



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Σύστημα Αδρανειακής Σταθεροποίησης για Μικροκυματική Κεραία

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μιχαήλ Κ. Πατενιώτης

Επιβλέπων : Νικόλαος Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Σύστημα Αδρανειακής Σταθεροποίησης για Μικροκυματική Κεραία

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μιχαήλ Κ. Πατενιώτης

Επιβλέπων : Νικόλαος Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 31^η Μαρτίου 2017.
Αθήνα, Μάρτιος 2017

.....
Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π
Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

.....
Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π
Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

.....
Ον/μο Μέλος Δ.Ε.Π
Ιδιότητα Μέλους Δ.Ε.Π

.....
Μιχαήλ Κ. Πατενιώτης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μιχαήλ Κ. Πατενιώτης, 2017.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	4-5
Λίστα Σχημάτων	6
Λίστα Πινάκων.....	7
Περίληψη.....	9
Ευχαριστίες.....	10
Εισαγωγή.....	12
Σκοπός μελέτης	12
Στάδια	12
Κεφάλαιο 1: Ανάλυση των μικροκυματικών κεραιών.....	13
1.1 Τύποι κεραιών	13
1.2 Γεωμετρία κεραιών πολλαπλών κατόπτρων	13
1.3 Κεραίες Πολλαπλών κατόπτρων	15
1.3.1 Κατηγορίες κεραιών πολλαπλών κατόπτρων.....	15
1.3.2 Σχεδιασμός Cassegrain Κεραίας	16
Κεφάλαιο 2: Συστήματα αδρανοποίησης	20
2.1 Συστήματα αδρανοποίησης	20
2.1.1 Ιστορική αναδρομή	20
2.2 Εφαρμογές στην σύγχρονη εποχή.....	20
2.2.1 Αδρανειακή πλοήγηση.....	20
2.2.2 Φωτογραφία και απεικόνιση.....	21
2.3 Συνδεσμολογία	22
2.3.1 IMU Sensor	23
2.4 Λογισμικό.....	23
2.4.1 PID Παράμετροι.....	24
2.4.2 Επιλογή Power	25
2.4.3 Sensor (Αισθητήρας)	26
2.5 Χειρισμός κεραίας	29
2.6 Όρια συστήματος αδρανοποίησης	30
2.7 Δεύτερη μονάδα IMU	32
2.8 Ψηφιακά φίλτρα	32
2.8.1 Φίλτρα απόρριψης ζώνης	32
2.8.2 Φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων	33
2.9 Εναλλακτικές επιλογές λειτουργικού συστήματος.....	34
Κεφάλαιο 3: Ορισμός συστήματος συντεταγμένων	35
3.1 Αριθμητική περιγραφή του αλγόριθμου	35
3.1.1 Επισκόπηση του αλγόριθμου	35
3.1.2 Παράμετροι	36
3.2 Πληροφορίες αλγόριθμων	37
3.2.1 Σύστημα συντεταγμένων Γεωστατικού Δορυφόρου	37
3.2.2 Σύστημα Συντεταγμένων στην επιφάνεια της Γης	38
3.3 Εξαγωγή του μη κεκλιμένου συστήματος σκόπευσης	42
3.4 Σύστημα συντεταγμένων κεραίας.....	47
3.5 Γωνίες στόχευσης	49
3.6 Λειτουργικό σκόπευσης	52
3.6.1 Σύστημα σκόπευσης με την χρήση GPS.....	52
3.6.2 Σύστημα σκόπευσης με χρήση Ka-Bands	52
Κεφάλαιο 4: Σχεδιασμός και μοντελοποίηση	57
4.1 Διάταξη της κεραίας	57
4.2 Επιλογή Μοτερ	59

4.3 Ελευθερία του άξονα περιστροφής	61
4.3.1 Μέγιστος αριθμός περιστροφών δακτυλίου ολίσθησης	62
4.3.2 Αριθμός επαφών δακτυλίου ολίσθησης	62
4.3.3 Τύπος και ποιότητα επαφών σε δακτύλιο ολίσθησης	62
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα και συμπεράσματα	63
5.1 Περιγραφή αποτελεσμάτων.....	63
5.2 Συμπεράσματα	63
Βιβλιογραφία	65
Λεξιλόγιο.....	67

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Γεωμετρία καμπύλων κεραίας	13
Σχήμα 1.2: Ο Νόμος του Snell για την διάθλαση	15
Σχήμα 1.3: Γεωμετρία Παραβολικού Πιάτου	16
Σχήμα 1.4: Η γεωμετρία της Cassegrain κεραίας	17
Σχήμα 2.1: Δορυφορική κάμερα πάνω σε αδρανειακή βάση	21
Σχήμα 2.2: Η πλακέτα της BaseCam Electronics	22
Σχήμα 2.3: Συνδεσμολογία αδρανειακού συστήματος	22
Σχήμα 2.4: Ο σένσορας που φέρει πάνω του τα γυροσκόπια και το επιταχυνσιόμετρο	23
Σχήμα 2.5: Βασικό μενού του προγράμματος όπου διακρίνονται οι βασικές πληροφορίες για το αδρανειακό μας σύστημα	24
Σχήμα 2.6: Αυτόματη ρύθμιση των παραμέτρων PID από το πρόγραμμα με επιλογή για καλύτερη σταθεροποίηση ή καλύτερη ακρίβεια.....	25
Σχήμα 2.7: Περιέλιξη τύπου DLRK	26
Σχήμα 2.8: Σωστή και λανθασμένη τοποθέτηση του αισθητήρα	26
Σχήμα 2.9: Αυτόματη ρύθμιση ορισμού των αξόνων του αισθητήρα μέσα από το πρόγραμμα της πλακέτας	27
Σχήμα 2.10: Βαθμονόμηση 6 σημείων με τους 6 άξονες να φαίνονται στην αριστερή πλευρά και την ένδειξη του γυροσκόπιου στα δεξιά	28
Σχήμα 2.11: Βαθμονόμηση 6 σημείων	28
Σχήμα 2.12: Επιλογή χειρισμού αδρανειακού συστήματος	29
Σχήμα 2.13: Επιλογή λειτουργίας του χειριστήριου	29
Σχήμα 2.14: Αλλαγή ηλεκτρονικού εύρους γωνίας	31
Σχήμα 2.15: Διαμήκης και εγκάρσια ευστάθεια σκάφους	31
Σχήμα 2.16: Απεικόνιση φίλτρου απόρριψης ζώνης	32
Σχήμα 2.17: Σχέση φάσης και κέρδους με την χρήση φίλτρου απόρριψης ζώνης	33
Σχήμα 2.18: Απεικόνιση φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων	33
Σχήμα 3.1: Σύστημα ECEF και σύστημα δορυφόρου	38
Σχήμα 3.2: Προστεθειμένο το σύστημα της επιφάνειας της Γης	42
Σχήμα 3.3: Προστιθέμενο σύστημα κατεύθυνσης.....	46
Σχήμα 3.4: Ορισμός αξόνων περιστροφής.....	48
Σχήμα 3.5: Κλισιόμετρο τοποθετημένο πάνω στην κεραία.....	49
Σχήμα 3.6: Απεικόνιση της διαδικασίας, όταν η κεκλιμένη κεραία σκοπεύει στον δορυφόρο	51
Σχήμα 3.7: Σχεδιαστική απεικόνιση των πεδίων E για λειτουργία εκπεμπόμενου σήματος TE_{11} και λειτουργία σκόπευσης TM_{01} σε κούφιο κυκλικό κυματοδηγό	53
Σχήμα 3.8: Απεικόνιση της ακτινοβολίας τροφοδοσίας κεραίας υψηλού κέρδους κατά την λειτουργία της σε σκόπευση TM_{01}	53
Σχήμα 3.9: Φωτογραφία του ζεύκτη λειτουργίας για διπλή γραμμική πόλωση, για λειτουργία TE_{11} και λειτουργία σκόπευσης TM_{01}	54
Σχήμα 3.10: Μοντέλο σε CAD του μονοπαλμικού ζεύκτη σκόπευσης TM_{01} , το οποίο περιλαμβάνει και ένα δίκτυο κλάδων που υποστηρίζουν διπλή κυκλική πόλωση.....	54
Σχήμα 3.11: Διατομή του TM_{01} ζεύκτη λειτουργίας όπως απεικονίζεται σε μοντέλο CAD.....	55
Σχήμα 3.12: Φωτογραφία της τελικής διάταξης πάνω στον δέκτη της κεραίας όπου έχει προσαρμοστεί ο ζεύκτης λειτουργίας TM_{01} κατά την διάρκεια μετρήσεων για την απεικόνιση της ακτινοβολίας.....	55
Σχήμα 3.13: Απεικόνιση της ακτινοβολίας που μετρήθηκε στην χοάνη τροφοδοσίας του TE_{11} και της τροφοδοσίας του TM_{01} σε LHCP	56

Σχήμα 4.1: Πλάγια όψη βάσης κεραίας στον άξονα κλίσης (roll).....	57
Σχήμα 4.2: Κάτοψη βάσης κεραίας στον άξονα κλίσης (roll)	58
Σχήμα 4.3: Ένωση κεραίας με περιστρεφόμενη βάση.....	58
Σχήμα 4.4: Αναλογία κεφαλών κινητήρα	60
Σχήμα 4.5: Παράδειγμα δακτυλίου ολίσθησης	61

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Μαθηματική προσέγγιση παραβολής και υπερβολής	14
Πίνακας 2: Παράδειγμα αρχείου cassegain_design.xls	18
Πίνακας 3: Παράμετροι για τον υπολογισμό των κατευθυντικών γωνιών	36

Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής μελέτης είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος αδρανειακής σταθεροποίησης, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για μικροκυματική κεραία τύπου Cassegrain.

Η χρήση των μικροκυματικών κεραιών αυτού του τύπου είναι ευρέως διαδεδομένη στον τομέα της πληροφορίας και συχνά εκτείνεται πέρα από τα όρια της στεριάς. Η προϋπόθεση όμως να σκοπεύουν μόνιμα προς τον δορυφόρο επιβάλλει την δημιουργία μίας βάσης σταθεροποίησης της κεραίας, η οποία θα απορροφά τις εξωτερικές κινήσεις, όταν η κεραία βρίσκεται πάνω σε ένα πλοίο, κινούμενο όχημα ή αεροσκάφος.

Με την εργασία αυτή αναλύουμε όλα τα μηχανικά και ηλεκτρονικά μέρη της κεραίας καθώς και της βάσης στην οποία προσαρμόζεται, με σκοπό να κατανοήσουμε καλύτερα την λειτουργία τους.

Αρχικά, θα μελετήσουμε τους τύπους κεραιών, οι οποίοι θα μπου πάνω στο σύστημά μας, και κατ' επέκτασιν, τη χρήση τους στην καθημερινότητα. Ύστερα θα αναλύσουμε τα διαφορετικά συστήματα σταθεροποίησης που υπάρχουν στο εμπόριο και θα μελετήσουμε με περισσότερη λεπτομέρεια την λειτουργία, ενός από αυτά. Συστήματα, σαν το SimpleBGC 32-bit της BaseCam, το οποίο θα μελετήσουμε εδώ, έχουν κατά κύρια ομολογία χρήση στον τομέα της βιντεοσκόπησης. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες ακριβείας, τα οποία μετράνε την κλίση, την επιτάχυνση και την κατεύθυνση που αποκτά το αντικείμενο που θέλουμε να κρατήσουμε σταθερό, υπολογίζουν την αντίθετη κίνηση που θα δοθεί στα μοτέρ, τα οποία κινούν κάθε έναν από τους τρεις άξονες ισορροπίας. Για να γίνει όμως αυτό πρέπει να ρυθμιστεί ανάλογα το λειτουργικό της πλακέτας και να δωθούν οι κατάλληλες τιμές σε κάθε παράμετρο, ώστε να γίνουν οι σωστοί υπολογισμοί από το πρόγραμμα και το αποτέλεσμα να είναι ιδανικό.

Για να παραμένει η κεραία μας συνεχώς στραμμένη προς τον δορυφόρο, θα πρέπει το σύστημά μας να είναι εξοπλισμένο με ένα σύστημα στόχευσης. Εδώ θα μελετήσουμε δύο εκδοχές συστήματος σκόπευσης. Η πρώτη, θα υπολογίζει βάσει της θέσης της κεραίας μας πάνω στην Γη, τις ανάλογες γωνίες σκόπευσης και θα τις προωθεί στο λειτουργικό της πλακέτας, ώστε να πάρει τις συγκεκριμένες γωνίες ο κάθε άξονας. Η δεύτερη εκδοχή είναι με χρήση των Ka-Bands, όπου εξοπλίζουμε την κεραία μας με έναν κυματοδηγό, ο οποίος με την βοήθεια μίας αναλογικής πλακέτας υπολογίζει το σφάλμα στην δέσμη και δίνεται η αντίστοιχη εντολή διόρθωσης της γωνίας.

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τον τύπο των κινητήρων των οποίων θα χρησιμοποιήσουμε στην βάση μας, ανάλογα το φορτίο που παρουσιάζεται στον κάθε άξονα και την ισχύ την οποία θα χρειαστεί να αποδίδουν. Η μελέτη έγινε για χρήση κινητήρων χωρίς ψήκτρα, οι οποίοι είναι πιο διαδεδομένοι για την συγκεκριμένη χρήση και παρουσιάζουν αρκετά και σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τους κινητήρες με ψήκτρα.

Τέλος γίνεται η επιλογή του δακτύλιου ολίσθησης ο οποίος θα μεταδίδει όλες τις πληροφορίες και τις τάσεις ρεύματος από και προς την αδρανειακή μας βάση, επιτρέποντας παράλληλα την ελευθερία κίνησής της στον αζιμούθιο άξονα.

Λέξεις κλειδιά: σύστημα αδρανοποίηση, μικροκυματική κεραία, cassegrain, δακτύλιος ολίσθησης, IMU sensor, basacam electronics, σύστημα σκόπευσης, αδρανειακή πλοήγηση

Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Νικόλαο Ουζούνογλου, ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να μελετήσω σε βάθος και να αναλύσω στη μελέτη αυτή ένα αδρανειακό σύστημα για κεραία μικροκυμάτων. Μου έδειξε την εμπιστοσύνη του, με την ανάθεση του σχεδιασμού της αδρανειακής βάσης από την αρχή και με δυνατότητες υλοποίησης στο μέλλον, σε έναν τομέα που έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και περιθώριο εξέλιξης.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τις δύο επιβλέπουσες διδάκτορες, κα Ξένια Παπαδομιχελάκη και κα Ροδούλα Μακρή για την ουσιαστική καθοδήγησή τους και την εξάριετη συνεργασία που είχα μαζί τους.

Εισαγωγή

Σκοπός Μελέτης

Η συγκεκριμένη μελέτη αναλύει την χρήση μικροκυματικών κεραιών σε μη σταθερά μέσα και την ορθή λειτουργία αυτών, ανεξαρτήτως των εξωτερικών συνθηκών. Για τον λόγο αυτό γίνεται ο σχεδιασμός μίας αδρανειακής βάσης, η οποία με ηλεκτρονική μέθοδο σταθεροποίησης θα μπορεί να κρατάει την κεραία σταθερή ως προς τον δορυφόρο. Για την ομαλότερη λειτουργία της βάσης αυτής υπολογίζεται το ιδανικό κέντρο βάρους της κεραίας πάνω στην βάση ώστε να καταναλώνεται η μικρότερη δυνατή ενέργεια για την σταθεροποίησή της, καθώς και να μειώνεται η πιθανότητα σφάλματος. Παρόλο που στο εμπόριο και κυρίως στον τομέα της ναυτιλίας, υπάρχουν ήδη αδρανειακές βάσεις αυτού του τύπου, στην συγκεκριμένη μελέτη γίνεται συνδυασμός οικονομικότερων εξαρτημάτων που είναι ευρέως διαδεδομένα και εύκολα στην εύρεση.

Στάδια

Αρχικά, θα πρέπει να επιλέξουμε την κεραία και να αναλύσουμε τα επιμέρους εξαρτήματα τα οποία είναι απαραίτητα για την λειτουργία της. Η τοποθέτηση της κεραίας και των εξαρτημάτων πάνω στην αδρανειακή βάση είναι πολύ σημαντική στην βέλτιστη και ευκολότερη λειτουργία της βάσης. Όσο λιγότερα από τα εξαρτήματα μπουν πάνω στον κεντρικό άξονα της βάσης μαζί με την κεραία, τόσο καλύτερο το αποτέλεσμα για την αβίαστη κίνηση των κινητήρων που είναι υπεύθυνοι για τον καθένα από τους τρεις άξονες. Αυτό βέβαια προϋποθέτει και την βέλτιστη λειτουργία της κεραίας. Έτσι, εξαρτήματα τα οποία θα πρέπει να βρίσκονται κοντά στο πιάτο για την επεξεργασία και διανομή του σήματος αναγκαστικά θα μείνουν πάνω στην βάση.

Έπειτα, θα πρέπει να βρεθεί το κέντρο βάρους των εξαρτημάτων και της κεραίας. Με τον τρόπο αυτό, θα είναι πιο εύκολο να βρεθεί το σημείο από το οποίο θα μπορεί να περνάει ο κεντρικός άξονας της βάσης, ο οποίος ελέγχει την κίνηση του tilt και του roll.

Στη συνέχεια, θα γίνει η επιλογή των κινητήρων και της απαιτούμενης ισχύος που θα πρέπει να έχουν, ώστε να μπορούν να δίνουν κίνηση στην βάση αλλά και να καταναλώνουν το ελάχιστο δυνατό ρεύμα. Ένας αδύναμος κινητήρας θα δημιουργούσε προβλήματα στην κίνηση του εκάστοτε άξονα μην μπορώντας να ανταπεξέλθει στα φορτία της κεραίας, με αποτέλεσμα την λανθασμένη ή ανεπαρκή λειτουργία της βάσης. Αντίστοιχα ένας πολύ δυνατός κινητήρας θα οδηγούσε σε μεγάλη κατανάλωση ρεύματος καθώς και στην αύξηση της θερμοκρασίας πάνω στην βάση.

Τέλος, θα πρέπει να γίνει ο σχεδιασμός για το σύστημα αυτόματης σκόπευσης της κεραίας ώστε το όλο σύστημα να είναι ανεξάρτητο από τον ανθρώπινο παράγοντα. Θα μελετηθούν δύο εκδοχές συστημάτων αυτόματης σκόπευσης. Η πρώτη με την χρήση GPS και η δεύτερη με χρήση Ka-Bands, ώστε να γίνει σύγκριση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων του κάθε συστήματος.

Κεφάλαιο 1: Ανάλυση Μικροκυματικών Κεραίων

1.1 Τύποι κεραίων

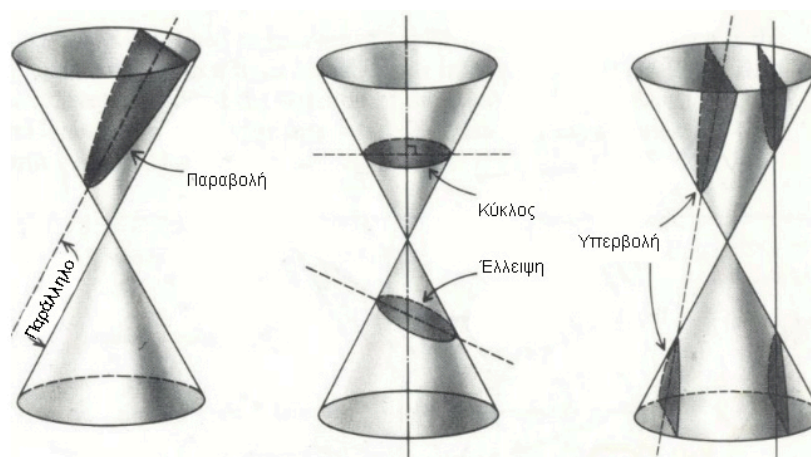
Η κεραία είναι μία διάταξη και χρησιμοποιείται για την εκπομπή ή και την λήψη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι παράμετροι οι οποίες χαρακτηρίζουν μία κεραία είναι το κέρδος της κεραίας, η αντίσταση ακτινοβολίας και το εύρος της δέσμης της. Ο κάθε τύπος κεραίας έχει αναπτυχθεί ώστε να καλύπτει τις αντίστοιχες ανάγκες στις εκάστοτε εφαρμογές και συνολικά εντάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Κατακόρυφες κεραίες Marconi
- Διάφορες απεριοδικές κεραίες, όπως ρομβικές, V, discone και ελικοειδείς
- Δίπολα και παραλλαγές αυτών
- Κεραίες βρόγχου (loop)
- Χοανοειδείς κεραίες (horn),

Οι μικροκυματικές κεραίες με τις οποίες θα ασχοληθούμε εντάσσονται στην τελευταία κατηγορία των χοανοειδών κεραίων. Οι μικροκυματικές κεραίες έχουν κατευθυντική ακρίβεια και λειτουργούν στην ζώνη των 1-100 GHz. Για να έχει μία κεραία υψηλό κέρδος, οι διαστάσεις της πρέπει να είναι της τάξης αρκετών μηκών κύματος. Όμως μία μικροκυματική κεραία έχει το πλεονέκτημα ότι στις εν λόγω συχνότητες δεν χρειάζεται να έχει μεγάλες φυσικές διαστάσεις και ταυτόχρονα μπορεί να λειτουργεί σε μεγάλο εύρος μηκών κύματος. Άρα μπορούν να έχουν χαρακτηριστικά που οι απλές κεραίες στις μικρότερες συχνότητες δεν μπορούν να έχουν.

1.2 Γεωμετρία κεραίων πολλαπλών κατόπτρων

Οι μικροκυματικές κεραίες ή κεραίες ανάκλασης χρησιμοποιούν καμπύλες, οι οποίες ονομάζονται κωνικά τμήματα, αφού είναι σχήματα τα οποία μπορεί κάποιος να βρει όταν τμηματίζει έναν κώνο. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1 έχουμε την υπερβολή, τον κύκλο, την έλλειψη και τέλος την παραβολή με την οποία θα ασχοληθούμε περισσότερο καθώς είναι ο πιο χρήσιμος ανακλαστήρας [1].

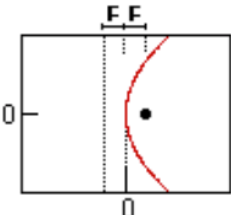
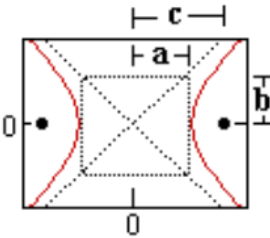


Σχήμα 1.1 Γεωμετρία καμπύλων κεραίας

Ο λόγος που είναι ο πιο χρήσιμος είναι γιατί οι ακτίνες φωτός ή οι RF ακτίνες που προέρχονται από το σημείο εστίασης ανακλώνται όλες σε παράλληλη κατεύθυνση, σχηματίζοντας έτσι μία στενή δέσμη. Έπιπροσθέτως, επειδή όλες οι ακτίνες έχουν το ίδιο μήκος διαδρομής, η δέσμη έχει συνοχή.

Τα συστήματα με πολλαπλούς ανακλαστές είχαν αρχικά αναπτυχθεί για την χρήση τους ως οπτικά τηλεσκόπια [2] και εκ των υστέρων μετατράπηκαν και εντάχθηκαν στον τομέα των ραδιοτηλεσκοπίων. Το κοινό χαρακτηριστικό τους είναι το ίδιο μήκος διαδρομής των ακτίνων, το οποίο είναι και το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό.

Για την καλύτερη κατανόηση αλλά και ανάλυση των παραβολικών σχημάτων θα πρέπει να γίνει η μαθηματική προσέγγιση της παραβολής μέσω των εξισώσεων που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό της. Στον Πίνακα 1 μπορούμε να το δούμε καλύτερα.

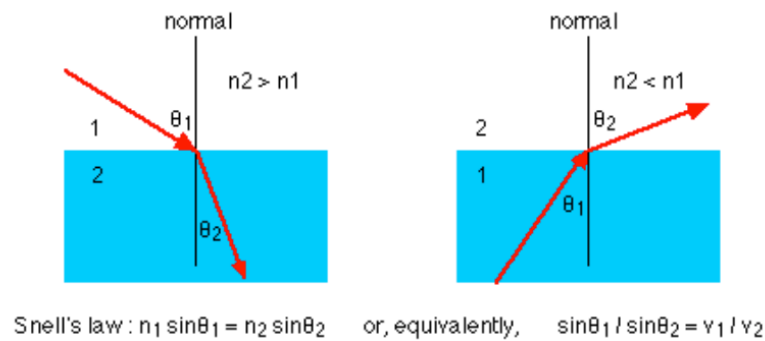
	Παραβολή	Υπερβολή
Εξίσωση	$y^2 = 4f(x)$	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$
Γεωμετρία		$a^2 + b^2 = c^2$
Μήκος εστίασης	$f = f$	$f = 2c$
Εκκεντρικότητα		$e = c/a$
Εύρος εκκεντρικότητας	$e = 1$	$e > 1$
Μεγένθυση		$M = \frac{e+1}{e-1}$
Σχήμα		

Πίνακας 1 - Μαθηματική προσέγγιση παραβολής και υπερβολής

Για να μπορεί να γίνει σχεδίαση μίας κεραίας πολλαπλών ανακλαστών, πρέπει να γίνει χρήση των ψευδο-οπτικών τεχνικών σχεδίασης για Γεωμετρικά Οπτικά[3]. Για να μπορούν να ισχύουν αυτές οι προσεγγίσεις, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω υποθέσεις:

1. Το μήκος κύματος είναι κατά πολύ μικρότερο από οποιαδήποτε άλλη φυσική διάσταση, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προσέγγιση του μηδενικού μήκους κύματος
2. Τα κύματα ταξιδεύουν σε ευθείες γραμμές και ονομάζονται ακτίνες.

3. Η αντανάκλαση σε επίπεδες επιφάνειες ακολουθεί τους νόμους των ανακλάσεων: γωνία πρόσπτωσης = γωνία ανάκλασης
4. Η διάθλαση ακολουθεί τον νόμο του Snell όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2 (για να γίνει διάθλαση απαιτείται ένα διηλεκτρικό υλικό) [4]



Σχήμα 1.2 Ο Νόμος του Snell για την διάθλαση

1.3 Κεραίες πολλαπλών κατόπτρων

1.3.1 Κατηγορίες κεραιών πολλαπλών κατόπτρων

Οι κεραιές πολλαπλών κατόπτρων έχουν την δυνατότητα να παρέχουν καλύτερη απόδοση αυξάνοντας το βάθος τους και το μέγεθός τους. Σε περιπτώσεις όπου οι μικροκυματικές συχνότητες είναι υψηλές και οι επιλογές για κατάλληλα πιάτα είναι περιορισμένες, είναι αναγκαίο να πληρεί συγκεκριμένες προϋποθέσεις η κεραία, αλλιώς οι απώλειες σύντομα γίνονται μη αποδεκτές.

Για το λόγω αυτό έχουν δημιουργηθεί διαφορετικοί τύποι κεραιών πολλαπλών κατόπτρων οι οποίοι καλύπτουν και τις αντίστοιχες ανάγκες. Μερικές από αυτές είναι οι παρακάτω:

- Dielectric Antenna
- Shaped Reflector Antenna
- Beam Waveguide Antenna
- ADE antenna
- Offset Cassegrain και Gregorian

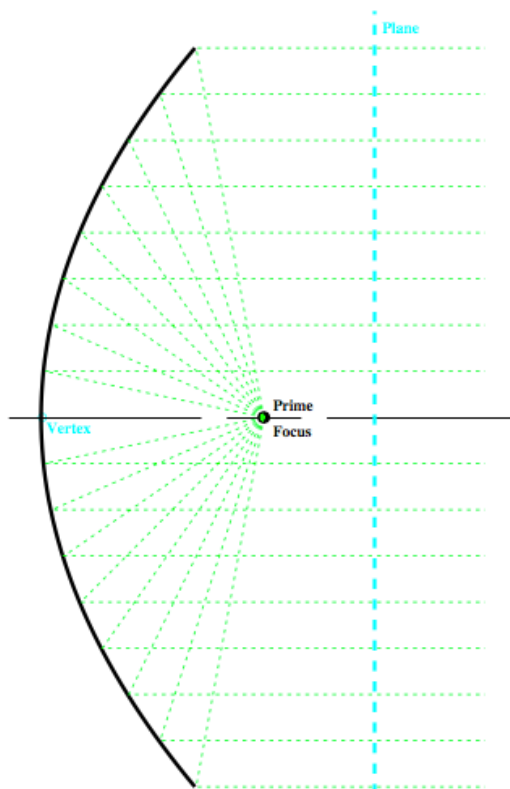
Στην παρούσα μελέτη όμως θα γίνει η χρήση μίας Cassegrain κεραιάς, η οποία είναι και από τις πιο κοινές και διαδεδομένες αυτού του τύπου.

Η τροφοδοσία Cassegrain χρησιμοποιείται, όταν επιθυμούμε να τοποθετήσουμε την πρωταρχική κεραία σε κατάλληλη τοποθεσία και να μειώσουμε το μήκος της γραμμής μεταφοράς ή του κυματοδηγού που συνδέουν τον δέκτη (ή τον πομπό) με την πρωταρχική κεραία. Η απαίτηση αυτή απαντάται συχνά σε συσκευές λήψης χαμηλού θορύβου, στις οποίες οι απώλειες του κυματοδηγού ή της γραμμής μεταφοράς δεν είναι αμελητέες, ειδικά σε μήκη που μπορεί να ξεπερνούν τα τριάντα (30) μέτρα σε μεγάλες κεραιές. Μία άλλη λύση στο πρόβλημα είναι να τοποθετήσουμε το ενεργό τμήμα του πομπού ή του δέκτη στην εστία. Στην περίπτωση των πομπών, κάτι τέτοιο δε μπορεί να γίνει σχεδόν

ποτέ, λόγω του μεγέθους τους. Μπορεί επίσης να είναι δύσκολο να τοποθετηθεί ο RF ενισχυτής του δέκτη στην εστία. Αυτό ισχύει είτε λόγω του μεγέθους του, είτε λόγω του απαιτούμενου εξοπλισμού ψύξης για εφαρμογές χαμηλού θορύβου (στη οποία περίπτωση ο RF ενισχυτής είναι αρκετά μικρός, αλλά ο υπόλοιπος εξοπλισμός δεν είναι). Μία τέτοια τοποθέτηση του RF ενισχυτή μπορεί να προκαλέσει δυσκολίες στη συντήρηση και αντικατάσταση, οπότε η τροφοδοσία Cassegrain είναι συχνά η καλύτερη λύση.

1.3.2 Σχεδιασμός Cassegrain κεραίας

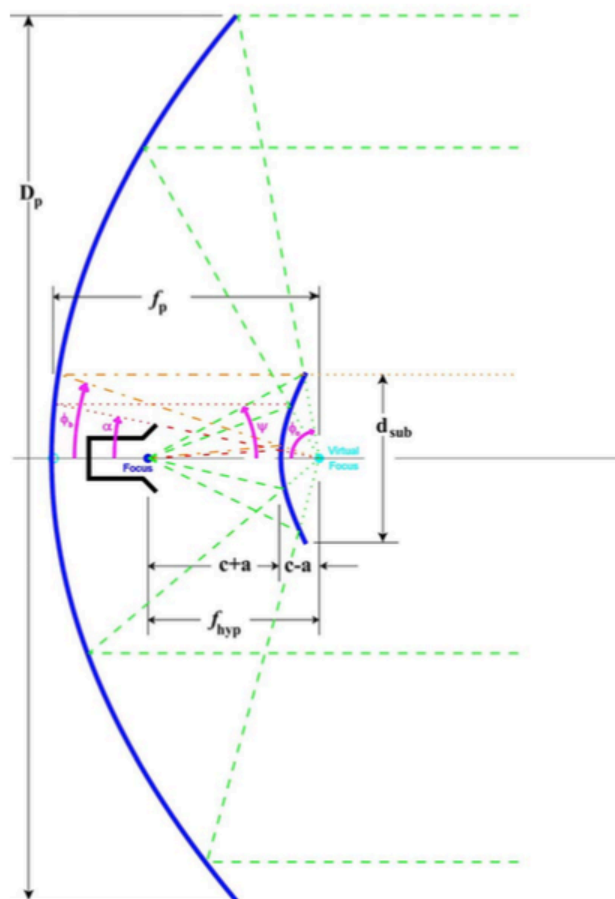
Για να γίνει ο σχεδιασμός της κεραίας πρέπει να ακολουθηθεί μία συγκεκριμένη διαδικασία [5]. Αρχικά επιλέγουμε μία πηγή, η οποία θα φωτίσει πλήρως το παραβολικό κάτοπτρο όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3. Ύστερα τοποθετούμε το κέντρο φάσεως της πηγής, σημείο εστίασης της παραβολής. Η κεραία Cassegrain, προσθέτει ένα υπερβολικό κάτοπτρο στην διάταξή της, το οποίο λειτουργεί σαν καθρέφτης για να αντανakλά την θέση της πηγής προς τα πίσω, στο βασικό κάτοπτρο. Η δυσκολία στην διαδικασία αυτή βρίσκεται στην εύρεση του σωστού υπερβολικού κατόπτρου ώστε να ταιριάζει με το βασικό κάτοπτρο και την πηγή, δεδομένου ότι η υπερβολή δεν είναι μία μόνο καμπύλη, αλλά μία σειρά από αυτές. Η ποσότητα αυτών των καμπυλών ονομάζεται εκκεντρικότητα [6]. Από αυτή την σειρά με τις καμπύλες πρέπει να βρεθεί η μοναδική υπερβολή που ταιριάζει με την παραβολή και την πηγή, ώστε τα μήκη των διαδρομών να παραμείνουν ίσα.



Σχήμα 1.3 Γεωμετρία Παραβολικού Πιάτου

Παρά την περιπλοκότητα της, η Cassegrain κεραία προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, ειδικά σε περιπτώσεις που απαιτείται υψηλή απόδοση. Για να μειωθεί η απώλεια από την διάθλαση και την διάχυση, θα πρέπει ο δεύτερος ανακλαστήρας να είναι μεγάλος σε ηλεκτρική δύναμη, μεγαλύτερος από 10 μήκη κύματος σε διάμετρο [7]. Η διάμετρος αυτή θα πρέπει να είναι μικρότερη του 20% από την διάμετρο του πιάτου ώστε να μειωθεί η παρεμβολή από τον δεύτερο ανακλαστήρα. Άρα το πιάτο θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 50 μήκη κύματος σε διάμετρο. Παρ' όλα αυτά, κάποιες φορές, χαμηλότερη απόδοση μπορεί να είναι ανεκτή. Για παράδειγμα σε βαθύτερα πιάτα όπου οι διαθέσιμες τροφοδοσίες παρέχουν χαμηλή απόδοση, μία Cassegrain κεραία με καλή χοάνη τροφοδοσίας, μπορεί να πετύχει καλύτερη συνολική απόδοση. Για να υπολογιστεί η απόδοση της κεραίας θα πρέπει να υπολογιστούν όλες οι παράμετροι που την επηρεάζουν. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4, μία Cassegrain κεραία επηρεάζεται από τις εξής παραμέτρους [8]:

1. Το κωνικό άκρο
2. Το μέγεθος του δεύτερου κατόπτρου
3. Την απόδοση του δεύτερου κατόπτρου
4. Την χοάνη τροφοδοσίας
5. Το μήκος εστίασης του υπερβολοειδούς
6. Την έμφραξη της τροφοδοσίας
7. Την γεωμετρία του δεύτερου κατόπτρου



Σχήμα 1.4 Η γεωμετρία της Cassegrain κεραίας

Αναλύοντας το παραπάνω σχήμα έχουμε τις εξής μεταβλητές στην κεραία μας.

D_p = Διαμετρος Παραβολικου Πιατου

f_p = Μηκος Εστιασης Παραβολικου Πιατου

d_{sub} = Διαμετρος δευτερου Ανακλαστηρα

f_{hyp} = Μηκος Εστιασης Υπερβολοειδους

a = Παραμετρος Υπερβολοειδους

$c = \frac{f_{hyp}}{2}$ = Υπερβολοειδους

ϕ_o = γωνια τεμνομενη απο παραβολοειδες

ψ = γωνια τεμνομενη απο δευτερο Ανακλαστηρα

ϕ_b = φραγμανη γωνια απο δευτερο Ανακλαστηρα

α = φραγμανη γωνια απο τροφοδοσια χοανης

Για την διευκόλυνσή μας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το excel αρχείο **cassegrain_design.xls** [9] το οποίο κάνει όλους τους υπολογισμούς για την κάθε παράμετρο. Ξεκινώντας με την εισαγωγή της διαμέτρου του πιάτου και συνεχίζοντας με τις παραμέτρους για την τροφοδοσία, το αρχείο από μόνο του θα προτείνει κωνικό άκρο και ελάχιστο μέγεθος δεύτερου ανακλαστήρα. Παράδειγμα του αρχείου φαίνεται στον Πίνακα 2.

CASSEGRAIN ANTENNA DESIGN CALCULATOR						
W1GHZ 2004						
ENTER INPUT PARAMETERS HERE:				(Bold blue numbers)		
Frequency	10,368	GHz				
					pi =	3,141593
Units:	mm	Inches	Wavelengths			
Dish diameter	2438	96,0	84,3			
Dish f/D				0,36		
Feedhorn equivalent f/D				0,75		
Feedhorn diameter	59	2,323	2,03904			
Feedhorn Phase Center (negative = inside horn)			-0,11			
Wavelength	28,935	1,139	1			
Dish Focal Length	875,2	34,5	30,2			
Dish illumination halfangle				69,7	degrees	1,217 radians
Feedhorn illumination halfangle				36,9	degrees	0,644 radians
Redge (prime focus to rim)	1299,7	51,2	44,9			
Space attenuation for main dish				3,43	dB	
Space attenuation for virtual dish				0,92	dB	
Decision point:						
				Suggested illumination taper = 12,36	dB	
				Enter desired illumination taper : 12,36	dB	

Πίνακας 2 - Παράδειγμα αρχείου cassegrain_design.xls

Περληηπτικά τα πλεονεκτήματα μίας Cassegrain κεραίας είναι τα εξής:

- Αναμόρφωση του μοντέλου τροφοδοσίας, επιτρέποντας την χρήση αποτελεσματικών χοάνων τροφοδοσίας

- Βολική θέση τροφοδοσίας με μικρότερη γραμμή τροφοδοσίας
- Καλύτερος φωτισμός για πολύ βαθιά πιάτα
- Σε μεγάλα υψόμετρα, μικρή διάχυση προς το έδαφος
- Μεγάλο βάθος εστίασης
- Πιο συμπαγής δομή

Και τα μειονεκτήματα αυτής:

- Μεγαλύτερος αποκλεισμός, ιδιαίτερα σε μικρά πιάτα
- Ψηλότεροι πλευρικοί λοβοί (ο αποκλεισμός αυξάνει τους πλευρικούς λοβούς)
- Μεγαλύτερη χοάνη τροφοδοσίας
- Χαμηλή απόδοση σε ευρυζωνική τροφοδοσία
- Αυστηρότερη απαίτηση ανοχής

Κεφάλαιο 2: Συστήματα Αδρανοποίησης

2.1 Συστήματα αδρανοποίησης

Τα συστήματα αδρανοποίησης γίνονται όλο και πιο διαδεδομένα στις μέρες μας. Με την εισαγωγή των ηλεκτρονικών αισθητήρων και με την τεχνολογία να μειώνει το κόστος αλλά και το μέγεθος, τα αδρανειακά συστήματα μπαίνουν όλο και πιο πολύ στην καθημερινότητά μας και κάνουν απλούστερα πολλά πράγματα που πριν φάνταζαν αδύνατα [10][11].

2.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Το πρώτο σύστημα αδρανοποίησης περιγράφηκε από τον Έλληνα εφευρέτη Φίλωνα τον Βυζάντιο (280-220 π.Χ.) [12]. Ο Φίλων περιέγραψε ένα οκτάγωνο δοχείο μελανιού, με ένα άνοιγμα στην κάθε πλευρά και το οποίο μπορούσε να περιστρέφεται και σε όποια πλευρά κοιτούσε προς τα επάνω, ήταν δυνατόν να βουτήξεις την πένα και να έχει μελάνι. Ωστόσο το μελάνι δεν χυνόταν από τις υπόλοιπες τρύπες που υπήρχαν στις άλλες πλευρές. Αυτό έγινε δυνατόν με την αιώρηση του δοχείου μελάνης στο κέντρο, το οποίο ήταν στερεωμένο σε μία σειρά από ομόκεντρους μεταλλικούς δακτύλιους έτσι ώστε να μπορεί να παραμένει σταθερό.

Λίγα χρόνια αργότερα κατά την βασιλεία του Αυγούστου μεταξύ του 30 π.Χ. – 14 μ.Χ., υπάρχουν αναφορές από τον Αθήναιο τον Τακτικό [13], μαθηματικό και μηχανικό της εποχής, ο οποίος περιέγραψε την στρατιωτική χρήση μίας συσκευής αδρανοποίησης, χαρακτηρίζοντάς την με το όνομα “πιθήκιον”. Κατά την επίθεση εναντίον παράκτιων πόλεων από την θάλασσα, μηχανικοί του στρατού ένωναν τα πλοία μεταξύ τους με σκοπό να μεταφέρουν τον στρατιωτικό εξοπλισμό όσο πιο κοντά στα τείχη. Αλλά για να αποτρέψουν τον εξοπλισμό να κυλάει ανεξέλεγκτος στο κατάστρωμα λόγω της ταραγμένης θάλασσας, ο Αθήναιος τους συμβούλεψε να τοποθετήσουν το “πιθήκιον” στην πλατφόρμα μεταφοράς του εξοπλισμού έτσι ώστε οι πολεμικές μηχανές να παραμένουν σε όρθια θέση όλη την ώρα.

2.2 Εφαρμογές στην σύγχρονη εποχή

2.2.1 Αδρανειακή πλοήγηση

Στην αδρανειακή πλοήγηση, όπως εφαρμόζεται σε πλοία και υποβρύχια, τουλάχιστον τρία αντιζύγια χρειάζονται ώστε να καταστεί δυνατό ένα σύστημα αδρανειακής πλοήγησης (σταθερό επίπεδο) να παραμένει σταθερό στον αδρανειακό χώρο, αντισταθμίζοντας τις αλλαγές στους τρεις άξονες του πλοίου (yaw, pitch, roll). Στην εφαρμογή αυτή η αδρανειακή μονάδα μέτρησης (IMU) είναι εξοπλισμένη με τρία ορθογώνια τοποθετημένα γυροσκόπια τα οποία μετρούν την κλίση σε όλους τους άξονες του τρισδιάστατου χώρου. Οι μετρήσεις των γυροσκοπίων διατηρούνται στο μηδέν με την βοήθεια κινητήρων σε κάθε άξονα αδρανοποίησης και έτσι διατηρείται και η IMU στον αρχικό της προσανατολισμό. Για να επιτευχθεί αυτό, τα εσφαλμένα σήματα των γυροσκοπίων περνάνε από “αναλυτές” τοποθετημένους στον κάθε ένα από του αδρανειακούς άξονες (roll, pitch yaw). Αυτοί οι “αναλυτές” πραγματοποιούν μη αυτοματοποιημένη μετατροπή πίνακα, ανάλογα με την γωνία του κάθε αδρανειακού άξονα, έτσι ώστε οι απαιτούμενες ροπές να δοθούν στον κατάλληλο αδρανειακό άξονα. Οι ροπές για το yaw πρέπει να επιλυθούν από τους μετασχηματισμούς που γίνονται για το roll και το pitch. Παρόμοιες πλατφόρμες χρησιμοποιούνται και σε αεροσκάφη.

Στο σύστημα αδρανειακής πλοήγησης, μπορεί να γίνει κλείδωμα των αξόνων, όταν η περιστροφή του οχήματος προκαλέσει δύο από τους τρεις αδρανειακούς άξονες να ευθυγραμμιστούν με τους

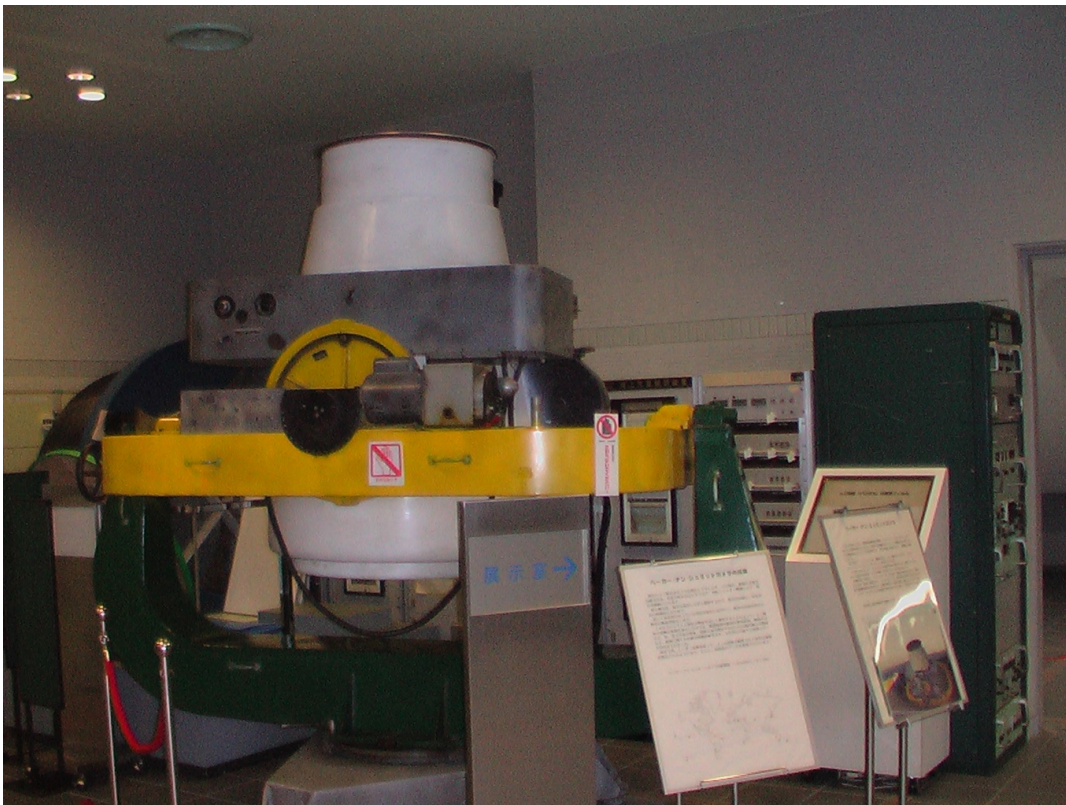
άξονες περιστροφής σε ένα μόνο επίπεδο. Όταν αυτό συμβεί, είναι αδύνατον να διατηρηθεί ο προσανατολισμός της πλατφόρμας ανίχνευσης.

2.2.2 Φωτογραφία και απεικόνιση

Αδρανειακά συστήματα χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση μικρών φωτογραφικών φακών ως και μεγάλων φωτογραφικών τηλεσκοπίων [20].

Στον φωτογραφικό εξοπλισμό, αδρανειακές κεφαλές ενός άξονα χρησιμοποιούνται προκειμένου να καταστεί δυνατή μια ισορροπημένη κίνηση για τη φωτογραφική μηχανή και τους φακούς. Αυτό αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμο στην φωτογράφιση της άγριας ζωής, καθώς και σε κάθε άλλη περίπτωση όπου πολύ μεγάλοι και βαριοί τηλεφακοί χρησιμοποιούνται: μία αδρανειακή κεφαλή περιστρέφει έναν φακό γύρω από το κέντρο βάρους του, επιτρέποντας τον εύκολο και ομαλό χειρισμό, στην προσπάθεια να ακολουθηθεί κάποιο κινούμενο αντικείμενο.

Στην δορυφορική φωτογραφία όπου οι αποστάσεις μεγαλώνουν δραματικά, η χρήση 2 ή 3 αξόνων αδρανειακών βάσεων είναι αναγκαία (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1 Δορυφορική φωτογραφική πάνω σε αδρανειακή βάση

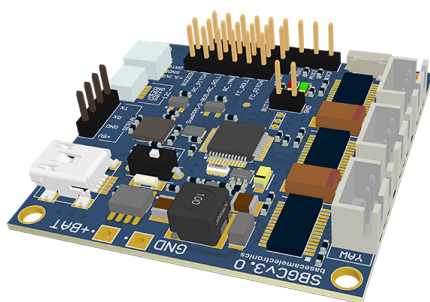
Ομοίως, στην εναέρια παρακολούθηση γίνεται η χρήση αδρανειακών βάσεων, οι οποίες υιοθετούν σταθεροποιητές gyro και πολλαπλούς αισθητήρες. Τέτοιες εφαρμογές χρησιμοποιούνται στην εναέρια αστυνόμευση, στην επιθεώρηση αγωγών ή γραμμών ηλεκτρικού ρεύματος, την χαρτογράφιση και στην αντικατασκοπεία. Οι αισθητήρες με τους οποίους μπορούν να εξοπλιστούν οι βάσεις αυτές μπορούν να περιλαμβάνουν θερμική απεικόνιση, κάμερες χαμηλού φωτισμού καθώς και αποστασιόμετρο λέιζερ και διατάξεις φωτισμού.

2.3 Συνδεσμολογία

Η ευρεία χρήση συσκευών αδρανοποίησης έκανε την τεχνολογία πολύ πιο διαδεδομένη και εύκολα προσβάσιμη στο ευρύ κοινό. Ο συνδυασμός των ηλεκτρικών κινητήρων χωρίς ψήκτρα και η συρρίκνωση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων δίνουν την δυνατότητα στην ενσωμάτωση αδρανεϊακών συστημάτων για πολλαπλές χρήσεις.

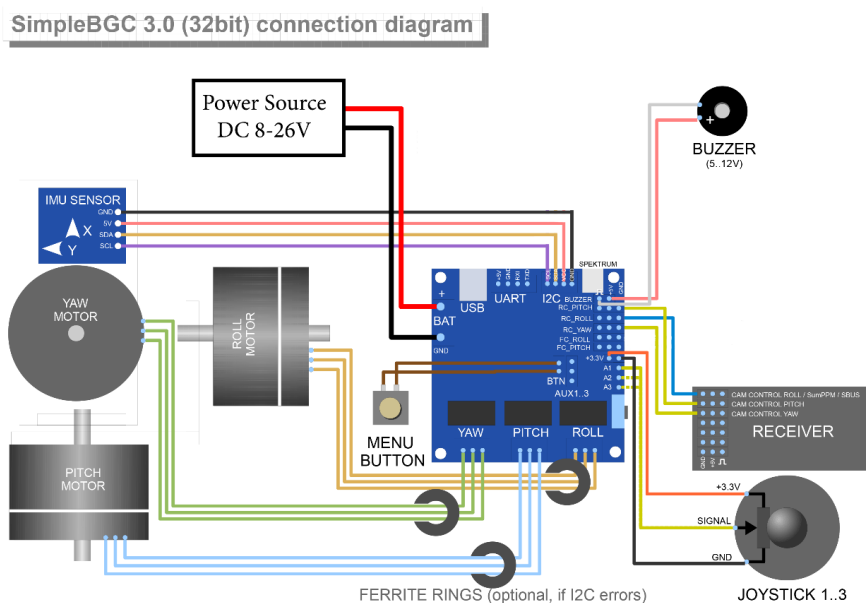
Το αδρανεϊακό σύστημα που επιλέχτηκε για την συγκεκριμένη μελέτη είναι το AlexMos Simple BGC 32-bit από την BaseCam Electronics (Σχήμα 2.2). Ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται αρκετά σε βάσεις αδρανοποίησης για κάμερες [15].

Η μεγάλη του υπολογιστική ισχύς με επεξεργαστή 32-bit RAM μπορεί να επεξεργαστεί μεγάλο αριθμό περίπλοκων αλγορίθμων και σε συνδυασμό με υψηλής απόδοσης γυροσκόπια, μπορεί να δώσει αρκετή ισχύ στα μοτέρ και να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα στο σύστημά μας, όταν αυτό είναι σωστά τροποποιημένο. Με βάρος στα μόλις 22 γραμμάρια η πλακέτα είναι αρκετά μικρή και εύκολα προσαρμόσιμη για μεγάλο αριθμό εφαρμογών.



Σχήμα 2.2 Η πλακέτα της BaseCam Electronics

Η συγκεκριμένη πλακέτα έχει αρκετές εξόδους και εισόδους που επιτρέπουν την εύκολη επεκτασιμότητά της καθώς και τον χειρισμό και το στήσιμό της.



Σχήμα 2.3 Συνδεσμολογία αδρανεϊακού συστήματος

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3 με την συνδεσμολογία της πλακέτας, έχουμε μία είσοδο τροφοδοσίας και βάσει της χρήσης το ρεύμα διανέμεται κατάλληλα στα μοτέρ τα οποία κρατάνε την κεραία σταθερή.

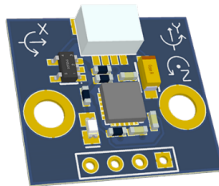
Το κάθε μοτέρ είναι υπεύθυνο για την σταθεροποίηση ενός και μόνο άξονα κι έτσι επιτυγχάνεται σταθεροποίηση και στους τρεις άξονες.

Οι εντολές που στέλνει η πλακέτα στο κάθε μοτέρ είναι αποτέλεσμα των αλγορίθμων βάσει των δεδομένων που στέλνει ο σένσορας (IMU sensor).

2.3.1 IMU Sensor

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο αδρανιακό σύστημα (IMU Sensor) είναι μία τεχνολογία, η οποία συναντάται καθημερινά σε πληθώρα άλλων συσκευών. Έχει υιοθετηθεί από πολλούς κατασκευαστές κινητών τηλεφώνων και τάμπλετ λόγω της σπουδαίας αξίας που προσθέτει στην διαδραστική εμπειρία του χρήστη με την συσκευή. Στα κινητά τηλέφωνα βρίσκει χρήση στις εντολές κίνησης και ελέγχου του τηλεφώνου, στα παιχνίδια, την εικονική πραγματικότητα, στις πανοραμικές φωτογραφίες καθώς και στην πλοήγηση.

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας (Σχήμα 2.4) που χρησιμοποιείται είναι η πρώτη παγκοσμίως συσκευή 6-αξόνων ανιχνευτή κίνησης, η οποία συνδυάζει ένα γυροσκόπιο τριών αξόνων, ένα επιταχυνσιόμετρο τριών αξόνων και έναν ψηφιακό επεξεργαστή κίνησης (DMP) όλα σε ένα μικρό πακέτο 4x4x0.9mm [16].



Σχήμα 2.4 Ο σένσορας που φέρει πάνω του τα γυροσκόπια και το επιταχυνσιόμετρο

Όλες αυτές οι μετρήσεις μεταφέρονται με καλώδιο στον επεξεργαστή για να γίνουν οι κατάλληλοι υπολογισμοί και να δοθούν οι αντίστοιχες εντολές για κίνηση στα μοτέρ.

Η τοποθέτηση του αισθητήρα είναι πολύ σημαντική ώστε να δίνει τις κατάλληλες μετρήσεις και να μην υπάρχουν λάθη ή παρεμβολές. Η ιδανική θέση είναι πάνω στο αντικείμενο που θέλουμε να κρατήσουμε σταθερό - στην δική μας περίπτωση, η μικροκυματική κεραία. Ο προσανατολισμός του κάθε άξονα είναι σημαντικός και ο οριζόντιος άξονας του αισθητήρα θα πρέπει να είναι παράλληλος με το σκόπευτρο της κεραίας. Ο άξονας του roll (άξονας γ) θα πρέπει να είναι παράλληλος με τον οριζόντιο και τέλος ο κάθετος άξονας θα πρέπει να είναι στις 90° με τον οριζόντιο άξονα.

2.4 Λογισμικό

Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιείται για τον χειρισμό και ρύθμιση της πλακέτας είναι συμβατό με όλα τα λειτουργικά συστήματα και πολύ απλό και αυτοματοποιημένο στη χρήση του. Η σύνδεση της πλακέτας με τον υπολογιστή γίνεται από την θύρα USB, την οποία διαθέτει η πλακέτα, και μπορεί να είναι μόνιμα συνδεδεμένη παρέχοντας όλες τις πληροφορίες από τον αισθητήρα καθώς και τις γωνίες

του κάθε άξονα. Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται η βασική οθόνη του λογισμικού όταν η πλακέτα είναι συνδεδεμένη.



Σχήμα 2.5 Βασικό μενού του προγράμματος όπου διακρίνονται οι βασικές πληροφορίες για το αδρανειακό μας σύστημα

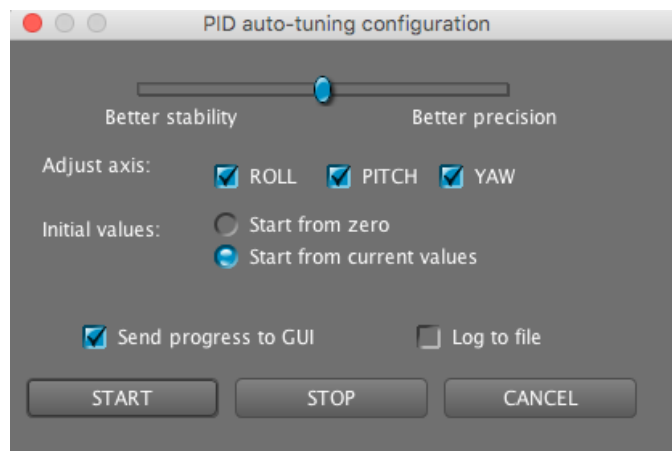
2.4.1 PID παράμετροι

Οι πιο σημαντικές ίσως ρυθμίσεις είναι οι PID ρυθμιστικές παράμετροι για τους τρεις άξονες. Πιο συγκεκριμένα το P περιγράφει την δύναμη της απόκρισης διαταραχής. Υψηλές τιμές σημαίνει πιο δυνατή απόκριση αντίδρασης σε εξωτερικές διαταραχές. Η τιμή αυτή πρέπει να αυξηθεί μέχρι η ποιότητα σταθεροποίησης των γρήγορων διαταραχών να είναι επαρκής. Σε περίπτωση που η τιμή του P είναι πολύ υψηλή, θα αρχίσουν να εμφανίζονται ταλαντώσεις στον αντίστοιχο άξονα (συντονισμός). Ο συντονισμός αυτός θα χειροτερέψει, εάν οι κραδασμοί είναι αισθητοί στον αισθητήρα IMU. Αν συμβεί αυτό, θα πρέπει να αυξηθεί η παράμετρος D κατά 1 με 2 μονάδες και μετά να γίνει ξανά προσπάθεια να αυξηθεί η τιμή του P.

Η τιμή του D μειώνει την ταχύτητα αντίδρασης. Αυτή η τιμή βοηθάει στην εξάλειψη των ταλαντώσεων σε χαμηλές συχνότητες. Εάν η τιμή του D είναι πολύ υψηλή μπορεί να προκαλέσει ταλαντώσεις υψηλής συχνότητας, πιο συγκεκριμένα, όταν ο αισθητήρας IMU είναι εκτεθειμένος σε δονήσεις.

Η τιμή του I αλλάζει την ταχύτητα με την οποία η αδρανειακή μας πλατφόρμα κινείται βάση των εισερχόμενων εντολών από το χειριστήριο και για να κινεί την πλατφόρμα πίσω στο ουδέτερο σημείο. Μικρές τιμές έχουν σαν αποτέλεσμα την αργή και ομαλή αντίδραση στις εντολές του χειριστηρίου και στην επιστροφή στο ουδέτερο. Αν αυξήσουμε τις τιμές, η ταχύτητα της κίνησης θα αυξηθεί επίσης.

Στις ανανεωμένες εκδόσεις του λογισμικού της πλακέτας υπάρχει πλέον η επιλογή AUTO, το οποίο αυτοματοποιεί την χρονοβόρα διαδικασία της εύρεσης ιδανικών τιμών PID και δίνει την επιλογή στο χρήστη να διαλέξει σε πιο ακριβή ή πιο ομαλή απόκριση της αδρανειακής πλατφόρμας (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6 Αυτόματη ρύθμιση των παραμέτρων PID από το πρόγραμμα με επιλογή για καλύτερη σταθεροποίηση ή καλύτερη ακρίβεια.

2.4.2 Επιλογή POWER

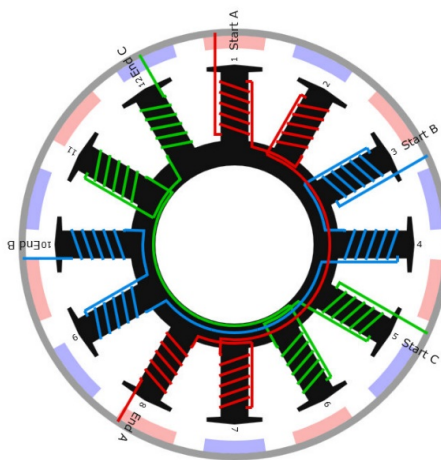
Η επιλογή της ισχύος που θα δοθεί στο κάθε ένα από τα τρία μοτέρ που είναι υπεύθυνο για τον αντίστοιχο άξονα κίνησης, είναι εξίσου σημαντική για να μπορεί η αδρανειακή μας πλατφόρμα να έχει ομαλή λειτουργία. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0-255 όπου 255 είναι η πλήρης ισχύς που εισάγουμε στην πλακέτα μας. Η επιλογή της τιμής αυτής γίνεται βάσει των χαρακτηριστικών των μοτέρ που έχουν επιλεγεί για την αδρανειακή πλατφόρμα.

- Πολύ σημαντικό είναι να μην υπερθερμανθούν τα μοτέρ μας. Αν οι θερμοκρασίες στα μοτέρ υπερβούν τους 80° C, θα προκληθεί μόνιμη ζημιά στους μαγνήτες που περιέχονται.
- Εάν η τιμή της ισχύος είναι πολύ χαμηλή, δεν θα μπορέσει η πλακέτα να παρέχει αρκετή δύναμη ώστε το μοτέρ να κινήσει την αδρανειακή πλατφόρμα και να σταθεροποιήσει την κεραία επαρκώς. Μια χαμηλή τιμή στην ισχύ θα είναι αισθητή σε συνθήκες με αρκετό αέρα, ή όταν η πλατφόρμα δεν είναι αρκετά καλά ζυγισμένη, ή αν η πλατφόρμα έχει κάποια μηχανική τριβή. Για του λόγους αυτούς είναι πολύ σημαντικό να είναι σωστά ζυγισμένη και η όλη πλατφόρμα να βρίσκεται μέσα σε κλωβό ώστε να μην την επιρρεάζουν οι εξωτερικές συνθήκες, αλλά και να είναι προφυλαγμένη από το νερό στην περίπτωση που η χρήση της είναι στη θάλασσα. Ξεκινώντας από υψηλές τιμές θα πρέπει σιγά – σιγά να ρίχνουμε την τιμή της ισχύος για κάθε μοτέρ ώστε να βρεθεί η ιδανική τιμή που η αδρανειακή πλατφόρμα θα δουλεύει σωστά και δεν θα υπερφορτώνονται τα μοτέρ. Στην τιμή αυτή θα πρέπει να έχουμε συνδυασμό σωστής σταθεροποίησης και επαρκούς ροπής συγκράτησης.
- Η αύξηση στην τιμή ισχύος ισοδυναμεί με αύξηση της τιμής του P των ρυθμίσεων PID. Αν γίνει αύξηση της τιμής ισχύος τότε θα πρέπει να γίνει ξανά η ρύθμιση στις PID τιμές.

Η επιλογή **INVERT** δίπλα από την κάθε τιμή ισχύος των μοτέρ αντιστρέφει την κατεύθυνση περιστροφής του μοτέρ. Είναι πολύ σημαντικό να γίνει σωστή επιλογή στην κατεύθυνση περιστροφής του κάθε μοτέρ ώστε να μην γίνουν ζημιές στην αδρανειακή μας πλατφόρμα. Για να καταλάβουμε την σωστή κατεύθυνση, θα πρέπει να θέσουμε τις τιμές P, I, και D στο 0 και να δώσουμε ισχύ ίση με 80 στο

κάθε μοτέρ μας (ή υψηλότερη σε περίπτωση που τα μοτέρ μας δεν παράγουν αρκετή δύναμη ώστε να κρατήσουν/κινήσουν την κεραία.) Η κεραία θα πρέπει να σταθεροποιηθεί σε οριζόντια θέση και με την επιλογή AUTO η αδρανειακή μας πλατφόρμα θα κάνει μικρές κινήσεις ώστε να κατανοήσει ποια είναι η σωστή κατεύθυνση περιστροφής του κάθε μοτέρ. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της βαθμονόμησης θα πρέπει να γίνει ξανά ρύθμιση των παραμέτρων PID και των τιμών ισχύος.

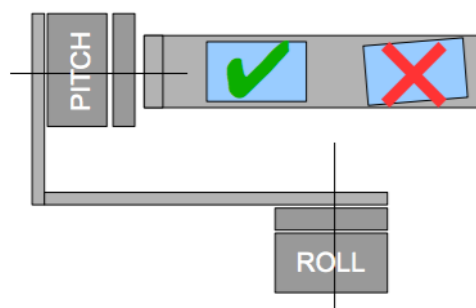
Ο αριθμός των πόλων **NUM. POLES** του κάθε μοτέρ είναι ίσος με τον αριθμό των μαγνητών του μοτέρ. Κατα την διάρκεια της αυτόματης βαθμονόμησης της ισχύος των μοτέρ οι τιμές αυτές εντοπίζονται και διορθώνονται αυτόματα από το πρόγραμμα. Παρ' όλα αυτά, η τιμή αυτή δεν προσδιορίζεται πάντα σωστά κατά τη διάρκεια της αυτόματης βαθμονόμησης και θα πρέπει να γίνει μία επιβεβαίωση των τιμών αυτών και τυχόν διόρθωση χειροκίνητα μετά την βαθμονόμηση. Τα περισσότερα μοτέρ χωρίς ψήκτρες έχουν 14 πόλους (μαγνήτες) και χρησιμοποιούν περιέλιξη DLRK (βλ. Σχήμα 2.7) [17].



Σχήμα 2.7 Περιέλιξη τύπου DLRK

2.4.3 Sensor (Αισθητήρας)

Η σωστή τοποθέτηση και βαθμονόμηση του αισθητήρα είναι ίσως και η πιο σημαντική για να δουλεύει σωστά η αδρανειακή μας πλατφόρμα. Αν τυχόν ο αισθητήρας δέχεται λανθασμένες πληροφορίες, μπορεί να αποσυντονίσει το όλο σύστημα. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να τοποθετηθεί σε σημείο μακριά από μαγνητικές παρεμβολές, όπως είναι τα μοτέρ για παράδειγμα. Επιπλέον η τοποθέτησή του θα πρέπει να είναι παράλληλη με τον άξονα του pitch και κάθετη με τον άξονα του roll όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.8 Σωστή και λανθασμένη τοποθέτηση του αισθητήρα

Ο αισθητήρας θα πρέπει να είναι καλά στερεωμένος και κατα προτίμηση με μη μεταλλικά υλικά ώστε να μην δημιουργούνται παρεμβολές.

Αρχικά θα πρέπει να οριστούν οι άξονες του αισθητήρα ανάλογα με το πως θα τοποθετηθεί πάνω στην αδρανειακή πλατφόρμα. Αν θεωρήσουμε ότι ο άξονας z που αντιπροσωπεύει το yaw (αζιμούθιος άξονας) της αδρανειακής πλατφόρμας, είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης με $-z$ προς το κέντρο της Γης και $+z$ προς τον ουρανό, τότε ανάλογα με το πως θα τοποθετηθεί ο αισθητήρας πάνω στην κεραία θα πρέπει να οριστεί και το Top Axis στο λειτουργικό της πλακέτας. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που ο αισθητήρας τοποθετηθεί στην κάτω μεριά της κεραίας με κατεύθυνση ανάποδη αυτής του αζιμούθιου άξονα, τότε η τιμή θα πρέπει να οριστεί ως $-z$ στο πρόγραμμα. Ομοίως και για τον άξονα x, ο οποίος είναι ο άξονας του pitch (άξονας στόχευσης της κεραίας), ορίζεται η αντίστοιχη τιμή. Το πρόγραμμα από μόνο του έχει την επιλογή AUTO (Σχήμα 2.9), όπου, αφού έχουμε τοποθετήσει τον αισθητήρα πάνω στην κεραία και έχοντας όλα τα μοτέρ απενεργοποιημένα, μας ζητάει να στρέψουμε την κεραία στον άξονα του yaw και του roll κατά 90° , ώστε από μόνο του το πρόγραμμα να κατανοήσει το πως έχει τοποθετηθεί ο αισθητήρας και να ορίσει τις τιμές στους άξονες.

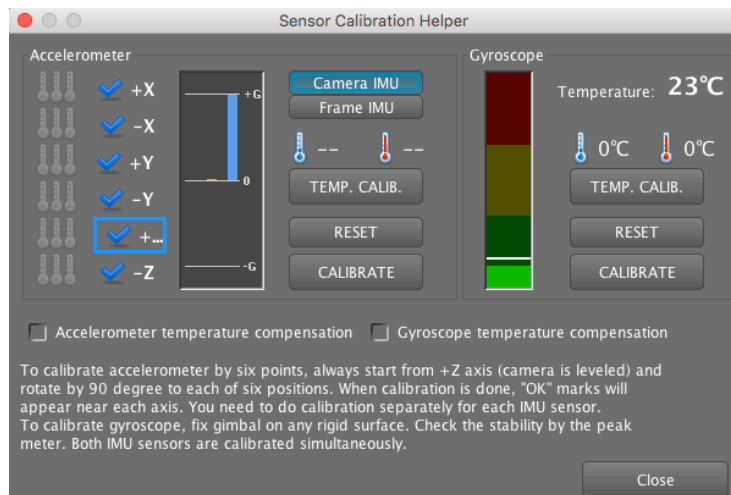


Σχήμα 2.9 Αυτόματη ρύθμιση των αξόνων του αισθητήρα μέσα από το πρόγραμμα της πλακέτας

Το γυροσκόπιο του αισθητήρα βαθμονομείται κάθε φορά που εκκινεί η πλακέτα και η βαθμονόμηση διαρκεί περίπου 4 δευτερόλεπτα. Κατά την βαθμονόμηση του γυροσκόπιου η κεραία θα πρέπει να είναι απόλυτα σταθερή. Γι αυτό τον λόγο προτείνεται η βαθμονόμηση να γίνει μία φορά στην στεριά και μετά να γίνει επιλογή του "Skip gyro calibration at startup" στην περίπτωση που η κεραία χρησιμοποιηθεί στη θάλασσα, κάτι το οποίο θα καθιστά πολύ δύσκολη την σωστή βαθμονόμηση.

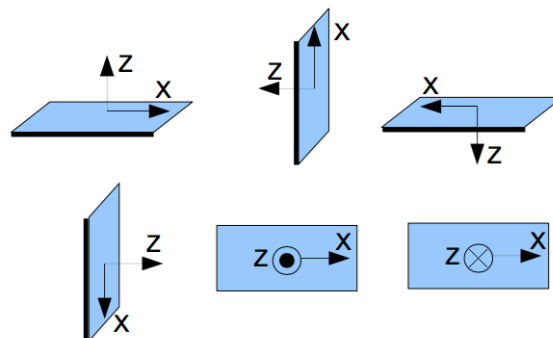
Το τελευταίο βήμα για την σωστή λειτουργία του αισθητήρα και το πιο σημαντικό είναι η λεγόμενη βαθμονόμηση των 6 σημείων (βαθμονόμηση του επιταχυνσιόμετρου). Για να οριστούν τα επίπεδα και οι γωνίες του κάθε άξονα θα πρέπει να αφαιρεθεί ο αισθητήρας από την κεραία και πάνω σε μία απόλυτα ισοσταθμισμένη (αλφαδιασμένη) επιφάνεια να γίνει η βαθμονόμηση (Σχήμα 2.10). Στην περίπτωση της συγκεκριμένης μελέτης, επειδή πρόκειται για μικροκυματική κεραία όπου η στόχευσή της σε σχέση με τον μαγνητικό Βορρά είναι σημαντική, θα πρέπει να ξέρουμε με ακρίβεια στο επίπεδό μας την κατεύθυνση του Βορρά.

Επίσης η επιφάνεια θα πρέπει να είναι καθαρή από μεταλλικά και μαγνητικά αντικείμενα για να αποφευχθούν τυχόν παρεμβολές.



Σχήμα 2.10 Βαθμονόμηση 6 σημείων με τους 6 άξονες να φαίνονται στην αριστερή πλευρά και την ένδειξη του γυροσκοπίου στα δεξιά (Για την σωστή βαθμονόμηση κάθε άξονα η ένδειξη στο γυροσκόπιο πρέπει να είναι στο πράσινο και όσο χαμηλότερα γίνεται για να είναι ακριβής)

Ο κάθε άξονας ορίζεται ξεχωριστά και πάντα ξεκινάμε την βαθμονόμηση με την πάνω πλευρά του αισθητήρα να κοιτάζει προς τα πάνω (ουρανό). Τα βήματα είναι όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 2.11 και είναι σημαντικό ο άξονας x να είναι πάντα προσανατολισμένος κάθετα σε σχέση με τον Βορρά.



Σχήμα 2.11 Βαθμονόμηση 6 σημείων

Εκτός από τα μεταλλικά αντικείμενα τα οποία επηρεάζουν τον αισθητήρα, σημαντικό ρόλο παίζει και η εξωτερική θερμοκρασία. Η βαθμονόμηση καλό είναι να γίνει σε θερμοκρασία δωματίου και σε τυχόν μεγάλες αλλαγές στην θερμοκρασία κατά την διάρκεια λειτουργίας της κεραίας καλό είναι να επαναληφθεί η διαδικασία βαθμονόμησης των 6 σημείων. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια της βαθμονόμησης ο αισθητήρας θα πρέπει να είναι τελείως ακίνητος.

Μετά από τα παραπάνω βήματα η αδρανειακή μας πλατφόρμα είναι έτοιμη προς χρήση και μπορεί να κρατάει την κεραία πλέον σε αδρανειακή κατάσταση ανεξαρτήτως των εξωτερικών κινήσεων.

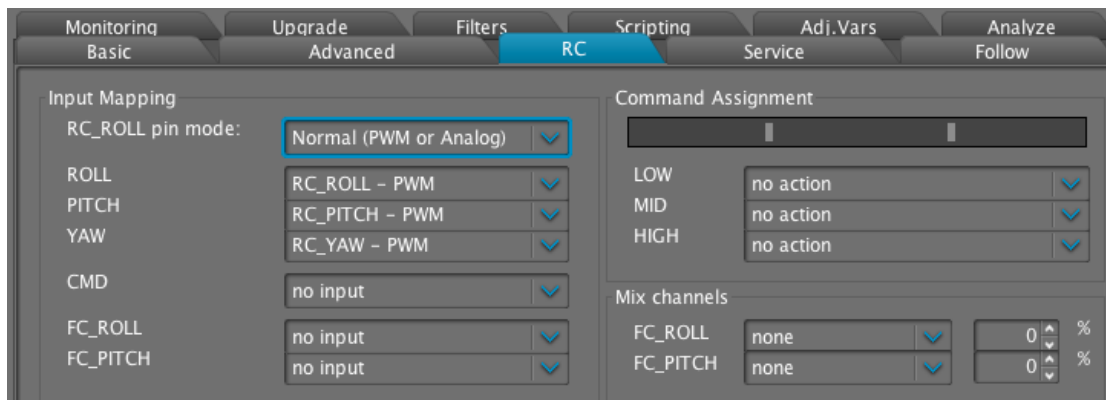
Στα δεξιά του προγράμματος, υπάρχουν οι ενδείξεις για τον καθένα από τους τρεις άξονες (Yaw, Pitch, Roll) κίνησης σε πραγματικό χρόνο (Σχήμα 2.5). Από τις ενδείξεις αυτές μπορούμε να ρυθμίσουμε

τις γωνίες στόχευσης της κεραίας για να ευθυγραμμιστεί με τον δορυφόρο. Η γωνίες είναι με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου άρα η στόχευση της κεραίας μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια.

2.5 Χειρισμός κεραίας

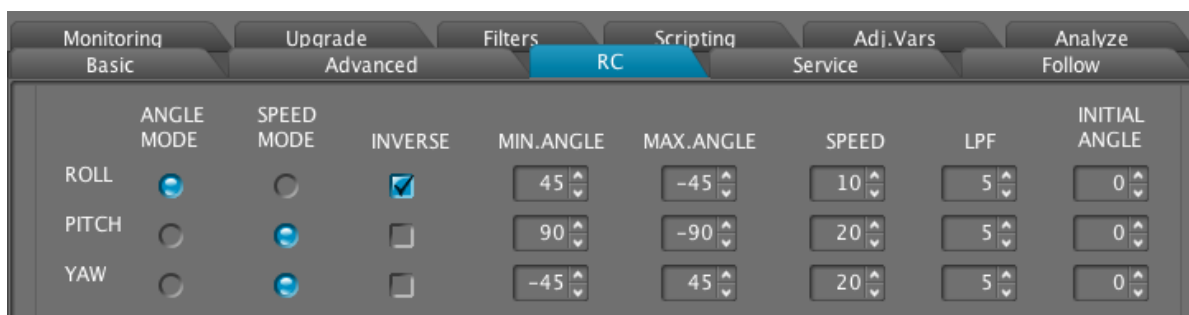
Για τον χειρισμό της κεραίας και την επιθυμητή σκόπευση προς τον δορυφόρο η συγκεκριμένη πλακέτα μας δίνει διάφορες επιλογές. Εδώ θα αναλύσουμε τις δύο πιο διαδεδομένες, τον χειρισμό με joystick (μοχλό) και με τηλεχειριστήριο.

Η επιλογή γίνεται από το RC του προγράμματος όπου επιλέγουμε την θύρα που αντιστοιχεί στον χειρισμό του κάθε άξονα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.12. Με την επιλογή του joystick ο χειρισμός μας περιορίζεται σε 4 μόνο άξονες από τους 6, κάτι το οποίο όμως μπορεί να μην είναι απαγορευτικό καθώς ο άξονας γ στον οποίο αντιστοιχεί το roll (ο άξονας παράλληλος με τον ορίζοντα της Γης) δεν χρειάζεται αλλαγή στην γωνία του όπως οι άλλοι δύο άξονες, αλλά απλά θέλουμε να μας κρατάει την γωνία σταθερή στις 0° (δηλ. παράλληλα με τον ορίζοντα).



Σχήμα 2.12 Επιλογή χειρισμού αδρανειακού συστήματος

Η επιλογή λειτουργίας του κάθε άξονα και κατ' επέκτασιν λειτουργίας του κάθε μοτέρ γίνεται από το ίδιο tab του λογισμικού μας. Επιλέγοντας μεταξύ **Angle και Speed Mode (Σχήμα 2.13)**, δίνουμε αντίστοιχα την εντολή για το πως θα δουλεύει το κάθε μοτέρ. Στο Angle Mode το μοτέρ κρατάει τον συγκεκριμένο άξονα στην σταθερή αρχική γωνία που έχουμε ορίσει, ενώ στο Speed Mode, η γωνία προσδιορίζεται κάθε φορά από το χειριστήριο μας και μένει σταθερή στην τελευταία ρύθμιση του χειριστηρίου.



Σχήμα 2.13 Επιλογή λειτουργίας του χειριστηρίου

Επιπροσθέτως μπορούμε να επιλέξουμε το εύρος της γωνίας περιστροφής που μπορεί να έχει ένας άξονας. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο σε περιπτώσεις που κάποιο αντικείμενο περιορίζει την κεραία μας και δεν θέλουμε να ξεπερνάει κάποιες συγκεκριμένες γωνίες. Γενικότερα καλό θα είναι να εφαρμοστεί κάτι τέτοιο στους δύο άξονες του roll και του pitch όπου η κεραία δεν χρειάζεται να δουλεύει σε εύρος μεγαλύτερο από 90° για το roll και 180° για το pitch. Ο λόγος είναι ότι σε τυχόν εφαρμογή αντίστασης προς τα μοτέρ ή παρεμβολής στην κίνηση της κεραίας το όλο σύστημα μπορεί να αποσυντονιστεί και να χρειάζεται επανεκκίνηση.

Ομοίως μπορούμε να ρυθμίσουμε την ταχύτητα με την οποία θα δίνεται η κίνηση σε κάθε μοτέρ, στην επιλογή SPEED. Όσο μεγαλύτερη τιμή δώσουμε, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ταχύτητα με την οποία θα αλλάζει από την μία θέση στην άλλη ο αντίστοιχος άξονας.

Η επιλογή **LPF** είναι ουσιαστικά το φιλτράρισμα που κάνει το λογισμικό στις εντολές του χειριστήριου. Όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή εδώ τόσο πιο ομαλή είναι η αντίδραση της αδρανειακής βάσης στις εντολές του χειριστήριου. Το φίλτρο “κόβει” τις απότομες κινήσεις, αλλά προσθέτει και μία καθυστέρηση στην κίνηση.

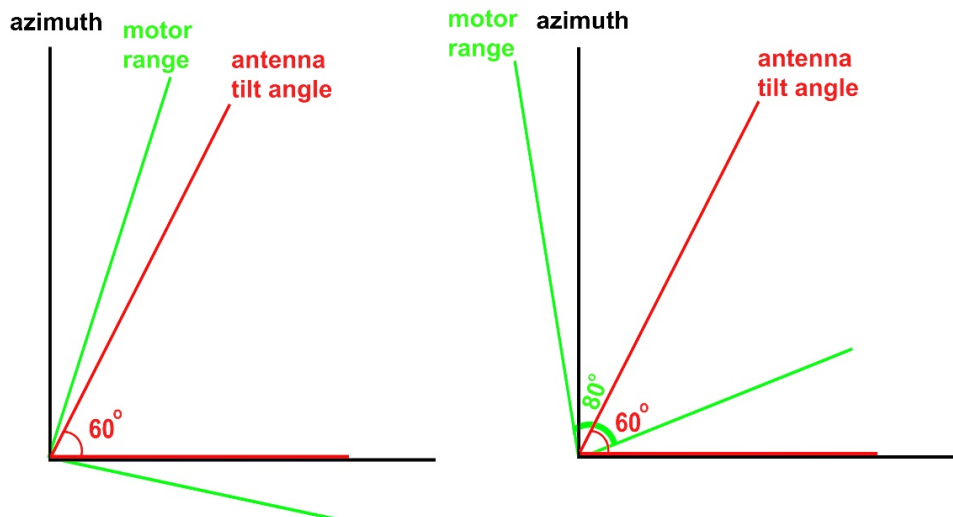
Τέλος η επιλογή **INITIAL ANGLE** ορίζει την αρχική γωνία του κάθε άξονα. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τυχόν διορθώσεις στις γωνίες κατά την διάρκεια λειτουργίας, σε περίπτωση που είτε έχουμε απόκλιση λόγω του αισθητήρα, είτε απλά θέλουμε κάποιος από τους άξονες μας να ξεκινάει σε συγκεκριμένη γωνία (και όχι το 0 όπως ορίζουμε από την αρχική βαθμονόμηση) για την εξοικονόμηση χρόνου.

2.6 Όρια συστήματος αδρανοποίησης

Όπως είναι φυσικό κάθε άξονας του συστήματός μας έχει συγκεκριμένα φυσικά όρια, γωνίες, που αν τις υπερβεί, το σύστημα καταρρέει. Τα όρια αυτά ισχύουν για τους δύο από τους τρεις άξονες του συστήματός μας, καθώς ο άξονας του αζιμούθιου έχει ελευθερία κίνησης 360° και δεν υπάρχει φυσικός περιορισμός στη βάση μας. Αντιθέτως οι υπόλοιποι δύο άξονες έχουν παράλληλα φυσικό και ηλεκτρονικό περιορισμό.

Ο ηλεκτρονικός περιορισμός προέρχεται από την πλακέτα και είναι αποτέλεσμα ασφάλειας προς τα μοτέρ. Οι μεγάλες εναλλαγές σε γωνιά τόσο στον άξονα κλίσης (roll), όσο και στον άξονα σκόπευσης (tilt) μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στα μοτέρ αλλά και στην πλακέτα. Όσο μεγαλώνει το εύρος κίνησης ενός άξονα τόσο ανεβαίνουν οι μηχανικές και ενεργειακές απαιτήσεις ενός μοτέρ ώστε να μπορέσει να κρατήσει τον εκάστοτε άξονα σταθερό. Έτσι μπορούμε από πριν να βάλουμε τα ηλεκτρονικά όρια λειτουργίας στον κάθε άξονα ώστε να αποφευχθούν προβλήματα στην λειτουργία. Ένα λογικό όριο γωνίας στους δύο παραπάνω άξονες είναι οι 35° με 40° κλίσης σε κάθε μεριά. Έτσι έχουμε ένα εύρος 70° - 80° για τον κάθε έναν από τους δύο άξονες.

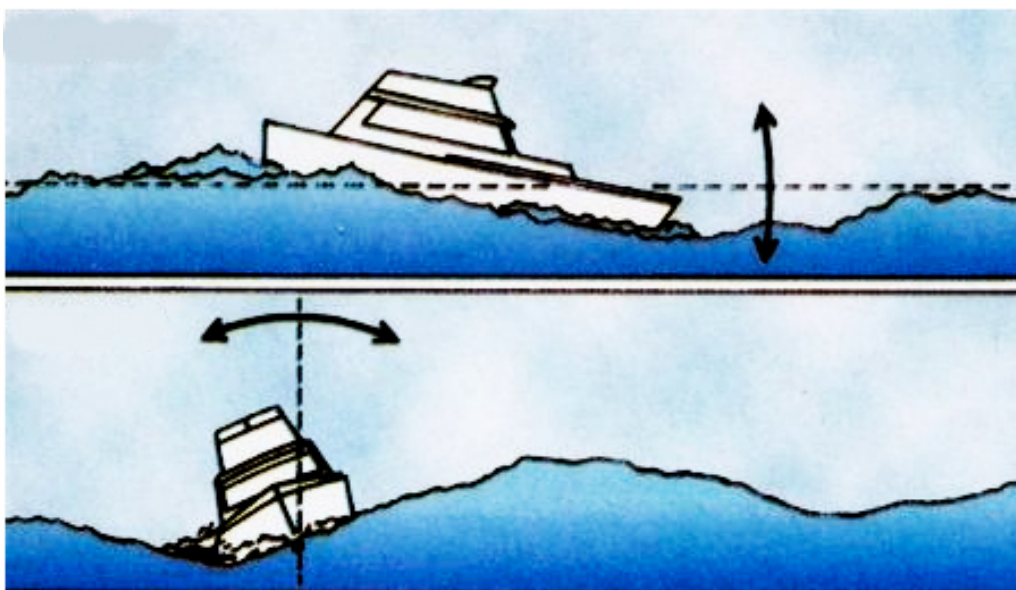
Δεδομένου ότι οι γωνίες σκόπευσης μία κεραίας μικροκυμάτων προς έναν γεωστατικό δορυφόρο έχουν εύρος $\sim 60^\circ$, με 0° η γωνία που είναι κάθετη στον αζιμούθιο άξονα, μπορούμε να δούμε ότι οι 80° ηλεκτρονικού περιορισμού είναι αρκετές για να καλύψουν το εύρος της γωνίας σκόπευσης. Όμως, αν στην γωνία σκόπευσης προσθέσουμε και την κλίση στην οποία μπορεί να βρίσκεται το όχημα ή το πλεούμενο στα οποία είναι τοποθετημένη η κεραία μας, τότε βλέπουμε ότι η αδρανειακή βάση μπορεί να βρεθεί σε οριακές συνθήκες λειτουργίας. Για το λόγο αυτό είναι καλύτερο να αλλάζουμε χειροκίνητα το ηλεκτρονικό εύρος της γωνίας σκόπευσης στην κεραία μας ώστε να έχει μεγαλύτερο περιθώριο κίνησης στην γωνία λειτουργίας. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.14 αλλάζοντας το εύρος γωνίας των μοτέρ, κάποιες γωνίες σκόπευσης της κεραίας βγαίνουν εκτός των ορίων λειτουργίας, αλλά οι οριακές γωνίες σκόπευσης, όπως αυτή των 60° , έχουν μεγαλύτερο περιθώριο κίνησης πλέον.



Σχήμα 2.14 Αλλαγή ηλεκτρονικού εύρους γωνίας

Στον άξονα κλίσης (roll) αντίστοιχα, τα όρια κίνησης είναι ακόμα μικρότερα από αυτά του άξονα σκόπευσης. Ο άξονας κλίσης αφορά αποκλειστικά μόνο κλίση, η οποία προέρχεται από κίνηση του οχήματος ή του πλεούμενου και κατ' επέκταση μεταφράζεται σε κλίση της βάσης. Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η διατήρηση της κλίσης του οριζώντιου άξονα της κεραίας παράλληλη με αυτήν της επιφάνειας της γης. Οι περισσότερες βάσεις για λόγους ασφάλειας αλλά και περιορισμού δεν επιτρέπουν κίνηση σε αυτόν τον άξονα μεγαλύτερη των $\pm 45^\circ$.

Αν λάβουμε υπ' όψιν μας ότι η μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση σε δρόμους είναι 25° , τότε μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι η βάση μπορεί να είναι μονίμως λειτουργική. Αυτό όπως δεν ισχύει και για την θάλασσα όπου η κλίση ενός σκάφους εξαρτάται από περισσότερους παράγοντες. Ένα σκάφος έχει τρία επίπεδα ευστάθειας, αλλά στην συγκεκριμένη περίπτωση μας απασχολούν μόνο τα δύο από αυτά. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.15 ένα σκάφος διακρίνεται από την διαμήκη και εγκάρσια ευστάθειά του [18].



Σχήμα 2.15 Διαμήκης και εγκάρσια ευστάθεια σκάφους

Η πιο σημαντική ευστάθεια, και κατα την οποία το σκάφος μπορεί να αποκτήσει μεγάλη κλίση, είναι η εγκάρσια και μπορεί να φτάσει μέχρι και τις 35° - 40° για ένα μηχανοκίνητο και παραπάνω για ένα ιστιοφόρο, ιδιαίτερα όταν ταξιδεύει με τον άνεμο όπου η διατήρηση της κλίσης είναι αναπόφευκτη.

Συνοψίζοντας, τα ιδανικά όρια στον άξονα κλίσης (roll) είναι κοντά στις 35° , δηλαδή ένα εύρος κίνησης 70° .

2.7 Δεύτερη μονάδα IMU

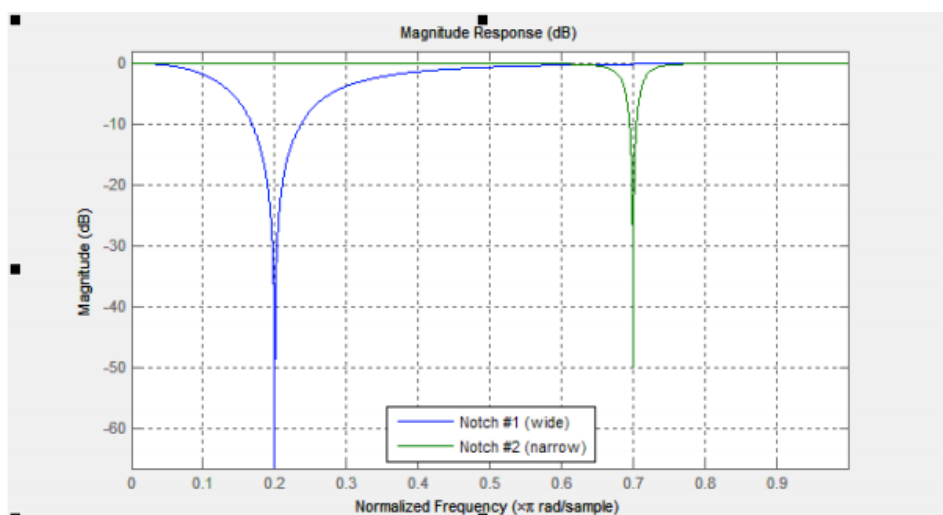
Η πλακέτα σταθεροποίησης που χρησιμοποιούμε, μας δίνει την δυνατότητα να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στην σταθεροποίηση, τοποθετώντας έναν δεύτερο σένσορα IMU εκτός της αδρανειακής βάσης και πάνω στον σκελετό του οχήματος. Θέλει προσοχή όμως, διότι, εάν υπάρχουν δονήσεις στο όχημα ή το πλεύσιμο στο οποίο είναι τοποθετημένος ο σένσορας, η επίδραση των δονήσεων αυτών έχει ως αποτέλεσμα την λάθος πληροφορία στον σένσορα και τον συνολικό αποσυντονισμό της πλακέτας σταθεροποίησης. Μία λύση είναι η χρήση ενός φίλτρου χαμηλών συχνοτήτων, το οποίο θα φιλτράρει ανεπιθύμητους θορύβους και δονήσεις πριν “φύγει” η πληροφορία από την δεύτερη μονάδα IMU. Η αρχική τιμή είναι στα 10Hz. Το να βάλουμε το φίλτρο σε πολύ χαμηλή τιμή δεν είναι ιδανικό, διότι η καθυστέρηση φάσεως θα είναι μεγαλύτερη και θα έχει σαν αποτέλεσμα η διόρθωση να μην είναι ακριβής.

2.8 Ψηφιακά φίλτρα

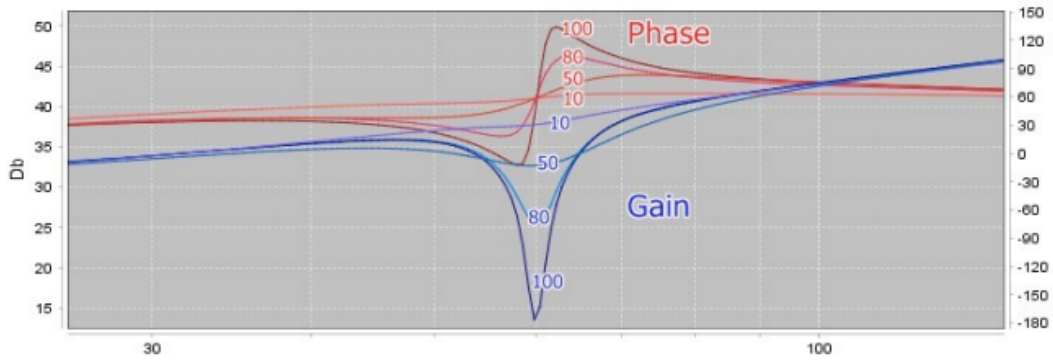
Τα ψηφιακά φίλτρα είναι μία επιπλέον λειτουργία της πλακέτας, η οποία μας δίνει την δυνατότητα να επέμβουμε μέσω του λογισμικού, τοποθετώντας φίλτρα, τα οποία θα βελτιστοποιήσουν την ποιότητα λειτουργίας των PID παραμέτρων. Τα φίλτρα αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στα φίλτρα απόρριψης ζώνης και στα φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων.

2.8.1 Φίλτρα απόρριψης ζώνης

Τα φίλτρα αυτά μπορούν να απορρίψουν τον συντονισμό. Βοηθούν σε περιπτώσεις όπου το σύστημα έχει έντονο μηχανικό συντονισμό.



Σχήμα 2.16 Απεικόνιση φίλτρου απόρριψης ζώνης

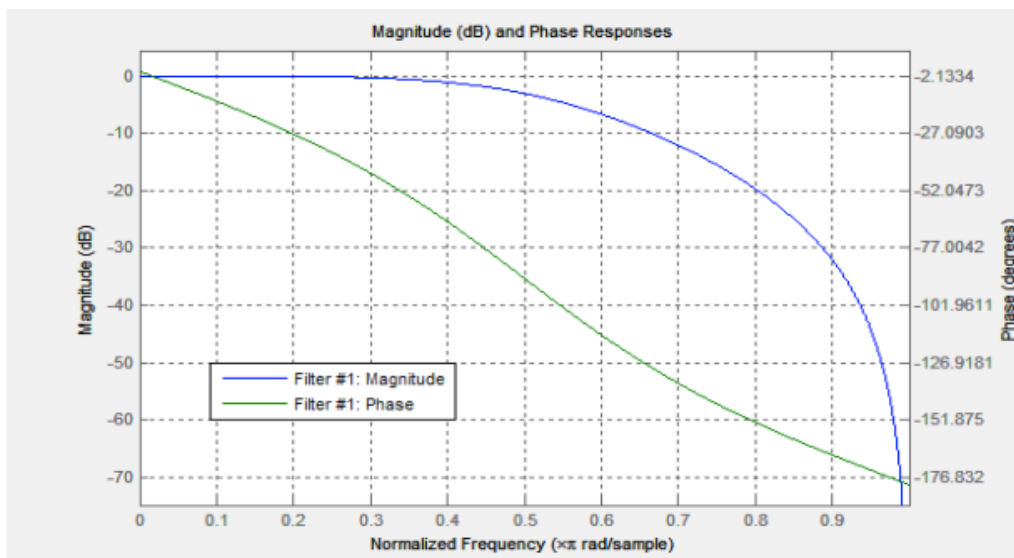


Σχήμα 2.17 Σχέση φάσης και κέρδους με την χρήση του φίλτρου απόρριψης ζώνης

Αυξάνοντας το υπάρχον κέρδος ανάδρασης, εμφανίζονται αρχικά ταλαντώσεις στις συχνότητες του μηχανικού συντονισμού και οι οποίες δεν εξαρτώνται από τις παραλλαγές των PID ρυθμίσεων. Σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιώντας ένα ή παραπάνω φίλτρα απόρριψης ζώνης μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση του κέρδους ανάδρασης και οι ρυθμίσεις PID να έχουν πιο ομαλή και ακριβή λειτουργία (Σχήμα 2.16). Όμως τα φίλτρα αυτά θα είναι άχρηστα στην περίπτωση που οι ταλαντώσεις εμφανιστούν στο ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Στην περίπτωση αυτή είναι καλύτερο να χρησιμοποιήσουμε ένα φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων. Το κέρδος του φίλτρου απόρριψης ζώνης στα 100dB αποδίδει το μέγιστο, ενώ για τιμές μικρότερες των 20db αντισταθμίζει ελαφρύ συντονισμό (Σχήμα 2.17).

2.8.2 Φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων

Τα φίλτρα χαμηλών συχνοτήτων συνήθως χρησιμοποιούνται, όταν το αντικείμενο που θέλουμε να κρατήσουμε σταθερό έχει μεγάλο βάρος και κατά συνέπεια και υψηλή ροπή αδράνειας. Στην περίπτωση αυτή το εύρος της συχνότητας λειτουργίας είναι μικρότερο σε σχέση με αδρανειακές βάσεις που σταθεροποιούν μικρότερα αντικείμενα. Αλλά η παράμετρος D από τα PID αυξάνει επίσης την ανάδραση σε υψηλότερες συχνότητες (Σχήμα 2.18).



Σχήμα 2.18 Απεικόνιση φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων

Σε υψηλές συχνότητες η απόκριση του μηχανικού συστήματος δεν είναι συνήθως αρκετά ακριβής για πολλούς λόγους. Συντονισμός υψηλής συχνότητας, καθυστέρηση μηχανικής επίδρασης, μη γραμμικότητα λόγω της αντίδρασης και της τριβής, και ουτω καθεξής, είναι κάποιοι από αυτούς τους λόγους. Αποτέλεσμα αυτών είναι το σύστημα να έχει τάση αυτοδιέγερσης, όταν το κέρδος αυξάνεται.

Ένα φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων μειώνει το κέρδος σε υψηλή συχνότητα και αυξάνει την σταθερότητα του συστήματος. Αλλά ως μειονέκτημα ένα βαθυπερατό φίλτρο έχει καθυστέρηση φάσης, η οποία αναπτύσσεται αρνητικά κοντά στην συχνότητα διασταυρώσεως και μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την σταθερότητα των PID. Για τον λόγο αυτό το φίλτρο διακρίνεται από μία πολυπλοκότητα διαμόρφωσης και η χρήση του δεν δικαιολογείται πάντα.

2.9 Εναλλακτικές επιλογές λειτουργικού συστήματος

Το λειτουργικό σύστημα, το οποίο χρησιμοποιούμε και αναλύουμε στην συγκεκριμένη μελέτη, δεν είναι το μοναδικό οικονομικό και προσιτό στον χρήστη σύστημα για την τοποθέτηση σε αδρανειακή βάση. Με την συγκεκριμένη τεχνολογία να αναπτύσσεται συνεχώς, τα συστήματα αυτά γίνονται όλα και πιο μικρά σε μέγεθος και βρίσκουν εφαρμογή σε όλο και περισσότερες χρήσεις. Οι κατηγορίες των συστημάτων αδρανοποίησης που υπάρχουν στην αγορά είναι δύο, οι έτοιμες προς χρήση πλακέτες που παρέχουν αρκετές ευκολίες, αλλά παράλληλα και κάποιους περιορισμούς στην χρήση, και οι κατά παραγγελία πλακέτες, οι οποίες είναι κατασκευασμένες για τις ανάγκες του κάθε χρήστη. Από τις πιο διαδεδομένες εναλλακτικές στο εμπόριο είναι η ηλεκτρονική πλατφόρμα ελεύθερου λογισμικού Arduino [19]. Τα πλεονεκτήματά της είναι η ελευθερία στην σύνθεση της πλακέτας καθώς και στην εγγραφή του κώδικα που θα χρησιμοποιεί.

Έχοντας μία βασική πλακέτα με τον μικροεπεξεργαστή μπορούμε να συνδέσουμε πληθώρα αισθητήρων ή άλλων συστημάτων εισαγωγής πληροφορίας και να εξάγουμε εντολές κίνησης ή σημάτων, ανάλογα με τις απαιτήσεις μας. Έτσι, μπορεί να προσαρμοστεί καλύτερα στις ανάγκες του εκάστοτε εγχειρήματος. Επίσης, με τη πλατφόρμα ελεύθερου λογισμικού, ο κάθε χρήστης μοιράζεται τον κώδικα που χρησιμοποιεί και μία μεγάλη βάση δεδομένων έχει αρχίσει να αναπτύσσεται, όπου ο κάθε χρήστης μπορεί να βρει αυτό που χρειάζεται.

Βέβαια, για να καταλήξεις σε ένα επιθυμητό αποτέλεσμα λειτουργίας θα πρέπει να αφιερώσεις αρκετό περισσότερο χρόνο δοκιμάζοντας και συνδυάζοντας κώδικα και υλικά. Για τον λόγο αυτό δεν έγινε επιλογή της συγκεκριμένης πλατφόρμας σε αυτήν την μελέτη και προτιμήθηκε μία γρήγορη και συμπαγής λύση όπως είναι το Simple BGC 32-bit της Basecam Electronics.

Κεφάλαιο 3 : Ορισμός Συστήματος Συντεταγμένων:

Κάθε σύστημα συντεταγμένων αποτελείται από έναν μετασχηματισμό και ένα διάνυσμα προέλευσης [20].

Ο μετασχηματισμός ενός συστήματος συντεταγμένων ορίζεται ως εξής:

$$\vec{T}_{\text{ΟνομασίαΣυστηματος_ΒασικηΟνομασίαΣυστηματος}} = \begin{bmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \end{bmatrix}$$

όπου \vec{e}_x , \vec{e}_y , \vec{e}_z είναι τα τρία κάθετα μοναδιαία διανύσματα του συστήματος συντεταγμένων. Τα μοναδιαία διανύσματα ορίζονται ως διανύσματα στήλης. Εδώ χρησιμοποιείται η ακόλουθη ονομαστική σύμβαση: Μία μετατροπή συστήματος συντεταγμένων απεικονίζεται πάντα με το κεφαλαίο γράμμα T. Ο δείκτης δείχνει τη ονομασία του συστήματος συντεταγμένων καθώς και το σύστημα συντεταγμένων που ορίζεται.

Επιπλέον κάθε σύστημα συντεταγμένων έχει την ρίζα του:

$$\vec{r}_{\text{ΟνομασίαΣυστηματος_ΒασικηΟνομασίαΣυστηματος}} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Το έγγραφο χρησιμοποιεί την ακόλουθη σύμβαση ονομασίας: Η προέλευση ενός συστήματος συντεταγμένων απεικονίζεται πάντα με το γράμμα r. Οι κανόνες ονομασίας είναι παρόμοιοι με τους κανόνες για το σύστημα συντεταγμένων.

3.1 Αριθμητική Περιγραφή Αλγορίθμου

3.1.1 Επισκόπηση του αλγόριθμου

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί συστήματα συντεταγμένων καθώς και μετατροπές πινάκων για να βρεθεί η λύση στο πρόβλημα. Το Earth-Centered, Earth-Fixed (ECEF) σύστημα συντεταγμένων χρησιμοποιείται ως αδρανειακό σύστημα. Το XY επίπεδο του είναι το επίπεδο του ισημερινού με X-άξονα σκόπευση κατεύθυνσης σε γεωγραφικό μήκος 0°. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί πέντε βήματα για να προκύψουν οι γωνίες κατεύθυνσης.

1. Το σύστημα συντεταγμένων του γεωστατικού δορυφόρου ορίζεται στο ECEF σύστημα συντεταγμένων (πολλαπλές παραλλαγές είναι εφικτές)
2. Το σύστημα συντεταγμένων στην επιφάνεια της Γης ορίζεται στο ECEF σύστημα συντεταγμένων (πολλαπλές παραλλαγές είναι εφικτές, ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια)
3. Το σύστημα συντεταγμένων του γεωστατικού δορυφόρου μετασχηματίζεται στο σύστημα συντεταγμένων της επιφάνειας της Γης. Με αυτό το αποτέλεσμα, παράγεται το κατευθυντικό σύστημα συντεταγμένων στο σύστημα συντεταγμένων της επιφάνειας της Γης.
4. Το σύστημα συντεταγμένων της κεραίας ορίζεται από το σύστημα συντεταγμένων της επιφάνειας της Γης
5. Το κατευθυντικό σύστημα συντεταγμένων μετασχηματίζεται στο σύστημα συντεταγμένων της κεραίας και υπολογίζονται οι γωνίες Euler που αντιπροσωπεύουν το αζιμούθιο της κεραίας, το υψόμετρο και την πόλωση

3.1.2 Παράμετροι

Ο χρήστης θα πρέπει να λάβει υπ όψιν του τις ακόλουθες παραμέτρους του Πίνακα 3, για να υπολογίσει τις κατευθυντικές γωνίες της κεραίας:

Πληροφορία	Όνομα	Παράμετρος	Μονάδα Μέτρησης	Τιμή υπολογισμού στο παράδειγμα	Περιγραφή
Γεωστατικός δορυφόρος	Long _{sat}	Θέση δορυφόρου (γεωγραφικό μήκος)	[*]	7°	Μετράται θετικά σε ανατολική κατεύθυνση. Η τιμή είναι μεταξύ 0° και 360°
	Lat _{sat}	Θέση δορυφόρου (γεωγραφικό πλάτος)	[*]	4°	Μετράται θετικά σε βόρεια κατεύθυνση. Η τιμή είναι μεταξύ 90° και -90°
	Pol _{sat}	Γωνία πόλωσης (για Lat _{sat} =0 είναι γωνία κλίσης)	[*]	-22°	Η τιμή είναι η γωνία που ευθυγραμμίζει το πολικό διάνυσμα της κεραίας του δορυφόρου με το επίπεδο του ισημερινού, όταν περιστρέφονται γύρω από το διάνυσμα που ορίζει το κέντρο μάζας του δορυφόρου με το κέντρο της γης. Αν ο δορυφόρος είναι στο επίπεδο του Ισημερινού, δηλαδή Lat _{sat} =0, τότε αυτή είναι και η γωνία μεταξύ του Ισημερινού και την κατεύθυνση της πόλωσης, η γωνία κλίσης.
Θέση κεραίας	Long _{ant}	Θέση κεραίας (γεωγραφικό μήκος)	[*]	11	Μετράται θετικά σε ανατολική κατεύθυνση. Η τιμή είναι μεταξύ 0° και 360°
	Lat _{ant}	Θέση κεραίας (γεωγραφικό πλάτος)	[*]	50	Μετράται θετικά σε βόρεια κατεύθυνση. Η τιμή είναι μεταξύ 90° και -90°
	Alt _{ant} or r _{earth}	Υψόμετρο κεραίας ή ακτίνα της Γης	[m]	r _{earth} 6378000m	Υψόμετρο κεραίας πάνω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας ή η ακτίνα της Γης. Εξαρτάται από το επιλεγμένο μοντέλο της Γης (βλεπε βήμα 2 του αλγόριθμου για λεπτομέρειες)
Κατεύθυνση Κεραίας (βλ. Κεφάλαιο 2.4 βήμα 4)	Roll _{ant}	Το Roll της κεραίας (Βασικό κλισιόμετρο)	[*]	14°	Το βασικό κλισιόμετρο τοποθετείται στο περιστρεφόμενο μηχανισμό της κεραίας, το οποίο παράγει την αζιμούθια κίνηση. Ευθυγραμμίζεται με την αζιμούθια κατεύθυνση της βασικής δέσμης της κεραίας σε ανύψωση 0° (βλ. Σχήμα 5 κεφάλαιο 2.4) Μετράται με την φορά του ρολογιού
	Pitch _{ant}	Το Pitch της κεραίας (δευτερεύον κλισιόμετρο)	[*]	8°	Το δευτερεύον κλισιόμετρο τοποθετείται στο περιστρεφόμενο μηχανισμό της κεραίας το οποίο παράγει την αζιμούθια κίνηση. Ευθυγραμμίζεται με τον άξονα ανύψωσης (βλ. Σχήμα 5 κεφάλαιο 2.4) Μετράται με την φορά του ρολογιού
	IncAz _{ant}	Εισ το επίπεδο (Ορίζοντας) αζιμούθιος γωνία του βασικού κλισιόμετρου	[*]	68°	Ορίζει την γωνία του βασικού κλισιόμετρου που μετρείται στο επίπεδο της επιφάνειας της Γης (βλ. Σχήμα 2.5) Μετράται με την φορά του ρολογιού
	AZ _{ant meas}	Αντισταθμιστική διόρθωση αζιμούθιου	[*]	52°	Προαιρετικό, όταν μετρώνται οι παράμετροι με έναν αρχικό κύκλο παρακολούθησης. Μετατόπιση του αζιμούθιου άξονα κατά την μέτρηση. Μετράται με την φορά του ρολογιού

Πίνακας 3 - Παράμετροι για τον υπολογισμό των κατευθυντικών γωνιών

3.2 Πληροφορίες Αλγορίθμων

3.2.1 Σύστημα συντεταγμένων Γεωστατικού δορυφόρου

Στόχος: Εύρεση της θέσης και της κατεύθυνσης του δορυφόρου

Η θέση (προέλευση του Γεωστατικού δορυφόρου) υπολογίζεται με σφαιρικές συντεταγμένες και σχετίζεται με την ακτίνα του, το γεωγραφικό μήκος και το πλάτος.

$$\vec{r}_{GEO_ECEF} = \begin{bmatrix} r_{GEO} * \cos d(Lat_{sat}) * \cos d(Long_{sat}) \\ r_{GEO} * \cos d(Lat_{sat}) * \sin d(Long_{sat}) \\ r_{GEO} * \sin d(Lat_{sat}) \end{bmatrix} = GEO_satellite_origin_in_ECEF_System$$

Παράδειγμα: $r_{GEO} = 42164200m$ $Long_{sat} = 7^\circ$ $Lat_{sat} = 14^\circ$

$$\vec{r}_{GEO_ECEF} = \begin{bmatrix} 4.0606793 \cdot 10^7 \\ 4.9858871 \cdot 10^6 \\ 1.0200443 \cdot 10^7 \end{bmatrix}$$

Ο μετασχηματισμός του συστήματος συντεταγμένων ενός Γεωστατικού δορυφόρου ορίζεται ως εξής: Ο Χ-άξονας είναι παράλληλος με την κατεύθυνση του ναδίου (κέντρο της Γης). Ο Χ-άξονας δείχνει μακριά από την Γη. Οι Υ/Ζ-άξονες είναι ευθυγραμμισμένοι με τα επίπεδα πολικότητας της κεραίας του Γεωστατικού δορυφόρου. Το αποτέλεσμα του πίνακα από τρεις εναλλαγές: Γεωγραφικό Μήκος, Γεωγραφικό Πλάτος και Πολικότητα.

$$\bar{T}_{GEO_ECEF} = \bar{R}_Z(Long_{sat}) * \bar{R}_Y(-Lat_{sat}) * \bar{R}_X(Pol_{sat}) = \text{GEO transform in ECEF System}$$

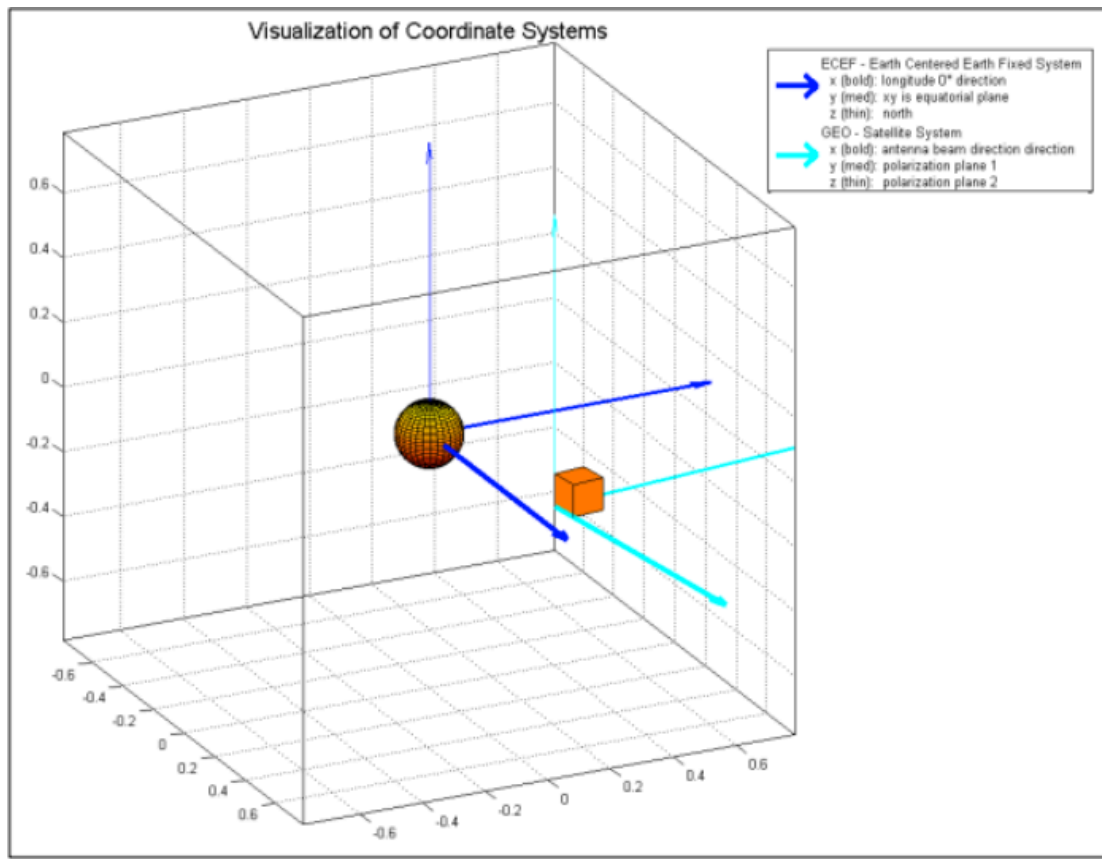
Παράδειγμα: $Long_{sat} = 7^\circ$ $Lat_{sat} = 14^\circ$ $Pol_{sat} = -22^\circ$

$$\bar{T}_{GEO_ECEF} = \begin{bmatrix} 0.993 & -0.122 & 0 \\ 0.122 & 0.993 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.970 & 0 & -0.242 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0.242 & 0 & 0.970 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.928 & 0.374 \\ 0 & -0.374 & 0.928 \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}_{GEO_ECEF} = \begin{bmatrix} 0.962 & -0.122 & -0.240 \\ 0.118 & 0.992 & -0.0295 \\ 0.242 & 0 & 0.970 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.928 & 0.374 \\ 0 & -0.374 & 0.928 \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}_{GEO_ECEF} = \begin{bmatrix} 0.962 & -0.0230 & -0.268 \\ 0.118 & 0.931 & 0.345 \\ 0.242 & -0.364 & 0.899 \end{bmatrix}$$

Αποτέλεσμα: Το διάνυσμα προέλευσης (\vec{r}_{GEO_ECEF}) και ο μετασχηματισμός (\bar{T}_{GEO_ECEF}) του Γεωστατικού δορυφόρου στο πλαίσιο ECEF (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Σύστημα ECEF και σύστημα δορυφόρου

3.2.2 Σύστημα συντεταγμένων στην επιφάνεια της Γης

Σκοπός: Να βρεθεί η θέση και η κατεύθυνση του συστήματος συντεταγμένων της επιφάνειας της Γης (στην τοποθεσία της κεραίας)

Σημείωση: Υπάρχουν αρκετά μοντέλα της Γης διαθέσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σκοπό αυτό. Δύο εναλλακτικές απεικονίζονται εδώ. Αρχικά, η χρήση ενός σφαιρικού μοντέλου της Γης, το οποίο είναι πολύ εύκολο να χειριστεί, αλλά περιλαμβάνει κατευθυντικά σφάλματα μέχρι και 0.8° . Δεύτερον, το μοντέλο WGS84, το οποίο υπολογίζει τις βαρυτικές ανωμαλίες πρώτου βαθμού και ως εκ τούτου πολύ πιο ακριβές, αλλά χρειάζεται περισσότερο υπολογιστικό φόρτο.

A) Σφαιρικό μοντέλο Γης

Η θέση της κεραίας, έχοντας ως σύστημα συντεταγμένων την επιφάνεια της Γης, υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το γεωγραφικό μήκος και πλάτος σε σφαιρικές συντεταγμένες. Με την ακτίνα της Γης, η θέση υπολογίζεται ως εξής:

$$\vec{r}_{ESA_ECEF} = \begin{bmatrix} r_{Earth} * \cos d(Lat_{ant}) * \cos d(Long_{ant}) \\ r_{Earth} * \cos d(Lat_{ant}) * \sin d(Long_{ant}) \\ r_{Earth} * \sin d(Lat_{ant}) \end{bmatrix} = \text{Αρχή της επιφάνειας της Γης στο ECEF σύστημα}$$

Παράδειγμα: $r_{Earth} = 6378000$ $Long_{ant} = 50^\circ$ $Lat_{ant} = 11^\circ$

$$\vec{r}_{ESA_ECEF} = \begin{bmatrix} 4.024376 \cdot 10^6 \\ 7.822598 \cdot 10^5 \\ 4.885832 \cdot 10^6 \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας μετασχηματισμού για το σύστημα συντεταγμένων της επιφάνειας της Γης προκύπτει από μοναδιαία διανύσματα. Το ΧΥ-επίπεδο είναι παράλληλο με το έδαφος. Ο Ζ-άξονας δείχνει προς το ναδίρ (κέντρο της Γης). Ο Χ-άξονας δείχνει προς τον Βορρά

$$\vec{e}_{z_ESA_ECEF} = -\frac{\vec{r}_{ESA_ECEF}}{|\vec{r}_{ESA_ECEF}|} \quad \text{είναι το αρνητικό κανονικοποιημένο αρχικό διάνυσμα}$$

$$\vec{e}_{y_ESA_ECEF} = \frac{\vec{e}_{z_ESA_ECEF} \times \vec{e}_{z_ECEF_0}}{|\vec{e}_{z_ESA_ECEF} \times \vec{e}_{z_ECEF_0}|} \quad \text{είναι κάθετο στην κατεύθυνση του Βορρά}$$

$$\vec{e}_{x_ESA_ECEF} = \frac{\vec{e}_{y_ESA_ECEF} \times \vec{e}_{z_ECEF_0}}{|\vec{e}_{y_ESA_ECEF} \times \vec{e}_{z_ECEF_0}|} \quad \text{δείχνει προς τον Βορρά και κλείνει το ορθογώνιο σύστημα}$$

$$\bar{T}_{ESA_ECEF} = \begin{bmatrix} \vec{e}_{x_ESA_ECEF} & \vec{e}_{y_ESA_ECEF} & \vec{e}_{z_ESA_ECEF} \end{bmatrix} = \text{Μετασχηματισμός της επιφάνειας της Γης στο ECEF σύστημα.}$$

Παράδειγμα:

$$\vec{e}_{z_ESA_ECEF} = -\frac{\begin{bmatrix} 4.024376 \cdot 10^6 \\ 7.822598 \cdot 10^5 \\ 4.885832 \cdot 10^6 \end{bmatrix}}{\sqrt{(4.024376 \cdot 10^6)^2 + (7.822598 \cdot 10^5)^2 + (4.885832 \cdot 10^6)^2}} = \begin{bmatrix} -0.631 \\ -0.123 \\ -0.766 \end{bmatrix}$$

$$\vec{e}_{y_{ESA_ECEF}} = \frac{\begin{bmatrix} -0.631 \\ -0.123 \\ -0.766 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}}{\sqrt{(-0.123)^2 + (0.631)^2 + (0)^2}} = \begin{bmatrix} -0.1913 \\ 0.9815 \\ 0. \end{bmatrix}$$

$$\vec{e}_{x_{ESA_ECEF}} = \frac{\begin{bmatrix} -0.1913 \\ 0.9815 \\ 0. \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -0.631 \\ -0.123 \\ -0.766 \end{bmatrix}}{\sqrt{(-0.1913)^2 + (0.9815)^2 + (0)^2}} = \begin{bmatrix} -0.7518 \\ -0.1465 \\ 0.6428 \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}_{ESA_ECEF} = \begin{bmatrix} \vec{e}_{x_{ESA_ECEF}} & \vec{e}_{y_{ESA_ECEF}} & \vec{e}_{z_{ESA_ECEF}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.7518 & -0.1913 & -0.631 \\ -0.1465 & 0.9815 & -0.123 \\ 0.6428 & 0. & -0.766 \end{bmatrix}$$

B) Μοντέλο Γης WGS84

Το ελλειψοειδές σχήμα της Γης χρησιμοποιείται για να αυξηθεί η ακρίβεια. Ο υπολογισμός απαιτεί τις τιμές των βασικών και δευτερευόντων ημιαξόνων του ελλειψοειδούς σχήματος της Γης. Αυτές οι τιμές είναι σταθερές και ορίζονται ως:

$$a = 6378137.0 \quad b = 6356752.314$$

Επιπλέον χρειαζόμαστε τις παρακάτω τιμές:

$$e1 = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad e2 = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b} \quad n = \frac{a}{\sqrt{1 - e1^2 \sin^2(Lat_{ant})}}$$

Με το υψόμετρο της κεραίας (ύψος πάνω από το επίπεδο της θάλασσας) η θέση υπολογίζεται ως εξής:

$$\vec{r}_{ESA_ECEF} = \begin{bmatrix} (n + Alt_{ant}) * \cos d(Lat_{ant}) * \cos d(Long_{ant}) \\ (n + Alt_{ant}) * \cos d(Lat_{ant}) * \sin d(Long_{ant}) \\ (n * (1 - e1^2) + Alt_{ant}) * \sin d(Lat_{ant}) \end{bmatrix} = \text{Αρχή της επιφάνειας της Γης στο ECEF}$$

σύστημα

Για τον υπολογισμό του συστήματος της Γης χρειαζόμαστε επιπλέον τις δύο παρακάτω τιμές:

$$t0 = a \tan d \left(\frac{a \cdot \vec{r}_{ESA_ECEF_z}}{b \cdot \vec{r}_{ESA_ECEF_x}} \right)$$

$$u = a \tan d \left(\frac{\vec{r}_{ESA_ECEF_z} + e2^2 \sin d^3(t0)}{\vec{r}_{ESA_ECEF_x} - e2^2 \cos d^3(t0)} \right)$$

Ο πίνακας προσανατολισμού φτιάχνεται από μοναδιαία διανύσματα. Το XY-επίπεδο είναι κάθετο στο βαρυτικό διάνυσμα. Ο Z-άξονας δείχνει προς τα κάτω. Ο X-άξονας δείχνει προς τον Βορρά.

$$\vec{e}_{z_ESA_ECEF} = - \begin{bmatrix} \cos d(u) * \cos d(Long_{ant}) \\ \cos d(u) * \sin d(Long_{ant}) \\ \sin d(u) \end{bmatrix} \text{ είναι παράλληλο με την βαρύτητα}$$

$$\vec{e}_{y_ESA_ECEF} = \frac{\vec{e}_{z_ESA_ECEF} \times \vec{e}_{z_ECEF_0}}{|\vec{e}_{z_ESA_ECEF} \times \vec{e}_{z_ECEF_0}|} \text{ είναι κάθετο στην διεύθυνση του Βορρά}$$

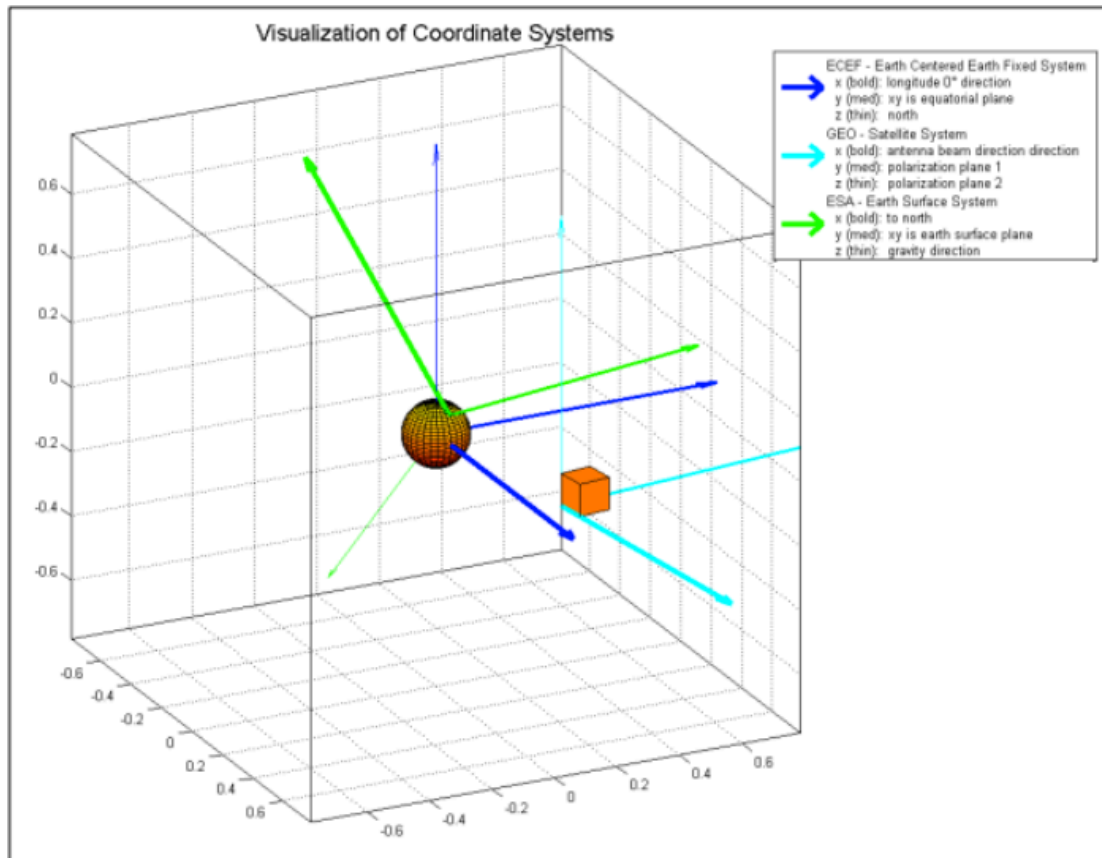
$$\vec{e}_{x_ESA_ECEF} = \frac{\vec{e}_{y_ESA_ECEF} \times \vec{e}_{z_ECEF_0}}{|\vec{e}_{y_ESA_ECEF} \times \vec{e}_{z_ECEF_0}|} \text{ δείχνει προς τον Βορρά και ολοκληρώνει το ορθογώνιο}$$

σύστημα

$$\bar{\bar{T}}_{ESA_ECEF} = \begin{bmatrix} \vec{e}_{x_ESA_ECEF} & \vec{e}_{y_ESA_ECEF} & \vec{e}_{z_ESA_ECEF} \end{bmatrix} = \text{Μετασχηματισμός της επιφάνειας της}$$

Γης στο ECEF σύστημα.

Συμπέρασμα: Το αρχικό διάνυσμα (\vec{r}_{ESA_ECEF}) και ο πίνακας μετασχηματισμού ($\bar{\bar{T}}_{ESA_ECEF}$) του συστήματος συντεταγμένων της επιφάνειας της Γης στο πλαίσιο ECEF (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: Προσθεθέντο το Σύστημα της επιφάνειας της Γης

3.3 Εξαγωγή του μη κεκλιμένου συστήματος σκόπευσης

Σκοπός: Να βρεθεί το σύστημα συντεταγμένων, το οποίο περιγράφει την σωστή κατεύθυνση της μη κεκλιμένης κεραίας

Η θέση και ο προσανατολισμός του Γεωστατικού δορυφόρου ορίζεται από το πλαίσιο ECEF (αποτελέσματα από το Κεφάλαιο 3.2.1). Για τον υπολογισμό του συστήματος κατεύθυνσης βρίσκουμε την θέση του Γεωστατικού δορυφόρου και τον προσανατολισμό του όπως παρατηρείται από το σύστημα της επιφάνειας της Γης (αποτελέσματα από το Κεφάλαιο 3.2.2). Άρα εφαρμόζουμε έναν μετασχηματισμό. Σημειώνεται, ότι όλη η επιχειρηματολογία στην δεξιά μεριά των εξισώσεων πρέπει να γίνει στο ίδιο σύστημα βάσης (στην περίπτωσή μας το ECEF) ώστε ο μετασχηματισμός να είναι έγκυρος.

$$\vec{r}_{GEO_ESA} = \overline{T}_{ESA_ECEF}^T * (\vec{r}_{GEO_ECEF} - \vec{r}_{ESA_ECEF}) = \text{Σημείο προσδιορισμού του}$$

Γεωστατικού δορυφόρου στο σύστημα επιφάνειας της Γης

$$\bar{T}_{GEO_ESA} = \bar{T}_{ESA_ECEF}^T * \bar{T}_{GEO_ECEF}^T = \text{Γεωστατικός μετασχηματισμός στο σύστημα επιφάνειας της Γης}$$

Παράδειγμα: Με τα συστήματα των προηγούμενων βημάτων

$$\vec{r}_{GEO_ESA} = \begin{bmatrix} -0.7518 & -0.1913 & -0.631 \\ -0.1465 & 0.9815 & -0.123 \\ 0.6428 & 0. & -0.766 \end{bmatrix}^T * \begin{bmatrix} 4.0606793 \cdot 10^7 \\ 4.9858876 \cdot 10^6 \\ 1.0200443 \cdot 10^7 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 4.024376 \cdot 10^6 \\ 7.822598 \cdot 10^5 \\ 4.885832 \cdot 10^6 \end{bmatrix}$$

$$\vec{r}_{GEO_ESA} = \begin{bmatrix} -0.7518 & -0.1913 & -0.631 \\ -0.1465 & 0.9815 & -0.123 \\ 0.6428 & 0. & -0.766 \end{bmatrix}^T * \begin{bmatrix} 3.6582417 \cdot 10^7 \\ 4.2036279 \cdot 10^6 \\ 5.314611 \cdot 10^6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2.4702260 \cdot 10^7 \\ -2.8723555 \cdot 10^6 \\ -2.7671543 \cdot 10^7 \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}_{GEO_ESA} = \begin{bmatrix} -0.7518 & -0.1913 & -0.631 \\ -0.1465 & 0.9815 & -0.123 \\ 0.6428 & 0. & -0.766 \end{bmatrix}^T * \begin{bmatrix} 0.962 & -0.0230 & -0.268 \\ 0.118 & 0.931 & 0.345 \\ 0.242 & -0.364 & 0.899 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.5857 & -0.3525 & 0.7303 \\ -0.0684 & 0.9291 & 0.3890 \\ -0.8075 & 0.1779 & -0.5619 \end{bmatrix}$$

Έτσι έχουμε το διάνυσμα από τον σταθμό στον δορυφόρο. Άρα μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση ως εξής:

$$Range = |\vec{r}_{GEO_ESA}| = \sqrt{(r_{xGEO_ESA})^2 + (r_{yGEO_ESA})^2 + (r_{zGEO_ESA})^2}$$

$$Range = \sqrt{(-2.4702260 \cdot 10^7)^2 + (-2.8723555 \cdot 10^6)^2 + (-27671543 \cdot 10^7)^2} = 3.720438639 \cdot 10^7$$

$$\vec{e}_{x\ POINTING_ESA} = \frac{\vec{r}_{GEO_ESA}}{Range}$$

$$\vec{e}_{y\ POINTING_ESA} = \frac{\vec{e}_{z\ GEO_ESA} \times \vec{e}_{x\ POINTING_ESA}}{|\vec{e}_{z\ GEO_ESA} \times \vec{e}_{x\ POINTING_ESA}|}$$

$$\vec{e}_{z\ POINTING_ESA} = \frac{\vec{e}_{x\ GEO_ESA} \times \vec{e}_{y\ POINTING_ESA}}{|\vec{e}_{x\ GEO_ESA} \times \vec{e}_{y\ POINTING_ESA}|}$$

$$\vec{T}_{POINTING_ESA} = \begin{bmatrix} \vec{e}_{x\ POINTING_ESA} & \vec{e}_{y\ POINTING_ESA} & \vec{e}_{z\ POINTING_ESA} \end{bmatrix} =$$

$$\vec{e}_{x\ POINTING_ESA} = \frac{\begin{bmatrix} -2.4702260 \cdot 10^7 \\ -2.8723555 \cdot 10^6 \\ -27671543 \cdot 10^7 \end{bmatrix}}{3.720438639 \cdot 10^7} = \begin{bmatrix} -0.6639 \\ -0.0772 \\ -0.7437 \end{bmatrix}$$

$$\vec{e}_{y\ POINTING_ESA} = \frac{\begin{bmatrix} 0.7303 \\ 0.3890 \\ -0.5619 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -0.6639 \\ -0.0772 \\ -0.7437 \end{bmatrix}}{\sqrt{(-0.3326)^2 + (0.9161)^2 + (0.2018)^2}} = \begin{bmatrix} -0.3342 \\ 0.9205 \\ 0.2028 \end{bmatrix}$$

$$\vec{e}_{z\ POINTING_ESA} = \frac{\begin{bmatrix} -0.6639 \\ -0.0772 \\ -0.7437 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -0.3342 \\ 0.9205 \\ 0.2028 \end{bmatrix}}{1} = \begin{bmatrix} 0.6689 \\ 0.3831 \\ -0.6369 \end{bmatrix}$$

$$\vec{T}_{POINTING_ESA} = \begin{bmatrix} \vec{e}_{x\ POINTING_ESA} & \vec{e}_{y\ POINTING_ESA} & \vec{e}_{z\ POINTING_ESA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.6639 & -0.3342 & 0.6689 \\ -0.0772 & 0.9205 & 0.3831 \\ -0.7437 & 0.2028 & -0.6369 \end{bmatrix}$$

$$\vec{T}_{ANT_ESA} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Range = |\vec{r}_{GEO_ESA}| = \sqrt{(r_{xGEO_ESA})^2 + (r_{yGEO_ESA})^2 + (r_{zGEO_ESA})^2}$$

Παράδειγμα:

$$Range = \sqrt{(-2.4702260 \cdot 10^7)^2 + (-2.8723555 \cdot 10^6)^2 + (-27671543 \cdot 10^7)^2} = 3.720438639 \cdot 10^7$$

Επομένως, το απαιτούμενο κατευθυντικό σύστημα συντεταγμένων μπορεί να προκύψει. Η κεραία πρέπει να στοχεύσει προς τον Γεωστατικό δορυφόρο και να ευθυγραμμιστεί με τους άξονες πολικότητας της κεραίας του Γεωστατικού δορυφόρου. Η κατεύθυνση που θα δείχνει, είναι εύκολο να βρεθεί καθώς είναι παράλληλη με το υπολογισμένο διάνυσμα απόστασης. Για τις πολικές κατευθύνσεις: Πρέπει να θυμόμαστε ότι οι Y/Z-άξονες του Γεωστατικού μετασχηματισμού έχουν επιλεχθεί να είναι παράλληλοι με τους άξονες πολικότητας που αναφέραμε στο Κεφάλαιο 3.2.1. Άρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα γινόμενο για να προβάλλουμε τις κατευθύνσεις. Οι εξισώσεις είναι οι εξής:

$$\vec{e}_{x\ POINTING_ESA} = \frac{\vec{r}_{GEO_ESA}}{Range}$$

$$\vec{e}_{y\ POINTING_ESA} = \frac{\vec{r}_{GEO_ESA}}{Range}$$

$$\vec{e}_{z\ POINTING_ESA} = \frac{\vec{r}_{GEO_ESA}}{Range} \quad \text{είναι το κανονικοποιημένο διάνυσμα στον Γεωστατικό δορυφόρο}$$

$$\vec{e}_{y\ POINTING_ESA} = \frac{\vec{e}_{z\ GEO_ESA} \times \vec{e}_{x\ POINTING_ESA}}{|\vec{e}_{z\ GEO_ESA} \times \vec{e}_{x\ POINTING_ESA}|} \quad \text{είναι ευθυγραμμισμένο με το επίπεδο πολικότητας}$$

$$\vec{e}_{z\ POINTING_ESA} = \frac{\vec{e}_{x\ GEO_ESA} \times \vec{e}_{y\ POINTING_ESA}}{|\vec{e}_{x\ GEO_ESA} \times \vec{e}_{y\ POINTING_ESA}|} \quad \text{ολοκληρώνει το ορθογώνιο σύστημα}$$

$$\vec{T}_{POINTING_ESA} = \begin{bmatrix} \vec{e}_{x\ POINTING_ESA} & \vec{e}_{y\ POINTING_ESA} & \vec{e}_{z\ POINTING_ESA} \end{bmatrix} = \text{Μετασχηματισμός} \\ \text{κατεύθυνσης στο σύστημα} \\ \text{της επιφάνειας της Γης}$$

Παράδειγμα:

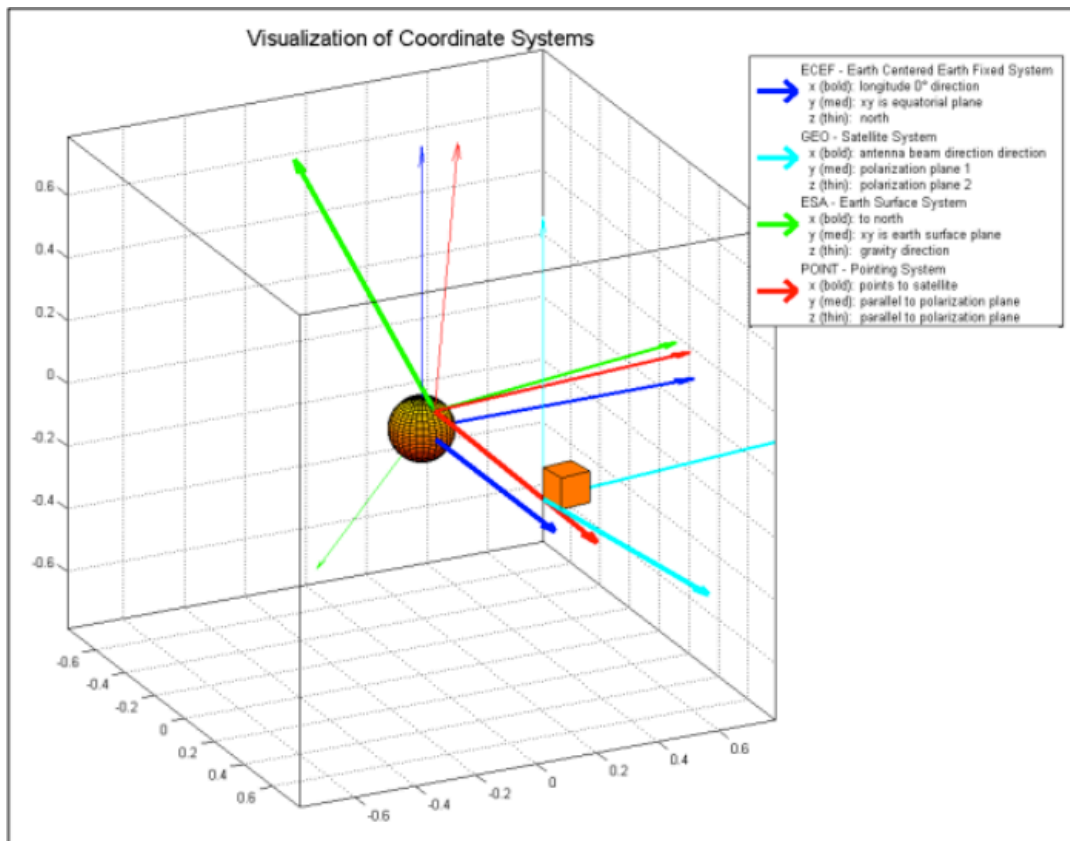
$$\vec{e}_{x\ POINTING_ESA} = \frac{\begin{bmatrix} -2.4702260 \cdot 10^7 \\ -2.8723555 \cdot 10^6 \\ -27671543 \cdot 10^7 \end{bmatrix}}{3.720438639 \cdot 10^7} = \begin{bmatrix} -0.6639 \\ -0.0772 \\ -0.7437 \end{bmatrix}$$

$$\vec{e}_{y_{POINTING_ESA}} = \frac{\begin{bmatrix} 0.7303 \\ 0.3890 \\ -0.5619 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -0.6639 \\ -0.0772 \\ -0.7437 \end{bmatrix}}{\sqrt{(-0.3326)^2 + (0.9161)^2 + (0.2018)^2}} = \begin{bmatrix} -0.3342 \\ 0.9205 \\ 0.2028 \end{bmatrix}$$

$$\vec{e}_{z_{POINTING_ESA}} = \frac{\begin{bmatrix} -0.6639 \\ -0.0772 \\ -0.7437 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -0.3342 \\ 0.9205 \\ 0.2028 \end{bmatrix}}{1} = \begin{bmatrix} 0.6689 \\ 0.3831 \\ -0.6369 \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}_{POINTING_ESA} = \begin{bmatrix} \vec{e}_{x_{POINTING_ESA}} & \vec{e}_{y_{POINTING_ESA}} & \vec{e}_{z_{POINTING_ESA}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.6639 & -0.3342 & 0.6689 \\ -0.0772 & 0.9205 & 0.3831 \\ -0.7437 & 0.2028 & -0.6369 \end{bmatrix}$$

Συμπέρασμα: Ο πίνακας κατεύθυνσης ($\bar{T}_{POINTING_ESA}$) στο σύστημα της επιφάνειας της Γης και προαιρετικά η απόσταση, αν απαιτείται (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Προστιθέμενο Σύστημα Κατεύθυνσης

3.4 Σύστημα συντεταγμένων της κεραίας

Στόχος: Να βρεθεί η θέση και ο προσανατολισμός της κεραίας στο σύστημα της επιφάνειας της Γης.

Σημείωση: Το παρακάτω κεφάλαιο δίνει μία λεπτομερή εικόνα πάνω στις μεθόδους και το υπόβαθρο, το οποίο απαιτείται για να γίνει ο χειρισμός ενός συστήματος ανακλινόμενης κεραίας. Περιγράφεται το μαθηματικό υπόβαθρο ενός συστήματος ανακλινόμενης κεραίας καθώς και οι λεπτομέρειες που χρειάζονται για οποιονδήποτε χειρισμό λάθους και της διόρθωσής του. Δίνονται μηχανολογικά βοηθήματα, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να βελτιωθεί το σύστημα της κεραίας για την χρήση της ανάκλισης. Αναφέρει έκτακτης ανάγκης διαδικασίες που μπορούν να εφαρμοστούν για τη μέτρηση ή τον υπολογισμό των παραμέτρων, που απαιτούνται για τη βαθμονόμηση και ρύθμιση της κεραίας. Ο αναγνώστης θα πρέπει πάντα να έχει κατά νου ότι το βήμα 4 έχει ένα και μόνο στόχο: Να βρεθεί ο πίνακας προσανατολισμού της κεραίας στο σύστημα της επιφάνειας της Γης. Μόλις βρεθεί ο αλγόριθμος μπορεί να γίνει η μετάβαση στο τελευταίο βήμα της διαδικασίας, ώστε να βρεθούν οι γωνίες σκόπευσης.

Περίπτωση 1: Σύστημα σταθερής κεραίας

Για την οριακή περίπτωση όπου η κεραία δεν έχει ανάκλιση και είναι ευθυγραμμισμένη με το σύστημα επιφάνειας της Γης (Αζιμούθιο=0° είναι βόρεια, Ανύψωση=0° είναι ο ορίζοντας), ο πίνακας προσανατολισμού καταλήγει στον πίνακα ταυτοποίησης

$$\bar{T}_{ANT_ESA} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ο αλγόριθμος μπορεί να συνεχίσει με το βήμα 5.

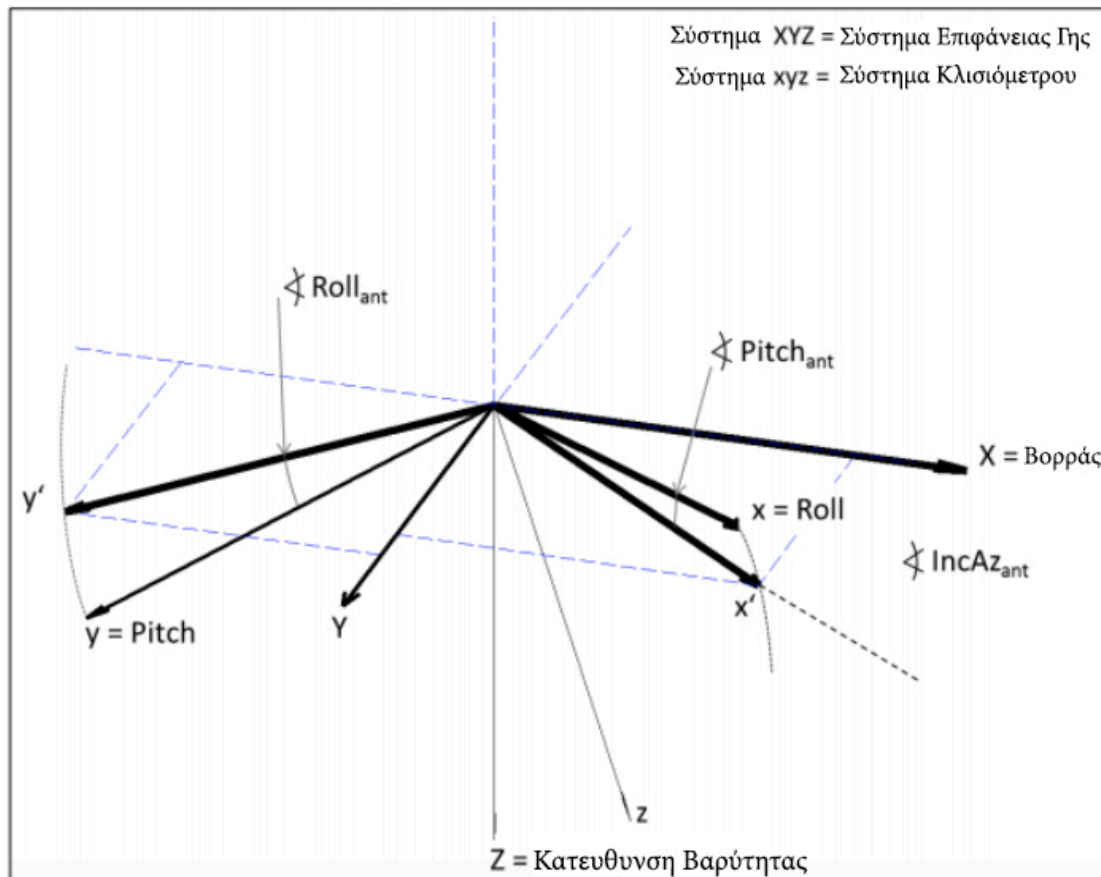
Περίπτωση 2: Σύστημα ανακλινόμενης κεραίας

Καθώς ο τρισδιάστατος χώρος έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας για περιστροφή, τρεις παράμετροι πρέπει να είναι γνωστές (μετρούμενες) για ένα πλήρη ορισμό του προσανατολισμού κεραίων. Χρησιμοποιούμε δύο κλίσεις για τον ορίζοντα και μία περιστροφή γύρω από τον κάθετο διάνυσμα του οριζοντίου επιπέδου.

Ορισμός αξόνων:

Το Σχήμα 3.4 παρακάτω δείχνει το σύστημα κλισιομέτρησης (xyz) τοποθετημένο στο σύστημα της επιφάνειας της Γης (XYZ). Στρέφοντας το σύστημα του κλισιόμετρου γύρω από τον άξονα του ορίζοντα (x) με την γωνία $-\text{Roll}_{\text{ant}}$ ευθυγραμμίζεται ο άξονας (y) του κλισιόμετρου με το οριζόντιο επίπεδο (XY).

Αυτό το διάνυσμα ονομάζεται άξονας του pitch (y') ευθυγραμμισμένος με τον ορίζοντα. Με τον ίδιο τρόπο γυρίζοντας το σύστημα γύρω από τον άξονα pitch του κλισιομέτρου (y) με τη γωνία $-Pitch_{ant}$, ευθυγραμμίζεται ο άξονας Roll του κλισιομέτρου (x') με το επίπεδο ορίζοντα (XY). Αυτός ο φορέας ονομάζεται οριζόντιος ευθυγραμμισμένος άξονας ρολού (x'). Η περιστροφή γύρω από το κάθετο διάνυσμα του οριζόντιου επιπέδου (που ονομάζεται αζιμούθιο επίπεδο του βασικού άξονα του κλισιομέτρου Inc_{ant}) ορίζεται ως η γωνία από την βόρεια κατεύθυνση (X) μέχρι τον ευθυγραμμισμένο ορίζοντα του άξονα Roll (x').

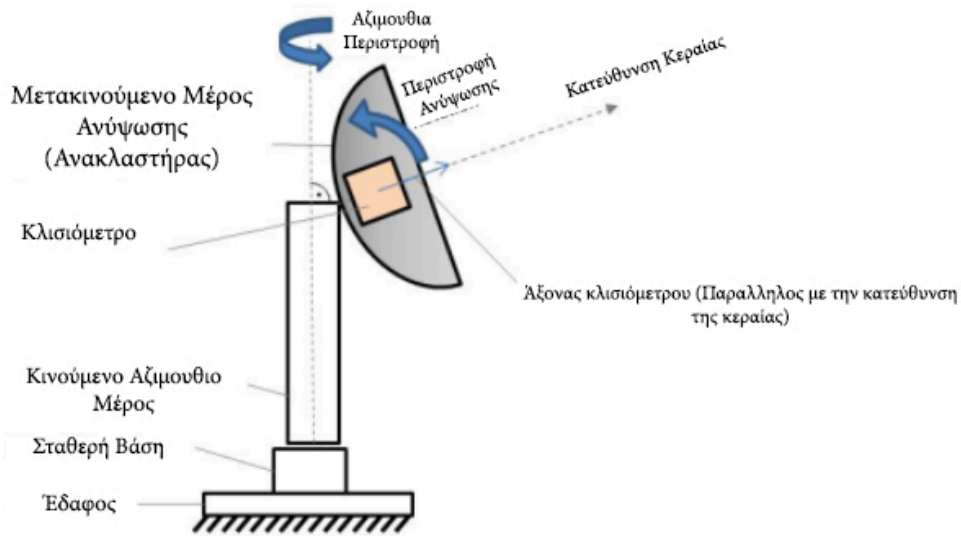


Σχήμα 3.4 Ορισμός Αξόνων περιστροφής

Το κλισιόμετρο τοποθετείται πάνω στην κεραία μας και ο οριζόντιος άξονάς του είναι παράλληλος με αυτόν του λοβού της κεραίας. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να βρεθεί η γωνία πολικότητας για το σύστημα της κεκλιμένης κεραίας. Πάραυτα οι σωστές γωνίες για το αζιμούθιο και την ανύψωση για το κεκλιμένο σύστημα σε αυτήν την περίπτωση, πρέπει να προκύψουν από εναλλακτική προσέγγιση.

Επιλέγοντας τη σωστή θέση για το κλισιόμετρο:

Το κλισιόμετρο τοποθετείται πάνω στο κινούμενο μέρος του σταθμού που ανυψώνεται (Σχήμα 3.5). Το κλισιόμετρο θα πρέπει να είναι τέλεια ευθυγραμμισμένο με τον άξονα πολικότητας (λοβός της κεραίας). Οι 0° του κλισιομέτρου θα πρέπει να είναι στην ίδια ευθεία με τις 0° της κίνησης της πολικότητας. Αλλιώς, αν υπάρχει μετατόπιση, θα πρέπει να είναι γνωστή για να γίνει η διόρθωση.



Σχήμα 3.5: Κλισιόμετρο τοποθετημένο πάνω στην κεραία

Η υπολογισμένη γωνία στόχευσης της πολικότητας μπορεί να διορθωθεί από την τιμή που μετράει το κλισιόμετρο, όταν στοχεύει στον δορυφόρο που θέλουμε.

3.5 Γωνίες στόχευσης

Στόχος : Να βρεθούν οι γωνίες στόχευσης της κεραίας.

Ο μετασχηματισμός της στόχευσης ορίζεται στο σύστημα της επιφάνειας της Γης (αποτελέσματα από το Κεφάλαιο 3.3). Για τον υπολογισμό των γωνιών στόχευσης θα χρειαστούμε έναν μετασχηματισμό για την στόχευση, όπως θα ήταν να βλέπουμε από το σύστημα της κεραίας (αποτελέσματα από το Κεφάλαιο 3.4). Άρα, εφαρμόζουμε τον μετασχηματισμό. Σημειώνουμε, ότι όλα τα αποτελέσματα από την δεξιά μεριά της εξίσωσης, πρέπει να ορίζονται στο ίδιο σύστημα (στην περίπτωση μας το ESA) έτσι ώστε ο μετασχηματισμός να είναι έγκυρος.

$$\bar{T}_{POINTING_ANT} = \bar{T}_{ANT_ESA}^T * \bar{T}_{POINTING_ESA} = \text{Μετασχηματισμός της στόχευσης στο σύστημα της κεραίας}$$

Παράδειγμα:

Για το μη κεκλιμένο σύστημα:

$$\bar{T}_{POINTING_ANT} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -0.6639 & -0.3342 & 0.6689 \\ -0.0772 & 0.9295 & 0.3831 \\ -0.7437 & 0.2028 & -0.6369 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.6639 & -0.3342 & 0.6689 \\ -0.0772 & 0.9295 & 0.3831 \\ -0.7437 & 0.2028 & -0.6369 \end{bmatrix}$$

Για το κεκλιμένο σύστημα:

$$\bar{T}_{POINTING_ANT} = \begin{bmatrix} 0.918 & -0.289 & 0.273 \\ 0.289 & 0.956 & 0.0406 \\ -0.272 & 0.0415 & 0.961 \end{bmatrix}^T * \begin{bmatrix} -0.6639 & -0.3342 & 0.6689 \\ -0.0772 & 0.9295 & 0.3831 \\ -0.7437 & 0.2028 & -0.6369 \end{bmatrix}$$

$$\bar{T}_{POINTING_ANT} = \begin{bmatrix} -0.4297 & -0.0989 & 0.8975 \\ -0.0861 & 0.9850 & 0.1497 \\ -0.8988 & 0.1416 & -0.4147 \end{bmatrix}$$

Οι γωνίες Euler, οι οποίες αντιπροσωπεύουν το άζιμούθιο της κεραίας, η ανύψωση και η πολικότητα, μπορούν να υπολογιστούν από τον πίνακα στόχευσης:

Σημειώσεις:

- Τ σημαίνει το στοιχείο στην σειρά 3 και στήλη 1 του πίνακα στόχευσης (στο συγκεκριμένο παράδειγμα, το κάτω αριστερά)
- Ο αλγόριθμος δουλεύει για ανύψωση <math><90^\circ</math>. Στην απίθανη περίπτωση όπου η ανύψωση είναι ακριβώς 90° η λύση θα αποτύχει, καθώς το Άζιμούθιο και η Πολικότητα είναι παράλληλα και το αποτέλεσμα είναι μοναδικό. Διαλέγοντας λίγο διαφορετικές παραμέτρους σε αυτήν την περίπτωση, θα μας βοηθήσει να λύσουμε το πρόβλημα.

Χρησιμοποιείται το atan των δύο τεταρτοκυκλίων (atan2). Και ορίζεται ως εξής:

$$a \tan 2(y, x) = 2a \tan \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2} - x}{y} \right)$$

Οι γωνίες σε μοίρες υπολογίζονται ως εξής:

$$Elevation = -a \sin \left(\bar{T}_{POINTING_ANT} (3,1) \right) * \frac{180}{\pi}$$

$$Azimut = a \tan 2 \left(\frac{\bar{T}_{POINTING_ANT} (2,1)}{\cos(Elevation)} ; \frac{\bar{T}_{POINTING_ANT} (1,1)}{\cos(Elevation)} \right) * \frac{180}{\pi}$$

$$Polarization = a \tan 2 \left(\frac{\bar{T}_{POINTING_ANT} (3,2)}{\cos(Elevation)} ; \frac{\bar{T}_{POINTING_ANT} (3,3)}{\cos(Elevation)} \right) * \frac{180}{\pi}$$

Παράδειγμα:

Για το κεκλιμένο σύστημα:

$$Elevation = -a \sin(-0.8988) * \frac{180}{\pi} = 64.01^\circ$$

$$Azimut = a \tan 2 \left(\frac{0.0861}{\cos d(64.01)}; \frac{-0.4297}{\cos d(64.01)} \right) * \frac{180}{\pi} = 168.67^\circ$$

$$Polarization = a \tan 2 \left(\frac{0.1416}{\cos d(64.01)}; \frac{-0.4147}{\cos d(64.01)} \right) * \frac{180}{\pi} = 161.15^\circ$$

Για το μη κεκλιμένο σύστημα:

$$Elevation = 48.05^\circ$$

$$Azimut = 173.41^\circ$$

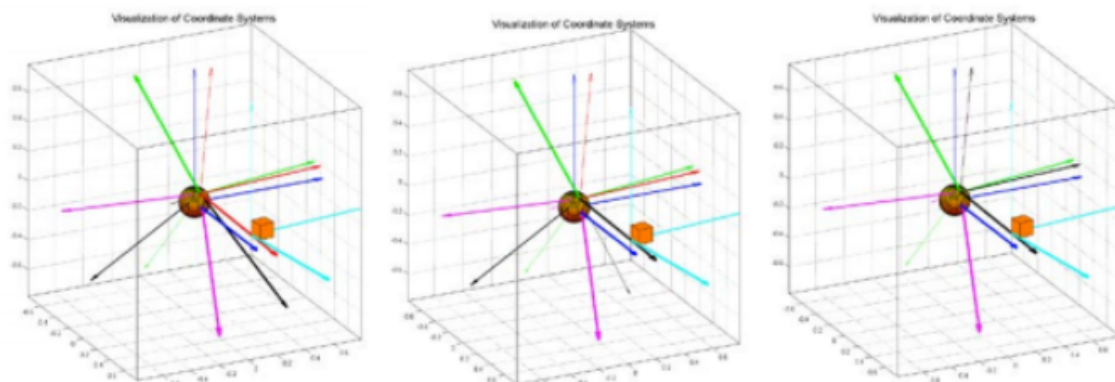
$$Polarization = 162.27^\circ$$

Τέλος οι μετατοπίσεις από τις κωδικοποιήσεις μπορούν να διορθωθούν ως εξής:

$$Elevation = Elevation + El_{off}$$

$$Polarization = Polarization + Pol_{off}$$

Στο Σχήμα 3.6 γίνεται απεικόνιση της διαδικασίας, όταν η κεκλιμένη κεραία στοχεύει στον δορυφόρο, χρησιμοποιώντας τις υπολογισμένες τιμές. Η διαδικασία δείχνει πως το σύστημα της κεραίας (χρωματισμένο με ροζ) από την αρχική θέση (αζιμούθιο, ανάκλιση, πολικότητα = 0°) ευθυγραμμίζεται με το σύστημα στοχευσης, που είναι χρωματισμένο κόκκινο, χρησιμοποιώντας τις τρεις περιστροφές γύρω από το αζιμούθιο, την ανάκλιση και την πολικότητα με τις υπολογισμένες τιμές. Το σύστημα με μαύρο χρώμα δείχνει από αριστερά προς τα δεξιά: στόχευση μετά την αζιμούθια περιστροφή (ανάκλιση, πολικότητα = 0°); Στόχευση μετά την περιστροφή της ανάκλισης (πολικότητα = 0°); Στόχευση μετά την περιστροφή της πολικότητας = ευθυγραμμισμένη με το θεμιτό σύστημα στόχευσης.



Σχήμα 3.6: Απεικόνιση της διαδικασίας όταν η κεκλιμένη κεραία στοχεύει στον δορυφόρο, χρησιμοποιώντας τις υπολογισμένες τιμές.

3.6 Λειτουργικό Σκόπευση

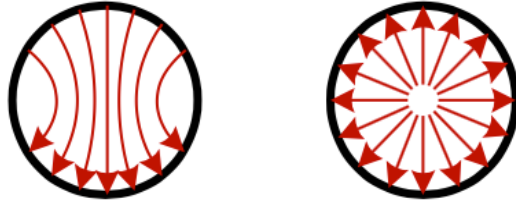
3.6.1 Σύστημα σκόπευσης με την χρήση GPS

Όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν από έναν υπολογιστή, ο οποίος έχει σαν είσοδο τις πληροφορίες από μία συσκευή GPS (Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης), η οποία βρίσκεται πάνω στο όχημά μας και τις ενδείξεις του κλισιομέτρου της κεραίας, και σαν έξοδο τις γωνίες σκόπευσης της κεραίας που θα πρέπει να εισάγουμε στο λειτουργικό σύστημα της βάσης για να κατευθύνει την κεραία. Το σύστημά μας μπορεί να γίνει ακόμα πιο αυτόνομο, εάν τοποθετήσουμε στην βάση μας έναν μικροεπεξεργαστή και ένα σύστημα GPS. Πλέον οι συσκευές GPS έχουν μειωθεί κατα πολύ σε μέγεθος και κατανάλωση ενέργειας, αλλά πρέπει να προσέξουμε να μην θυσιάσουμε την ακρίβεια του σήματος για χαμηλότερο κόστος ή μικρότερο μέγεθος δέκτη. Το πόσο καλό θα είναι σε ποιότητα το σήμα της κεραίας μας σε σχέση με τον δορυφόρο είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τις γωνίες σκόπευσης και αυτές προκύπτουν από τα νούμερα που μας δίνει η συσκευή εντοπισμού της θέσης μας. Ιδανικά για την διάταξη αυτή καλό θα είναι να χρησιμοποιήσουμε ένα δεύτερο κλισιόμετρο, από αυτό της πλακέτας σταθεροποίησης, το οποίο θα τοποθετηθεί και αυτό πάνω στην κεραία και θα είναι ρυθμισμένο ώστε οι αρχικές του τιμές να είναι πάντα οι ίδιες. Δηλαδή, για παράδειγμα θα πρέπει ο κάθετος άξονάς του να είναι παράλληλος με αυτόν του αζιμούθιου, ο άξονας της σκόπευσης (tilt) να κοιτάει προς τον Βορρά στην αρχική του θέση (δηλαδή στις 0°) και ο τρίτος άξονας (roll) να είναι κάθετος σε αυτόν του αζιμούθιου (δηλαδή παράλληλα με την επιφάνεια της γης). Έτσι θα μπορεί να δώσει τις σωστές πληροφορίες στην πλακέτα σταθεροποίησης, ώστε να στοχεύσει η κεραία μας στην κατεύθυνση που θέλουμε. Η διαφορά στις αρχικές τιμές του κλισιομέτρου, που χρησιμοποιεί η πλακέτα σταθεροποίησης και αυτού που χρησιμοποιεί ο δεύτερος επεξεργαστής για την σκόπευση της κεραίας, οφείλεται στο ότι οι αρχικές τιμές για την πλακέτα σταθεροποίησης είναι κοντά στις γωνίες λειτουργίας της κεραίας. Επειδή οι γωνίες λειτουργίας της κεραίας είναι σχεδόν πάντα διαφορετικές από τις αρχικές τιμές που δίνουμε για την σκόπευση, είναι ταχύτερο να ξεκινάει η κεραία την λειτουργία της στις τιμές που δίνουμε εξ αρχής στο σύστημα σταθεροποίησης, ώστε να βρίσκεται πιο κοντά στις γωνίες σκόπευσης και να χρειάζονται μόνο μικρορυθμίσεις από το λειτουργικό.

3.6.2 Σύστημα σκόπευσης με χρήση Ka-Bands

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για αμφίδρομη επικοινωνία κινητών δορυφορικών συστημάτων στην ζώνη σημάτων Ka, απαιτεί την ανάπτυξη αποκλειστικών συστημάτων κεραίων και σημάτων. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκαν μονοπαλμικά συστήματα πολλών λειτουργιών εντοπισμού για κυκλική πόλωση, τα οποία λειτουργούν σε συχνότητες των 20GHz της καθοδικής ζεύξης του δορυφόρου. Η βασική αρχή μπορεί επίσης να επεκταθεί σε λειτουργία διπλής ζώνης για την κάλυψη της ανοδικής ζεύξης στα 30GHz. Εδώ παραθέτουμε την μελέτη που έγινε στα πλαίσια του προγράμματος MoSaKa (Mobile Satellite Communications in Ka-band) στο Πανεπιστήμιο Ilmenau της Γερμανίας [21].

Η μονοπαλμική σκόπευση πολλαπλών λειτουργιών βασίζεται στην διέγερση κυματοδηγών υψηλής τάξεως, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.7. Διαφορετικές μονοπαλμικές τεχνικές πολλαπλών λειτουργιών είναι εφικτές, ανάλογα με την πολικότητα που χρησιμοποιείται στο κανάλι επικοινωνίας. Για την κεραία υψηλού κέρδους με την οποία έγινε η έρευνα, εφαρμόστηκε κυκλική πόλωση, ώστε να αποφευχθούν οι δυσκολίες που συσχετίζονται με την πολωτική σκόπευση εν κινήσει.

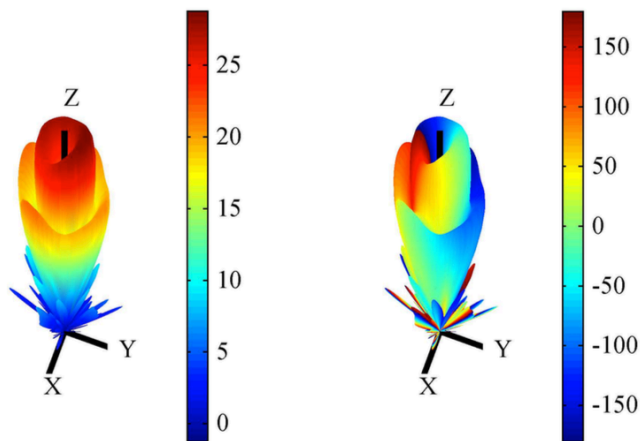


Σχήμα 3.7 Σχεδιαστική απεικόνιση των πεδίων E για λειτουργία εκπεμπόμενου σήματος TE_{11} (αριστερά) και λειτουργία σκόπευσης TM_{01} (δεξιά) σε κούφιο κυκλικό κυματοδηγό.

Ως εκ τούτου, η μονοπαλική τεχνική TM_{01} είναι ευνοϊκή, καθώς χρησιμοποιεί την λειτουργία TM_{01} σε κυκλικό κυματοδηγό για να δημιουργήσει την επιθυμητή πληροφορία σκόπευσης. Η λειτουργία TE_{11} που μεταδίδεται στην ίδια συχνότητα, χρησιμοποιείται για να παράγει την κύρια δέσμη ώστε να πραγματοποιηθεί η κυκλική πόλωση. Βασικό πλεονέκτημα αυτού του συστήματος σκόπευσης είναι ότι απαιτούνται μόνο δύο συνδεδεμένοι κλάδοι του δέκτη. Διαφορετικές μονοπαλικές τεχνικές χρησιμοποιούν περισσότερους κλάδους.

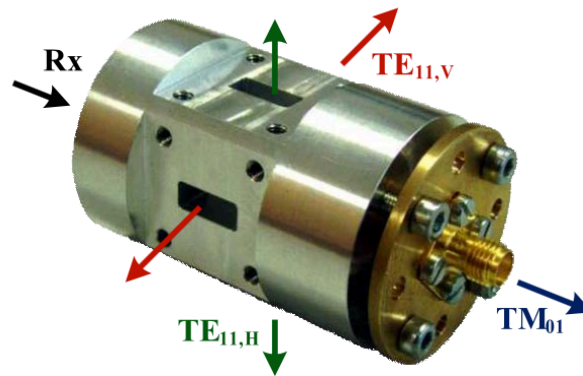
Οι αρχικές μετρήσεις που έγιναν στην συγκεκριμένη μελέτη ήταν αρχικά πάνω σε κεραία με ανακλαστήρες για λειτουργία ζώνης Ku όπου οι κατασκευαστικές ανοχές δεν είναι τόσο αυστηρές όσο αυτές σε κεραίες με αποκλειστική ζώνη Ka. Για τον λόγο αυτό υπήρχαν μικρές αποκλίσεις στην σκόπευση της τάξεως των 0.2° , κάτι το οποίο εξαλείφεται σε ζώνη Ka.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα πως λειτουργεί το συγκεκριμένο σύστημα, θεωρούμε ότι η κεραία μας δεν είναι ευθυγραμμισμένη με τον δορυφόρο. Τότε ο κλάδος υπεύθυνος για την σκόπευση λαμβάνει ένα πεπερασμένο σήμα από τον δορυφόρο, το οποίο θα πρέπει να συγκριθεί με το σήμα το οποίο λαμβάνεται από την κυρίαρχη λειτουργία TE_{11} . Αναλύοντας την δεξιά απεικόνιση του Σχήματος 3.8, φαίνεται ότι η φάση αλλάζει κατά 360° πάνω από την την βασική δέσμη σε σχήμα δακτυλίου. Έτσι μπορούμε να καθορίσουμε την διεύθυνση της απόκλισης. Για την δημιουργία σημάτων σκόπευσης, όταν η κεραία δεν στοχεύει τον δορυφόρο, τα σήματα από τους δύο κλάδους λήψης, τα οποία ενεργοποιούν τις λειτουργίες TE_{11} και TM_{01} , συγκρίνονται σε φάση και εύρος. Η διαφορά στο εύρος είναι μία μέτρηση για την απόλυτη ποσότητα λάθους σκόπευσης και η διαφορά φάσης περιέχει πληροφορίες σχετικά με την κατεύθυνση της εσφαλμένης ευθυγράμμισης.



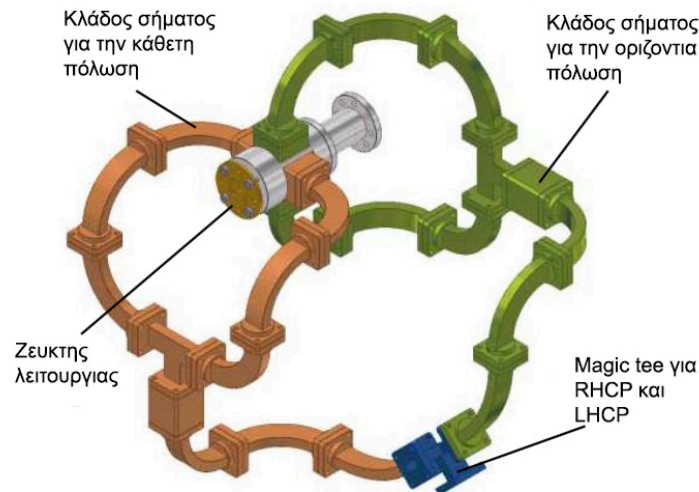
Σχήμα 3.8 Απεικόνιση της ακτινοβολίας τροφοδοσίας κεραίας υψηλού κέρδους κατά την λειτουργία της σε σκόπευση TM_{01} (αριστερά: απεικόνιση εύρους σε κλίμακα dB, δεξιά: απεικόνιση φάσης σε κλίμακα γωνίας)

Τα σήματα που λαμβάνονται μπορούν να επεξεργαστούν από έναν αναλογικό διαχωριστή φάσεως, ώστε να υπολογιστούν τα εσφαλμένα σήματα για την απόκλιση στους άξονες της ανύψωσης και του αζιμούθιου. Για τον σκοπό αυτό, γίνεται συνδυασμός δύο αντιγράφων των ληφθέντων σημάτων. Για την λήψη εσφαλμένου σήματος στον άξονα του αζιμούθιου, τα σήματα από τις λειτουργίες TE_{11} και TM_{01} συνδυάζονται χωρίς καμία αλλαγή, σε αντίθεση με το εσφαλμένο σήμα του άξονα ανύψωσης, το οποίο προκύπτει από τον συνδυασμό του σήματος από την λειτουργία TE_{11} και μίας εκδοχής του σήματος για λειτουργία TM_{01} , αλλά με την φάση του μετατοπισμένη κατά 90° .



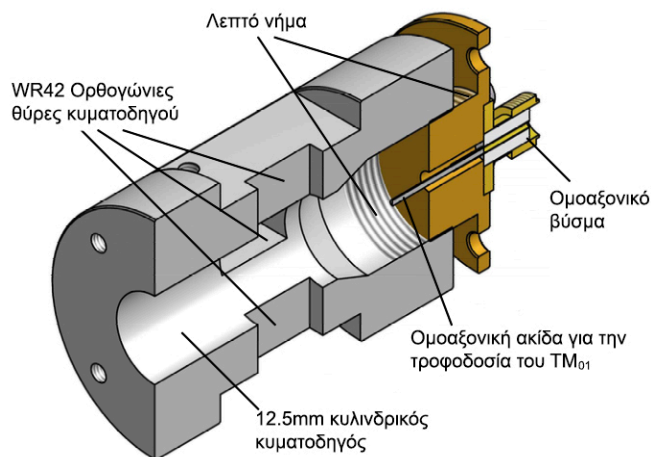
Σχήμα 3.9 Φωτογραφία του ζεύκτη λειτουργίας για διπλή γραμμική πόλωση, για λειτουργία TE_{11} και λειτουργία σκόπευσης TM_{01}

Ο διαχωριστής φάσεως αφού φιλτράρει το σήμα για χαμηλές συχνότητες, παρέχει τάσεις συνεχούς ρεύματος ανάλογες με την εσφαλμένη ευθυγράμμιση της κεραίας για ένα συγκεκριμένο γωνιακό εύρος αποκλίσεων, ανάλογα με το εύρος δέσμης της κεραίας που χρησιμοποιείται. Η περαιτέρω επεξεργασία του σήματος σκόπευσης είναι εφικτή στην ενδιάμεση περιοχή των συχνοτήτων, σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν υποβιβαστές συνοχής.



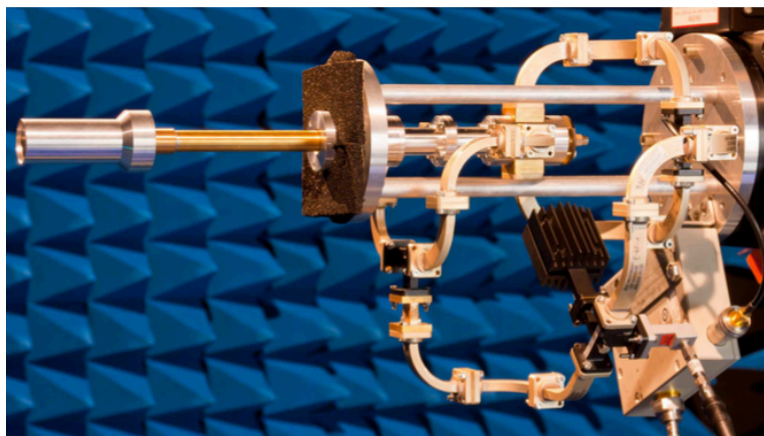
Σχήμα 3.10 Μοντέλο σε CAD του μονοπαλικού ζεύκτη σκόπευσης TM_{01} , το οποίο συμπεριλαμβάνει και ένα δίκτυο κλάδων που υποστηρίζουν διπλή κυκλική πόλωση. Τα διαφορετικά χρώματα διαχωρίζουν τα εκάστοτε κομμάτια του ζεύκτη λειτουργίας, όπως εξηγούνται στο σχήμα.

Ένα από τα βασικά εξαρτήματα του μονοπαλικού συστήματος σκόπευσης (Σχήμα 3.10) είναι ο ζεύκτης λειτουργίας (Σχήμα 3.9), ο οποίος διεγείρει τις διαφορετικές λειτουργίες των κυματοδηγών στον κυλινδρικό κυματοδηγό. Επομένως ο κυματοδηγός επιλέγεται έτσι ώστε οι δύο λειτουργίες με την χαμηλότερη τάξη – οι λειτουργίες TE_{11} και TM_{01} – να διεγερθούν. Γι αυτό τον λόγο, επειδή η συχνότητα στην οποία έγινε το συγκεκριμένο πείραμα ήταν στα 20GHz, η διάμετρος του κυματοδηγού ήταν αντίστοιχα στα 12.5 χιλιοστά του μέτρου (Σχήμα 3.11).



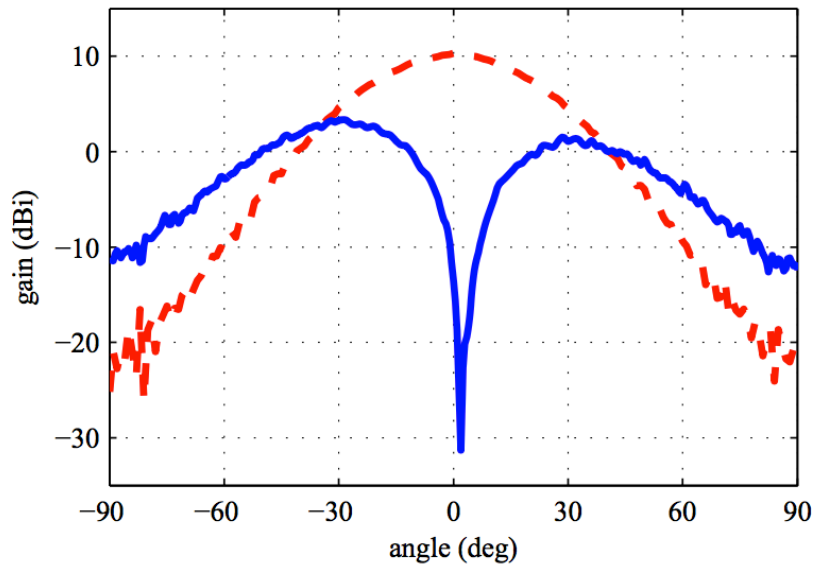
Σχήμα 3.11 Διατομή του TM_{01} ζεύκτη λειτουργίας όπως απεικονίζεται σε μοντέλο CAD

Τελικά, για την κατασκευή αναπτύχθηκε μία κυματοειδής χοάνη τροφοδοσίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.12. Η συσκευή στήθηκε έτσι ώστε να γίνουν μετρήσεις μέσα σε έναν ανηχοϊκό θάλαμο και να γίνει η απεικόνιση της ακτινοβολίας της χοάνης τροφοδοσίας, καθώς και της κατάστασης λειτουργίας και της καθαρότητας της πολώσεως.



Σχήμα 3.12 Φωτογραφία της τελικής διάταξης πάνω στον δέκτη της κεραίας όπου έχει προσαρμοστεί ο ζεύκτης λειτουργίας TM_{01} κατά την διάρκεια των μετρήσεων για ην απεικόνιση της ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία που μετρήθηκε στον πομπό της κεραίας φαίνεται στο Σχήμα 3.13 όπου μπορούμε να δούμε την ύπαρξη ενός κέρδους περίπου 10dBι για LHCP σε επίπεδο εγκάρσιας πόλωσης της κατεύθυνσης της κύριας δέσμης περίπου 14dB. Η αναλογία του επιπέδου εγκάρσιας πόλωσης σε κεραία υψηλού κέρδους, που τροφοδοτείται από την κατασκευή του Σχήματος 3.12, είναι επίσης στα 14dB. Η τιμή αυτή είναι εφικτή για το μοντέλο που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο, αλλά πρέπει να βελτιωθεί για ένα τερματικό εμπορικού δορυφόρου. Καλύτερη εγκάρσια πόλωση μπορεί να επιτευχθεί, εάν, για παράδειγμα, χρησιμοποιηθεί πιο συμπαγές δίκτυο τροφοδοσία του κυματοδηγού, το οποίο θα κατασκευαστεί με πιο αυστηρά κριτήρια, ώστε να εξασφαλίσουμε ότι η τροφοδοσία των δύο γραμμικών πολώσεων θα είναι η ίδια και η μετατόπιση φάσεως θα είναι ακριβώς στις 90°.



Σχήμα 3.13 Απεικόνιση της ακτινοβολίας που μετρήθηκε στην χοάνη τροφοδοσίας του TE₁₁ (κόκκινη διακεκομμένη) και της τροφοδοσίας του TM₀₁ (μπλε) σε LHCP

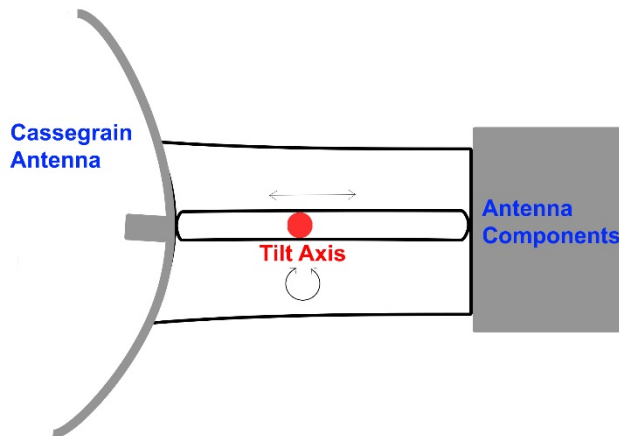
Κεφάλαιο 4: Σχεδιασμός και μοντελοποίηση

4.1 Διάταξη της κεραίας

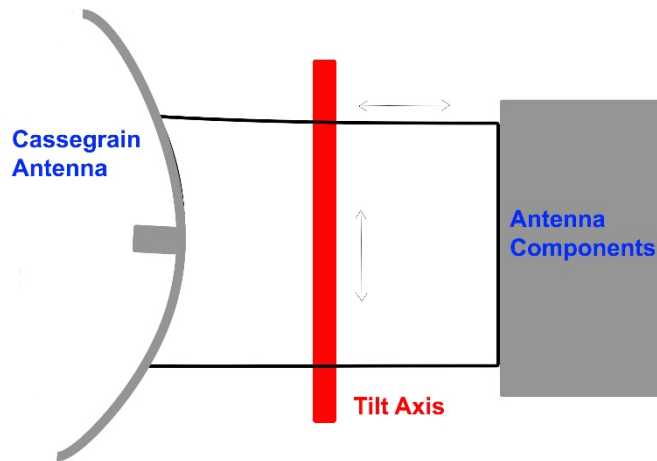
Η διάταξη της βάσης μας έχει να κάνει κυρίως με την κεραία, την οποία θα τοποθετήσουμε πάνω σε αυτήν. Μία κεραία μικροκυμάτων εκτός από το πιάτο λήψης και εκπομπής σημάτων αποτελείται από τα συστήματα επεξεργασίας σήματος και αποκωδικοποίησης. Όλα αυτά τα συστήματα πρέπει να τοποθετηθούν πάνω στην βάση για δύο σημαντικούς λόγους: Πρώτον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν αντισταθμιστές βάρους ώστε να ισορροπήσει η βάση καλύτερα και δεύτερον, αποφεύγουμε την περιττή και δύσκολη καλωδίωση επικοινωνίας των συστημάτων αυτών και της κεραίας σε περίπτωση που τοποθετούνταν εκτός βάσης.

Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 2, είναι πολύ βασικό για το σύστημά μας να είναι σωστά ισορροπημένο. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει η βάση στην οποία θα τοποθετηθεί η κεραία μας να έχει εύρος κινήσεων και στους τρεις άξονες ώστε να μπορεί να μετακινείται πάνω στον άξονα σκόπευσης (tilt).

Όπως φαίνεται στα σχήματα 4.1 και 4.2 η βάση μας μπορεί να κινείται κατά μήκος του άξονα ώστε να εξισορροπήσει οποιαδήποτε διαφορά βάρους μεταξύ κεραίας και των συστημάτων της, αλλά και στο πλάι ώστε να γίνει εξισορρόπηση του άξονα κλίσης (roll), αφού από την μία μεριά του άξονα θα τοποθετηθεί το μοτέρ που θα δίνει την κίνηση και αντίστοιχα, όλη η βάση θα πρέπει να μετακινηθεί προς την αντίθετη μεριά του άξονα για να έρθει σε ισορροπία.

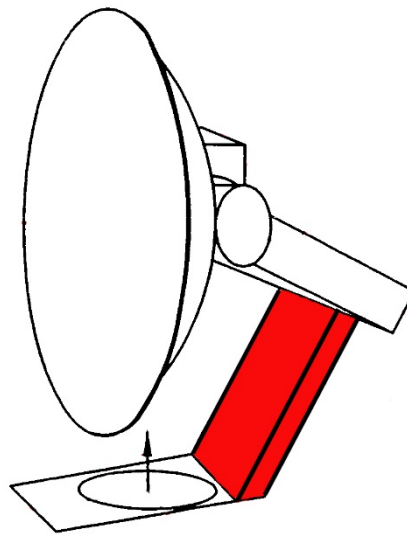


Σχήμα 4.1 Πλάγια όψη βάσης κεραίας στον άξονα κλίσης (roll)



Σχήμα 4.2 Κάτοψη βάσης κεραίας στον άξονα κλίσης (roll)

Τέλος, το κέντρο βάρους της κεραίας και των συστημάτων της θα πρέπει να έρθει όσο πιο κοντά στον κεντρικό άξονα όλης της βάσης απ' όπου περνάει το αζιμούθιο. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει ο σύνδεσμος, ο οποίος ενώνει την κεραία με την περιστρεφόμενη βάση να μπει με κλίση, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3 και είναι τονισμένη με κόκκινο χρώμα.



Σχήμα 4.3 Ένωση κεραίας με περιστρεφόμενη βάση

Με το κέντρο βάρους της κεραίας και των συστημάτων της σωστά κεντραρισμένα πάνω από τον αζιμούθιο άξονα επιτυγχάνουμε την σωστή λειτουργία του συγκεκριμένου άξονα, αποφεύγοντας ανισοροπία λόγω κυκλικής επιτάχυνσης κατά την κίνηση της κεραίας.

4.2 Επιλογή Μοτέρ

Τα μοτέρ παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην αδρανιακή βάση καθώς είναι η κινητήρια δύναμη και η σωστή επιλογή τους είναι σημαντική. Τα κύρια ερωτήματα που πρέπει να τεθούν είναι το μέγεθος, η ισχύς και η διάταξη. Στην συγκεκριμένη βάση όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 2, τα μοτέρ που επιλέγουμε είναι μοτέρ χωρίς ψήκτρες (brushless motors), διότι είναι απαραίτητα για να δουλέψει σωστά η πλακέτα μας. Τα μοτέρ χωρίς ψήκτρες είναι γνωστά και ως ηλεκτρονικοί μεταγωγικοί κινητήρες και είναι σύγχρονοι κινητήρες που τροφοδοτούνται από μία ηλεκτρική πηγή συνεχούς ρεύματος μέσω ενός ενσωματωμένου μετατροπέα, ο οποίος παράγει ένα ηλεκτρικό AC σήμα για να δίνει κίνηση στον κινητήρα. Το ρεύμα αυτό, το οποίο χαρακτηρίζεται ως εναλλασσόμενο, δεν συνεπάγεται και μία ημιτονοειδή κυματομορφή, αλλά ένα αμφίδρομο ρεύμα χωρίς περιορισμούς στην κυματομορφή του. Επιπλέον αισθητήρες και ηλεκτρονικά ελέγχουν την κυματομορφή και το εύρος του μετατροπέα καθώς και την συχνότητα (δηλαδή την ταχύτητα του ρότορα) [23].

Το τμήμα του ρότορα ενός κινητήρα χωρίς ψήκτρες είναι συχνά ένας σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη, αλλά μπορεί επίσης να είναι και ένας επαγωγικός κινητήρας.

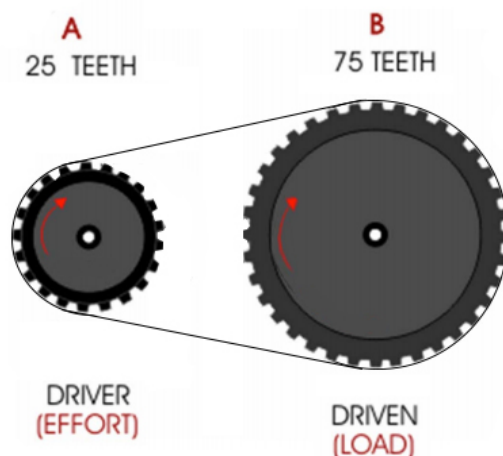
Τα πλεονεκτήματα ενός κινητήρα χωρίς ψήκτρες σε σύγκριση με ένα κινητήρα με ψήκτρες είναι αρκετά. Οι κινητήρες χωρίς ψήκτρες έχουν πολύ λιγότερες τριβές σε μηχανικά μέρη και παρουσιάζουν μικρότερες φθορές σε βάθος χρόνου. Η μόνη αιτία που μπορεί να παρατηρηθεί φθορά σε ένα κινητήρα χωρίς ψήκτρες είναι οι υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες μπορούν να επιρεάσουν τους μαγνήτες και την περιέλιξη γύρω από αυτούς. Για τον λόγο αυτό η θερμοκρασία στο μοτέρ πρέπει να παραμένει χαμηλότερη των 80^o Κελσίου. Όμως σε αντίθεση με τους κινητήρες που έχουν ψήκτρες, έχουν υψηλότερη επίδοση σε ροπή σε σχέση με το βάρος τους, περισσότερη ροπή ανά watt (που σημαίνει αύξηση της απόδοσης), αυξημένη αξιοπιστία, μειωμένο θόρυβο, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (δεν υπάρχουν ψήκτρες και διάβρωση στον συλλέκτη), εξάλειψη των ιονιζόντων σπινθήρων από τον συλλέκτη και συνολική μείωση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (EMI). Τέλος, ο κινητήρας χωρίς ψήκτρες δεν έχει περιελίξεις πάνω στον ρότορα, έτσι ο κινητήρας δεν υποβάλλεται σε φυγόκεντρες δυνάμεις και, επειδή οι περιελίξεις υποστηρίζονται από το περίβλημα, μπορεί να ψύχεται με αγωγιμότητα [24].

Κάτι τέτοιο μας επιτρέπει την ολική προστασία του κινητήρα από εξωτερικές απειλές, όπως σκόνη και νερό, αφού δεν απαιτείται η ροή αέρα μέσα στον κινητήρα για την ψύξη.

Για να επιλέξουμε σωστά τον κινητήρα που θα χρησιμοποιήσουμε, πρέπει να γνωρίζουμε τρεις βασικές παραμέτρους [25]. Την τάση στην οποία θα λειτουργεί ο κινητήρας, την μέγιστη ροπή που θα πρέπει να αναπτύξει και τις μέγιστες στροφές που θα λειτουργεί. Στην περίπτωση μας, γνωρίζουμε ότι η μέγιστη τάση λειτουργίας που μπορεί να υποστηρίξει η πλακέτα μας, είναι τα 26 Volts συνεχούς ρεύματος. Άρα, μπορεί να μας καλύψει για μία μεγάλη γκάμα κινητήρων, οι οποίοι μπορούν να αποδώσουν ισχύ από 0.5 έως περίπου 200 Watts.

Η ροπή που μπορούν να δώσουν οι κινητήρες χωρίς ψήκτρα πλησιάζει το 1 Nm, το οποίο όμως μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερο με την χρήση κεφαλών και ιμάντα.

Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 4.4, η αναλογία των κεφαλών που θα χρησιμοποιηθούν βγαίνει από τον αριθμό των δοντιών που έχει η κάθε κεφαλή [26].



Σχήμα 4.4 Αναλογία κεφαλών κινητήρα

Για το παραπάνω σχήμα ισχύει η παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Gear Ratio} = \frac{\text{out}}{\text{in}} = \frac{\text{Driven}}{\text{Driving}} = \frac{75}{25} = \frac{3}{1} = 3:1$$

Και από την αναλογία 3:1 μπορούμε να υπολογίσουμε την ροπή που θα προκύπτει στην κεφαλή B.

$$\text{Ροπή B} = \text{Ροπή A} * (3/1)$$

Άρα η ροπή μας τριπλασιάζεται. Αλλάζοντας τις κεφαλές μπορούμε να μειώσουμε ή να αυξήσουμε την ροπή στον άξονα που θέλουμε, για να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα, που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις μας, ανάλογα με τον φόρτο που δέχεται ο κάθε άξονας κίνησης που τροφοδοτούμε. Όσο βέβαια αυξάνουμε το μέγεθος της δεύτερης κεφαλής, εκτός από μεγαλύτερη ροπή, θα έχουμε σαν αποτέλεσμα την μείωση των στροφών. Ο τύπος που μας δίνει την σχέση κεφαλής και ταχύτητας περιστροφής είναι ο εξής:

$$\text{RPM B} = \frac{\text{RPM A}}{(3/1)}$$

Άρα, η μείωση σε στροφές ανά λεπτό είναι αντιστρόφως ανάλογη της αύξησης σε ροπή. Αν θέλουμε μεγαλύτερη ροπή σε κάποιον από τους άξονες, τότε θα πρέπει να επιλέξουμε έναν κινητήρα με αρκετή ταχύτητα περιστροφής, για να ικανοποιεί τις ανάγκες, αφού αυτή θα μειωθεί δραστικά. Επίσης, το ότι μειώνεται η ταχύτητα περιστροφής στον άξονα κίνησης δεν σημαίνει ότι μειώνεται και στον κινητήρα μας. Προκειμένου ο επεξεργαστής μας να κρατήσει την κεραία σταθερή, θα πρέπει να αυξήσει την ταχύτητα περιστροφής σε περιπτώσεις που η αστάθεια είναι μεγάλη. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα στους κινητήρες θα είναι πολλαπλάσια αυτής του άξονα κίνησης, και στην περίπτωση που η αναλογία κεφαλών που επιλέξαμε είναι μεγάλη, τότε η αντιστοιχία σε ταχύτητα περιστροφής μπορεί να αποδειχθεί καταστροφική για τον κινητήρα μας.

Αναλόγως του φόρτου των κινητήρων και του βάρους της κεραίας θα πρέπει τελικά να επιλέξουμε αν υπάρχει λόγος να μπουν επιπλέον κεφαλές στους κινητήρες ή να δοθεί η κίνηση στον άξονα κατευθείαν από τον ίδιο τον κινητήρα χωρίς την χρήση κεφαλών. Η μη χρήση κεφαλών είναι η βέλτιστη περίπτωση, αλλά όχι πάντα εφικτή.

4.3 Ελευθερία στον άξονα περιστροφής

Ο κάθε άξονας περιστροφής έχει, όπως προαναφέραμε, συγκεκριμένο εύρος κίνησης. Από τους τρεις άξονες που έχουμε στην αδρανειακή μας βάση εκτός από τον άξονα του αζιμούθιου, οι υπόλοιποι δύο άξονες έχουν ένα μέγιστο εύρος κίνησης περίπου 180° , κάτι που δεν μας περιορίζει απο άποψη συνδεσμολογίας. Τα καλώδια ή άλλοι σύνδεσμοι που θα πρέπει να περνάνε από τον κάθε άξονα, θα πρέπει να είναι αρκετά μαλακά και να έχουν αρκετό επιπλέον μήκος ώστε να μην επιρρέασουν την λειτουργία της αδρανειακής βάσης. Οποιαδήποτε παρεμβολή στα κινητά μέρη της βάσης και οποιαδήποτε επιπλέον εξωτερική δύναμη ασκηθεί πάνω σε αυτήν μπορεί να επηρεάσει την ισορροπία της και να έχει σαν αποτέλεσμα την αστάθειά της. Επομένως, τα όποια καλώδια και ενώσεις πρέπει να έρθουν όσο το δυνατόν πιο κοντά στον άξονα περιστροφής για την μείωση σφάλματος, αλλά και να έχουν αρκετή ελαστικότητα ώστε να είναι ομαλή η λειτουργία του εκάστοτε άξονα.

Βέβαια, όλα αυτά δεν ισχύουν για τον άξονα του αζιμούθιου. Ο συγκεκριμένος άξονας είναι ο βασικός μας και από τον οποίο τελικά περνάνε οι περισσότερες ενώσεις για την τροφοδοσία, αλλά και την είσοδο και έξοδο πληροφοριών προς την αδρανειακή μας βάση. Επιπροσθέτως ο άξονας αυτός θα πρέπει να έχει απόλυτη ελευθερία κίνησης, αφού το όχημά μας ή το πλεούμενο στο οποίο έχουμε τοποθετήσει την βάση μπορεί να περιστραφεί γύρω από τον εαυτό του, όσες φορές χρειαστεί κατά την διάρκεια λειτουργίας. Επομένως η χρήση ενός δακτυλίου ολίσθησης (slip ring) είναι απαραίτητη. Ο δακτύλιος ολίσθησης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5, είναι μία ηλεκτρομηχανική συσκευή, η οποία επιτρέπει την μετάδοση ρεύματος και ηλεκτρικών σημάτων από μία σταθερή παροχή σε μία κινούμενη [27].



Σχήμα 4.5 Παράδειγμα δακτυλίου ολίσθησης

Οι τύποι δακτυλίων ολίσθησης είναι πολλοί και διαφορετικοί μεταξύ τους, ώστε να καλύπτουν τις εκάστοτε ανάγκες χρήσης. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι ο μέγιστος αριθμός περιστροφών ανά λεπτό που μπορεί να κάνει ο δακτύλιος, ο αριθμός των επαφών που μπορεί να έχει, ο τύπος των επαφών αυτών και η ποιότητά τους. Αλλά ας τα δούμε το καθένα αναλυτικά [28].

4.3.1 Μέγιστος αριθμός περιστροφών δακτύλιου ολίσθησης

Όπως οι κινητήρες μας έτσι και οι δακτύλιοι ολίσθησης έχουν έναν μέγιστο αριθμό περιστροφών ανά λεπτό. Όπως είναι φυσικό ο αριθμός αυτός είναι κατά πολύ μικρότερος για τους δακτύλιους ολίσθησης σε σχέση με αυτούς του κινητήρα. Ανάλογα με την χρήση και τον τύπο του δακτύλιου, ο αριθμός των στροφών ανά λεπτό μεταβάλλεται. Έτσι για ένα περίπλοκο δακτύλιο με ομοαξονικό καλώδιο για μεταφορά σημάτων RF η ταχύτητα περιστροφής είναι κατά πολύ μικρότερη σε σχέση με έναν απλό δακτύλιο με ηλεκτρικές ενώσεις μόνο. Ένας απλός δακτύλιος ολίσθησης για την δική μας περίπτωση, όπου απαιτεί μεταφορά μικροκυματικών συχνοτήτων, περιορίζεται περίπου στις 100 στροφές ανά λεπτό μέγιστης ταχύτητας περιστροφής [29].

Βέβαια, υπάρχουν διάφορες εταιρείες που μπορούν να παράγουν και να προσαρμόσουν τον δακτύλιο ολίσθησης ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε πελάτη, στο ανάλογο κόστος φυσικά.

Πρέπει όμως να ληφθεί υπ'όψιν ότι ο άξονας του αζιμούθιου σε κάθε αδρανειακή βάση είναι και αυτός που δέχεται τον μεγαλύτερο φόρτο εργασίας. Για τον λόγο αυτό προτιμάται η χρήση μεγαλύτερου κινητήρα στον εν λόγω άξονα. Επιπροσθέτως, η χρήση κεφαλών στον κινητήρα του αζιμούθιου άξονα είναι απαραίτητη ώστε στο κέντρο της κεφαλής που θα κινεί τον άξονα, να τοποθετηθεί ο δακτύλιος ολίσθησης. Επομένως, προϋποθέτει την χρήση αρκετά μεγάλης κεφαλής, κάτι το οποίο θα μειώσει δραματικά την ταχύτητα περιστροφής, αλλά παράλληλα θα προφυλάξει τον δακτύλιο ολίσθησης και θα αυξήσει τις απαιτήσεις από τον κινητήρα που δίνει την κίνηση.

4.3.2 Αριθμός Επαφών Δακτύλιου Ολίσθησης

Ο αριθμός επαφών σε έναν δακτύλιο ολίσθησης έχει να κάνει με τον κατασκευαστή. Φυσικά, ο αριθμός αυτός δεν μπορεί να είναι άπειρος, αλλά δεν περιορίζεται και σε μία ή δύο επαφές. Βέβαια, όταν μιλάμε για χρήση ομοαξονικού καλωδίου σε δακτύλιο ολίσθησης, ο αριθμός αυτός μειώνεται δραματικά. Στο εμπόριο, δακτύλιοι ολίσθησης με 30 ή ακόμα και 50 επαφές σύνδεσης είναι εύκολο να βρεθούν, κάτι το οποίο μας δίνει μεγάλη ευκολία στην χρήση και στην σύνδεση της βάσης μας. Μέσα από τις επαφές αυτές πρέπει να περνάει η τροφοδοσία της πλακέτας σταθεροποίησης, τυχόν σήματα για την χειροκίνητη σκόπευση της κεραίας, η τροφοδοσία των εξαρτημάτων της κεραίας, αλλά και η τροφοδοσία του κινητήρα για το αζιμούθιο από την πλακέτα σταθεροποίησης ο οποίος βρίσκεται στην άλλη μεριά του δακτύλιου. Άρα, για να επιλέξουμε τον ακριβή αριθμό επαφών που θα φέρει ο δακτύλιος ολίσθησης, θα πρέπει να δούμε αναλυτικά το ηλεκτρολογικό σχεδιάγραμμα της αδρανειακής βάσης σε συνδυασμό με την κεραία μας, για να αποφασίσουμε τελικά πόσες θα είναι αυτές.

4.3.3 Τύπος και ποιότητα επαφών σε δακτύλιο ολίσθησης

Οι επαφές που χρησιμοποιούνται σε κάθε δακτύλιο ολίσθησης, διαφέρουν σε χαρακτηριστικά, όπως η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση που περνάει από αυτές, το υλικό που έχουν στα άκρα τους, οι ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες κάτω από τις οποίες έχουν ομαλή λειτουργία, η μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και άλλα. Όπως είναι φυσικό, η καλή ποιότητα και το μεγάλο εύρος λειτουργίας των δακτυλίων ολίσθησης ανεβάζουν και το κόστος τους. Ένας μέσος δακτύλιος ολίσθησης θα πρέπει να έχει επιχρυσωμένες επαφές, να αντέχει τάσεις ρεύματος μέχρι 240 Volts και θερμοκρασίες από -40° C έως $+80^{\circ}$ C. Επίσης, να έχει χαμηλό ηλεκτρικό θόρυβο, να μπορεί να μεταφέρει αναλογικό και ψηφιακό σήμα και τα ρουλεμάν, που χρησιμοποιούνται για την περιστροφή, να είναι ακριβείας, ώστε να μειωθούν οι τριβές και να μπορεί να δουλεύει σε υψηλές ταχύτητες.

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα και συμπεράσματα

5.1 Περιγραφή αποτελεσμάτων

Με την συγκεκριμένη διπλωματική μελέτη, καλύψαμε κυρίως το θεωρητικό κομμάτι λειτουργίας μίας αδρανειακής βάσης για κεραία μικροκυμάτων τύπου Cassegrain. Είναι ουσιαστικά μία μελέτη για να χρησιμοποιηθεί ως βοήθημα, στην κατασκευή μίας βάσης. Από την στιγμή που δεν έχουμε συγκεκριμένο μέγεθος κεραίας, μπορούμε να δώσουμε μόνο τους υπολογιστικούς τύπους που χρειάζονται για να υλοποιηθεί μία τέτοια κατασκευή.

Οι μόνες διαφοροποιήσεις που θα πρέπει να γίνουν πάνω στην βάση μας, είναι το μέγεθός της, τα υλικά κατασκευής (ανάλογα με το κόστος που θέλουμε να έχει και το βάρος), οι κινητήρες που θα χρησιμοποιηθούν και ο δακτύλιος ολίσθησης. Η πλακέτα υπεύθυνη για την σταθεροποίηση και το επιλεγμένο σύστημα σκόπευσης παραμένουν τα ίδια για όποια παραλλαγή της κεραίας αποφασίσουμε.

Σε σύγκριση με τις ήδη υπάρχουσες αδρανειακές βάσεις του εμπορίου, μπορούμε να πούμε σχεδόν με βεβαιότητα, ότι οι κινητήρες και η πλακέτα σταθεροποίησης είναι αυτά που διαφοροποιούν την συγκεκριμένη της μελέτης. Έχει δοθεί βάση στο χαμηλό κόστος, την εύκολη χρήση και στήσιμο από τον χρήστη, καθώς και η ένταξη κινητήρων χωρίς ψήκτρα που είναι πλέον αρκετά διαδεδομένοι και έχουν εμφανή πλεονεκτήματα.

5.2 Συμπεράσματα

Έχοντας καλύψει τις περισσότερες λειτουργίες της αδρανειακής βάσης για κεραία μικροκυμάτων, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η κατασκευή της σε εργαστήριο είναι εφικτή. Αρχικά, θα πρέπει να αποφασίσουμε τον τύπο και το μέγεθος της κεραίας, την οποία θα τοποθετήσουμε πάνω στη βάση μας και στην συνέχεια να γίνει ο ακριβής σχεδιασμός της βάσης. Το μέγεθος της κεραίας καθώς και ο εξοπλισμός που θα φέρει και θα πρέπει να τοποθετηθεί μαζί με την κεραία πάνω στην αδρανειακή βάση, θα καθορίσουν το μέγεθος της βάσης και τα υπόλοιπα εξαρτήματα που θα την απαρτίζουν. Όσο μεγαλύτερη η κεραία τόσο πιο μεγάλη και συμπαγής θα πρέπει να είναι η βάση μας, ώστε να αντέχει τα φορτία. Όπως είναι λογικό, μία αδρανειακή βάση του τύπου που μελετάμε, δεν μπορεί να υποστηρίξει κεραίες με μεγάλη διάμετρο ή βάρος. Ο περιορισμός της πλακέτας, υπεύθυνης για την σταθεροποίηση με μέγιστη επιτρεπόμενη τάση τροφοδοσίας τα 26V συνεχόμενου ρεύματος, περιορίζει την μέγιστη ισχύ των κινητήρων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και επομένως και την δύναμη που μπορούμε να ασκήσουμε στον κάθε άξονα ισορροπίας. Παρόλα αυτά, είναι μία αρκετά οικονομική λύση και εύκολη στην εφαρμογή της, για να καλύψει τις ανάγκες σταθεροποίησης μία κεραίας και στους τρεις άξονες.

Με το συγκεκριμένο σύστημα σταθεροποίησης να έχει δοκιμαστεί αρκετά στον χώρο της βιντεοσκόπησης μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι ένα καλά στημένο σύστημα μπορεί να ανταπεξέλθει σε βίαιες και συνεχόμενες κινήσεις το οχήματος που χρησιμοποιείται. Δεδομένου ότι στην χρήση του συστήματος για την σταθεροποίηση κάμερας πάνω σε βάση η οποία προοριζόταν για να κρατιέται στα χέρια, σίγουρα ένα όχημα στο δρόμο έχει πολύ μικρότερο εύρος απότομων κινήσεων σε μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης αρκετές δοκιμές έχουν γίνει με την αδρανειακή βάση και κάμερα μέσα σε σκάφη και τα αποτελέσματα ήταν εξίσου ικανοποιητικά.

Το μόνο πρόβλημα που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί για την χρήση της αδρανειακής βάσης στην θάλασσα είναι η προστασία της από τα φυσικά στοιχεία. Από τους κινητήρες και τα μηχανικά μέρη της βάσης, μέχρι τις καλωδιώσεις και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό που υπάρχει πάνω, όλα είναι πολύ ευαίσθητα στην επαφή τους με το νερό ή ακόμα και με υγρασία. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να δημιουργηθεί ειδικός θόλος (κλωβός), που θα κλείνει αεροστεγώς την αδρανειακή βάση μας και θα παρέχει πλήρη προστασία. Ο κλωβός, εκτός από προστασία ενάντια στο υγρό στοιχείο, έχει άλλο ένα πλεονέκτημα, να προστατεύει την κεραία από τον αέρα, ο οποίος μπορεί να αποτελέσει αρνητικό παράγοντα στην ισορροπία της. Με το πιάτο της κεραίας, αλλά και την υπόλοιπη βάση, να έχουν μεγάλες επιφάνειες, δημιουργούνται μεγάλες αντιστάσεις, όχι μόνο από τον μετωπικό άνεμο κατά την κίνηση, αλλά και από τον άνεμο που δημιουργείται από τα καιρικά φαινόμενα. Όλη αυτή η δύναμη που ασκείται από τον άνεμο μπορεί να είναι αρκετή για να αποδυναμώσει τους κινητήρες μας και να αποσυντονίσει το λειτουργικό, που κρατάει την κεραία σε αδράνεια. Άρα, η χρήση ενός κλωβού στην αδρανειακή βάση μας είναι μείζονος σημασίας.

Σχετικά με το λειτουργικό, το οποίο χρησιμοποιείται για την σταθεροποίηση, είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα στον χώρο του μοντελισμού και συνεχώς εξελίσσεται. Με παρουσία σχεδόν πέντε χρόνων στον χώρο της σταθεροποίησης, ξεκίνησε με λογισμικό στα 8-bit και εξελίχθηκε στην πρόσφατη έκδοση που φτάνει τα 32-bit. Έχει δηλαδή, αρκετή υπολογιστική ισχύ, ώστε να καλύπτει τις ανάγκες και των πιο απαιτητικών υπολογισμών για να κρατήσουν το αντικείμενο σταθερό. Το λειτουργικό που χρησιμοποιεί, ανανεώνεται συνεχώς παρέχοντας όλο και περισσότερες επιλογές στον χρήστη, πάντα για την καλύτερη σταθεροποίηση και την εξάλειψη οποιωνδήποτε προβλημάτων που μπορεί να παρουσιαστούν. Αν και περιορίζει τον χρήστη να επέμβει στο λειτουργικό και να το προσαρμόσει στις ανάγκες του, όπως κάνουν άλλες πλατφόρμες που αναφέραμε, παρέχει αρκετές επιλογές φέρνοντας το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Το βασικό ερώτημα που πρέπει να τεθεί, αφορά την αυτόματη σκόπευση της κεραίας και είναι κάτι το οποίο αναπτύχθηκε μόνο θεωρητικά στην μελέτη αυτή. Το βασικό πρόβλημα που μπορεί να εμφανιστεί είναι η επικοινωνία μεταξύ των συστημάτων σκόπευσης και της πλακέτας σταθεροποίησης. Είναι κάτι που πρακτικά δεν έχει δοκιμαστεί με την συγκεκριμένη πλακέτα και σίγουρα χρειάζονται περαιτέρω δοκιμές για να επιβεβαιωθεί το θεωρητικό μέρος. Σίγουρα η πλακέτα μας δίνει πολλαπλές δυνατότητες χειρισμού, τόσο ασύρματα με την χρήση ενός δέκτη, όσο και ενσύρματα με την χρήση χειριστηρίου. Άρα το να κατασκευαστεί μία επιπλέον πλακέτα, η οποία θα μεταφέρει τα σήματα από τα συστήματα σκόπευσης στην πλακέτα αδρανειακής, είναι σίγουρα εφικτό. Για το ποιο από τα δύο συστήματα σκόπευσης που αναφέρθηκαν στην μελέτη αυτή, είναι και το προτεινόμενο, δεν μπορούμε να πούμε με σιγουριά. Το σύστημα με την χρήση GPS είναι σίγουρα απλό και λειτουργικό και χρειάζεται μία υπολογιστική δύναμη, για να μπορούν να γίνουν όλες οι πράξεις που θα μας δώσουν τις τελικές γωνίες σκόπευσης, αλλά έχει πάντα ένα ποσοστό λάθους, αναλόγως της ισχύος του σήματος και της ποιότητας του GPS. Από την άλλη, το σύστημα αυτόματης σκόπευσης με την χρήση Ka-band, είναι πολύ πιο ακριβές στην σκόπευση, αλλά πιο περίπλοκο στην λειτουργία, και φυσικά, πιο ακριβό για να τοποθετηθεί. Η ιδανική περίπτωση είναι να υπάρξει ένας συνδυασμός των δύο συστημάτων, για να προκύψει καλύτερη ακρίβεια, αλλά και να υπάρχει εναλλακτική σε περίπτωση που ένα από τα δύο καταρρεύσει. Επίσης, η επιλογή για χειροκίνητη λειτουργία θα ήταν μία καλή λύση και αυξάνει τις δυνατότητες του χρήστη.

Βιβλιογραφία

1. Keith G. Calkins, 2002, Numbers and their application – Lesson 19, Andrews University, <http://www.andrews.edu/~calkins/math/webtexts/numb19.htm>
2. P. W. Hannon, March 1961, "Microwave Antennas Derived from the Cassegrain Telescope," IRE, Transactions on Antennas and Propagation , pp. 140-153
3. Donald C. O'Shea, 1985, Elements of Modern Optical Design, Wiley
4. Boston University, 2000, Elementary Physics 2, The reflection and refraction of light, <http://buphy.bu.edu/py106/notes/Refraction.html>
5. P.A. Jensen, 1986 , "Cassegrain Systems," in A.W. Rudge, K. Milne, A.D. Olver, P. Knight (editors), The handbook of Antenna Design, Peter Peregrinus, , pp. 162-183
6. Paul Wade, 2004, Multiple Reflector Dish Antennas, W1GHZ
7. Thomas Milligan, 1985, Modern Antenna Design, McGraw-Hill pp. 239-249
8. Christophe Granet, April 1998, Designing Axially Symmetric Cassegrain or Gregorian Dual-Reflector Antennas from Combinations of Prescribed Geometric Parameters, IEEE Antennas and Propagation Magazine , pp. 76-82
9. www.w1ghz.org/antbook/conf/Cassegrain_design.xls
10. Needham, Joseph, 1986, Science and Civilization in China: Volume 4, Physics and Physical Technology; Part 2, Mechanical Engineering, Taipei: Caves Books Ltd. Page 229.
11. Francis C. Moon, 2007 The Machines of Leonardo da Vinci and Franz Reuleaux: Kinematics of Machines from the Renaissance to the 20th Century, p.314, Springer, ISBN 1-4020-5598-6.
12. Sarton, George, 1959. A History of Science: Hellenistic Science and Culture in the Last Three Centuries B.C. Cambridge: Harvard University Press. pp. 349–350.
13. David Whitehead, P H Blyth, 2004, Athenaeus Mechanicus, "On Machines" ("Peri Mēchanēmatōn"), Steiner, p. 144-148
14. Hobby Tech Australia, 2014, GoPro Accessories – Gimbals, HobbyTech.com.au.
15. Basecamelectronics, 2014, Simple BGC 32bit 3-Axis Software User Manual Firmware ver. 2.4
16. InvenSense Inc., 2013, MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification, Document Number PS-MPU-6000A-00, Revision 3.4 InvenSense Inc
17. Bavaria Direct, 2013, Common Winding Schemes, bavaria-direct.co.za, dlrc sheme
18. Μάκης Ματιάτος, 2014, Μετρήστε την ευστάθεια του σκάφους σας, <http://www.ortsa.gr>
19. David Kushner, 2011, The Making of Arduino, IEEE Spectrum.
20. Technische Universität München - Lehrstuhl für Raumfahrttechnik , 2015, Calculation of Azimuth, Elevation and Polarization for non-horizontal aligned Antenna, Technical Document. TD-1205-b. Version 2.1
21. H. Bayer, A. Krauss, R. Stephan, and M. A. Hein , 2015, Multimode Monopulse Tracking Feed with Dual-Band Potential for Land-Mobile Satellite Communications in Ka-Band RF & Microwave Research Laboratory; Institute for Information Technology, Ilmenau University of Technology
22. H. Bayer, A. Krauss, R. Stephan, and M. A. Hein, 2011, A High-gain user terminal antenna for land-mobile bi-directional satellite communications in Ka-Band, , RF and Microwaves Research Laboratory, , Ilmenau University of Technology
23. Ohio Electronic Motors, 2013, A Historical Overview of Permanent Magnet Motors, archived from the original on 2013-10-03
24. T.G. Wilson, P.H. Trickey, 1962, "D.C. Machine. With Solid State Commutation", AIEE paper I. CP62-1372
25. Tata McGraw-Hill, 2002, Jump up^ M. Gopal. Control systems: principles and design. 2nd ed. Page 165.

26. College of Engineering, 2013, NC State University,
<https://www.engr.ncsu.edu/mes/media/pdf/gears>
27. Dynamic Sealing Technologies, 2017, ESM Series Compact Splip Rings,
<http://www.dsti.com/products/slip-rings/esm/>
28. *Cobham plc, 2011, Slip Rings, Aerospace and Security, Aerospace Communications, Annemasse. Cobham.com*
29. Wand Steffen, 2016, "*how slip rings work*", *UEA Blog, Uea-inc.com*

Λ ε ξ ι λ ό γ ι ο

Alt_{ant}: Antenna Altitude, το υψόμετρο της κεραίας

AZ_{ant meas}: Azimuth Antenna measurement, Αντισταθμιστική διόρθωση του αζιμούθιου

ECEF: Το σύστημα ECEF (earth-centered, earth-fixed), επίσης γνωστό και σαν ECR (earth-centered rotational), είναι ένα σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων και Καρτεσιανών συντεταγμένων.

EMI: Electro-Magnetic Interference, Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές

GPS: Global Positioning System, Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης

IMU: Inertial measurement unit, η αδρανειακή μονάδα μέτρησης είναι μία ηλεκτρονική συσκευή, η οποία μετράει και στέλνει την πληροφορία για τις δυνάμεις που δέχεται ένα σωμα χρησιμοποιώντας επιταχυνσιόμετρα και γυροσκόπια

IncAz_{ant}: Azimuth Inclination, Η κλίση της κεραίας στον άξονα του αζιμούθιου

Ka-Band: Kurz-above band, Ζώνη συχνοτήτων που ορίζεται στην περιοχή των 27-40GHz

Ku-Band: Kurz-under band, Ζώνη συχνοτήτων που ορίζεται στην περιοχή των 12-18GHz

Lat_{ant}: Antenna Latitude, η θέση της κεραίας ως προς το γεωγραφικό της πλάτος

Lat_{sat}: Satellite Latitude, η θέση του δορυφόρου ως προς το γεωγραφικό του πλάτος

LHCP: Left Hand Circular Polarized, Κεραίες αριστερόστροφης κυκλικής πόλωσης

Long_{ant}: Antenna Longitude, η θέση της κεραίας ως προς το γεωγραφικό της μήκος

Long_{sat}: Satellite Longitude, η θέση του δορυφόρου ως προς το γεωγραφικό του μήκος

PID Parameters: Τα αρχικά PID ορίζονται ως P= Proportional (Αναλογική), I=Integral (Ολοκληρωτική) και D=Derivative (Παράγωγο). Είναι ένας μηχανισμός ελέγχου που χρησιμοποιείται κυρίως από βιομηχανικά συστήματα ελέγχου. Σκοπός του είναι να υπολογίζει συνεχώς τις τιμές σφάλματος σαν διαφορές, ανάμεσα στην επιθυμητή τιμή και στην μεταβλητή που μετράτε κατά την διαδικασία. Έτσι εφαρμόζεται μία διόρθωση βάσει των αναλογικών, των ολοκληρωτικών και των παραγώγων όρων.

Pitch axis: Ο άξονας σκόπευσης, δηλαδή στην περίπτωση της μικροκυματικής κεραίας, ο άξονας ο οποίος είναι παράλληλος με την νοητή ευθεία που ενώνει την κεραία μας με τον δορυφόρο, όταν αυτά τα δύο είναι ευθυγραμμισμένα

Pitch_{ant}: Antenna Pitch, η γωνία κλίσης της κεραίας στον άξονα του Pitch

Pol_{sat}: Satellite Polarization, η γωνία πόλωσης του δορυφόρου

RHCP: Right Hand Circular Polarized, Κεραίες δεξιόστροφης κυκλικής πόλωσης

Roll axis: Ο άξονας κλίσης, ο οποίος είναι παράλληλος με τον ορίζοντα της Γης και θέλουμε να είναι πάντα κάθετος σε σχέση με τον αζιμούθιο άξονα

Roll_{ant}: Antenna Roll, η γωνία κλίσης της κεραίας στον άξονα του Roll

Yaw axis: Ο άξονας του αζιμούθιου, δηλαδή, η νοητή ευθεία του άξονα η οποία ξεκινάει από το αντικείμενό μας και περνάει από το κέντρο της Γης

Ανηχοϊκός θάλαμος: Ειδικά σχεδιασμένος θάλαμος δοκιμών όπου τα κύματα δεν ανακλώνται από τους τοίχους (χωρίς ηχώ)

Βαθυπερατό Φίλτρο: Το φίλτρο αυτό διαπερνούν χαμηλές συχνότητες, ενώ δεν διαπερνάται από ψηλές. Προσδιορίζεται από μία συχνότητα αποκοπής

Βαρυτικό διάνυσμα: Το διάνυσμα που ορίζεται από την κατεύθυνση του βαρυτικού πεδίου

Γεωστατικός δορυφόρος: Είναι ο δορυφόρος ο οποίος κινείται σε γεωστατική τροχιά γύρω από την Γη. Κινείται δηλαδή πάνω από τον Ισημερινό με ταχύτητα 11.040 χλμ/ω, τέτοια ώστε από την Γη να φαίνεται σταθερός

Γυροσκόπιο: Το γυροσκόπιο είναι μια συσκευή η οποία μπορεί να διατηρεί σταθερό τον προσανατολισμό της μέσω της περιστροφής των μερών της και της αρχής της διατήρησης της στροφορμής

Γωνίες Euler: Ο προσανατολισμός ενός οποιουδήποτε συστήματος στον χώρο μπορεί να εκφραστεί ως σύνθεση τριών περιστροφών περί τους άξονες ενός σταθερού συστήματος αναφοράς

Δακτύλιος Ολίσθησης: Ο δακτύλιος ολίσθησης είναι μία ηλεκτρομηχανική συσκευή, η οποία επιτρέπει την μετάδοση ρεύματος και ηλεκτρικών σημάτων από μία σταθερή παροχή σε μία κινούμενη

Επιταχυνσιόμετρο: Το επιταχυνσιόμετρο είναι μια συσκευή που ανιχνεύει τις φυσικές κινήσεις και τον προσανατολισμό του αντικειμένου στο οποίο είναι τοποθετημένο

Ευρυζωνική τροφοδοσία: Αδιάλειπτη και με υψηλό ρυθμό μετάδοση δεδομένων

Κυματοδηγός: Είναι μία διάταξη μετάδοσης σημάτων

Μοντέλο Γης WGS84: Είναι το τελευταίο μοντέλο της Γης όπως ανανεώθηκε το 2004 και είναι το βασικό μοντέλο συστήματος συντεταγμένων, που χρησιμοποιείται από τα GPS

Χοάνη τροφοδοσίας: Η χοάνη τροφοδοσίας μίας κεραίας είναι το μέρος απ' όπου εκπέμπονται οι ακτίνες και στη συνέχεια ανακλώνται από το παραβολοειδές κάτοπτρο

Ψήκτρα: Οι ψήκτρες ενός κινητήρα είναι τα "βουρτσάκια", τα οποία έρχονται σε επαφή με τον δρομέα του κινητήρα, τροφοδοτώντας τον με ρεύμα

