέγχου, είναι γνωστές ως ασύγχρονες ή φρούτα, '

Υπάρχουν ορισμένα ειδικά κυκλώματα(Defryter), τα οποία σκοπό έχουν την καταπίεση των απαντήσεων που δέχεται ο δέκτης της ερωτώσας, από τις ανεπιθύμητες εκπομπές προς άλλες ερωτώσες.

5.9

ΠΟΜΠΟΣ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ

Ο ρόλος του πομπού είναι για επικοινωνία του υποβρυχίου με τον έξω κόσμο ή με άλλα πλοία ή με υπηρεσίες στεριάς. Βέβαια αυτό γίνεται όταν το υποβρύχιο βρίσκεται σε περισκοπικό βάθος ή σε ανάδυση.

5.9.1

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΟΜΠΟΥ

Το ακουστικό σήμα οδηγείται στον διαμορφωτή ο οποίος κάνει μίξη της **RF** συχνότητας του Τοπικού Ταλαντωτή με την ακουστική συχνότητα. Στο **HF**(High Frequency) η διαμόρφωση είναι **AM** (Amplitude Modulator) (USB), στα **VHF** (FM), **UHF** (AM). Το RF διαμορφωμένο σήμα οδηγείται στον ενισχυτή και κατόπιν εκπέμπεται από την κεραία. Η ισχύς εκπομπής για HF είναι 100 watt ενώ για UHF, VHF, είναι 25 watt.

Οι κεραίες για HF, VHF, είναι μαστίγιο και για το UHF δίπολο.

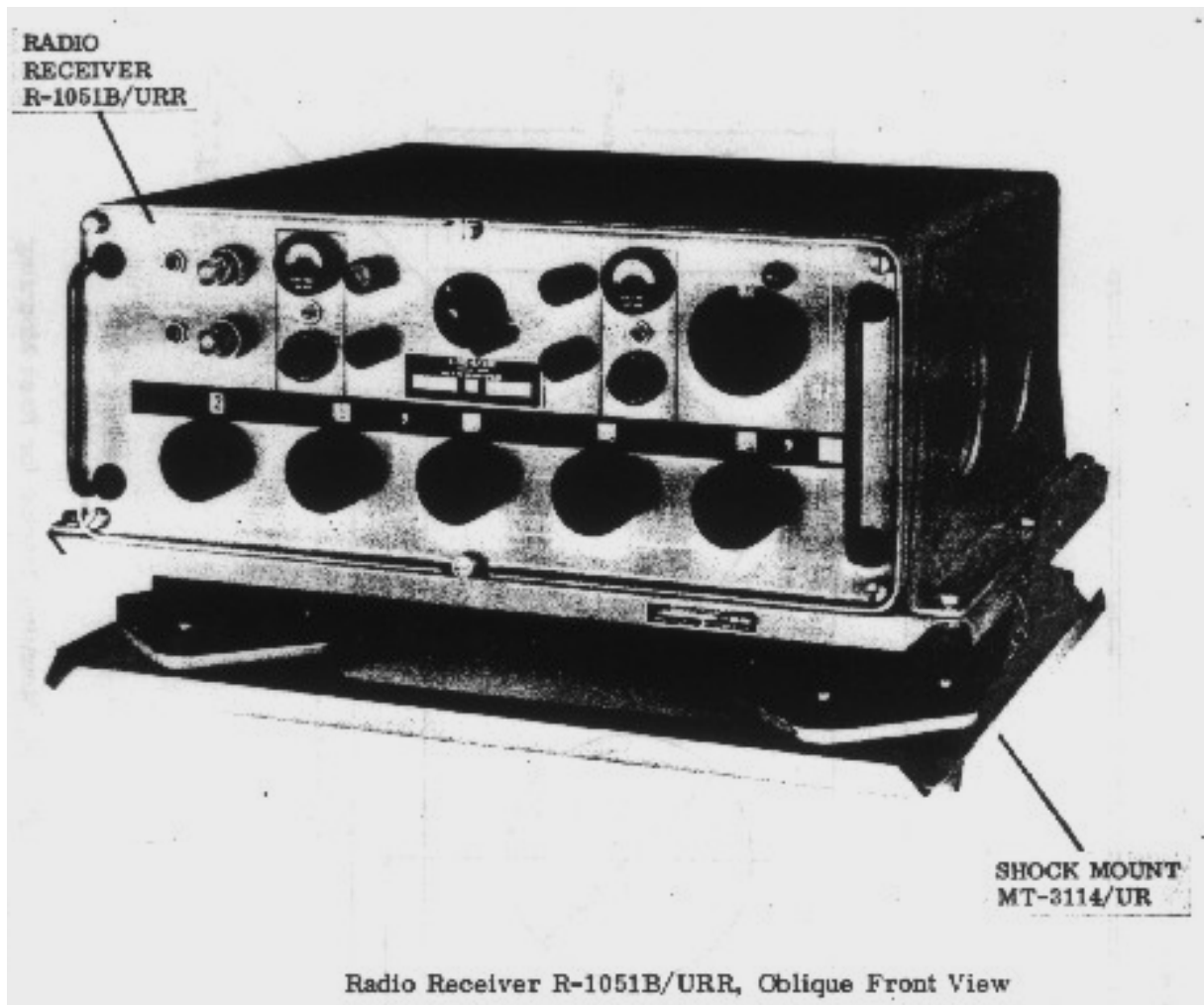
Στην HF συχνότητα μεταξύ ενισχυτή και κεραίας υπάρχει ένας συζεύκτης (coupler) ο οποίος η δουλειά του είναι να προσαρμόζει το συγκεκριμένο μήκος κεραίας με την ανάλογη συχνότητα που θέλουμε να εκπέμπουμε έτσι ώστε να έχουμε την καλύτερη απόδοση. Εκτός από το μικρόφωνο τα σήματα μπορούν να σταλθούν είτε με τηλετύπο είτε με υπολογιστή το data σήμα των ανωτέρω μετατρέπεται σε ακουστικό μέσω ενός modem. Για κοντινές αποστάσεις χρησιμοποιούμε συχνότητες VHF, UHF, (μέχρι 30 NM) για μεγαλύτερες αποστάσεις χρησιμοποιούμε HF. Η επιλογή των πομπών γίνεται μέσω πίνακα μικτονομήσεων των πομπών.

Όλες οι πληροφορίες που εκπέμπονται είναι κρυπτογραφημένες. Η πληροφορία πριν φύγει από την κεραία του υποβρυχίου πηγαίνει σε μια κρυπτόμηχανη η οποία αλλάζει το μέγεθος της πληροφορίας και στη συνέχεια οδηγείται στον πομπό.

Ορισμένοι πομποί βρίσκονται σε συνεχή τάση μέσω συστήματος αδιάκοπης λειτουργίας τάσεως (UPS) και αυτό σε περίπτωση Black Out για λόγους ασφαλείας.

Στους πομπούς VHF, UHF, έχουμε την δυνατότητα μεταπηδήσεις συχνότητας (Frequency Hopping) η οποία η συχνότητα αλλάζει συνεχώς. Βέβαια αυτό το καθορίζει ο χειριστής κάθε ποτέ θα αλλάζει και αυτό γίνεται για λόγους ασφαλείας.

5.9.2 ΔΕΚΤΗΣ



Δέκτης R-1051B/URR

Ένας δέκτης AM επεξεργάζεται, σήματα διαμορφωμένα κατά πλάτος, τα οποία λαμβάνει από την κεραία του, και παρέχει σαν έξοδο μια αναπαραγωγή του αρχικού σήματος, το οποίο έχει διαμορφώσει στον πομπό μια υψίσυχνη φέρουσα. Το σήμα εξόδου οδηγείται στη συνέχεια σε κάποια συσκευή αναπαραγωγής, όπως π.χ. σε ένα μεγάφωνο ή σε ένα ζευγάρι ακουστικών .

Οι διάφοροι δέκτες AM που κυκλοφορούν στο εμπόριο παρουσιάζουν τεράστια ποικιλία ως προς το βαθμό πολυπλοκότητας τους. Μερικοί δέκτες είναι πολύ απλοί αλλά περί έχουν ένα σχετικά μεγάλο αριθμό κυκλωμάτων.

Ένας δέκτης, για να είναι χρήσιμος, θα πρέπει να εκτελεί ορισμένες βασικές λειτουργίες. Αυτές οι λειτουργίες, με βάση τη σειρά εκτελέσεως τους, είναι οι εξής:

- 1) λήψη
- 2) επιλογή
- 3) αποδιαμόρφωση και
- 4) αναπαραγωγή.

ΛΗΨΗ: είναι εκείνη η βασική λειτουργία κατά την οποία ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα λαμβάνεται από την κεραία του δέκτη με τέτοιο τρόπο ώστε να επάγει σ' αυτήν την τάση.

ΕΠΙΛΟΓΗ : είναι εκείνη η βασική λειτουργία που, μας επιτρέπει να διαλέξουμε, από όλα τα σήματα που επάγονται στην κεραία του δέκτη, εκείνο που αντιστοιχεί στη συχνότητα ενός συγκεκριμένου σταθμού. Η ιδιότητα αυτή είναι η επιλεκτικότητα του δέκτη. Όσο περισσότερο ικανός είναι ο δέκτης να διαχωρίσει ανάμεσα σε επιθυμητά και ανεπιθύμητα σήματα, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός επιλεκτικότητάς του δέκτη. Αυτή η λειτουργία επιτυγχάνεται στα κυκλώματα επιλογής συχνότητας.

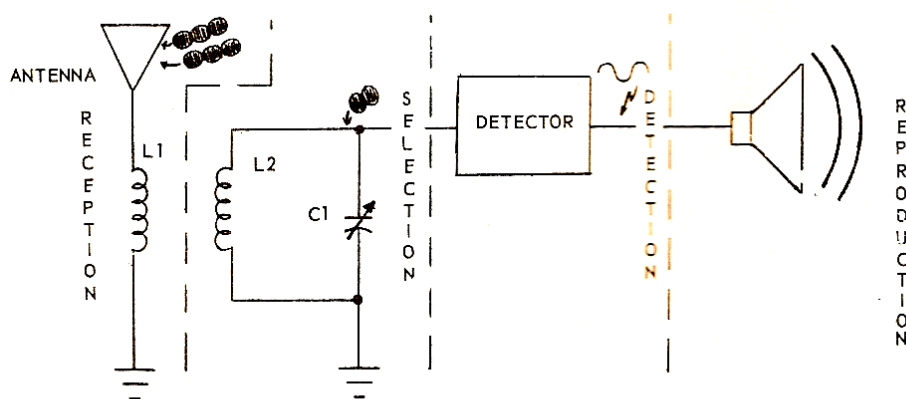
ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ (φώραση) : Είναι εκείνη η λειτουργία στην οποία διαχωρίζουμε την πληροφορία που περιέχεται στο σήμα χαμηλής συχνότητας από την υψίσυχνη φέρουσα. Η διαδικασία αυτή γίνεται στα κυκλώματα αποδιαμορφώσεως.

ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ: είναι. εκείνη η λειτουργία με την οποία τα ηλεκτρικά σήματα μετατρέπονται, σε ηχητικά κύματα. Το αυτί αντιλαμβάνεται αυτά τα κύματα σαν ομιλία, μουσική, κ.λ.π.

5.9.3

ΒΑΣΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΔΕΚΤΗ

Η εικόνα δείχνει, το βασικό διάγραμμα ενός απλού δέκτη αού εκτελεί όλες τις λειτουργίες που περιγράφηκαν παραπάνω. Η είσοδος του δέκτη είναι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από τις κεραίες των πομπών. Αυτά τα κύματα επάγουν στην κεραία του δέκτη μικρές τάσεις εναλλασσόμενου ρεύματος, οι οποίες προκαλούν μεταβολές ρεύματος στο πρωτεύον L1 του μετασχηματιστή εισόδου, με αποτέλεσμα να παράγεται μαγνητικό πεδίο γύρω από αυτό. Το τμήμα του δέκτη που αποτελείται από την κεραία και το πηνίο L1 εκτελεί τη λειτουργία της λήψεως. (σχ. 5.9.3)



ΒΑΣΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΔΕΚΤΗ

Σχήμα 5.9.3

Το μαγνητικό πεδίο του πρωτεύοντος L1 επάγει τάσεις στο δευτερεύον L2. Το πηνίο L2 και ο πυκνωτής C1 σχηματίζουν ένα συντονισμένο κύκλωμα. Ο C1 είναι μεταβλητής χωρητικότητας ώστε να ρυθμίζει το συντονισμό με τέτοιο τρόπο που να επιλέγεται ένα μόνο από τα σήματα RF της κλίμακας συχνοτήτων.

Όταν το κύκλωμα είναι συντονισμένο στην επιθυμητή συχνότητα αναπτύσσεται ένα σχετικά μεγάλο ρεύμα μέσα σ' αυτό. Η είσοδος του οποδιαμορφωτή είναι, τότε ένα σχετικά μεγάλο σήμα τάσεως στην συχνότητα συντονισμού, ενώ στις άλλες συχνότητες έχει πολύ μικρότερες τιμές τάσεως. Έτσι το πηνίο L1 και ο πυκνωτής C1 εκτελούν τη λειτουργία της επιλογής.

Σ' αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι ένα σήμα διαμορφωμένο κατά πλάτος, όταν εκπέμπεται από τον πομπό φέροντας π.χ. κάποια ακουστική συχνότητα, αποτελείται στην πραγματικότητα από τρεις συχνότητες που είναι:

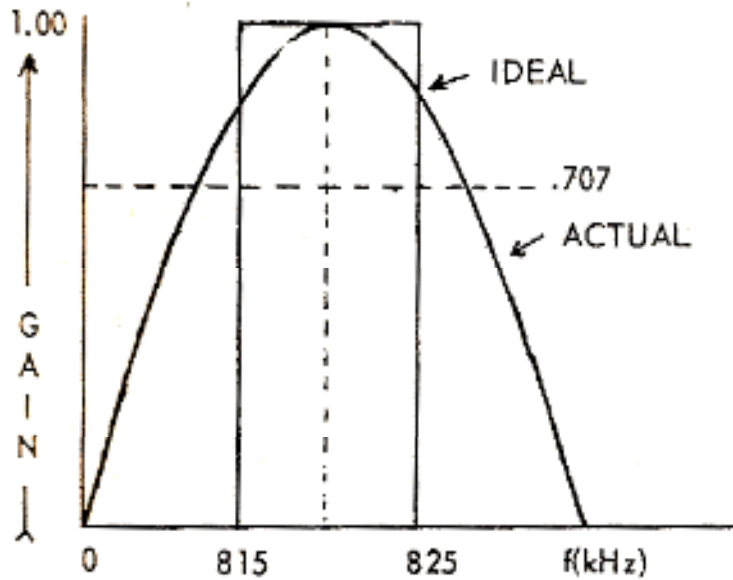
α) η φέρουσα συχνότητα και β) οι δυο πλευρικές συχνότητες, η υψηλή και η χαμηλή.

Η διαφορά μεταξύ των ορίων της υψηλής και χαμηλής πλευρικής συχνότητας αποτελεί το εύρος ζώνης του σήματος που μεταδίδεται, ενώ η διαφορά μεταξύ μιας από τις πλευρικές συχνότητες και της φέρουσας συχνότητας ισούται με τη συχνότητα της πληροφορίας. Για να εκπληρώνει το κύκλωμα επιλογής συχνοτήτων σωστά το σκοπό του, θα πρέπει να επιτρέπει τη δίοδο και των δύο πλευρικών συχνοτήτων.

Το διάγραμμα της εικόνας δείχνει τα χαρακτηριστικά ενός ιδανικού συντονισμένου κυκλώματος και ενός πραγματικού κυκλώματος. Το κύκλωμα είναι συντονισμένο για να λάβει ένα φέρον κύμα συχνότητας 820 kHz που περιέχει ένα ακουστικό σήμα συχνότητας 5 kHz. Σε ένα ιδανικό κύκλωμα όλες οι συχνότητες στο εύρος των 10 kHz ενισχύονται εξίσου ενώ οι συχνότητες έξω από αυτό το εύρος δέχονται μηδενική ενίσχυση.

Σε ένα πραγματικό κύκλωμα, όμως, όλες οι συχνότητες που περιέχονται στο εύρος ζώνης (που μετριέται από τα σημεία στα οποία το πλάτος είναι 0,707 του μέγιστου) δε δέχονται ίση ενίσχυση, ενώ ακόμη και συχνότητες εκτός εύρους ζώνης δέχονται κάποια ενίσχυση.

Η ικανότητα ενός συντονισμένου κυκλώματος να επιλέγει ένα εύρος συχνοτήτων είναι συνάρτηση του Q . Όσο υψηλότερη τιμή έχει το Q τόσο μικρότερο είναι το εύρος ζώνης. Κανονικά, το κύκλωμα συντονισμού προκύπτει σαν συμβιβασμός της επιθυμίας μας να έχουμε υψηλό Q (πράγμα που συνεπάγεται καλή επιλεκτικότητα) και χαμηλό Q (που συνεπάγεται υψηλότερη πιστότητα). Το Q ενός συντονισμένου κυκλώματος πρέπει να είναι αρκετά υψηλό, ώστε να απορρίπτει σήματα έξω από το επιθυμητό εύρος ζώνης. (σχ. 5.9.3.1)



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΝΤΟΝΙΖΟΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Σχήμα 5.9.3.1

Το σήμα που έχει επιλεγεί από τα κυκλώματα επιλογής συχνότητας περιέχει ακόμη τη φέρουσα και τις δύο πλευρικές ζώνες. Η επόμενη λειτουργία του δέκτη είναι να διαχωρίσει τις επιθυμητές πληροφορίες από το φέρον κύμα. Αυτό επιτυγχάνεται στη βαθμίδα του οποδιαμορφωτή.

Όταν ένα ραδιοφωνικό σήμα είναι διαμορφωμένο κατά πλάτος, οι πληροφορίες περιέχονται στη σχέση μεταξύ της φέρουσας και των πλευρικών συχνοτήτων.

Αυτό το σύνθετο σήμα έχει σαν αποτέλεσμα μια συμμετρική περιβάλλουσα RF, της οποίας η μέση τιμή πλάτους είναι μηδέν.

Όταν η μέση τιμή του σήματος είναι μηδέν, δεν μπορούμε να πάρουμε καμιά χρήσιμη πληροφορία. Ο οποδιαμορφωτής είναι μια μη γραμμική διάταξη που προκαλεί παραμόρφωση του σήματος RF. Η παραμόρφωση που εισάγεται από τον οποδιαμορφωτή έχει σαν αποτέλεσμα η μέση τιμή της κυματομορφής να είναι διάφορη του μηδενός και να μεταβάλλεται ανάλογα με το αρχικό σήμα διαμορφώσεως. Αυτή η παραμόρφωση, που ονομάζεται ετεροδύνηση, γίνεται μέσα στον οποδιαμορφωτή. Η έξοδος θα είναι μια παλμοσειρά που περιέχει πολλές συχνότητες. Οι βασικές συνιστώσες θα είναι η αρχική φέρουσα συχνότητα, οι πλευρικές συχνότητες καθώς και τα αθροίσματα και οι διαφορές τους.

Ένα κύκλωμα φίλτρου θα αφαιρέσει όλες τις ανεπιθύμητες συχνότητες, ενώ θα κρατήσει τις απαιτούμενες πληροφορίες .

Η έξοδος από το κύκλωμα του οποδιαμορφωτή αποτελείται από ένα ασθενές σήμα, όπως το αρχικό σήμα που χρησιμοποιείται για διαμόρφωση στον πομπό. Αυτό το σήμα τροφοδοτεί μια συσκευή αναπαραγωγής , η οποία μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε ηχητικά κύματα. Η συσκευή αναπαραγωγής μπορεί να είναι ένα ζεύγος ακουστικών ή ένα μεγάφωνο.

5.9.4

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΕΚΤΩΝ

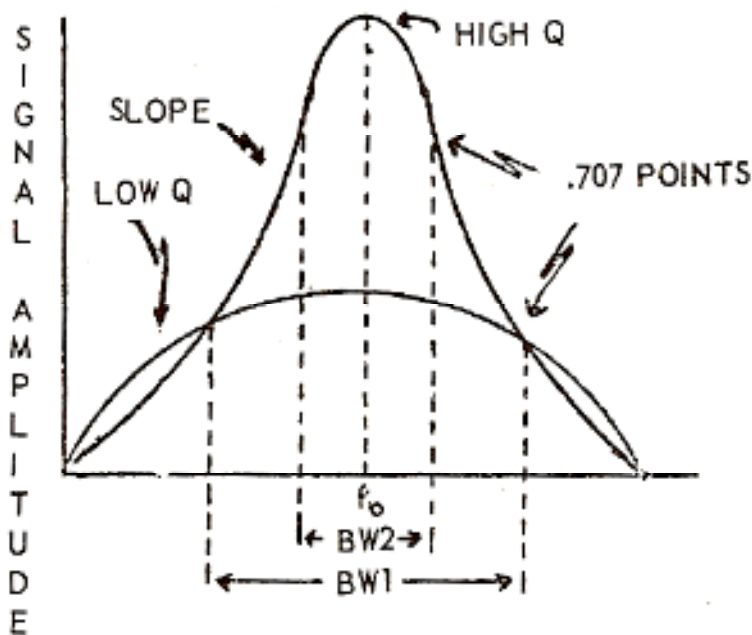
Οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών ενός δέκτη χρησιμεύουν στον καθορισμό των συνθηκών λειτουργίας και βοηθούν επίσης στις συγκρίσεις με άλλους δέκτες. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ενός δέκτη είναι η ευαισθησία , η επιλεκτικότητα, η πιστότητα και ο θόρυβος.

Η ικανότητα ενός δέκτη να αναπαράγει το σήμα ενός πολύ ασθενούς σταθμού

είναι συνάρτηση της ευαισθησίας του δέκτη. Με άλλα λόγια, όσο ασθενέστερο είναι το σήμα με το οποίο μπορούμε να τροφοδοτήσουμε ένα δέκτη και να επακολουθήσουμε να έχουμε σταθερή τιμή σήματος εξόδου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός ευαισθησίας του δέκτη. Η ευαισθησία ενός δέκτη εκφράζεται σαν συνάρτηση της τάσεως του σήματος, συνήθως σε μV , που πρέπει να εφαρμοστεί στους ακροδέκτες εισόδου της κεραίας, για να πετύχουμε μια προκαθορισμένη έξοδο. Η έξοδος μπορεί να είναι μια εναλλασσόμενη ή συνεχής τάση που μετριέται στην έξοδο του οποδιαμορφωτή ή μια μέτρηση ισχύος στους ακροδέκτες του μεγαφώνου ή των ακουστικών.

Η μέτρηση όμως της ευαισθησίας μπορεί να γίνει μόνο σε ένα ιδανικό δέκτη. Όλοι οι δέκτες παράγουν μια τιμή θορύβου που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Αυτός ο θόρυβος είναι περιοριστικός παράγοντας για το μικρότερο δυνατό σήμα που μπορεί να επεξεργαστεί ο δέκτης και να δώσει χρησιμοποιούμενη έξοδο. Μια ένδειξη της ευαισθησίας, αν λάβουμε υπόψη το θόρυβο του δέκτη, είναι το πλάτος του σήματος που πρέπει να εφαρμόσουμε στην είσοδο του δέκτη, για να πάρουμε μια έξοδο σήματος και θορύβου, η οποία να είναι μεγαλύτερη κατά ένα καθορισμένο ποσοστό από την έξοδο θορύβου του δέκτη

Η ικανότητα ενός δέκτη να απορρίπτει, τα ανεπιθύμητα σήματα καθορίζεται από την επιλεκτικότητα του, η οποία ελέγχεται από τα συντονισμένα κυκλώματα επιλογής συχνότητας. Δύο από τα χαρακτηριστικά ενός κυκλώματος συντονισμού είναι σημαντικά για τον προσδιορισμό της επιλεκτικότητας: η κλίση και το εύρος ζώνης διελεύσεως, που με τη σειρά τους εξαρτώνται από το Q του κυκλώματος. Το σχήμα δείχνει τις χαρακτηριστικές καμπύλες δύο κυκλωμάτων, το ένα υψηλού και το άλλο χαμηλού Q.



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΥΟ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

Σχήμα 5.9.4

Το κύκλωμα χαμηλού Q (BW1) έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης διελεύσεως από αυτό του κυκλώματος υψηλού Q (BW2). Λόγω της κλίσεως που παρουσιάζουν τα πλευρικά τμήματα των καμπυλών αποκρίσεως, οι συχνότητες που βρίσκονται εκτός του εύρους ζώνης διελεύσεως του κυκλώματος υψηλού Q θα εξασθενήσουν περισσότερο, σχετικά με τη συχνότητα f_0 από τις αντίστοιχες συχνότητες του κυκλώματος χαμηλού Q. Κατά συνέπεια, ένας δέκτης που χρησιμοποιεί κυκλώματα υψηλού Q θα παρουσιάζει μεγαλύτερη επιλεκτικότητα.

Η πιστότητα του δέκτη καθορίζει ποια είναι η μεγαλύτερη συχνότητα διαμορφώσεως, που περιέχεται στις πλευρικές ζώνες, η οποία μπορεί να αναπαραχθεί και είναι, συνάρτηση του εύρους ζώνης. Ένα κύκλωμα χαμηλού Q

έχει, μεγάλο εύρος ζώνης διελεύσεως και, επιτρέπει τη δίοδο σημάτων υψηλών συχνοτήτων. Έτσι, η σχεδίαση ενός δέκτη είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ υψηλής επιλεκτικότητας και, καλής πιστότητας.(σχ.5.9.4)

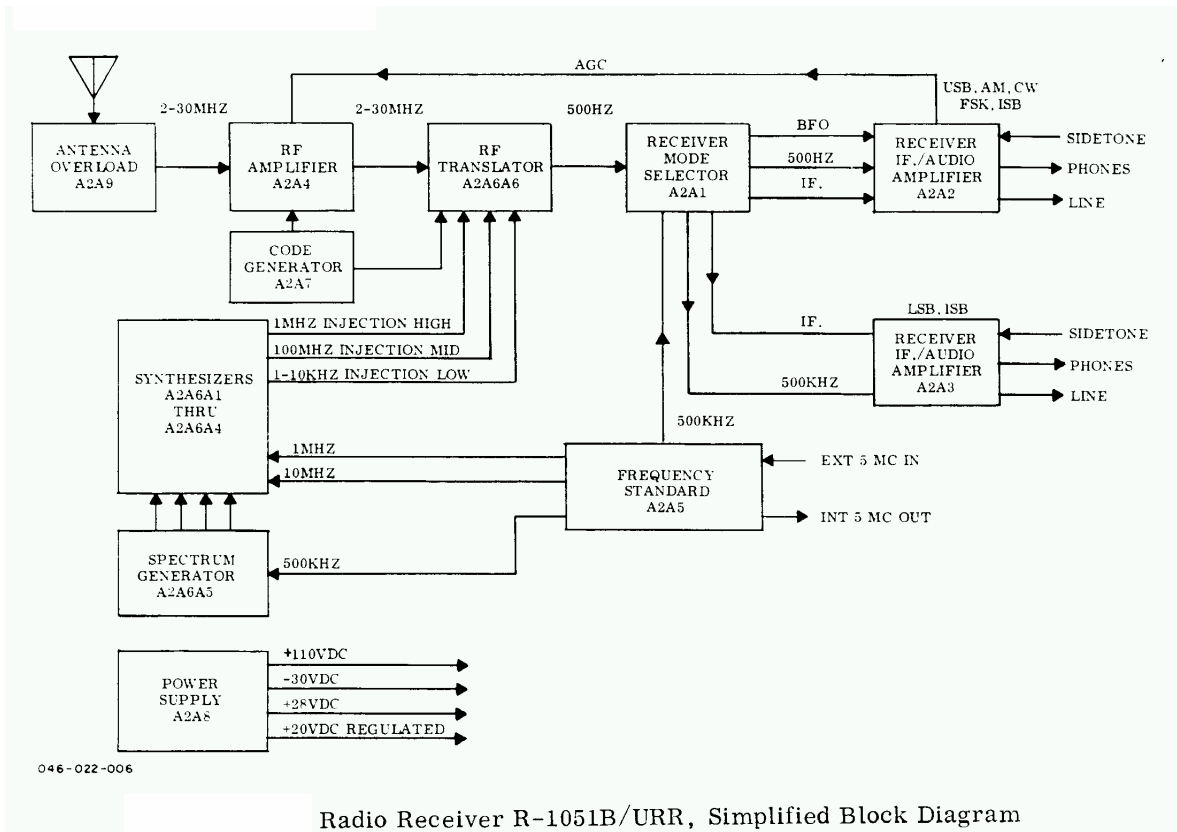
5.9.5

ΥΠΕΡΕΤΕΡΟΔΥΝΟΣ ΔΕΚΤΗΣ

Ο υπερετερόδυνος δέκτης κατασκευάστηκε για να αντιμετωπιστούν πολλά από τα μειονεκτήματα του δέκτη TRF. Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο τύπων είναι ότι στο δέκτη TRF οι ενισχυτές ραδιοσυχνότητας που προηγούνται του οποδιαμορφωτή, μπορούν να συντονιστούν πάνω σε μια ζώνη συχνοτήτων, ενώ οι αντίστοιχοι ενισχυτές του υπερετεροδύνου δέκτη είναι συντονισμένοι πάνω σε μια, καθορισμένη συχνότητα, που ονομάζεται συχνότητα IF ή(ενδιάμεση συχνότητα). Για να μετατρέψουμε τη συχνότητα ενός σταθμού που λαμβάνεται από το δέκτη σε αυτή την ενδιάμεση συχνότητα, χρησιμοποιούμε την αρχή μετατροπής συχνοτήτων με βάση την ετεροδύωση. Μ' αυτό τον τρόπο, κάθε σήμα που δέχεται ο δέκτης μετατρέπεται στην καθορισμένη ενδιάμεση συχνότητα IF προτού αποδιαμορφωθεί η ακουστική συνιστώσα του σήματος, με αποτέλεσμα ο ενισχυτής IF να λειτουργεί κάτω από βέλτιστες συνθήκες σε όλη τη ζώνη συχνοτήτων του δέκτη. Κατά συνέπεια, τα κυκλώματα IF αποκτούν ομοιόμορφη επιλεκτικότητα, υψηλό κέρδος τάσεως και αρκετά ικανοποιητική ζώνη συχνοτήτων για να συμπεριλάβουν όλες τις επιθυμητές πλευρικές συχνότητες που έχουν σχέση με το φέρον κύμα AM.

Το σχήμα παρουσιάζει το βασικό διάγραμμα ενός χαρακτηριστικού υπερετεροδύνου δέκτη. Κάτω από τα αντίστοιχα τμήματα του δέκτη φαίνονται οι κυματομορφές του σήματος σε εκείνο το σημείο. Το σήμα ραδιοσυχνότητας μετά την κεραία περνάει πρώτα από έναν ενισχυτή ραδιοσυχνότητας (προεπιλογή), όπου αυξάνεται το πλάτος του. Ένα αδιαμόρφωτο σήμα RF σταθερού πλάτους που παράγεται από έναν τοπικό ταλαντωτή αναμιγνύεται με τη συχνότητα της φέρουσας στη βαθμίδα του μείκτη. Η ανάμιξη ή έτερο-δύωση αυτών των δύο συχνοτήτων παράγει ένα σήμα ενδιάμεσης συχνότητας, που περιέχει όλα τα χαρακτηριστικά διαμορφώσεως του αρχικού σήματος. Σ τη συνέχεια, η ενδιάμεση συχνότητα ενισχύεται σε μια ή περισσότερες βαθμίδες, που ονομάζονται, ενισχυτές IF, και τροφοδοτεί ένα συμβατικό οποδιαμορφωτή, απ' όπου ξαναπαίρνουμε το ακουστικό σήμα.

Αφού αποδιαμορφωθεί το σήμα, ενισχύεται στον τομέα AF και στη συνέχεια τροφοδοτεί ένα ζευγάρι ακουστικών ή ένα μεγάφωνο. Ο ενισχυτής ραδιοσυχνότητας, ο αποδιαμορφωτής, ο ενισχυτής AF και η συσκευή αναπαραγωγής είναι ουσιαστικά όμοιοι, όπως και οι αντίστοιχοι του δέκτη TRF



Block Diagram Δέκτη R-1051

5.9.6

ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Η Βαθμίδα ραδιοσυχνότητας ενισχύει, τις μικρές εναλλασσόμενες τάσεις που επάγονται στην κεραία από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία προέρχονται από τον πομπό του σταθμού. Παρεμβάλλοντας ένα συντονισμένο κύκλωμα ανάμεσα στην κεραία και την είσοδο του ενισχυτή ραδιοσυχνότητας, επιλέγουμε τη συχνότητα του επιθυμητού σταθμού, μέσα από πολλές άλλες συχνότητες που υπάρχουν στην κεραία.

Ο ενισχυτής RF εκτός από το να ενισχύει το σήμα ραδιοσυχνότητας απομονώνει τον τοπικό ταλαντωτή από την κεραία. Αν η κεραία είχε συνδεθεί κατευθείαν με τη βαθμίδα μείξεως, ένα μέρος του σήματος του τοπικού ταλαντωτή θα μπορούσε να διοχετευθεί στο χώρο με τη μορφή ακτινοβολίας.

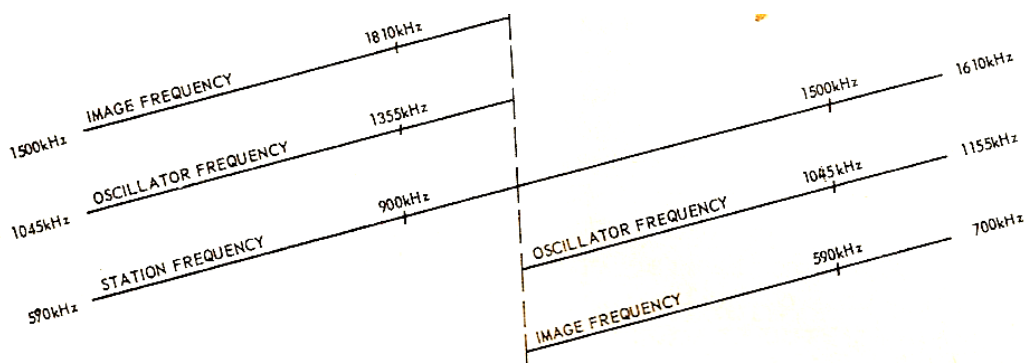
Στην περίπτωση που η βαθμίδα μείξεως συνδέεται κατευθείαν με την κεραία, υπάρχει πιθανότητα να ληφθούν ανεπιθύμητα σήματα (που ονομάζονται είδωλα), γιατί η βαθμίδα μείξεως παράγει την ενδιάμεση συχνότητα σε ετεροδύνηση δύο σημάτων, που έχουν διαφορά συχνοτήτων ίση με την ενδιάμεση συχνότητα.

Η συχνότητα ειδώλου διαφέρει πάντοτε από τη συχνότητα του επιθυμητού σταθμού και μάλιστα ισχύει η σχέση:

$$\text{συχνότητα ειδώλου} = \text{συχνότητα σταθμού} \pm (2 \times \text{ενδιάμεση συχνότητα}).$$

Η συχνότητα ειδώλου είναι υψηλότερη από τη συχνότητα σταθμού, αν η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή βρίσκεται πάνω από τη συχνότητα σταθμού, όπως συνηθίζεται σε χαμηλές συχνότητες. Η συχνότητα ειδώλου είναι χαμηλότερη από τη συχνότητα σταθμού, αν η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή βρίσκεται κάτω από τη συχνότητα σταθμού όπως συμβαίνει συνήθως στις υψηλές συχνότητες. Όλα τα παραπάνω φαίνονται στην σχήμα. Π.χ., αν ένας υπερετερόδυνος δέκτης ενδιάμεσης συχνότητας 455 kHz συντονίζεται ώστε να λαμβάνει μια συχνότητα σταθμού 1500 kHz και η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή είναι 1055 kHz, τότε η έξοδος του ενισχυτή IF μπορεί να περιέχει τα εξής σήματα: (σχ. 5.9.6)

α) το σήμα του σταθμού των 1500 kHz, και β) το σήμα που προέρχεται από ένα σταθμό -είδωλο, συχνότητας 590 kHz. $(1500 - 2 \times 455) = 590 \text{ kHz}$.



ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΙΔΩΛΟΥ

Σχήμα 5.9.6

Ο ίδιος δέκτης, για ένα σταθμό των 900 kHz , θα έχει συχνότητα τοπικού ταλαντωτή 1355 kHz. Η έξοδος του ενισχυτή IF περιέχει τη συχνότητα σταθμού και πιθανόν να περιέχει και ένα σήμα ειδώλου. Τότε θα ισχύει:

σήμα ειδώλου 1810 kHz = σήμα σταθμού 900 kHz + (σήμα IF 2 X 455 kHz).

Μ' αυτόν τον τρόπο, το σήμα των 1810 kHz είναι ένα είδωλο το οποίο μπορεί να ακουστεί ταυτόχρονα με το σήμα σταθμού των 900 kHz. Είναι επίσης πιθανό, δύο σήματα που έχουν αρκετή ισχύ και διαχωρίζονται από την ενδιάμεση συχνότητα IF να παράγουν μη επιθυμητά σήματα στη συσκευή αναπαραγωγής (ακουστικά ή μεγάφωνο). Η επιλεκτικότητα του προενισχυτή (βαθμίδα RF που προηγείται της βαθμίδας του μεικτή) τείνει να περιορίσει την ισχύ αυτών των ανεπιθύμητων σημάτων. Παρόλα αυτά, υπάρχει ένα πρακτικό όριο στο βαθμό της επιλεκτικότητας που παρουσιάζει ο προεπιλογέας, επειδή η βαθμίδα RF πρέπει να έχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης απ'αυτό των επιθυμητών σημάτων. Ο λόγος του πλάτους του επιθυμητού σήματος σταθμού προς το πλάτος του ειδώλου ονομάζεται λόγος απορρίψεως του ειδώλου και αποτελεί ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του υπερετερόδυνου δέκτη.

5.9.6.1

ΤΟΠΙΚΟΣ ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ

Η βαθμίδα του τοπικού ταλαντωτή παράγει ένα ημιτονοειδές κύμα σταθερού πλάτους, του οποίου η συχνότητα διαφέρει από τη συχνότητα του επιθυμητού σταθμού κατά μια ποσότητα που είναι ίση με την ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη. Παρά το γεγονός ότι ο ταλαντωτής είναι δυνατό να λειτουργήσει είτε πάνω είτε κάτω από τη συχνότητα του σταθμού, στους περισσότερους δέκτες που χρησιμοποιούν τη ραδιοφωνική ζώνη ο ταλαντωτής λειτουργεί πάνω από τη συχνότητα του σταθμού. Για να υπάρχει δυνατότητα επιλογής κάποιας από τις συχνότητες που περιέχονται στη ζώνη λειτουργίας του δέκτη, τα συντονισμένα κυκλώματα της βαθμίδας RF και του τοπικού ταλαντωτή είναι μεταβλητά. Αν χρησιμοποιήσουμε έναν κοινό άξονα ή μια μηχανική σύζευξη μεταξύ των μεταβλητών στοιχείων των συντονισμένων κυκλωμάτων, και τα δύο κυκλώματα μπορούν να συντονιστούν με τέτοιο τρόπο ώστε η διαφορά μεταξύ της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή και της συχνότητας του σταθμού να διατηρηθεί ίση με την ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη.

5.9.6.2

ΜΕΙΚΤΗΣ

Η βαθμίδα μείξεως μετατρέπει τη συχνότητα με βάση την αρχή της ετεροδυνώσεως. Η είσοδος του μείκτη αποτελείται από δύο σήματα: από το διαμορφωμένο σήμα ραδιοσυχνότητας και από το αδιαμόρφωτο σήμα του τοπικού ταλαντωτή. Στην συνέχεια ο μείκτης συνθέτει (κάνει μείξη αυτά τα δύο σήματα). Το αποτέλεσμα αυτής της μείξεως είναι η έξοδος του μείκτη να περιέχει 4 βασικές και πολλές δευτερεύουσες συχνότητες.

Οι 4 βασικές συχνότητες είναι οι εξής:

- α) η συχνότητα του αρχικού σήματος
- β) η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή
- γ) το άθροισμα των συχνοτήτων σήματος και ταλαντωτή
- δ) η διαφορά των συχνοτήτων σήματος και ταλαντωτή.

Οι πρόσθετες συχνότητες που βρίσκονται στην έξοδο του μείκτη δημιουργούνται από συνδυασμούς των βασικών και αρμονικών συχνοτήτων του σήματος και του ταλαντωτή. Από όλες τις συχνότητες που παρουσιάζονται στην έξοδο του μείκτη, μόνο η διαφορά συχνότητας χρησιμοποιείται σε δέκτες διαμορφώσεως πλάτους. Το κύκλωμα εισόδου της βαθμίδας μείξεως περιέχει ένα συντονισμένο κύκλωμα το οποίο ρυθμίζεται στη συχνότητα διαφοράς. Η έξοδος του μείκτη τροφοδοτεί τον ενισχυτή IF και αποτελείται από ένα διαμορφωμένο σήμα ενδιάμεσης συχνότητας.

5.9.6.3

ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Οι υπερετερόδουνοι δέκτες χρησιμοποιούν έναν ή περισσότερους ενισχυτές IF, ανάλογα με τη σχεδίαση και την ποιότητα του δέκτη. Συνήθως χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές για σύζευξη ανάμεσα στις βαθμίδες του τμήματος IF. Τα κυκλώματα IF είναι μονίμως ρυθμισμένα στη διαφορά συχνότητας μεταξύ του εισερχόμενου σήματος ραδιοσυχνότητας RF και του τοπικού ταλαντωτή. '

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, όλα τα εισερχόμενα σήματα περνώντας μέσα από τη βαθμίδα μείξεως αποκτούν την ίδια συχνότητα και ο ενισχυτής IF λειτουργεί μόνο σε μια συχνότητα. Τα συντονισμένα κυκλώματα,

επομένως, είναι μόνιμα ρυθμισμένα για μέγιστο κέρδος σήματος, που να είναι συμβιβαστό με το επιθυμητό εύρος της ζώνης διελεύσεως και την επιθυμητή απόκριση συχνότητας. Αυτές οι βαθμίδες λειτουργούν σαν ενισχυτές τάσεως Α' τάξεως και στην πράξη καθορίζουν την επιλεκτικότητα ενός υπερετερόδουνου δέκτη (σαν επιλεκτικότητα δεν εννοούμε την ικανότητα απορρίψεως της συχνότητας ειδώλου, αλλά γειτονικών καναλιών και συχνοτήτων παρεμβολής).

Οι τιμές των ενδιάμεσων συχνοτήτων για τους ραδιοφωνικούς δέκτες κυμαίνονται από 130 kHz μέχρι 485 kHz , ενώ η πιο συνηθισμένη τιμή, βρίσκεται κοντά στα 455 kHz. Η έξοδος των ενισχυτών ενδιάμεσης συχνότητας τροφοδοτεί τον αποδιαμορφωτή.

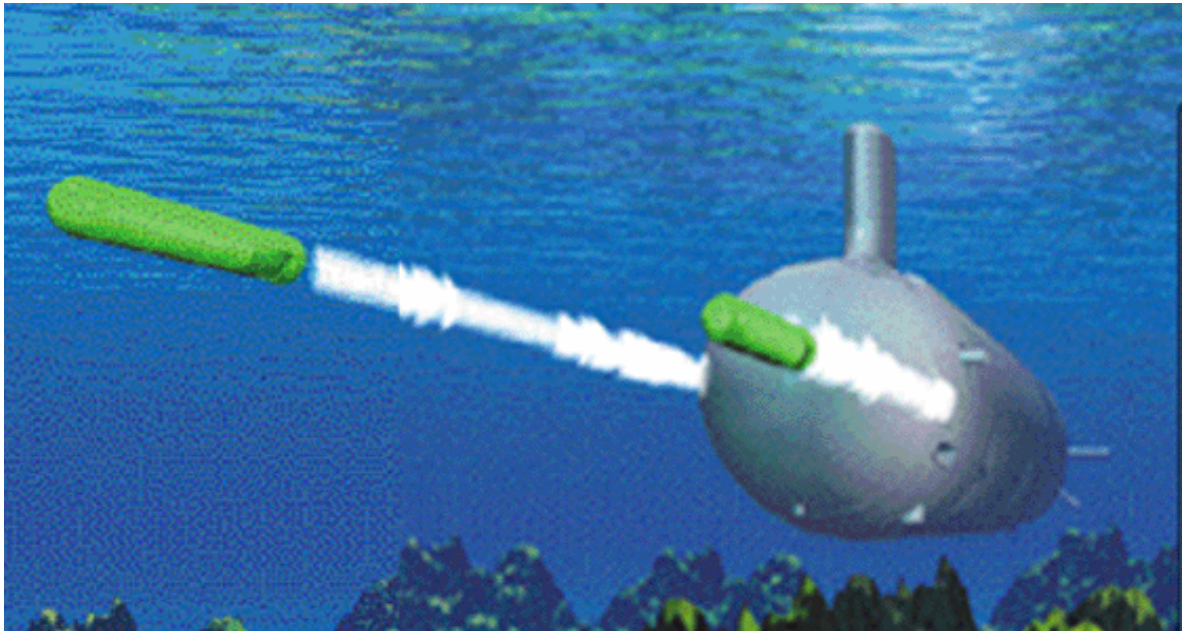
5.9.6.4

ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΤΗΣ, ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΑF ΚΑΙ ΜΕΓΑΦΩΝΩΝ

Οι λειτουργίες της αποδιαμορφώσεως, ενισχύσεως ακουστικής συχνότητας και αναπαραγωγής εκτελούνται, αντίστοιχα από τον αποδιαμορφωτή, τον ενισχυτή ΑF και το μεγάφωνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Στο κεφάλαιο αυτό θα μιλήσουμε για την τορπίλη του υποβρυχίου και την ζημία που μπορεί να προξενήσει σε ένα εχθρικό σκάφος.



6.1

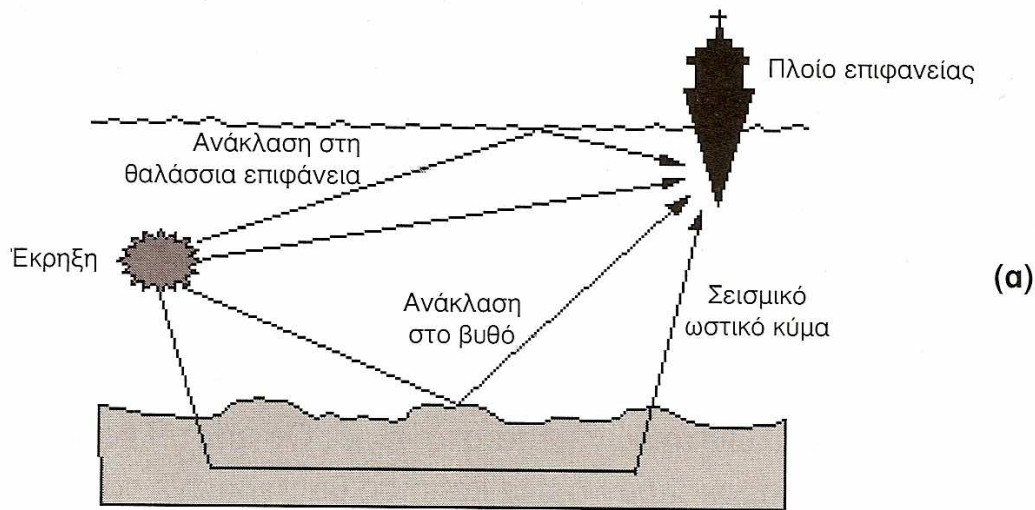
ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΕΚΡΗΞΕΙΣ

Οι υποβρύχιες εκρήξεις δημιουργούν ωστικά κύματα, παρόμοια με τις εκρήξεις στον αέρα. Λόγω όμως των ελαστικών ιδιοτήτων του νερού (ασυμπιεστότητα), τα υποθαλάσσια ωστικά κύματα έχουν μικρότερη διάρκεια, με αναλογικά όμως μεγαλύτερη στιγμιαία υπερπίεση. Επίσης, η ενέργεια των υποβρυχίων ωστικών κυμάτων εξασθενίζει πολύ γρήγορα με την απόσταση λόγω μεγάλων τριβών μέσα στο νερό. Ως αποτέλεσμα, οι υποβρύχιες εκρήξεις δεν προκαλούν όμως κάποιος θα περίμενε το ίδιο επίπεδο ζημιών κατ' αντιστοιχία με τις εναέριες εκρήξεις. Αυτό βέβαια, δεν σημαίνει ότι από τις υποβρύχιες εκρήξεις δεν προκαλούνται σημαντικές καταστροφικές επιδράσεις.

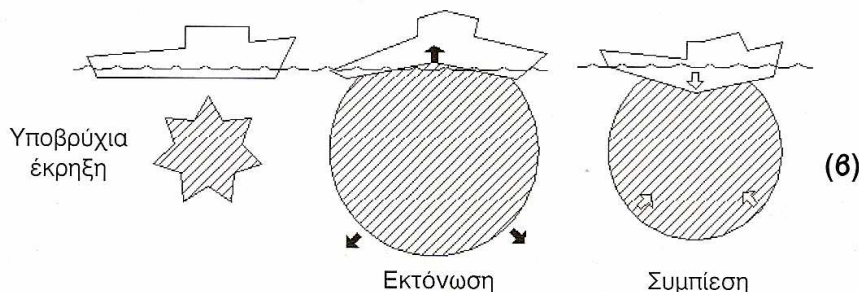
Οι στόχοι που εκτίθενται σε υποβρύχια ωστικά κύματα φορτίζονται με ανάλογο τρόπο όπως και στις εναέριες εκρήξεις. Η επιτυγχανόμενη όμως μετατόπιση του στόχου είναι πολύ μικρότερη, λόγω της μικρότερης διάρκειας του υποβρυχίου ωστικού κύματος και των μεγαλύτερων απωλειών τριβής μέσα στο νερό.

Όταν μια εκρηκτική κεφαλή (γόμωση) ενεργοποιείται σε μικρή απόσταση κάτω από τη γάστρα (στα ύφαλα) ενός πλοίου επιφανείας, τότε η παραγόμενη έκρηξη σχηματίζει μια μεγάλη φουσαλίδα αερίων (ατμού) η οποία καθώς εκτονώνεται ανασηκώνει ολόκληρο το σκάφος περί το μέσον του (το ασυμπύεστο νερό περιβάλλει τη φουσαλίδα από παντού εκτός από τη μεριά του σκάφους το οποίο υποχωρεί στο ωστικό κύμα). Η προς τα πάνω αυτή κίνηση του σκάφους σχηματίζει τόξο (hogging), το οποίο εξασθενίζει την αντοχή της καρένας του.

Στη συνέχεια, όταν σταματήσει η εκτόνωση της φουσαλίδας, τότε λόγω της πίεσης του περιβάλλοντος νερού η φουσαλίδα αρχίζει να υποχωρεί. Αυτό, και σε συνδυασμό με την επίδραση της βαρύτητας, προκαλεί την πτώση του πλοίου μέσα στο δημιουργούμενου κενό, με αποτέλεσμα να κάμπτεται προς τα κάτω (sagging) καθώς συγκρατείται μόνον από τα δυο άκρα (πλώρη και πρύμνη). Με τον τρόπο αυτό, κάτω από την πίεση του δικού του βάρους το πλοίο κόβεται στα δυο (τουλάχιστον υφίσταται κάποιο σημαντικό ρήγμα). Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται αρκετές φορές, λόγω της συμπίεσης του ατμού, η οποία προκαλεί εκ νέου αύξηση της θερμοκρασίας του. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή του πλοίου αν όχι στον πρώτο, σε κάποιους από τους επακόλουθους κύκλους ταλαντώσεων. **(ΕΙΚ. 6.1)**



Επίδραση υποβρύχιας έκρηξης σε πλοίο επιφανείας.



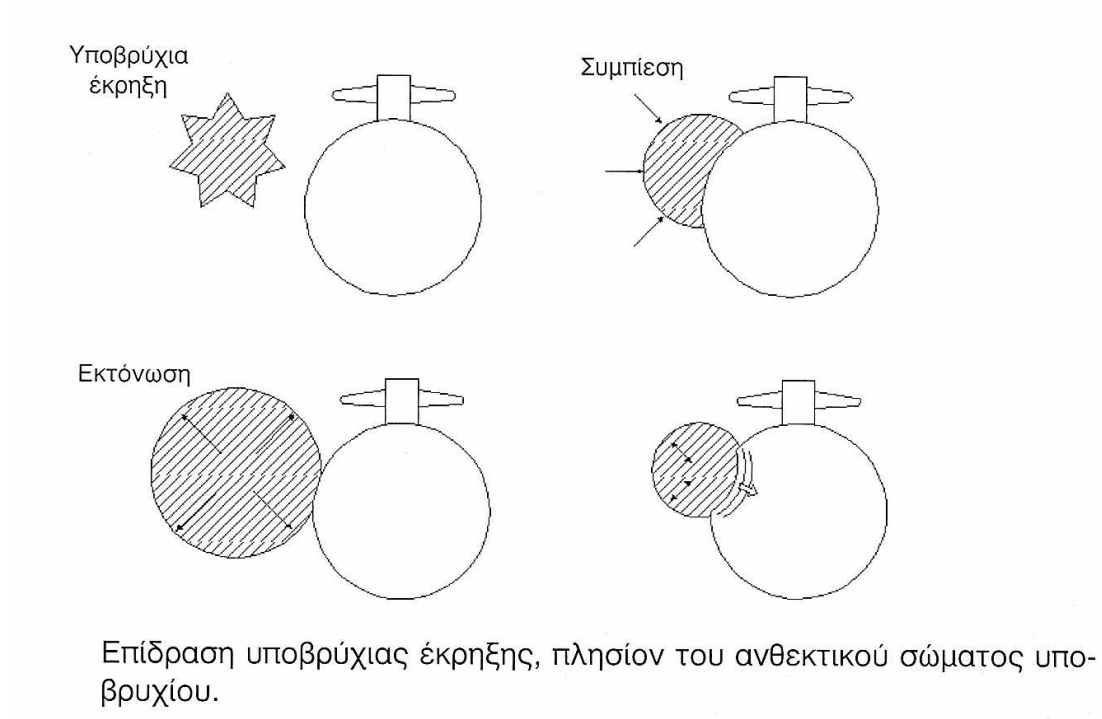
Ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και την ποσότητα/είδος της εκρηκτικής γόμωσης της χρησιμοποιούμενης νάρκης ή τορπίλης, εξαρτάται η απαιτούμενη απόσταση πρόκλησης ζημιών (ρήγμα στην καρένα) ή ακόμη και κοπής του πλοίου σε δύο τμήματα. Ο κίνδυνος θραύσης μειώνεται σε πλοία *εντομοειδούς* ναυπηγικής κατασκευής (*insect* ή *grillage structure*), στα οποία η μηχανική τους αντοχή δεν επικεντρώνεται αποκλειστικά και μόνο στην καρένα, αλλά υποστηρίζεται από ολόκληρη την κατασκευή.

Εικόνα 6.1

Σε μια έκρηξη πλησίον υποβρυχίου σε κατάδυση, δεν μπορεί να εφαρμοσθεί αποτελεσματικά η προηγούμενη τεχνική. Στην περίπτωση αυτή, η αλληλεπίδραση της σχηματιζόμενης φυσαλίδας ατμού με την χαλύβδινη γάστρα, ενισχυόμενη από την υψηλότερη υδροστατική πίεση του περιβάλλοντος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πρόκληση ζημιών ή ακόμη και διάρρηξη του ανθεκτικού σώματος του υποβρυχίου. Η διαδικασία αυτή, απαιτεί μια υποβρύχια έκρηξη σε κοντινή απόσταση από την γάστρα.

Εάν η παραγόμενη φυσαλίδα ατμού έλθει σε επαφή με το ανθεκτικό του υποβρυχίου, τότε «κολλάει» πάνω σε αυτό σαν βεντούζα και

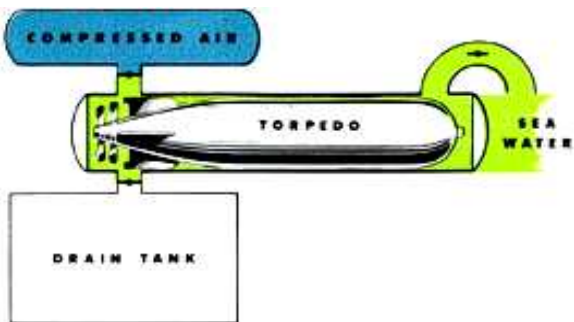
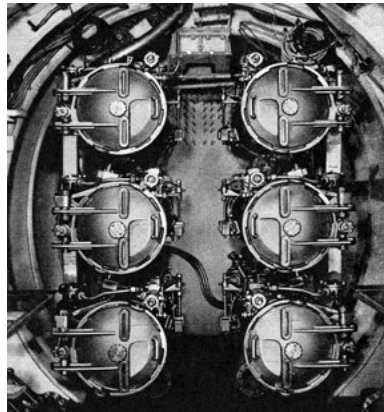
δημιουργεί ταλαντώσεις που προκαλούν στην γάστρα κυκλικές μηχανικές τάσεις. Οι τάσεις αυτές, οδηγούν σε εξασθένηση ή ακόμη και διάρρηξη της γάστρας. (εικ. 6.1.1)



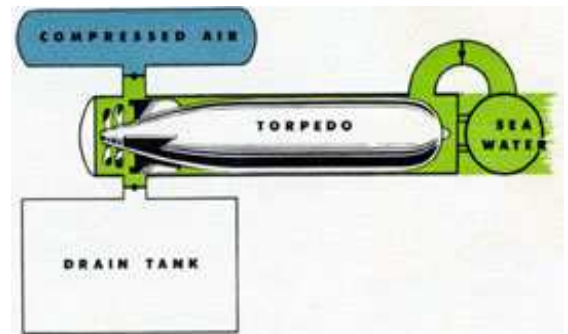
Εικόνα 6.1.1

6.2

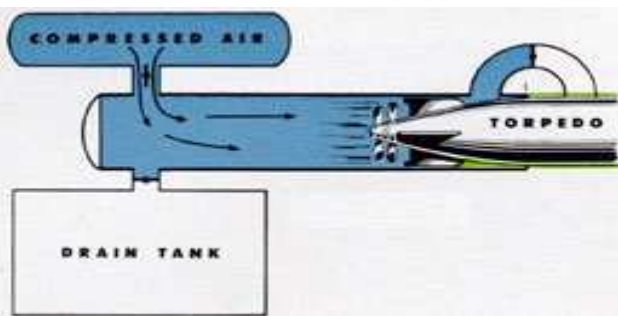
ΤΟΡΠΙΛΕΣ (TORPEDOES)



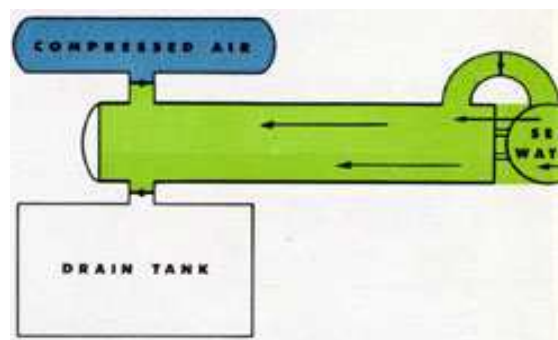
6.2 (α)



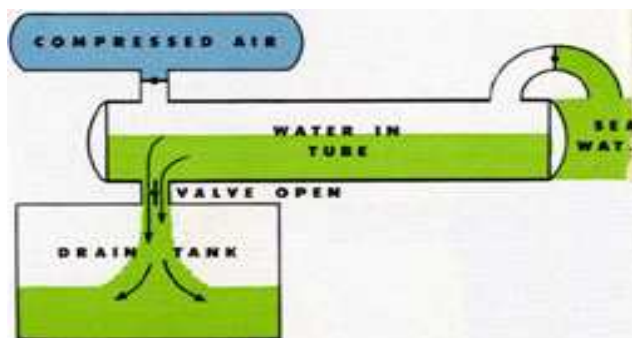
6.2 (β)



6.2 (γ)

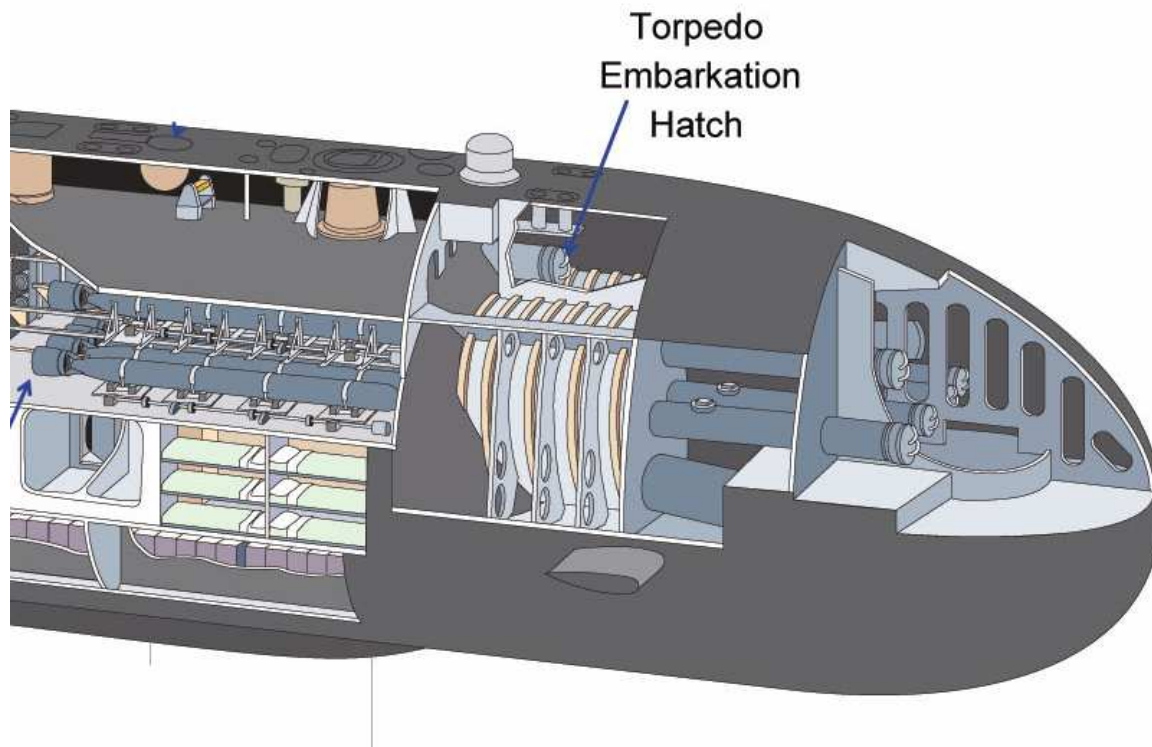


6.2 (δ)



6.2 (ε)

Στις εικόνες βλέπουμε πως φεύγει μια торπίλη από το υποβρύχιο, βέβαια αυτός ο τρόπος εκτόξευσης είναι πιο παλιός σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα.



Εικόνα 6.2

Οι торπίλες αποτελούν αυτοπρωθούμενα υποβρύχια όπλα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την προσβολή πλοίων επιφανείας και υποβρυχίων. Διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες : τις βαρέως τύπου торπίλες που χρησιμοποιούνται εναντίων πλοίων επιφανείας και υποβρυχίων, και τις ελαφρές ανθυποβρυχιακές торπίλες που προορίζονται για τα υποβρύχια.

Οι παλαιότερες торπίλες είναι μικρής έως μεσαίας εμβέλειας ευθυτενούς τροχιάς (straight running). Οι νεότερες τύπου торπίλες είναι πολυπλοκότερες. Ειδικά οι βαρέως τύπου είναι μεγάλης εμβέλειας και καθοδηγούνται από την πλατφόρμα εκτόξευσης μέσω κάποιου λεπτού καλωδίου μετάδοσης πληροφοριών (ενός ή δυο αγωγών), ενώ στο τελικό στάδιο επίθεσης αυτοκατευθύνονται προς τον στόχο με ακουστικό τρόπο (passive / active homing).

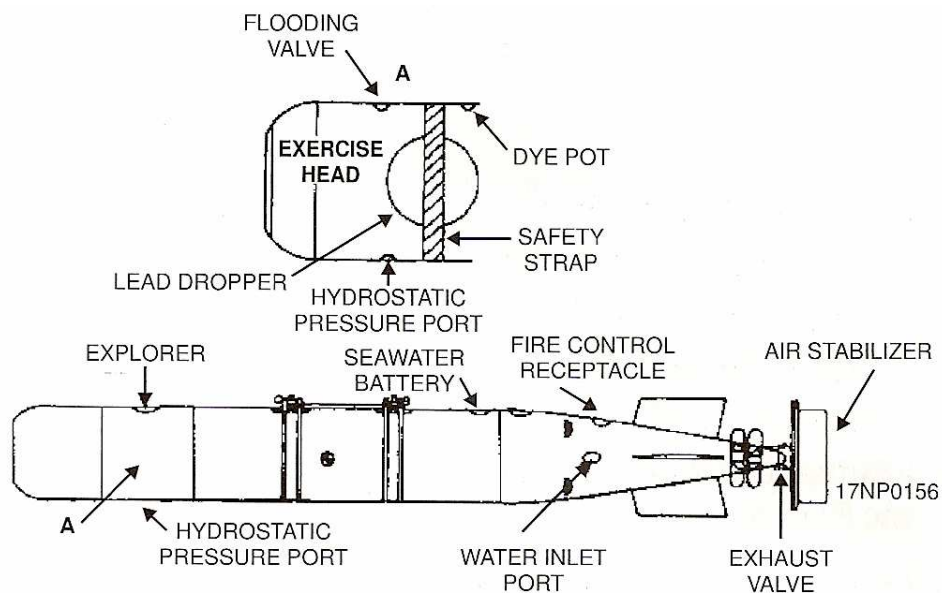
Αυτές, είναι γνωστές ως τορπίλες ενσύρματης καθοδήγησης (wire guided). Η ενσύρματη καθοδήγηση παρέχει δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας στοιχείων μεταξύ πλατφόρμας εκτόξευσης και τορπίλης. Κάποιοι νεότεροι τύποι τορπίλων διαθέτουν ενσύρματη καθοδήγηση μέσω καλωδίου μονότροπης οπτικής ίνας (single mode fiber optic, $\lambda = 1310 \text{ nm}$ ή 1550 nm), παρέχοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα πλήρους ακουστικού καναλιού μέσω του οποίου ο χειριστής μπορεί να παρακολουθεί από το sonar της τορπίλης το σήμα (είτε σε ακατέργαστη μορφή υδροφωνικών είτε σε μορφή επεξεργασμένων στοιχείων DEMON).

Η οπτική ίνα παρέχει δυνατότητα επικοινωνίας σε μεγαλύτερες αποστάσεις και με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, συγκριτικά με τους απλούς χάλκινους αγωγούς (μονούς ή διπλούς).

Η πρώτη τορπίλη κατασκευάστηκε με μεγάλη μυστικότητα το 1866, στο εργοστάσιο του Σκοτσέζου μηχανικού Sir Robert Whitehead στο λιμάνι Flume της πρώην Αυστρο-Ουγγρικής αυτοκρατορίας. Το ίδιο έτος ακολούθησε η μεγάλη επιτυχία του πρώην Αυστρο-Ουγγρικής αυτοκρατορίας. Το ίδιο έτος ακολούθησε η μεγάλη επιτυχία του Αυστριακού Ναυτικού εναντίων των Ιταλών στη ναυμαχία της Λίσα. Η τορπίλη των Αυστριακών λειτουργούσε με ψυχρό πεπιεσμένο αέρα, ανέπτυξε ταχύτητα 7 Knots και διέθετε μέγιστη εμβέλεια 650 μέτρων. Το 1880, η ταχύτητα των τορπίλων είχε βελτιωθεί στους 30 Knots και έφθανε αποστάσεις μέχρι και ένα χιλιόμετρο. Το 1897 ο Αυστριακός μηχανικός **Ludwig Obry** κατασκεύασε ένα μηχανικά περιστρεφόμενο γυροσκόπιο, μέσω του οποίου επιτευχθεί μεγάλη ακρίβεια στην κατεύθυνση των τορπίλων. Σήμερα, οι μοντέρνες τορπίλες διαθέτουν γυροσκόπια laser (ring laser gyro), τα οποία δεν περιλαμβάνουν καθόλου μηχανικά κινούμενα μέρη και διαθέτουν εξαιρετική ακρίβεια μέτρησης της ταχύτητας / ρυθμού περιστροφής γύρω από τον άξονα ευαισθησίας τους, ανεξάρτητα των μηχανικών κραδασμών και μεταβολών θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Ακολούθησε η ανάπτυξη των τορπίλων ατμού (μίγματος παραφίνης, νερού και αέρα), οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς κατά τον Α' και Β' παγκόσμιο πόλεμο (ορισμένοι τύποι τορπίλων ατμού με καύσιμο οινόπνευμα, συναντώνται σε επιχειρησιακή χρήση ακόμη και μέχρι και σήμερα). Η ταχύτητα πολλών τορπίλων ατμού, έφθανε με σχετική ευκολία ακόμη και τους 40 Knots.

Οι πρώτες ηλεκτρικά προωθούμενες τορπίλες εμφανίσθηκαν το 1939 από τους γερμανούς, οι οποίες χρησιμοποιούσαν μπαταρίες μολύβδου και στην καλύτερη περίπτωση δεν ξεπερνούσαν την εμβέλεια των 5 Km και την ταχύτητα των 30 Knots. Η πρώτη ακουστικά καθοδηγούμενη τορπίλη από τα υδροφωνικά των υποβρυχίων παρήχθη και αυτή από το γερμανικό ναυτικό το 1943, όπως επίσης και τεχνικές ενσύρματης καθοδήγησης (wire guidance) και παρακολούθησης απόνερων (wake homing / following). Από τότε μέχρι σήμερα έχουν υπάρξει σημαντικές προσπάθειες για την βελτίωση των τορπίλων σε όλους τους τομείς, και ιδιαίτερα στις τεχνικές αυτοκατεύθυνσης (εσωτερικών προγραμμάτων) αυτών. (εικ. 6.2.1)



Εικόνα 6.2.1

6.3

Τα κυριότερα τμήματα μιας μοντέρνας τορπίλης είναι τα ακόλουθα :

1. Εμπρόσθιο τμήμα (Nose section)

Στο τμήμα αυτό, βρίσκεται η ακουστική κεφαλή (μορφοτροπέας με τα αντίστοιχα ηλεκτρονικά του sonar) και το ηλεκτρονικό σύστημα καθοδήγησης της τορπίλης (control & guidance unit). Η ακουστική κεφαλή συνήθως λειτουργεί παθητικά (passive) προκειμένου να εντοπίζει τον παραγόμενο ευρέως φάσματος θόρυβο των στόχων (υδροφωνικά αποτέλεσμα) μέσω ενεργειακής ανίχνευσης ή τις διακριτές συχνότητες (tonals) αυτών μέσω επεξεργασίας στενού φάσματος (FFT).

Σε περιπτώσεις αθόρυβων στόχων μεταπίπτει σε ενεργητική κατάσταση λειτουργίας (active). Για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα ορισμένες τορπίλες είναι δυνατό να λειτουργήσουν ταυτόχρονα ενεργητικά και παθητικά. Επίσης, οι πιο μοντέρνες από αυτές ενσωματώνουν έξυπνα εσωτερικά προγράμματα (αλγόριθμους) για την αποφυγή των διαφόρων τύπων ακουστικών αντίμετρων. Ο θόλος της ακουστικής κεφαλής έχει κατάλληλο σχήμα για μείωση του παραγόμενου υδροδυναμικού θορύβου σε υψηλές ταχύτητες.

Τέλος, για την απομόνωση της ακουστικής κεφαλής από τους κραδασμούς / αυτοθορύβους της τορπίλης, στο εσωτερικό της υπάρχουν τοποθετημένα ειδικά ηχομονωτικά ασπίδια (μπάφλες) ενώ ο προβολέας στηρίζεται σε ειδικές αντικραδασμικές βάσεις.

2. Κεφαλή μάχης (Warhead section)

Το τμήμα αυτό, περιλαμβάνει τον πυροσωλήνα (exploder / fuze) κρουστικού τύπου (σε ορισμένες περιπτώσεις μαγνητικής ή ακουστικής επίδρασης), και την εκρηκτική γόμωση. Οι ελαφριές ανθυποβρυχιακές τορπίλες φέρουν περί τα 30 -70 kg εκρηκτικής ύλης (HBX-3, H-6, PBXN). Για αύξηση της αποτελεσματικότητας της έκρηξης, συνήθως η γόμωση είναι μορφοποιημένη (shaped charge). Οι βαρύτερες τορπίλες των υποβρυχίων φέρουν 180 – 300 kg εκρηκτικής ύλης.

3. Τμήμα πρόωσης (Propulsion section)

Το τμήμα αυτό, περιλαμβάνει τον ηλεκτρικό κινητήρα με την πολύ μεγάλη βάρους και υψηλού κόστους μπαταρία του, ή κάποια μηχανή θερμοδυναμικής καύσης (στροβιλομηχανή , κινητήρας wankel) μαζί με το καύσιμο μίγμα αυτής (chemical combustion). Γενικά, οι ταχύτερες συμβατικές τορπίλες χρησιμοποιούν θερμοδυναμικές μηχανές (θερμική πρόωση). Στην περίπτωση της θερμικής πρόωσης, η απόδοση της τορπίλης συνήθως περιορίζεται με το βάθος, λόγω της υδροστατικής πίεσης που θα πρέπει να υπερνικήσει η εξαγωγή των καυσαερίων της μηχανής. Οι τορπίλες με μηχανές θερμικής καύσης, μπορούν να φθάσουν σε ταχύτητα ακόμη και τους 70 knots.

Είναι όμως θορυβώδεις συγκριτικά με τις αντίστοιχες τορπίλες ηλεκτρικής πρόωσης (έως και 15 – 20 dB). Επίσης, ορισμένες φορές εντοπίζονται ευκολότερα από στόχους ακόμη και οπτικά, είτε λόγω των παραγόμενων καυσαερίων είτε λόγω σχηματισμού απόνερων (ιδιαίτερα όταν διαδρομούν πλησιέστερα στην θαλάσσια επιφάνεια). Οι περισσότερες ηλεκτρικές τορπίλες χρησιμοποιούν μπαταρίες Ag – Zn ή AgO – Zn με ηλεκτρολύτη KOH (μέγιστη θεωρητική πυκνότητα αποθηκευμένης ενέργειας 460 Wh / kg &πρακτικά 120 Wh / kg) ή Mg – AgCl με ηλεκτρολύτη θαλασσινό νερό, ενώ ορισμένες τορπίλες μοντέρνου τύπου χρησιμοποιούν τορπίλες Al – AgO με ψυχωμένο ηλεκτρολύτη. Σε όλες τις περιπτώσεις και ανάλογα με την εκάστοτε υλοποίηση, η επιτυγχανόμενη πρακτικά πυκνότητα αποθηκευμένης ενέργειας είναι αρκετά μικρότερη από την θεωρητική. Για ακόμη χαμηλότερη στάθμη θορύβου, οι μοντέρνες τορπίλες χρησιμοποιούν κινητήρα απευθείας σύζευξης με τις τορπίλες, χωρίς την ενδιάμεση παρεμβολή κάποιου μηχανικού μειωτήρα μετάδοσης στροφών.

4. Τμήμα ουράς (Tail section)

Το ουραίο τμήμα, περιλαμβάνει τα πηδάλια διεύθυνσης, τους μηχανισμούς κίνησης αυτών (steering control actuators) και τις προπέλες (αντίστροφα περιστρεφόμενες) ή το χαμηλότερου θορύβου σύστημα πρόωσης rump jet.

Οι τορπίλες αποτελούν όπλα που βελτιώνονται διαρκώς, προκειμένου να αντιμετωπίζουν επιτυχώς τις εξελισσόμενες κάθε φορά απειλές.

6.4

Ορισμένοι τύποι τορπιλών που συναντιόνται διεθνώς είναι οι ακόλουθοι:

■ **Τορπίλες βαρέως τύπου HWT (Heavyweight Torpedoes)**

Αποτελούν τορπίλες που εκτοξεύονται κυρίως από υποβρύχια, εναντίων πλοίων επιφανείας ή άλλων υποβρυχίων. Συνήθως, είναι ενσύρματης καθοδήγησης (wire guided), για την αποφυγή της επίδρασης των ακουστικών παρεμβολών / αντιμέτρων και την αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων καθ' όλη την ενδιάμεση φάση καθοδήγησης ακόμη και σε μεγάλες αποστάσεις. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη εμβέλεια δράσης και μεταφέρουν σημαντική ποσότητα εκρηκτικής γόμωσης.

Ορισμένοι τύποι τορπιλών βαρέως τύπου μπορούν να τροποποιηθούν κατάλληλα, ώστε να χρησιμοποιούνται για την πόντιση αυτοκινούμενων ναρκών βυθού σε περιοχές ρηχών υδάτων πλησίον ακτών (SLMM – Submarine Launched Mobile Mines).

■ **SST-4 (Special Surface Target)**

Παλαιά ηλεκτροκίνητη τορπίλη ενσύρματη καθοδήγησης, η οποία βάλλεται μόνον εναντίων πλοίων επιφανείας (βάθη λειτουργίας έως 100 m). Χρησιμοποιεί μπαταρία Ag-Zn (Αργύρου – Ψευδαργύρου). Ταχύτητα low / high (23 / 34 knots), εμβέλεια 12,7 km.

■ **SUT (Surface & Underwater Target)**

Παλαιά ηλεκτροκίνητη τορπίλη ενσύρματη καθοδήγησης, η οποία βάλλεται εναντίων πλοίων επιφανείας και υποβρυχίων (διττού ρόλου). Το επιχειρησιακό βάθος λειτουργίας είναι 2-460 m. Χρησιμοποιεί μπαταρία Ag-Zn. Ταχύτητα 34 knots. Θεωρητική εμβέλεια 12 km.

■ **DM2A4 Seehecht**

Ανήκει στην τελευταία γενιά των ηλεκτρικά προωθούμενων γερμανικών τορπιλών ενσύρματης καθοδήγησης, διττού ρόλου (εναντίων πλοίων και υποβρυχίων), με passive / active homing head. Είναι μια τορπίλη με ισχυρό σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης (κινητήρας διέγερσης με μόνιμο μαγνήτη), και ταχύτητα βηματιστικής ρύθμισης από 25 έως 52 knots.

Διαθέτει ηλεκτρικό συσσωρευτή, ο οποίος καθορίζει τις επιδόσεις ταχύτητας και εμβέλειας σε συνδυασμό κάθε φορά με την χρήση κατάλληλων προπελών. Αντί του κλασσικού χάλκινου αγωγού καθοδήγησης, η торπίλη είναι εξοπλισμένη με οπτική ίνα επικοινωνίας, η οποία πέραν των υπολοίπων παρέχει στην πλατφόρμα εκτόξευσης δυνατότητα λήψης ακουστικού καναλιού για περαιτέρω επεξεργασία. Η μέγιστη επιταχυνόμενη εμβέλεια για торπίλη με πλήρη μορφή συσσωρευτή, μπορεί θεωρητικά να φθάσει μέχρι και 100 km (πρακτικά είναι μικρότερη και εξαρτάται από την ταχύτητα και τα εκτελούμενα προγράμματα της торπίλης κατά μήκος της διαδρομής). Διαθέτει αισθητήρα απόνερων και αλγόριθμο απόρριψης των ρυμουλκώμενων από πλοία επιφανείας παρεμβολών θορύβου (towed decoy discrimination). Ο ακουστικός προβολέας αποτελεί μια σύμμορφη διάταξη 152 στοιχείων η οποία διατηρεί το υδροδυναμικό σχήμα της торπίλης και ταυτόχρονα επιτρέπει τη δυνατότητα έρευνας σε ευρύτερο οριζόντιο τομέα.

■ Mk – 48 Raytheon και παλαιότερα Hughes Aircraft Company

Η Mk-48 φτιάχτηκε για την αντιμετώπιση των εξελιγμένων πυρινοκρήνιτων Σοβιετικών υποβρυχίων της εποχής του ψυχρού πολέμου. Σήμερα, φέρεται πρωτίστως από υποβρύχια (τόσο πυρηνικά όσο και συμβατικά) και βάλλεται εναντίων υποβρυχίων και πλοίων επιφανείας (είναι διττού ρόλου).(εικ. 6.4)



Η βαρέως τύπου торπίλη Mk-48 ADCAP της Raytheon.

Εικόνα 6.4

Χρησιμοποιεί εμβολοφόρο μηχανή εξωτερικής καύσης και γι'αυτό θεωρείται σχετικά ποιο θορυβώδης τορπίλη σε σχέση με άλλες. Μέγιστη ταχύτητα 55 knots, και εμβέλεια 38 km. Το μέγιστο βάθος λειτουργίας της τορπίλης είναι 900 m. Διαθέτει ενσύρματη καθοδήγηση χάλκινου αγωγού (χωρίς ακουστικό κανάλι), και ακουστική κεφαλή προηγμένης σχεδίασης (passive / active homing head). Σε ενεργητική λειτουργία λαμβάνει ακουστικά σήματα σε πολύ χαμηλότερες συχνότητες. Φέρει πολυπτέρυγο προπέλα (12 πτερυγίων), η οποία είναι τοποθετημένη μέσα σε οχετό (rump jet).

Δεν διαθέτει δυνατότητα wake homing. Έχει ισχυρό ενεργητικό sonar εντοπισμού στόχων, μοντέρνα ψηφιακή επεξεργασία σήματος.

■ **Black Shark / F-21**

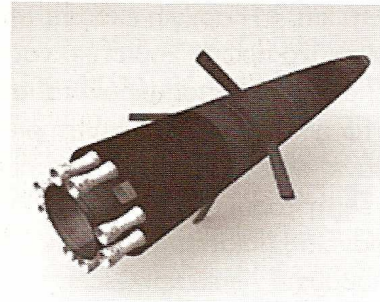
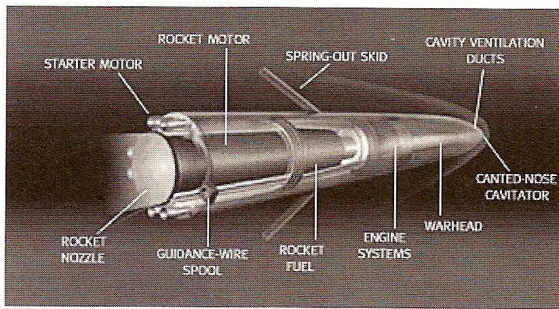
Διτού ρόλου, εναντίων πλοίων επιφανείας και υποβρυχίων. Είναι ενσύρματης καθοδήγησης με οπτική ίνα επικοινωνίας, η οποία παρέχει στην πλατφόρμα εκτόξευσης δυνατότητα λήψης ακουστικού καναλιού για περαιτέρω επεξεργασία (DEMON). Διαθέτει ακουστική κεφαλή νέας τεχνολογίας (passive / active homing head), με επίπεδη διάταξη στοιχείων. Εκμεταλλεύεται ταυτόχρονα υψηλές και μεσαίες ακουστικές συχνότητες (> 13 kHz), για εντοπισμό και αναγνώριση πραγματικών στόχων, ακουστικών αντίμετρων (decoy discrimination). Το σχήμα του κώνου και ο μορφοτροπέας έχουν βελτιστοποιηθεί για την υψηλή ταχύτητα της τορπίλης (50 + knots). Η μέγιστη επιτυγχανόμενη εμβέλεια είναι της τάξης των 50 – 70 km (ανάλογα με την ταχύτητα και τα εκτελούμενα προγράμματα κατά τη διαδρομή της τορπίλης). Η πρόωση είναι ηλεκτρική, με μπαταρία υψηλής ισχύος Al – AgO, ενώ ο χαμηλής ταχύτητας αντιθέτου περιστροφής ηλεκτροκινητήρας (ισχύος 300 kW) εμπλέκεται απευθείας στους άξονες τορπιλών (δεν χρησιμοποιείται μειωτήρας στροφών για τη χαμηλότερη δυνατή στάθμη θορύβου).

■ **VA – 111 Shkval**

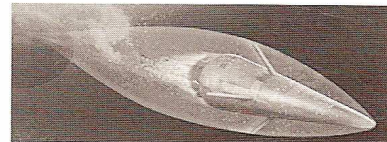
Ρωσικής κατασκευής μη – συμβατική τορπίλη ενσύρματης καθοδήγησης. Εφαρμόσει τεχνολογία υπερσπηλαίωσης (supercavitating) με πρόωση πυραυλοκινητήρα στερεών καυσίμων (αποτελεί στην κυριολεξία υποβρύχιο πύραυλο). Επιτυγχάνει μέγιστη ταχύτητα 200 – 230 knots και εμβέλεια άνω των 10 km.

Η τριβή (υδροδυναμική αντίσταση) που συναντά οποιοδήποτε σώμα κατά την κίνηση του μέσα στο νερό είναι περί τις 1000 φορές μεγαλύτερη συγκριτικά με τον αέρα, μεγενθυνόμενη μάλιστα δραματικά με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης. Όμως, από την ταχύτητα των 100 knots (50m/sec) και πάνω, έχει βρεθεί ότι το νερό μετατρέπεται σε αέρια κατάσταση (ατμός). Συγκεκριμένα, όταν η πίεση του νερού γύρω από το κινούμενο σώμα (ιδιαίτερα στις οξείες άκρες αυτού) πέσει στο επίπεδο της τάσης ατμών ή χαμηλότερα, τότε αυτό μετατρέπεται σε ατμό με βίαιο τρόπο.

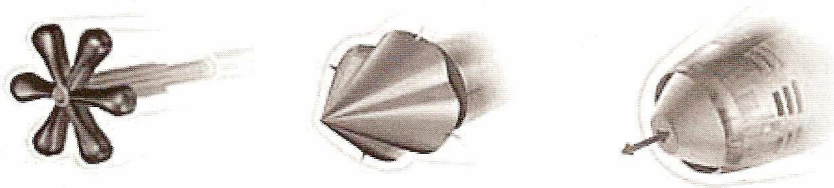
Αποτέλεσμα, είναι ολόκληρο το σώμα να ταξιδεύει μέσα σε ένα θύλακα αερίων χαμηλής πυκνότητας και σχεδόν σταθερής πίεσης, με πολύ μικρότερη αντίσταση από την υδροδυναμική. Βασικές προϋπόθεσης για την επιτυχία της τεχνικής είναι τουλάχιστον το κατάλληλο υδροδυναμικό σχήμα του σώματος (οξύ ρύγχος) και η ύπαρξη ενός ισχυρού συστήματος πρόωσης. Ανάμεσα στα συστήματα πρόωσης που δοκιμάζονται, είναι ο πυραυλοκινητήρας με υψηλής ενεργειακής πυκνότητας στερεό καύσιμο αλουμινίου, μαγνησίου ή λιθίου (η απόδοση όμως μειώνεται απότομα με το βάθος και την απόσταση). Από τον τορπιλοσωλήνα του υποβρυχίου απομακρύνεται αρχικά με ταχύτητα 50 knots με τη βοήθεια οκτώ μικρών πυραυλοκινητήρων (starter motors), και στη συνέχεια αναλαμβάνει ο μεγάλος κεντρικός πυραυλοκινητήρας. Σύμφωνα με ορισμένες πηγές, η τορπίλη αυτή προορίζεται για την προσβολή μεγάλων πλοίων επιφανείας (αεροπλανοφόρο). Για την τεχνολογία των τορπιλών αυτών δεν υπάρχουν ακόμη γνωστά αντίμετρα για την αντιμετώπιση της (εικ 6.4.1).



Τομή της ρωσικής τορπίλης *Shkval*. Διαθέτει επίπεδο δίσκο (cavitator) στο ρύγχος για τη δημιουργία σπηλαιώσης, η οποία στη συνέχεια μεγενθύνεται μέσω της έγχυσης μέρους των καυσαερίων πρόωσης από ειδικούς αεραγωγούς στο εμπρόσθιο μέρος, δημιουργώντας κατάσταση υπερσπηλαιώσης. Η ταχύτητα της τορπίλης ρυθμίζεται ελέγχοντας το μέγεθος της υπερκοιλότητας μέσω της έγχυσης των αερίων.



Απεικόνιση της μακρόστενης ελλειψοειδούς υπερκοιλότητας (supercavity) που δημιουργείται γύρω από μία τορπίλη *Shkval*. Διακρίνονται ανεπτυγμένα τα πτερύγια οδήγησης (spring out guidance fins).



Για την κίνηση ενός σώματος με ταχύτητες υπερσπηλαιώσης, μπορούν να επιλεγούν διάφορες μορφές ρύγχους (cavitators), πχ επίπεδου κυκλικού ή ελλειπτικού σχήματος δίσκου (υιοθετείται από τα περισσότερα βλήματα πυροβόλων υπερσπηλαιώσης), σχήματος γραναζιού με ορθογώνιες ή τριγωνικές εγκοπές, κώνου, σχήματος στυλό με κινούμενη σφαιρική άκρη, κτλ. Η κάθε γεωμετρία επιτυγχάνει διαφορετικές μορφές κοιλότητας υπερσπηλαιώσης με τα δικά της ιδιαίτερα χαρακτηριστικά σταθερότητας που συνενεργάζονται με την υπόλοιπη σχεδίαση του σώματος (θέση κέντρου βάρους, πτερύγια, κτλ). Το υλικό κατασκευής του ρύγχους θα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικό στις δημιουργούμενες πιέσεις. Στα μεγαλύτερου μεγέθους σώματα, το ρύγχος υπερσπηλαιώσης έχει κάποια γωνία κλίσης προκειμένου να υποστηρίξει το εμπρόσθιο μέρος.

Εικόνα 6.4.1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Τέλος στο κεφάλαιο αυτό θα απαντηθούν κάποιες απορίες που μπορεί να υπάρξουν όσο αναφορά για την διαβίωση του προσωπικού.

7.1

Μπορείτε να δείτε έξω, όταν βρίσκεστε κάτω από το νερό;

Τα Υποβρύχια δεν έχουν παράθυρα. Έχουν όμως τη δυνατότητα να ελέγξουν την επιφάνεια της θάλασσας, όταν βρίσκονται σε κατάλληλο βάθος, με τα περισκόπια.

Πόσο χρονικό διάστημα μπορείτε να παραμείνετε κάτω από το νερό;

Ένα συμβατικό Υποβρύχιο, όπως αυτά που διαθέτει το Πολεμικό Ναυτικό, έχει τη δυνατότητα αυτονομίας ταξιδιού περισσότερο από 50 ημέρες σε κατάδυση. Βασική προϋπόθεση είναι η φόρτιση των μπαταριών του και η ανανέωση της ατμόσφαιρας του σκάφους, σε τακτικά χρονικά διαστήματα (συνήθως 1 φορά στο 48ωρο). Για αυτό το λόγο υπάρχει συγκεκριμένη διαδικασία η οποία ονομάζεται "ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΗΡΑΣ", κατά την οποία το Υποβρύχιο βρίσκεται σε κατάλληλο βάθος, κοντά στην επιφάνεια και με έναν τηλεσκοπικό σωλήνα "ρουφάει" αέρα, με σκοπό την ανανέωση της ατμόσφαιρας και τη λειτουργία των μηχανών για φόρτιση των μπαταριών του μέσω γεννητριών.

Γιατί τα Υποβρύχια είναι βαμμένα σε μαύρο χρώμα;

Τα Υποβρύχια είναι σχεδιασμένα για να ταξιδεύουν κάτω από το νερό και πρέπει να ταιριάζουν με το περιβάλλον, ώστε να κρύβονται και να μην είναι ορατά από (αεροσκάφη και Ε/Π) όταν βρίσκονται σε βάθος περισκοπικό. Έχει αποδειχθεί για τη Μεσόγειο τουλάχιστον ότι το μαύρο είναι το πλέον κατάλληλο χρώμα.

Πόσο βαθιά πηγαίνει ένα Υποβρύχιο;

Τα Υποβρύχια τ.209 που διαθέτει το Πολεμικό Ναυτικό έχουν δυνατότητα κατάδυσης σε βάθος μεγαλύτερο των 250μ. Το ακριβές μέγιστο βάθος, όπως και το **σύνθητες βάθος στο οποίο επιχειρούν είναι ΑΠΟΡΡΗΤΑ** .

Πόσα άτομα υπηρετούν σε ένα Υποβρύχιο;

Τα Ελληνικά Υποβρύχια έχουν προσωπικό περί τα 35 άτομα εκ των οποίων 5-6 είναι Αξιωματικοί ενώ οι υπόλοιποι είναι Μόνιμο υπαξιωματικοί και Επαγγελματίες Οπλίτες.

Τι τρώτε;

Το Υποβρύχιο διαθέτει πλήρες εξοπλισμένο μαγειρείο με κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό δύο ατόμων, τα οποία στον περιορισμένο χώρο που διαθέτουν, προσπαθούν να ικανοποιήσουν όλες τις διατροφικές ανάγκες του πληρώματος. Δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην ποιότητα του φαγητού, καθώς είναι μια από τις ελάχιστες απολαύσεις του πληρώματος εν καταδύσει.

Καπνίζετε μέσα στο Υποβρύχιο;

Το κάπνισμα στα Υποβρύχια εν καταδύσει αποφεύγεται και επιτρέπεται συνήθως κατά τη διάρκεια αναπνευστήρα. Επιτρέπεται όταν το Υ/Β βρίσκεται εν επιφάνεια.

Με τι ταχύτητα ταξιδεύει ένα Υποβρύχιο;

Ο συνήθης πλους ενός Υποβρυχίου τ.209 μπορεί να συγκριθεί με την ταχύτητα που αναπτύσσει ένας ποδηλάτης, σε όχι και πολύ γρήγορο ρυθμό (περίπου 12Km/h).

Τι γίνεται αν κάποιος υποφέρει από κλειστοφοβία;

Οι ειδικές εξετάσεις που γίνονται στα υποψήφια πληρώματα των Υποβρυχίων δεν επιτρέπουν σε κλειστοφοβικά άτομα να σταδιοδρομήσουν στα Υποβρύχια.

Πώς προσανατολίζεστε;

Ένα Υποβρύχιο ταξιδεύει με βάσει του υπάρχοντες ναυτικούς χάρτες, την πυξίδα και την ηχοεντοπιστική συσκευή (SONAR) που διαθέτει για τον εντοπισμό των πλοίων που βρίσκονται στην επιφάνεια ή στο βυθό.

Μπορεί κάποιος να υπηρετήσει τη θητεία του στα Υποβρύχια;

Σήμερα, δυνατότητα να υπηρετήσουν στα Υποβρύχια έχουν μόνο οι στρατεύσιμοι ειδικότητας ΙΑΤΡΟΥ.

Υπηρετούν γυναίκες στα Υποβρύχια;

Λόγω της ιδιαιτερότητας των χώρων ενδιαίτησης του προσωπικού, δεν υπάρχει η δυνατότητα να υπηρετούν γυναίκες στα Ελληνικά Υποβρύχια.

Η διαβίωση μέσα στο υποβρύχιο πως είναι;

Η διαβίωση μέσα στο υποβρύχιο είναι δύσκολη, θέλει υπομονή, συνεργατικότητα, κατανόηση. Λόγω του περιορισμένου χώρου. Το μόνο μέρος που μπορείς να ηρεμήσεις είναι η κουκέτα σου.

Σε περίπτωση ανάγκης υπάρχει περίπτωση να διασωθεί το προσωπικό;

Σε περίπτωση ανάγκης από το υποβρύχιο ελευθερώνονται οι σωσίβιες λέμβοι οι οποίες εκπέμπουν μήνυμα ΣΟΣ, έχουν ένα πομποδέκτη. Βέβαια είναι πολύ δύσκολο να διασωθεί το προσωπικό όταν το υποβρύχιο βρίσκεται αρκετά μέτρα κάτω από τη θάλασσα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Επίλογος

Στην αυτή την πτυχιακή εργασία, έγινε μια προσπάθεια να δούμε πως λειτουργεί ένα υποβρύχιο. Ξεκινώντας από το **κεφάλαιο 1**, όπου εκεί αναφέρεται η ιστορική αναδρομή του υποβρυχίου, και στην συνέχεια γίνεται μια μικρή ιστορική αναδρομή για τα πυρηνικά υποβρύχια, τα οποία είναι τα πιο εξελιγμένα πολεμικά μέσα από τα συμβατικά υποβρύχια, και βέβαια θα λέγαμε ότι όποια χώρα διαθέτει πυρηνικό υποβρύχιο θεωρείται και υπερδύναμη διότι το πυρηνικό υποβρύχιο έχει την δυνατότητα να μην γίνεται αντιληπτό από τον εχθρό με τα σύγχρονα μέσα που διαθέτει, και να μπορεί να εκτοξεύει πυραύλους μέσα από τη θάλασσα, όταν ο στόχος βρίσκεται πολλά μίλια μακριά. Στο επόμενο κεφάλαιο έγινε μια περιληπτική αναφορά το πώς λειτουργεί ένα υποβρύχιο. Στην συνέχεια αναφερθήκαμε στις βασικές συσκευές επικοινωνίας οι οποίες λειτουργούν όταν το υποβρύχιο βρίσκεται κάτω από τη θάλασσα, και στις συσκευές όταν υποβρύχιο βρίσκεται σε περισκοπικό βάθος, η επάνω από την θάλασσα. Τέλος εξηγήσαμε πως λειτουργεί μια τορπίλη, και απαντήσαμε σε ερωτήσεις για τις συνθήκες διαβίωσης, προσωπικού του υποβρυχίου. Για περισσότερες πληροφορίες όσο αναφορά για το υποβρύχιο ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει σε βιβλία και σε σελίδες του internet που βρίσκονται στην βιβλιογραφία.

Βιβλιογραφία

Νικόλαος Γ. Μαλαχίας M.Sc, Γεώργιος Α. Σάγος MSc, Αρχές Ραντάρ και Ηλεκτρονικού πολέμου. Εκδόσεις Παπασωτηρίου 1998.

Νικόλαος Γ. Μαλαχίας M.Sc, Γεώργιος Α. Σάγος MSc, Αρχές Υδροακουστικής & Συστημάτων Sonar. Εκδόσεις Παπασωτηρίου 2003.

William S. Burdic "UNDERWATER ACOUSTIC SYSTEM ANALYSIS", Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.

Oscar Bryan Wilson "Introduction to Theory and Design of Sonar Transducers", Peninsula Publishing, Los Altos, California 1988.

Frederick V. Hunt, "Electro acoustic, The Analysis of Transduction and its Historical Background", Acoustical Society of America, 1982.

Merrill L. Skolnik "Introduction to Radar Systems", McGraw Hill, Inc, Second Edition, New York, 1980.

Ivan J. LaHaie, "Ultra wideband Radar", SPIE Proceedings Volume 1631, 22-23 January 1992.

www . J.T. McDaniel Official.com

www.Hydrophones, Asdic, Sonar, S-Gear, and other techno submarine gizmos.com

www. Submerged Torpedo Tubes.com

www. Section 2 Communication System Requierements.com

www. Submarine Sonar Operator's Manual – Chapter.com

www.Section 4 Submarine Antenna.com

www. Submarine Propulsion.com

www. Πολεμικό Ναυτικό - Υποβρύχια Type 214 Κατσώνης.com

www. Figure 2-1 General Arrangement of Main Propulsion

Equipment Gear Drive.com

Www. Focus.com