



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα.. Ανάλυση Μαγνητικής και Ηλεκτρικής Υπογραφής σε Χαμηλές Συχνότητες

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Δ. Κωνσταντάκης

Επιβλέπων : Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2017





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα.. Ανάλυση Μαγνητικής και Ηλεκτρικής Υπογραφής σε Χαμηλές Συχνότητες

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Δ. Κωνσταντάκης

**Επιβλέπων :** Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Απρίλιο 2017.

.....  
Χ.Καψάλης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Π. Κωττής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Γ. Φικιώρης  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2017

.....  
Γεώργιος Δ. Κωνσταντάκης

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

Copyright ©Γεώργιος Κωνσταντάκης, 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.

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χρήστο Καψάλη για την άμεση ανταπόκριση και εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Οι συμβουλές του ήταν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της διπλωματικής.

Επίσης, θερμές ευχαριστίες οφείλω στους υποψήφιους διδάκτορες του εργαστηρίου Ασυρμάτου και Επικοινωνίας μεγάλων αποστάσεων Σωτήρη Σπαντιδέα και Ελπίδα Χατζηνεοφύτου για την πολύτιμη καθοδήγησή τους καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας μου. Η άρτια συνεργασία μας αποτέλεσε βασικό συστατικό της ευχάριστης διεκπεραίωσης της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον, ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους μου τους φίλους και συγγενείς για τη βοήθειά τους όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, δεν μπορώ παρά να εκφράσω την βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου προς τους γονείς και την αδερφή μου για την συμπαράσταση, βοήθεια και ανοχή που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Κωνσταντάκης Γεώργιος

Απρίλιος 2017



# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο τη μελέτη της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και των παρεμβολών σε συστήματα μέτρησης μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου στα πλαίσια της διαστημικής αποστολής THOR. Κεντρικός άξονας είναι η διερεύνηση του εσωτερικού χώρου του διαστημικού οχήματος και ο εντοπισμός όλων εκείνων των υποσυστημάτων και τμημάτων του εξοπλισμού τα οποία χρήζουν ιδιαίτερη προσοχή εξαιτίας των διαταραχών που προκαλούν στη μαγνητική καθαρότητα στο περιβάλλον λειτουργίας τους.

Στο πρώτο μέρος παρατίθενται στοιχεία σχετικά με ζητήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Επίσης γίνεται μια σύνοψη της πληθώρας των προτύπων που υπάρχουν σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα σε εμπορικές και στρατιωτικές εφαρμογές.

Στο δεύτερο μέρος γίνεται μία εκτενής αναφορά στη διαστημική αποστολή του THOR.

Στο τρίτο μέρος περιγράφεται η πειραματική διαδικασία με σκοπό την καταγραφή της ηλεκτρικής και μαγνητικής υπογραφής αντικειμένων (στρατιωτικού εξοπλισμού) με τη βοήθεια ενός προγράμματος που υλοποιήθηκε σε γλώσσα matlab και τη μέθοδο των ειδώλων.

**Λέξεις κλειδιά:** Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, Ηλεκτρομαγνητική Ανάλυση, Μαγνητική Καθαρότητα, THOR





# ABSTRACT

This thesis aims to study the electromagnetic compatibility and interference in the magnetic and electric field measurement systems within the space mission THOR. Central to the investigation of the interior of the spacecraft and the identification of all those subsystems and parts of the equipment which require special attention because of the disruption caused in the magnetic purity in their operating environment.

The first part includes information on EMC issues. Also is a summary of the multitude of models existing on the EMC in commercial and military applications.

The second part is an extensive report on THOR space mission.

The third part describes the experimental procedure to register the electrical and magnetic signature items (military equipment) with the aid of a program implemented in matlab language and method of images.

**Key Words:** Electromagnetic Compatibility, Electromagnetic Analysis, Magnetic Cleanliness, THOR

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Εισαγωγή.....	20
1.1	Εισαγωγή στην Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα.....	20
1.2	Ηλεκτρομαγνητική Παρεμβολή και Συμβατότητα.....	21
1.3	Πρότυπα Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας.....	24
1.3.1	Πρότυπα για Εμπορικές Εφαρμογές.....	24
1.3.2	Πρότυπα για Στρατιωτικές Εφαρμογές.....	26
2.	Η Διαστημική Αποστολή THOR.....	29
2.1	Ιστορικό.....	29
2.2	Σκοπός.....	29
2.3	Αντικείμενα Αποστολής THOR.....	30
2.3.1	Ιστορικό.....	30
2.3.2	Αντικείμενα Έρευνας.....	30
2.3.3	Βασικές Απαιτήσεις Αποστολής.....	30
2.4	Φορτίο Οργάνων Αποστολής.....	31
2.4.1	Εισαγωγή.....	31
2.4.2	Ηλεκτρομαγνητική Καθαρότητα Αποστολής.....	31
2.4.3	Κατάλογος Οργάνων Αποστολής.....	32
2.5	Μηχανισμοί Αποστολής THOR.....	34
2.5.1	Απαιτήσεις και Οδηγοί Σχεδιασμού.....	34
2.5.2	Μηχανισμός Βραχίονα (Boom) Μαγνητομέτρου.....	34
2.5.3	Μηχανισμός Βραχίονα (Boom) Κεραίας.....	34
2.5.4	Μηχανισμός Συγκράτησης και Απελευθέρωσης Βραχίονα (HDRM).....	35
2.5.5	Μηχανισμός Συγκράτησης και Απελευθέρωσης Βραχίονα Κεραίας.....	35
2.6	Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα(EMC) Αποστολής THOR.....	35
2.6.1	Απαιτήσεις και Οδηγοί Σχεδιασμού EMC.....	35
2.6.2	Φάσμα Συχνοτήτων Αποστολής.....	36
2.6.3	Ευαισθησία Οργάνων Αποστολής THOR.....	36
2.6.4	Ηλεκτροστατική Φόρτιση Αποστολής.....	38
2.6.5	Παραδοχές και Trades-Offs.....	38
2.6.5.1	Μαγνητική Ροπή.....	38
2.6.5.2	Συγχρονισμός Μετατροπέα Ισχύος.....	39
2.6.5.3	Μήκος Βραχίονα (Boom).....	39
2.6.6	Βασικός Σχεδιασμός Διαστημικού Σκάφους.....	40
2.6.6.1	Σύστημα Ηλεκτρικής Ισχύος.....	40
2.6.6.2	Θερμικό Σύστημα.....	40
2.6.6.3	Σύστημα Πρόωσης Διαστημικού Σκάφους.....	41
2.6.6.4	Δομή.....	41
2.6.6.5	Καλωδίωση.....	41
2.6.6.6	Σύστημα Χερισμού δεδομένων.....	41
2.6.6.7	Μηχανισμοί αποστολής THOR.....	42
2.6.6.8	Σύστημα Επικοινωνίας.....	42
2.6.6.9	Επαλήθευση.....	42
2.6.7	Ειδικά Συστήματα Διαστημοπλοίου.....	43
2.6.7.1	Active Spacecraft Charging Controller (ASEPCO).....	43
2.6.7.2	Magnetometer Alignment Calibration System (MACS).....	43

	2.6.7.3	Εσωτερική Μονάδα Power Dumps.....	43
	2.6.7.4	Κετρική Μονάδα εξωτερικά του εσωτερικού Κυλίνδρου.....	44
	2.6.7.5	Έλεγχος Φάσης για διανεμημένα clock σήματα.....	44
2.6.8		Τεχνολογικές Απαιτήσεις.....	44
2.7		Ισχύς.....	44
	2.7.1	Απαιτήσεις και Οδηγοί Σχεδιασμού.....	44
	2.7.2	Παραδοχές και Trades Offs.....	45
	2.7.2.1	Λειτουργικότητα του συστήματος κατά τη διάρκεια της Έκλειψης.....	45
	2.7.2.2	Ρύθμιση Solar Array.....	45
	2.7.2.3	Τάση Διαύλου και Σταθερότητα.....	46
	2.7.3	Βασικός Σχεδιασμός Συστήματος Ισχύος.....	47
	2.7.3.1	Τοπολογία Συστήματος Ισχύος.....	47
	2.7.3.2	Μπαταρία.....	47
	2.7.3.3	Solar array.....	48
	2.7.3.4	Ελιγμοί Κατεύθυνσης Διαστημοπλοίου.....	49
	2.7.3.5	Λειτουργία Εκτόξευσης.....	49
2.8		Επικοινωνίες.....	50
	2.8.1	Απαιτήσεις και Οδηγοί Σχεδιασμού Επικοινωνιών.....	50
	2.8.2	Παραδοχές και Trade-Offs Επικοινωνιών.....	51
	2.8.2.1	Βασικές Τροχιές.....	51
	2.8.2.2	Εύρος Ζώνης.....	51
	2.8.3	Βασικός Σχεδιασμός Επικοινωνιών.....	51
2.9		Θερμικό Σύστημα.....	53
	2.9.1	Όρια Θερμοκρασίας και Κατανάλωσης Μονάδων.....	53
	2.9.2	Όρια Θερμοκρασία και Κατανάλωσης Οργάνων.....	53
	2.9.3	Ταυτοποίηση Περιπτώσεων.....	54
	2.9.3.1	Hot Περίπτωση.....	54
	2.9.3.2	Cold Περίπτωση.....	54
3.		Πειραματικό Μέρος.....	54
	3.1	Εισαγωγή.....	54
	3.2	Η Μέθοδος των ειδώλων (Μέθοδος Κατοπτρισμού).....	54
	3.3	Η Διάταξη του πειράματος.....	59
	3.4	Παρουσίαση των μετρήσεων μετά των ιστογραμμάτων της έντασης του Ηλεκτρικού και Μαγνητικού πεδίου της πηγής-διπόλου.....	60
	3.4.1	Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγή.....	60
	3.4.1.1	Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγη σε απόσταση 50cm...60	60
	3.4.1.2	Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγη σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	61
	3.4.1.3	Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγη σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίμου επιπέδου.....	62
	3.4.1.4	Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγη σε απόσταση 6.30m...62	62
	3.4.1.5	Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγη σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	63
	3.4.1.6	Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγη σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίμου επιπέδου.....	64
	3.4.2	Μαγνητικό Πεδίο από αργα μεταβαλλόμενη AC πηγή (AC>1h)...64	64
	3.4.2.1	Μαγνητικό Πεδίο από αργα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50 cm.....	64

3.4.2.2	Μαγνητικό Πεδίο από αργα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50 cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	65
3.4.2.3	Μαγνητικό Πεδίο από αργα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50 cm υπεράνω αγωγίμου επιπέδου.....	66
3.4.2.4	Μαγνητικό Πεδίο από αργα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m.....	67
3.4.2.5	Μαγνητικό Πεδίο από αργα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	67
3.4.2.6	Μαγνητικό Πεδίο από αργα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίμου επιπέδου.....	68
3.4.3	Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή ( $1h > AC > 1s$ ).....	69
3.4.3.1	Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm.....	69
3.4.3.2	Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	70
3.4.3.3	Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίμου επιπέδου.....	70
3.4.3.4	Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m.....	71
3.4.3.5	Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής Ροπής.....	72
3.4.3.6	Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίμου επιπέδου.....	73
3.4.4	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή (AC~1Hz).....	73
3.4.4.1	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm.....	73
3.4.4.2	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	74
3.4.4.3	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίμου επιπέδου.....	75
3.4.4.4	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m.....	76
3.4.4.5	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	76
3.4.4.6	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίμου επιπέδου.....	77
3.4.5	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή (AC~200KHz).....	78
3.4.5.1	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm.....	78

3.4.5.2	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	79
3.4.5.3	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίου επιπέδου.....	79
3.4.5.4	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m.....	80
3.4.5.5	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	81
3.4.5.6	Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίου επιπέδου.....	82
3.4.6	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή (f=200KHz).....	82
3.4.6.1	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm.....	82
3.4.6.2	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	83
3.4.6.3	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίου επιπέδου.....	84
3.4.6.4	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m.....	85
3.4.6.5	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	85
3.4.6.6	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίου επιπέδου.....	86
3.4.7	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC (f=200KHz) πηγή με μικρότερη μαγνητική ροπή.....	87
3.4.7.1	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm.....	87
3.4.7.2	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	88
3.4.7.3	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίου επιπέδου.....	89
3.4.7.4	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m.....	89
3.4.7.5	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής.....	90
3.4.7.6	Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίου επιπέδου.....	91
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	92
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	96

# ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Μηχανισμοί ηλεκτρομαγνητικής παρενόχλησης.....	23
Σχήμα 2.1: Επάνω επίπεδο Πλατφόρμας+ Θέσεις Διάτμησης Panel .....	33
Σχήμα 2.2: Θέσεις Οργάνων-Κάτω μέρος panel .....	33
Σχήμα 2.3: Θέσεις Οργάνων-Επάνω μέρος panel panel.....	33
Σχήμα 2.4: Rosetta πτυσσομενος βραχίονας από αποστολή Sener (Αριστερά). Μηχανισμός Συγχρονισμού (Δεξιά).....	34
Σχήμα 2.5: Συγκρότημα Βραχίονα κεραίας αποστολής Sener .....	35
Σχήμα 2.6: HDRM Βραχίονα Μαγνητομέτρου αποστολής Sener .....	35
Σχήμα 2.7: Απαιτήσεις καθαρότητας AC Μαγνητικού Πεδίου στην αποστολή THOR ( $nT^2/Hz$ ).....	36
Σχήμα 2.8: Απαιτήσεις καθαρότητας AC Ηλεκτρικού Πεδίου στην αποστολή THOR [in(V/m) <sup>2</sup> /Hz].....	37
Σχήμα 2.9: Εξωτερική άποψη του γεωμετρικού θερμικού μοντέλου .....	40
Σχήμα 2.10: Μερική άποψη του γεωμετρικού θερμικού μοντέλου (εσωτερικά τμήματα).....	40
Σχήμα 2.11: Αρχιτεκτονική του υποσυστήματος πρόωσης του διαστημικού σκάφους THOR .....	41
Σχήμα 2.12 : Περίγραμμα του υποσυστήματος χειρισμού δεδομένων μαζί με διεπαφές .....	42
Σχήμα 2.13: Τοπολογία Συστήματος Ισχύος.....	47
Σχήμα 2.14: Συστοιχία ηλιακών κυψελών με back-wiring .....	48
Σχήμα 2.15:Block διάγραμμα υποσυστήματος επικοινωνίας.....	52
Σχήμα 3.1: Η μέθοδος των ειδώλων για το πρόβλημα ενός σημειακού και ενός αγωγίμου επιπέδου: α) το αρχικό πρόβλημα, β) τοποθέτηση φορτίου- ειδώλου, γ) σχεδίαση των δυναμικών γραμμών (διακεκομμένες) των ισοδυναμικών επιφανειών (συνεχείς).....	56
Σχήμα 3.2: Τοποθέτηση ειδώλου με αντίθετο φορτίο.....	57
Σχήμα 3.3: (α) Κάθετος αγωγός υπεράνω αγωγίμου επιπέδου και το είδωλο του (β) Παράλληλος αγωγός υπεράνω αγωγίμου επιπέδου και το είδωλο του (γ) Γενική περίπτωση.....	58
Σχήμα 3.4:Πειραματική Διάταξη.....	59
Σχήμα 3.5: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.1.....	61
Σχήμα 3.6: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.2.....	61
Σχήμα 3.7: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.3.....	62
Σχήμα 3.8: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.4.....	63
Σχήμα 3.9: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.5.....	63
Σχήμα 3.10: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.6.....	64
Σχήμα 3.11: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.7.....	65
Σχήμα 3.12: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.8.....	66
Σχήμα 3.13: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.9.....	66
Σχήμα 3.14: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.10.....	67
Σχήμα 3.15: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.11.....	68
Σχήμα 3.16: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.12.....	69
Σχήμα 3.17: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.13.....	69
Σχήμα 3.18: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.14.....	70
Σχήμα 3.19: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.15.....	71
Σχήμα 3.20: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.16.....	72

Σχήμα 3.21: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.17.....	72
Σχήμα 3.22: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.18.....	73
Σχήμα 3.23: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.19.....	74
Σχήμα 3.24: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.20.....	75
Σχήμα 3.25: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.21.....	75
Σχήμα 3.26: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.22.....	76
Σχήμα 3.27: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.23.....	77
Σχήμα 3.28: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.24.....	78
Σχήμα 3.29: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.25.....	78
Σχήμα 3.30: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.26.....	79
Σχήμα 3.31: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.27.....	80
Σχήμα 3.32: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.28.....	81
Σχήμα 3.33: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.29.....	81
Σχήμα 3.34: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.30.....	82
Σχήμα 3.35: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.31.....	83
Σχήμα 3.36: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.32.....	84
Σχήμα 3.37: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.33.....	84
Σχήμα 3.38: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.34.....	85
Σχήμα 3.39: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.35.....	86
Σχήμα 3.40: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.36.....	87
Σχήμα 3.41: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.37.....	88
Σχήμα 3.42: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.38.....	89
Σχήμα 3.43: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.39.....	89
Σχήμα 3.44: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.40.....	90
Σχήμα 3.45: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.41.....	91
Σχήμα 3.46: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.42.....	91

# ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1:Κύρια Μέρη IEC 1000.....	25
Πίνακας 1.2:Κύρια μέρη CISPR 16.....	26
Πίνακας 2.1: Όρια σχεδιασμού θερμοκρασίας και κατανάλωσης Μονάδων .....	53
Πίνακας 2.2: Όρια σχεδιασμού θερμοκρασίας και κατανάλωσης Οργάνων.....	53
Πίνακας 3.1:Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=6250\text{mA}^2, \text{DC}$ .....	60
Πίνακας 3.2:Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=-6250\text{mA}^2, \text{DC}$ .....	61
Πίνακας 3.3:Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=6250\text{mA}^2$ με αγώγιμη επιφάνεια, DC.....	62
Πίνακας 3.4:Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=6250\text{mA}^2, \text{DC}$ .....	62
Πίνακας 3.5:Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=-6250\text{mA}^2, \text{DC}$ .....	63
Πίνακας 3.6:Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=6250\text{mA}^2$ με αγώγιμη επιφάνεια, DC.....	64
Πίνακας 3.7:Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=312.5\text{mA}^2$ , $\text{AC}>1\text{h}$ .....	65
Πίνακας 3.8:Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=-312.5\text{mA}^2$ , $\text{AC}>1\text{h}$ .....	65
Πίνακας 3.9:Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=312.5\text{mA}^2$ με αγώγιμη επιφάνεια, $\text{AC}>1\text{h}$ .....	66
Πίνακας 3.10: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=312.5\text{mA}^2$ , $\text{AC}>1\text{h}$ .....	67
Πίνακας 3.11: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=-312.5\text{mA}^2$ , $\text{AC}>1\text{h}$ .....	68
Πίνακας 3.12: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=312.5\text{mA}^2$ με αγώγιμη επιφάνεια, $\text{AC}>1\text{h}$ .....	68
Πίνακας 3.13: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=6.25\text{mA}^2$ , $1\text{h}>\text{AC}>1\text{s}$ .....	69
Πίνακας 3.14: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=-6.25\text{mA}^2$ , $1\text{h}>\text{AC}>1\text{s}$ .....	70
Πίνακας 3.15: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=6.25\text{mA}^2$ με αγώγιμη επιφάνεια, $1\text{h}>\text{AC}>1\text{s}$ .....	71
Πίνακας 3.16: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=6.25\text{mA}^2$ , $1\text{h}>\text{AC}>1\text{s}$ .....	71
Πίνακας 3.17: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=-6.25\text{mA}^2$ , $1\text{h}>\text{AC}>1\text{s}$ .....	72
Πίνακας 3.18: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=6.25\text{mA}^2$ με αγώγιμη επιφάνεια, $1\text{h}>\text{AC}>1\text{s}$ .....	73
Πίνακας 3.19: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=1.25\text{mA}^2$ , $\text{AC}\sim 1\text{Hz}$ .....	74
Πίνακας 3.20: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=-1.25\text{mA}^2$ , $\text{AC}\sim 1\text{Hz}$ .....	74
Πίνακας 3.21: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=1.25\text{mA}^2$ με αγώγιμη επιφάνεια, $\text{AC}\sim 1\text{Hz}$ .....	75
Πίνακας 3.22: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=1.25\text{mA}^2$ , $\text{AC}\sim 1\text{Hz}$ .....	76
Πίνακας 3.23: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=-1.25\text{mA}^2$ , $\text{AC}\sim 1\text{Hz}$ .....	77
Πίνακας 3.24: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=1.25\text{mA}^2$ με	



αγώγιμη επιφάνεια, AC~1Hz.....	77
Πίνακας 3.25: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=1\mu\text{Am}^2$ , AC~200KHz.....	78
Πίνακας 3.26: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=-1\mu\text{Am}^2$ , AC~200KHz.....	79
Πίνακας 3.27: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=1\mu\text{Am}^2$ με αγώγιμη επιφάνεια, AC~200KHz.....	80
Πίνακας 3.28: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=1\mu\text{Am}^2$ , AC~200KHz.....	80
Πίνακας 3.29: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=-1\mu\text{Am}^2$ , AC~200KHz.....	81
Πίνακας 3.30: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=1\mu\text{Am}^2$ , AC~200KHz.....	82
Πίνακας 3.31: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=1.25\text{mAm}^2$ , $f=200\text{KHz}$ .....	83
Πίνακας 3.32: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=-1.25\text{mAm}^2$ , $f=200\text{KHz}$ .....	83
Πίνακας 3.33: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=1.25\text{mAm}^2$ , $f=200\text{KHz}$ .....	84
Πίνακας 3.34: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=1.25\text{mAm}^2$ , $f=200\text{KHz}$ .....	85
Πίνακας 3.35: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=1.25\text{mAm}^2$ , $f=200\text{KHz}$ .....	86
Πίνακας 3.36: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=1.25\text{mAm}^2$ , $f=200\text{KHz}$ .....	86
Πίνακας 3.37: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=1.25\mu\text{Am}^2$ , $f=200\text{KHz}$ .....	87
Πίνακας 3.38: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=-1.25\mu\text{Am}^2$ , $f=200\text{KHz}$ .....	88
Πίνακας 3.39: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με $r_c=50\text{cm}, m=1.25\text{mAm}^2$ με αγώγιμη επιφάνεια, $f=200\text{KHz}$ .....	89
Πίνακας 3.40: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=1.25\text{mAm}^2$ , $f=200\text{KHz}$ .....	90
Πίνακας 3.41: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=-1.25\text{mAm}^2$ , $f=200\text{KHz}$ .....	90
Πίνακας 3.42: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με $r_c=6.30\text{m}, m=1.25\text{mAm}^2$ με αγώγιμη επιφάνεια, $f=200\text{KHz}$ .....	91

# ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

AC: Alternating Current  
AOCS: Attitude and Orbit Control System  
AOGNC: Attitude and Orbit Guidance, Navigation and Control  
ASEPCO: Active Spacecraft Potential Controller Ion Emitter  
BCR: Battery Charge Regulator  
BDR: Battery Discharge regulator  
CDF: Concurrent Design Facility  
CFRB: Carbon Fibre Reinforced Polymer  
COM: Communications  
CPU: Central Processing Unit  
CSW: Cold Solar Wind ion analyser  
DC: Direct Current  
DPU: Data Processing Unit  
ECSS: European Cooperation for Space Standardisation  
EFI: Electric Field Instrument  
EFI-HFA: EFI-Spin Plane Double Probe  
EFI-SDP: EFI-High Frequency Antenna  
EM: Engineering Model  
EMC: Electromagnetic Compatibility  
EMI: Electromagnetic Interference  
EoL: End of Life  
EPE: Energetic Particle Experiment  
ESA: European Space Agency  
ESA(TEA): Electric Static Analyser  
FAR: Faraday Cup  
G/S: Ground Stations  
HDRM: Hold Down and Release Mechanism  
HRWF: High Resolution Waveform Data  
IMS: Iron Mass Spectrum analyser  
ITO: Indium Tin Oxide  
LAU: Launch (mode)  
LGA: Low Gain Antenna  
MACS: Magnetometer Alignment Calibration System  
MAG: Fluxgate magnetometer  
MMS: Magnetospheric multiscale Mission  
PPU: Particle Processing Unit  
Re: Earth radius  
RF: Radio Frequency  
RFDU: Radio Frequency Distribution Unit  
S<sup>3</sup>R: Sequential Switching Shunt Regulator (a type of solar array regulation)  
S/C: Spacecraft  
SCM: Search Coil Magnetometer  
TC: Telecommand  
TGO: Trace Gas Orbiter  
THOR: Turbulence Heating Observer  
TM: Telemetry  
TWTA: Travelling Wave Tube Amplifier



## 1. Εισαγωγή

Η εξερεύνηση του διαστήματος είναι η φυσική εξερεύνηση των ουράνιων σωμάτων και γενικά οτιδήποτε περιλαμβάνει τις τεχνολογίες, την επιστήμη, και την πολιτική σχετικά με τις διαστημικές προσπάθειες. Το ενδιαφέρον της ανθρωπότητας για τη ζωή πέρα από τη Γη είναι διαχρονικό και διαρκές. Οι άνθρωποι καλούνται να εξερευνήσουν τον κόσμο εκτός των ορίων της Γης, να ανακαλύψουν νέους κόσμους και να διερευνήσουν τα όρια του ήδη υπάρχοντος. Αυτό το διαρκές ενδιαφέρον του ανθρώπου για τη δομή και την ιστορία του διαστήματος παρέχει πολλά οφέλη για ολόκληρη την ανθρώπινη κοινωνία. Η εξερεύνηση του διαστήματος βοηθά στην κατανόηση θεμελιωδών ερωτημάτων σχετικά με τη θέση του πλανήτη Γη στο σύμπαν, την ιστορία του ηλιακού συστήματος.

Οι απαιτήσεις για την αποτελεσματική διεκπεραίωση των διαστημικών αποστολών, που είναι ήδη πολύ υψηλές, με τη πάροδο του χρόνου παρατηρείται ότι αυξάνονται όλο και περισσότερο. Ο έλεγχος συνεπώς της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας των συστημάτων στο εσωτερικό περιβάλλον λειτουργίας των διαστημόπλοιων πριν την εκτόξευσή τους κρίνεται ιδιαίτερα αναγκαίος, προκειμένου να εντοπιστούν όλες εκείνες οι συσκευές που αποτελούν «πηγή μόλυνση» για αυτό καθώς διαταράσσουν την μαγνητική του καθαρότητα και την ομαλή λειτουργία των γειτονικών τους εξοπλισμών εξαιτίας του μαγνητικού πεδίου και ηλεκτρικού πεδίου που ακούσια πολλές φορές παράγουν.

### 1.1 Εισαγωγή στην Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα

Με τον γενικό όρο τηλεπικοινωνίες, (telecommunications), χαρακτηρίζεται η κάθε μορφής ενσύρματη ή ασύρματη, ηλεκτρομαγνητική, ηλεκτρική, ακουστική και οπτική επικοινωνία που πραγματοποιείται ανεξαρτήτως απόστασης. Στους σύγχρονους καιρούς, αυτή η διαδικασία σχεδόν πάντα περιλαμβάνει την αποστολή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ή ηλεκτρικών σημάτων από κατάλληλες ηλεκτρονικές συσκευές, όπως το τηλέφωνο ή ο ασύρματος, αλλά παλαιότερα περιελάμβανε τη χρήση ακουστικών σημάτων, όπως τυμπάνων, ή οπτικών, όπως ο σηματοφόρος καπνός ή η λάμψη της φωτιάς.

Οι πρώτες μορφές τηλεπικοινωνιών πραγματοποιούνταν με την χρήση φωτιάς. Ο Όμηρος αναφέρει πως οι Αχαιοί χρησιμοποίησαν τις φρυκτωρίες, δηλαδή μεγάλες φωτιές στις κορυφές βουνών, για να αναγγείλουν την πτώση της Τροίας στις Μυκήνες. Η χρήση της φωτιάς ως μέσο τηλεπικοινωνίας συνεχίστηκε μέχρι τον 19ο αιώνα.

Το 1901 Guglielmo Marconi στέλνει το γράμμα “S” πέρα από τον Ατλαντικό Ωκεανό, από την Αγγλία στο Newfoundland, ενώ το πρώτο ασύρματο μήνυμα στέλνεται ένα χρόνο αργότερα (1902). Αυτό το πείραμα εκπομπής και λήψης ηλεκτρομαγνητικού σήματος πάνω από τον Ατλαντικό Ωκεανό έδωσε το έναυσμα για μία ξέφρενη τεχνολογική κούρσα, την εξέλιξη της οποίας δε μπορούσαν, ίσως, να φανταστούν ούτε οι «πρωτεργάτες» της. Κάποιος όμως θα έλεγε ότι ο Marconi ήταν αναμφίβολα τυχερός καθώς ήταν ο μόνος, οφειλόμενος σε ανθρώπινο παράγοντα «θόρυβος», που χρησιμοποιούσε το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκείνη την εποχή και δεν προκαλούσε καμμία παρεμβολή.

Οι αλλαγές που σημειώθηκαν από τότε στον ανθρώπινο πολιτισμό μπορούν να συγκριθούν μόνο με αυτές των μεγαλύτερων επαναστάσεων της ανθρώπινης ιστορίας και, όπως μπορεί να προβλέψει κάποιος παρατηρητής, οι εξελίξεις φαίνεται πως έχουν ακόμη πολύ δρόμο να διανύσουν. Οι εφαρμογές που βρήκαν οι τηλεπικοινωνίες είναι

ανεξάντλητες και μόνο η απλή αναφορά τους θα απαιτούσε αρκετές σελίδες κειμένου. Αυτή η πληθώρα τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών απαιτούσε ολοένα και μεγαλύτερο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, με αποτέλεσμα στις ημέρες μας οι συχνότητες λειτουργίας τους να εκτείνονται μέχρι αυτές του φωτός.

Από την εποχή του Marconi, οι χρήστες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος έχουν πολλαπλασιαστεί, και οι ανάγκες για βέλτιστη διαχείριση της ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής είναι περισσότερο έντονες. Ήδη από το 1933, σε μία συνάντηση της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (IEC: International Electrotechnical Commission) προτάθηκε η ίδρυση μιας Διεθνούς Ειδικής Επιτροπής για την ΡαδιοΠαρεμβολή (CISPR: International Special Committee on Radio Interference), προκειμένου να αντιμετωπίσει το πρόβλημα που είχε ανακύψει με την ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή. Στις μέρες μας, η έρευνα σε ζητήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας αποτελεί πλέον μια πραγματική πρόκληση, όχι μόνο στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, αλλά στο ευρύτερο πεδίο του ηλεκτρολόγου μηχανικού.

## **1.2 Ηλεκτρομαγνητική Παρεμβολή και Συμβατότητα**

Με την ΚΥΑ 50268/5137/07(Β' 1853/13-09-2007), η ελληνική νομοθεσία προσαρμόστηκε με την οδηγία 2004/108/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου «για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και την κατάργηση της οδηγίας 89/336/ΕΟΚ (Ε.Ε.Λ.390 της 31.12.2004)». Με την ίδια απόφαση, η ΚΥΑ 94649/8682/93 (Β' 688/13-09-1994) που ρύθμιζε τα θέματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας καταργήθηκε από την 20η Ιουλίου 2007.

Η εναρμόνιση των τεχνικών κανόνων για την προστασία έναντι της ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής είναι ζωτικής σημασίας για την ελεύθερη διακίνηση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προϊόντων και για την ορθή λειτουργία των τηλεπικοινωνιακών δικτύων και συσκευών στην Ευρωπαϊκή αγορά. Το πεδίο εφαρμογής της νέας οδηγίας είναι υπερβολικά ευρύ, περιλαμβάνοντας τα περισσότερα είδη ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, συστημάτων και ακόμη και εγκαταστάσεων που περιέχουν ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών ελπίζει ότι οι πληροφορίες και διευκρινίσεις που παρέχονται μέσω του ιστοχώρου του, θα διευκολύνουν την κατανόηση και συνεπώς την ορθή εφαρμογή της οδηγίας ΗΜΣ, βελτιώνοντας με αυτό τον τρόπο την ανταγωνιστικότητα των κατασκευαστών και ικανοποιώντας τις απαιτήσεις χρηστών και καταναλωτών.

Οι ενδιαφερόμενοι πολίτες και όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς του Δημόσιου ή Ιδιωτικού τομέα καλούνται συνεπώς να μελετήσουν όλες τις ισχύουσες διατάξεις για την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα. Οι Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις της χώρας και η κεντρική υπηρεσία του Υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών θα συνεχίσουν να επιβλέπουν στενά την εφαρμογή της νέας οδηγίας 2004/108/EK, προσβλέποντας στην ανάπτυξη και στην πρόοδο του τομέα αυτού επ' ωφελεία του κοινωνικού συνόλου.

Σύμφωνα με την Οδηγία 2004/108/EK [16] σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, η οποία στόχο έχει την εξασφάλιση της λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς απαιτώντας τη συμμόρφωση του εξοπλισμού με ένα επαρκές επίπεδο ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, ισχύουν οι ακόλουθοι ορισμοί:

**«Εξοπλισμός»:** κάθε συσκευή ή σταθερή εγκατάσταση.

«**Συσκευή**»: κάθε τελική διάταξη, ή συνδυασμός διατάξεων, που διατίθεται στο εμπόριο ως ενιαία λειτουργική μονάδα, προοριζόμενη για τον τελικό χρήστη, και ενδέχεται να προκαλέσει ηλεκτρομαγνητική διαταραχή, ή της οποίας η λειτουργία μπορεί να επηρεαστεί από τέτοιου είδους διαταραχή.

«**Σταθερή εγκατάσταση**»: συγκεκριμένος συνδυασμός διαφόρων τύπων συσκευών και, ενδεχομένως, άλλων διατάξεων, που συναρμολογούνται, τοποθετούνται και προορίζονται να χρησιμοποιούνται μόνιμως σε έναν προκαθορισμένο τόπο.

«**Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC: electromagnetic compatibility)**»: ικανότητα του εξοπλισμού να λειτουργεί ικανοποιητικά στο ηλεκτρομαγνητικό του περιβάλλον χωρίς να προκαλεί απαράδεκτες ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές σε άλλον εξοπλισμό που ευρίσκεται στο περιβάλλον αυτό.

«**Ηλεκτρομαγνητική διαταραχή**»: ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο που μπορεί να υποβαθμίσει τη λειτουργία εξοπλισμού. Μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή μπορεί να είναι θόρυβος ηλεκτρομαγνητικής προέλευσης, ανεπιθύμητο σήμα ή μεταβολή του ιδίου του μέσου δια του οποίου γίνεται η διάδοση.

«**Ατρωσία**»: ικανότητα του εξοπλισμού να λειτουργεί χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα της λειτουργίας του παρά την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικής διαταραχής.

«**Λόγοι ασφαλείας**»: η διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής ή περιουσίας.

«**Ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον**»: το σύνολο όλων των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων τα οποία είναι δυνατόν να παρατηρηθούν σε μια δεδομένη τοποθεσία.

Η παρενόχληση που εμφανίζεται στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα μπορεί να διακριθεί, γενικά σε δύο κατηγορίες: την αγωγή παρενόχληση (conducted disturbance) και την ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση (electromagnetic disturbance).

Ως αγωγή ορίζεται η παρενόχληση που προέρχεται από ένα κύκλωμα με μία ή περισσότερες ενεργές πηγές παρεμβολής, το οποίο συνδέεται με ένα άλλο κύκλωμα-δέκτη (θύμα) μέσω ενός καλωδίου ή οποιουδήποτε άλλου αγωγίμου δρόμου. Το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα τέτοιου είδους παρενόχλησης είναι το δίκτυο τροφοδοσίας χαμηλής τάσης, καθώς οι ημιτονοειδείς κυματομορφές που μεταφέρονται μέσω του δικτύου αυτού συνηθέστατα αλλοιώνονται από διάφορες αιτίες όπως οι κεραυνοί ή ακόμη και ο ηλεκτρικός θόρυβος που προέρχεται από τη λειτουργία μη γραμμικών στοιχείων των συσκευών που συνδέονται στο δίκτυο. Αυτές οι παρενοχλήσεις μεταφέρονται μέσω του δικτύου σε άλλες συσκευές, με αποτέλεσμα να μειώνεται η επίδοση λειτουργίας τους. Συνοπτικά, τα φαινόμενα αυτά περιλαμβάνουν την παρεμβολή: είτε λόγω της ύπαρξης ρευμάτων κοινού ρυθμού (common-mode currents) στους αγωγούς του κυκλώματος της συσκευής-δέκτη, είτε λόγω υψηλών αρμονικών συνιστωσών της θεμελιώδους συχνότητας λειτουργίας του ρεύματος δικτύου, είτε λόγω υπερτάσεων (surges), είτε λόγω του φαινομένου της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης (electrostatic discharge).

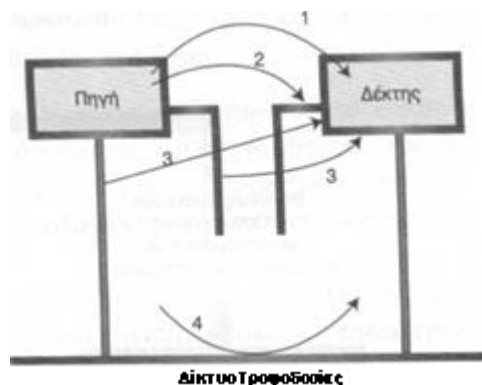
Ως ηλεκτρομαγνητική ορίζεται η παρενόχληση που προέρχεται από ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο ακτινοβολείται από μία συσκευή ή σύστημα που βρίσκεται κοντά στο θύμα. Χαρακτηριστική περίπτωση τέτοιας παρεμβολής μπορεί να θεωρηθεί το ρεύμα που επάγεται σε μια γραμμή μεταφοράς, η οποία βρίσκεται στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ενός ακτινοβολητή. Οι πηγές της ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής μπορούν περαιτέρω να διακριθούν σε φυσικές πηγές (natural sources) και σε πηγές προερχόμενες από τον άνθρωπο (human-made sources).

Οι κυριότεροι μηχανισμοί της ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής από την πηγή στο δέκτη φαίνονται στο Σχήμα 1.1 [12] και κατηγοριοποιούνται ως ακολούθως:

- 1) Άμεση ακτινοβολία από την πηγή στο δέκτη (διαδρομή 1).
- 2) Άμεση ακτινοβολία από την πηγή, η οποία λαμβάνεται από το δέκτη μέσω ενός καλωδίου τροφοδοσίας ή μετάδοσης σημάτων πληροφορίας (διαδρομή 2).

3) Ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, που οφείλεται σε ακτινοβολήση των καλωδίων μεταφοράς πληροφορίας ή τροφοδοσίας της πηγής (διαδρομή 3).

4) Αγώγιμη παρενόχληση, η οποία επάγεται στο δέκτη διαμέσου του δικτύου παροχής χαμηλής τάσης (διαδρομή 4).



Σχήμα 1.1: Μηχανισμοί ηλεκτρομαγνητικής παρενόχλησης

Στις μέρες μας τα περιστατικά παρατήρησης του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής παρενόχλησης οφείλονται κυρίως σε τέσσερις παράγοντες:

1) Στη σύγχρονη ψηφιακή επεξεργασία των σημάτων που είναι κατά κύριο λόγο βασισμένη σε σχετικά χαμηλές τιμές κατωφλίου τάσεως, συγκρινόμενη με παλαιότερες τεχνολογίες, με αποτέλεσμα τη μειωμένη ατρωσία των συσκευών που χρησιμοποιούν τη σύγχρονη τεχνολογία.

2) Στους ολοένα και στενότερους παλμούς, λόγω της απαίτησης για υψηλότερες ταχύτητες, οι οποίοι συνεισφέρουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας σε υψηλότερες φασματικές συνιστώσες, ικανές να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις του χώρου από μηχανισμούς ακτινοβολήσης.

3) Στη σύγχρονη σχεδιαστική λογική για την παραγωγή προϊόντων και διατάξεων ολοένα και μικρότερων διαστάσεων, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται προβλήματα σύζευξης μεταξύ των εσωτερικών στοιχείων του ίδιου του κυκλώματος.

4) Στην εκτεταμένη χρησιμοποίηση του φθηνού και ελαφριού πλαστικού έναντι του μετάλλου ως προστατευτικού περιβλήματος, με αποτέλεσμα την αισθητή μείωση της θωράκισης των συσκευών.

Ένα σύστημα θεωρείται ότι είναι ηλεκτρομαγνητικά συμβατό όταν ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις[11]:

- 1) Δεν προκαλεί παρεμβολή σε άλλα συστήματα.
- 2) Δεν είναι ευαίσθητο (susceptible) σε εκπομπές άλλων συστημάτων.
- 3) Δεν προκαλεί παρεμβολή στον εαυτό του.

Οι βασικές επιδιώξεις του επιστημονικού πεδίου της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας είναι δύο:

1) Η κατά το δυνατό ελαχιστοποίηση της ακτινοβολουμένης ισχύος από τις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, έτσι ώστε να μην επηρεάζουν τη λειτουργία των υπολοίπων συσκευών ή συστημάτων που βρίσκονται «κοντά» τους, και

2) Η αυξημένη ατρωσία τους σε οποιονδήποτε τύπο παρεμβολής που προέρχεται από άλλη συσκευή ή σύστημα.

Στις μέρες μας, υπό το πρίσμα της συνεχούς ανάπτυξης των τεχνολογιών πληροφορικής, και των ολοένα και μεγαλύτερων ταχυτήτων ρολογιού των υπολογιστών, η σύνδεση των ζητημάτων ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας με τα ζητήματα που σχετίζονται με την ακεραιότητα του ψηφιακού σήματος (signal integrity) καθίσταται επιβεβλημένη. Τα ζητήματα της διαλειτουργικότητας των συστημάτων και

της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας είναι επίσης στενά συνδεδεμένα και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κυρίως σε ό,τι αφορά τις ασύρματες τεχνολογίες. Τέλος, η χρησιμοποίηση των παραδοσιακών δικτύων «χαμηλών συχνοτήτων» (π.χ. δίκτυα τηλεφωνίας, μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας) για τη μετάδοση υψίσυχων σημάτων απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, ιδιαίτερα ως προς τις σχετικές με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα επιπτώσεις αυτών των εφαρμογών.[10]

### 1.3 Πρότυπα Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας

Οι συνέπειες της ηλεκτρομαγνητικής παρενόχλησης ποικίλλουν από το απλό τρεμόσβημα (flickering) της οθόνης ενός υπολογιστή, λόγω της παρουσίας ενός κινητού τηλεφώνου σε κοντινή απόσταση, έως την ασφάλεια πτήσης των αεροσκαφών και τη σύζευξη μεταξύ ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και ενός εμφυτευμένου βηματοδότη. Με κύριο σκοπό, λοιπόν, την προστασία του καταναλωτικού κοινού, του περιβάλλοντος αλλά και τη διαφύλαξη του υγιούς ανταγωνισμού μεταξύ των εταιρειών, οι κυβερνήσεις όλων των ανεπτυγμένων χωρών θέσπισαν Πρότυπα Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας για το σύνολο σχεδόν των συσκευών. Τα πρότυπα αναφέρουν τις συσκευές που εμπίπτουν σε αυτά και περιγράφουν τα όρια, τη διάταξη και την ακριβή διαδικασία μετρήσεων. Τα πρότυπα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τα *γένικα*, τα *βασικά* και τα *πρότυπα προϊόντος*.

Τα **γένικα πρότυπα** έχουν ευρεία εφαρμογή και δε σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο προϊόν ή οικογένεια προϊόντων. Τα πρότυπα αυτά προορίζονται να παρουσιάσουν τις θεμελιώδεις απαιτήσεις συμβατότητας όλων σχεδόν των προϊόντων και χωρίζονται περαιτέρω σε πρότυπα αρωσίας (immunity) και εκπομπής (emission). Σε περιπτώσεις που υπάρχουν πρότυπα για ένα συγκεκριμένο προϊόν, αυτά εφαρμόζονται σε προτεραιότητα έναντι του γένιου προτύπου.

Τα **βασικά πρότυπα** είναι εξ ολοκλήρου αφιερωμένα σε θέματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας ευρύτερου ενδιαφέροντος και λαμβάνονται υπόψη από τις επιτροπές που αναπτύσσουν πρότυπα προϊόντος.

Τα **πρότυπα προϊόντος** έχουν συνήθως όρια παρόμοια με αυτά που έχουν θεσπιστεί για τα γένια πρότυπα και μεθόδους μετρήσεων παρόμοιες με αυτές των βασικών προτύπων.

#### 1.3.1 Προτυπα για Εμπορικές Εφαρμογές

Οι προδιαγραφές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας συντάσσονται από διεθνείς και Ευρωπαϊκούς οργανισμούς.

Ο κυριότερος διεθνής οργανισμός είναι η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC: International Electrotechnical Commission). Η IEC έχει δύο επιτροπές που ασχολούνται με τα θέματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας:

- Την επιτροπή TC 77, «Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα μεταξύ συσκευών που περιλαμβάνουν και δίκτυα», και
- Την επιτροπή CISPR (International Special Committee on Radio Interference), «Ειδική Διεθνής Επιτροπή Ραδιο-Παρεμβολών».

Μερικά ειδικά πρότυπα έχουν εκδοθεί επίσης από τον Διεθνή Οργανισμό Προτυποποίησης (ISO: International Organization for Standardization), και την Διεθνή



Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU: International Telecommunications Union) για τον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό.

Στην Βόρεια Αμερική, τα πρότυπα εκδίδονται κατά βάση από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC: Federal Communications Commission), το Αμερικανικό Ινστιτούτο Εθνικών Προτύπων (ANSI: American National Standards Institute), και το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers). Επίσης, πρότυπα εκδίδονται από την πρώην Bellcore (πλέον Telcordia) για τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό, από την Ένωση Μηχανικών Αυτοκινήτων (SAE: Society of Automotive Engineers), και από κατασκευαστές αυτοκινήτων.

Τα Ευρωπαϊκά πρότυπα που αναφέρονται στην ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα αναπτύσσονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Ηλεκτροτεχνική Προτυποποίηση (CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization). Κανονισμοί και πρότυπα που αναφέρονται σε τηλεπικοινωνιακό και ασύρματης μετάδοσης εξοπλισμό δημοσιεύονται από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI: European Telecommunications Standards Institute). Η CENELEC και το ETSI χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα των διεθνών οργανισμών (IEC, CISPR) ως βάση για την προετοιμασία των Ευρωπαϊκών προδιαγραφών. Τα πρότυπα της CENELEC συνήθως έχουν το πρόθεμα EN και έχουν δεσμευτικό χαρακτήρα για τα κράτη μέλη που συμμετέχουν (η Ελλάδα είναι μέλος από το 1980).

Τα βασικά κείμενα της IEC (και CISPR) είναι οι σειρές IEC 1000 και CISPR 16. Τα κύρια μέρη της σειράς IEC 1000 συνοψίζονται στον Πίνακα 1.1

<b>Μέρη</b>	<b>Περιεχόμενα</b>
<b>Μέρος 1</b>	Γενικά Γενικές θεωρήσεις (εισαγωγή, βασικές αρχές, ασφάλεια) Ορισμοί, ορολογία
<b>Μέρος 2</b>	Περιβάλλον Περιγραφή του περιβάλλοντος Ταξινόμηση του περιβάλλοντος Επίπεδα συμβατότητας
<b>Μέρος 3</b>	Όρια Όρια εκπομπών Όρια ατρωσίας
<b>Μέρος 4</b>	Τεχνικές ελέγχου και μετρήσεων Τεχνικές μετρήσεων Τεχνικές ελέγχου
<b>Μέρος 5</b>	Οδηγίες εγκατάστασης και μετριάσμού Οδηγίες εγκατάστασης Οδηγίες και συσκευές μετριάσμού
<b>Μέρος 6</b>	Γενικά πρότυπα
<b>Μέρος 9</b>	Διάφορα

Πίνακας 1.1 : Κύρια Μέρη IEC 1000

Η σειρά CISPR 16 αποτελείται από κείμενα που καθορίζουν τον εξοπλισμό και τις μεθόδους για τη μέτρηση των διαταραχών και της ατρωσίας σε αυτές σε συχνότητες πάνω από 9 kHz. Στον Πίνακα 1.2, παρατίθεται η δομή της σειράς CISPR 16

Μέρη	Περιεχόμενα
<b>CISPR 16-1</b>	Αποτελείται από 5 μέρη και καθορίζει συσκευές μέτρησης τάσης, ρεύματος και πεδίου για διαταραχές ευρείας και στενής ζώνης, συμπεριλαμβανομένων προδιαγραφών για ειδικό εξοπλισμό που απαιτείται για τη μέτρηση ασυνεχών διαταραχών
<b>Μέρος 1-1</b>	Συσκευές μέτρησης
<b>Μέρος 1-2</b>	Επικουρικός εξοπλισμός- Αγώγιμες διαταραχές
<b>Μέρος 1-3</b>	Επικουρικός εξοπλισμός- Διαταραχή ισχύος
<b>Μέρος 1-4</b>	Επικουρικός εξοπλισμός- Ακτινοβολούμενες διαταραχές
<b>Μέρος 1-5</b>	Πεδία ελέγχου για διακρίβωση κεραιών για συχνότητες από 30 MHz έως 1 000 MHz
<b>CISPR 16-2</b>	Αποτελείται από πέντε μέρη και καθορίζει τις μεθόδους για τη μέτρηση φαινομένων ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας υψηλής συχνότητας και αντιμετωπίζει τόσο τις διαταραχές όσο και την ατρωσία.
<b>Μέρος 2-1</b>	Μετρήσεις αγώγιμων διαταραχών
<b>Μέρος 2-2</b>	Μέτρηση διαταραχής ισχύος
<b>Μέρος 2-3</b>	Μετρήσεις ακτινοβολούμενων διαταραχών
<b>Μέρος 2-4</b>	Μετρήσεις ατρωσίας
<b>Μέρος 2-5</b>	Μετρήσεις πεδίου (in situ) για ενοχλητικές εκπομπές που παράγονται από φυσικώς μεγάλο εξοπλισμό.
<b>CISPR 16-3</b>	Πρόκειται περισσότερο για μια μη κανονιστική Τεχνική Αναφορά παρά για ένα Διεθνές Πρότυπο που περιέχει τεχνικές αναφορές και πληροφορίες σχετικά με την ιστορία του CISPR.
<b>CISPR 16-4</b>	Αποτελείται από πέντε μέρη και περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με αβεβαιότητες, στατιστικά και μοντελοποίηση ορίων.
<b>Μέρος 4-1</b>	Αβεβαιότητες σε τυποποιημένους ελέγχους ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας
<b>Μέρος 4-2</b>	Αβεβαιότητα σε μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας
<b>Μέρος 4-3</b>	Στατιστικές θεωρήσεις στον καθορισμό της συμμόρφωσης ως προς την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα των μαζικώς παραγόμενων προϊόντων
<b>Μέρος 4-4</b>	Στατιστικά των παραπόνων και ένα μοντέλο για τον υπολογισμό των ορίων
<b>Μέρος 4-5</b>	Συνθήκες για τη χρήση εναλλακτικών μεθόδων ελέγχου

Πίνακας 1.2: Κύρια μέρη CISPR 16

### 1.3.2 Προτυπα για Στρατιωτικές Εφαρμογές

Το στρατιωτικό περιβάλλον είναι πολλές φορές πιο απαιτητικό από το πολιτικό, και για το λόγο αυτό τα πολιτικά πρότυπα δεν είναι πάντοτε κατάλληλα για στρατιωτικές εφαρμογές. Οι προδιαγραφές είναι ένας συμβιβασμός ανάμεσα στο κόστος και την επίδοση. Σε ένα πολύ σύνθετο σύστημα μπορεί να είναι αδύνατο να αποδειχθεί πλήρης συμβατότητα. Σε αυτή την περίπτωση, ο πελάτης καλείται να αποφασίσει ποιοι επιπρόσθετοι συμβιβασμοί πρέπει να γίνουν.

Οι στρατιωτικοί οργανισμοί έχουν καθορίσει τις δικές τους προδιαγραφές για διάστημα πολλών ετών, με περιορισμένη, αν όχι καθόλου, συνεργασία με τη βιομηχανία. Ο χρόνος σχεδιασμού, ανάπτυξης και χρήσης ενός στρατιωτικού εξοπλισμού φθάνει συνήθως τα 35 χρόνια. Κατά συνέπεια, ακόμη και αν σήμερα γινόταν αποδεκτό ένα κοινό πρότυπο, θα περνούσαν 35 χρόνια για να αποσυρθεί και ο τελευταίος εξοπλισμός, ο οποίος σχεδιάστηκε με κάποιες άλλες προδιαγραφές.

Καθώς λοιπόν τα πρότυπα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας αποτελούν ένα συμβιβασμό μεταξύ απαιτήσεων σε εκπομπές, ατρωσία, μέγεθος, βάρος, κ.λπ., και έχουν αναπτυχθεί κυρίως εμπειρικά, μια σε βάθος σύγκριση δεν είναι εύκολη να γίνει για τα ελληνικά δεδομένα. Για το λόγο αυτό θα γίνει μια συνοπτική αναφορά στα κυριότερα πρότυπα στην Αμερική, δεδομένου ότι και η πλειονότητα των στρατιωτικών κανονισμών της Ελλάδας βασίζεται σε αμερικανικά πρότυπα.

Στη δεκαετία του 1950 και μέχρι το 1965, κάθε μεγάλη στρατιωτική υπηρεσία επέβαλε τις δικές της προδιαγραφές EMC στην προμήθεια των ηλεκτρονικών συστημάτων και του εξοπλισμού. Για παράδειγμα στις ΗΠΑ, η Πολεμική Αεροπορία χρησιμοποιούσε το MIL-1-6181 και το MIL-1-26600, το Πολεμικό Ναυτικό χρησιμοποιούσε το MIL-1-16910 και ο Στρατός χρησιμοποιούσε το MIL-1-11748 και MIL-E-55301 (EL). Οι προδιαγραφές αυτές περιόριζαν τα επίπεδα των επαγόμενων και ακτινοβολούμενων εκπομπών EMI και έθεταν επίπεδα ευαισθησίας τα οποία τα συστήματα και ο εξοπλισμός, πρέπει να απορρίψουν. Οι προδιαγραφές που καθορίστηκαν, έθεσαν επίσης, τη ρύθμιση των παραμέτρων των δοκιμών και τεχνικών, που απαιτούνται για να αποδειχθεί η συμμόρφωση με τις σχετικές απαιτήσεις.

Η πρώτη προσπάθεια για την έκδοση προδιαγραφών που θα είναι αποδεκτές από όλους τους κλάδους της κυβέρνησης ήταν η δημοσίευση του MIL-STD-826 [1] τον Ιανουάριο του 1964. Το έγγραφο αυτό παρουσίαζε ένα νέο σύνολο ορίων. Ωστόσο, η προσπάθεια αυτή δεν απέδωσε και το MIL-STD-826 χρησιμοποιήθηκε μόνο από την USAF.

Το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ (DoD), θέσπισε ένα ολοκληρωμένο αμυντικό πρόγραμμα συμβατότητας ραδιοσυχνοτήτων (που αργότερα μετονομάστηκε σε πρόγραμμα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας) που επικεντρώθηκαν οι στρατιωτικές υπηρεσίες για να παρασχεθούν τα μέσα μέσω των οποίων η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα θα έπρεπε να ενσωματωθεί στις στρατιωτικές επικοινωνίες και ηλεκτρονικό εξοπλισμό κατά το στάδιο της έρευνας και της ανάπτυξης. Το 1966, το προσωπικό EMC από τα τρία στρατιωτικά τμήματα συνέταξαν από κοινού πρότυπα αντιμετώπισης των αναγκών μείωσης παρεμβολής του συνόλου του Υπουργείου Άμυνας. Η προσπάθεια αυτή κορυφώθηκε το 1967 με την έκδοση των Στρατιωτικών Προτύπων 461, 462 και 463. Ως αποτέλεσμα, περίπου 20 βασικές και δευτερεύουσες προδιαγραφές είχαν αντικατασταθεί. Το πρότυπο 461 επικεντρώθηκε σχετικά με τις απαιτήσεις και το πρότυπο 462 καθόρισε μεθοδολογία μέτρησης. Ορισμοί και ακρωνύμια συμπεριλήφθηκαν στο πρότυπο 463. Μία σημαντική αναθεώρηση κρίθηκε αναγκαία και το MIL-STD-461A [2] εκδόθηκε τον Αύγουστο του 1968. Το MIL-STD-461 έγινε αποδεκτό από τις κοινές υπηρεσίες και χρησιμοποιήθηκε επίσης από πολλές άλλες χώρες. Τελικά, οι διάφορες στρατιωτικές υπηρεσίες (Στρατός, Πολεμική Αεροπορία και Ναυτικό) βρήκαν πολλά στοιχεία που δεν τους ικανοποιούσαν και ως εκ τούτου πολλές αναθεωρήσεις εκδόθηκαν από κάθε μία από τις 3 υπηρεσίες μέχρι το 1989.

Μια προσπάθεια ξεκίνησε το 1990 από την Επιτροπή EMC των 3 υπηρεσιών, για να ετοιμάσει μια ενημερωμένη έκδοση του MIL-STD-461 και MIL-STD-462 [5]. Το MIL-STD-463 [3] αποσύρθηκε και οι ορισμοί αναφέρθηκαν στο κείμενο C63.14 «Πρότυπο Λεξικό για τις Τεχνολογίες της Ηλεκτρομαγνητικής Συμβατότητας (EMC), Ηλεκτρομαγνητικών Παλμών (EMP) και Ηλεκτροστατικής Εκκένωσης (ESD)» του Αμερικανικού Εθνικού Ινστιτούτου Προτύπων (ANSI) [4]. Από το 1970 το προσωπικό EMC του Αμερικανικού Στρατού, Ναυτικού και Πολεμικής Αεροπορίας έχει περιοδικά συνεργασθεί και αναβαθμίσει τα MIL-STD-461 και 462. Η προτελευταία αναθεώρηση (1999), κωδικοποίησε τα 2 πρότυπα (Όρια και Μέθοδοι μέτρησης) σε ένα πρότυπο, το MIL-STD-461E «Απαιτήσεις για τον Έλεγχο των Χαρακτηριστικών

Ηλεκτρομαγνητικής Παρεμβολής των Υποσυστημάτων και Εξοπλισμού» [7]. Αυτή η έκδοση ήταν ένα πρότυπο «διασύνδεσης» των απαιτήσεων για την παροχή εύλογης βεβαιότητας (κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης) ότι ένα σύστημα, υποσύστημα ή ο εξοπλισμός θα είναι συμβατός με το αναμενόμενο ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον του.

Το τεχνικό έργο ολοκληρώθηκε το Νοέμβριο του 1992. Τα δύο έγγραφα, δηλαδή τα MIL-STD-461 και MIL-STD-462D, δημοσιεύθηκαν τον Ιανουάριο του 1993. Οι εργασίες για το MIL-STD-461E ολοκληρώθηκαν το 1999. Οι βασικές έννοιες από τα πρότυπα 461 υιοθετήθηκαν από διάφορους μη στρατιωτικούς οργανισμούς των ΗΠΑ και επηρέασαν επίσης εθνικές και διεθνείς προσπάθειες τυποποίησης. Η τελευταία αναθεώρηση, το MIL-STD-461F εκδόθηκε τον Δεκέμβριο του 2008. Το MIL-STD-461F [9] είναι μια δοκιμή σε επίπεδο συστήματος που καθορίζει τις απαιτήσεις EMC και τα όρια με βάση την επιχειρησιακή πλατφόρμα για την ανάπτυξη (επιφάνειες πλοίων, αεροσκάφη, κλπ) και τη θέση για την υπόψη πλατφόρμα (εσωτερική ή εξωτερική).

Μολονότι το πρότυπο MIL-STD-461 υπηρετεί τις ανάγκες του στρατού, για να διασφαλιστεί το επίπεδο EMC εξαρτήματος ή συστήματος, το πρότυπο δεν σχεδιάστηκε για να αξιολογήσει ή να πιστοποιήσει την EMC εντός του συστήματος ή μεταξύ συστημάτων. Το υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ αναγνώρισε την ανάγκη για την ύπαρξη ενός προτύπου, προκειμένου να διεξάγονται αυτές οι εκτιμήσεις επιπέδου EMC στις πλατφόρμες. Ως αποτέλεσμα, μια σειρά από απαιτήσεις θεσπίστηκαν και αναθεωρήθηκαν κατά τη διάρκεια των ετών, συμπεριλαμβανομένων σχετικών προτύπων, με τελικό αποτέλεσμα την έκδοση του προτύπου MIL-STD-464 το 1997 [6], το οποίο επικαιροποιήθηκε με το MIL-STD-464A το 2002 και με το MIL-STD-464B στο τέλος του 2009. Συγκεκριμένα υπήρξαν αναθεωρήσεις, στις απαιτήσεις του MIL-STD-464A, στα κριτήρια επαλήθευσης και στα καθήκοντα αναδόχου για την προστασία των εναέριων, επίγειων και υποστηρικτικών συστημάτων από ηλεκτρομαγνητικές περιβαλλοντολογικές επιδράσεις (E3). Τα αποτελέσματα αυτά περιλαμβάνουν EMC και EMI καθώς και κεραυνούς, στατικό ηλεκτρισμό και επιδράσεις από ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς. Το πρότυπο προορίζεται για ολοκληρωμένα συστήματα και πλατφόρμες, τόσο των νέων όσο και των τροποποιημένων και καθορίζει την ικανότητά τους να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των λειτουργικών επιδόσεων.

Λόγω προβλημάτων στην ψηφιακή διαδικασία έκδοσης, το MIL-STD-464B της 1ης Οκτωβρίου του 2010 καταργήθηκε και το MIL-STD-464C [9] με ημερομηνία έκδοσης την 1η Δεκεμβρίου 2010. Δεν υπάρχουν τεχνικές αλλαγές μεταξύ των 2 προτύπων, συνεπώς η αναθεωρημένη έκδοση του MIL-STD-464A είναι το MIL-STD-464C. Οι αναθεωρήσεις A και C του προτύπου MIL-STD-464 βελτίωσαν την αρχική έκδοσή του, αλλά αποτελούν εξελικτικές και όχι επαναστατικές αλλαγές. Το MIL-STD-464C έχει πολλές αλλαγές, χωρίς όμως να υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις με το MIL-STD-464A.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων επτά δεκαετιών, τα αμερικανικά στρατιωτικά πρότυπα EMC έχουν εξελιχθεί από μια απλή αρχή, προκειμένου να συμβαδίζουν με την «έκρηξη της τεχνολογίας» και το επακόλουθο περίπλοκο ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον. Οι απαιτήσεις (όρια) των προτύπων MIL-STD-461, MIL-STD-462 και MIL-STD-464 αναπτύχθηκαν από ένα σύνολο εμπειρογνομόνων της κυβέρνησης των ΗΠΑ και του βιομηχανικού κλάδου κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες.

Ωστόσο, η ανάπτυξη των EMC προδιαγραφών δεν ολοκληρώνεται δεδομένου ότι η τεχνολογία απαιτεί συνεχώς αλλαγές της συμβατότητας. Από τα μέσα της δεκαετίας του 90', η επιτροπή E3 προτύπων της αμυντικής βιομηχανίας των ΗΠΑ, προσπαθεί να βρει μια συμβιβαστική λύση μεταξύ της πολιτικής του Υπουργείου

Άμυνας να χρησιμοποιεί εμπορικά πρότυπα EMC όποτε είναι δυνατόν και της χρήσης των στρατιωτικών προτύπων. Παρόλα αυτά το μέχρι τώρα έργο καταδεικνύει ότι υπάρχει πολύ περιορισμένη επικάλυψη των στρατιωτικών έναντι των εμπορικών απαιτήσεων EMC. Οι στρατιωτικές απαιτήσεις EMC αφορούν μικρές μεταλλικές πλατφόρμες με μοναδικές απαιτήσεις που διαφέρουν από τις εμπορικές ανάγκες.

## 2. Η Διαστημική Αποστολή THOR

### 2.1 Ιστορικό

Το πρόγραμμα Cosmic Vision 2015-2025 βρίσκεται στη διαδικασία επιλογής της M4 (μεσαίου μεγέθους) διαστημικής αποστολής από τρεις προτεινόμενες. Μία Επιτροπή επιλογής έχει οριστεί προκειμένου να κατανοήσει καλύτερα τις τεχνικές λύσεις, τους κινδύνους, τους προγραμματιστικούς περιορισμούς και τα κόστη που σχετίζονται με τις προτεινόμενες αποστολές.

Η εκπόνηση της μελέτης της διαστημικής αποστολής πραγματοποιήθηκε μετά από πρόταση ενδιαφέροντος της SRE-FM και τη χρηματοδότηση από τη GSP (General Studies Program). Στόχος της αποστολής είναι η εξερεύνηση της φυσικής πλάσματος με επίκεντρο τη θέρμανσή του και την επακόλουθη διάχυση της ενέργειας, περιλαμβάνοντας την αλληλεπίδραση του ηλιακού ανέμου με το μαγνητικό πεδίο της γης. Η παραπάνω αποστολή είναι γνωστή ευρύτερα με την ονομασία THOR (Turbulence Heating Observer).

Η μελέτη THOR CDF [17] πραγματοποιήθηκε σε 8 στάδια. Ημερομηνία έναρξης της μελέτης ορίστηκε η 8 Ιουνίου 2015 με εσωτερική τελική παρουσίαση την 9 Ιουλίου του ίδιου έτους. Μεγάλος αριθμός ειδικών από την ESTEC και τη ESOC έλαβαν μέρος σε πολλές συνεδρίες. Η έρευνα επωφελήθηκε και από αποτελέσματα προηγούμενων αποστολών όπως η MMS (Magnetospheric Multiscale Mission) και η CLUSTER mission.

### 2.2 Σκοπός

Στόχος του διαστημικού προγράμματος THOR αποτελεί η εξερεύνηση της ενεργοποίησης του πλάσματος στις διαταραχές του διαστήματος, δηλαδή, πώς το πλάσμα θερμαίνεται και τα σωματίδια επιταχύνονται, πώς η διαχέουσα ενέργεια διαχωρίζεται και πώς η διάχυση λειτουργεί σε διαφορετικές τυρβώδεις συνθήκες. Με γνώμονα τα παραπάνω, ορίστηκαν τα παρακάτω αντικείμενα της μελέτης :

- Παγίωση των απαιτήσεων της αποστολής.
- Προετοιμασία ενός προκαταρκτικού σχεδιασμού του διαστημοπλοίου και υποστήριξη του σχεδιασμού με ανάλυση των απαιτούμενων υποσυστημάτων.
- Παρουσίαση ενός προκαταρκτικού χρονοδιαγράμματος.
- Παρουσίαση ανάλυσης κόστους και κινδύνων της αποστολής.
- Εξέταση της εγκατάστασης του φορτίου στο διαστημόπλοιο.
- Εκτέλεση των σχετικών trade-offs, με έμφαση στο EMC, στη ακτινοβολία περιβάλλοντος, στο πλήθος των στοιχείων λήψης.

Η αποστολή THOR θα απαντήσει σε θεμελιώδεις ερωτήματα πραγματοποιώντας λεπτομερείς επί τόπου (in situ) μετρήσεις του κοντινότερα

διαθέσιμου αραιωμένου και τυρβώδους (turbulent) μαγνητικού πλάσματος σε πρωτοφανή χρονική και χωρική ανάλυση.

## 2.3 Αντικείμενα Αποστολής

### 2.3.1 Ιστορικό

Η κατανόηση της βασικής διαδικασίας του πλάσματος (θέρμανση και ενεργοποίηση) σε τυρβώδη μαγνητικό πλάσμα θα οδηγήσει στην καλύτερη κατανόηση της εξέλιξης του σύμπαντος. Η διαστημική αποστολή THOR είναι η πρώτη αποστολή επικεντρωμένη στο τυρβώδες πλάσμα. Ένα διαστημικό σκάφος για πρώτη φορά θα μεταφέρει φορτίο κατάλληλο για την εξερεύνηση της ενεργοποίησης του πλάσματος, με όργανα τόσο για το πεδίο όσο και για τα σωματίδια. Γεγονός, το οποίο θα επιτρέπει την ταυτόχρονη ανάλυση τόσο των τυρβωδών διακυμάνσεων του πλάσματος όσο και των επακόλουθων της ενεργοποίησης του.

### 2.3.2 Αντικείμενα Έρευνας

Η διάχυση της ενέργειας των τυρβωδών διακυμάνσεων στο πλάσμα είναι ο παράγοντας κλειδί της θέρμανσης και ενεργοποίησης του. Η αποστολή THOR θα διερευνήσει τους μηχανισμούς και θα αντιμετωπίσει το θεμελιώδες επιστημονικό θέμα « τυρβώδης διάχυση της ενέργειας και σωματιδιακή ενεργοποίηση». Η έρευνα λοιπόν θα ασχοληθεί με τα ακόλουθα αντικείμενα:

- Κατανόηση της διαδικασίας θέρμανσης και σωματιδιακής επιτάχυνσης λόγω τυρβωδών διακυμάνσεων.
- Κατανόηση του διαχωρισμού της διαχέουσας ενέργειας μεταξύ της θέρμανσης και της επιτάχυνσης.
- Κατανόηση λειτουργίας της διάχυσης σε διαφορετικές τυρβώδεις συνθήκες.

### 2.3.3 Βασικές Απαιτήσεις Αποστολής

- ✓ MIS-R-005: Η αποστολή θα πρέπει να εκτελέσει τουλάχιστον:
  - (1) 50 ψευδο παράλληλες δονήσεις διέλευσης.
  - (2) 20 ψευδο κάθετες δονήσεις διέλευσης.
  - (3) 100 ώρες σε αργό ηλιακό άνεμο.
  - (4) 50 ώρες σε γρήγορο ηλιακό άνεμο.
  - (5) 50 ώρες σε μπροστινές δονήσεις.
  - (6) 100 ώρες σε magnetosheath πίσω από ψευδο παράλληλες δονήσεις.
  - (7) 20 ώρες σε magnetosheath ψευδο κάθετων δονήσεων.
- ✓ MIS-R-025: Η αποστολή θα σχεδιασθεί για διάρκεια ζωής 3 χρόνων.
- ✓ MIS-R-050: Η αποστολή θα είναι σύμφωνη με εκτόξευση με το Ariane 6.2 από το Κουργου
- ✓ MIS-R-050: Η αποστολή θα είναι σύμφωνη με εκτόξευση με το Soyuz (εφεδρικός) από το Κουργου.
- ✓ MIS-R-060: Η αποστολή θα είναι σύμφωνη με εκτόξευση το 2026.

- ✓ MIS-R-065: Το τμήμα του χώρου παραγόμενων EM πεδίων πρέπει να είναι κάτω από την ανάλυση και τα κατώφλια μετρήσεων του φορτίου.

## 2.4 Φορτίο Οργάνων Αποστολής

### 2.4.1 Εισαγωγή

Τα όργανα μετρήσεων της αποστολής THOR έχουν εναρμονισθεί πλήρως με τις προδιαγραφές της. Γενικά τα όργανα μέτρησης λαμβάνουν υπόψη πληροφορίες βασισμένες σε προγενέστερες αποστολές, ειδικά της ESAs Cluster mission ή άλλες τρέχουσες που είναι σε εφαρμογή όπως η JUICE και Solar Orbiter.

Ένα τυπικό χαρακτηριστικό του σχεδιασμού του φορτίου είναι ότι τα όργανα μέτρησης είναι συγκεντρωμένα και υποστηρίζονται από μία κοινή μονάδα υποστήριξης. Διακρίνονται σε όργανα «πεδίου» (ηλεκτρικό - μαγνητικό πεδίο) και σε όργανα «σωματιδίων» (ηλεκτρόνια και ιόντα), έχοντας τις δικές τους μονάδες διοίκησης και επεξεργασίας δεδομένων.

### 2.4.2 Ηλεκτρομαγνητική Καθαρότητα Αποστολής

Η παρουσίαση μετρήσεων εξαιρετικής ακρίβειας ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου εντός και εκτός της μαγνητόσφαιρας της γης αποτελεί το βασικό στόχο της αποστολής. Είναι γνωστό ότι όλες οι μετρήσεις επηρεάζονται έντονα από το επαγόμενο πεδίο που προκαλείται από το ίδιο το διαστημόπλοιο. Η βασική πηγή αυτών των διαταραχών είναι όλα τα ηλεκτρικά ελεγχόμενα υποσυστήματα του διαστημοπλοίου και τα όργανά. Συνεπώς όλες αυτές οι πηγές απαιτούν ακριβή γνώση και αυστηρή μείωση των ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών τους.

Η επίτευξη των επιστημονικών στόχων οδήγησε στις ακόλουθες τρεις απαιτήσεις για την ηλεκτρομαγνητική καθαρότητα που διατυπώθηκαν όπως παρακάτω:

#### (1) Χαμηλή συχνότητα μαγνητικής καθαρότητας

Το συνολικό μαγνητικό πεδίο του διαστημοπλοίου θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί (<5nT) και να χαρακτηριστεί κατάλληλα στο έδαφος. Αργές μεταβολές (μεγαλύτερες της 1 ώρας) στο μαγνητικό πεδίο του διαστημοπλοίου πρέπει να περιορισθούν στο 0.5 nT από κορυφή σε κορυφή, ενώ μεσαίες μεταβολές (από 1 sec μέχρι 1 ώρα) στα 10 pT από κορυφή σε κορυφή.

#### (2) Ηλεκτροστατική Καθαρότητα

Διαφορετικής φόρτισης επιφάνειες του διαστημοπλοίου πρέπει να ελαχιστοποιηθούν ώστε να επιτρέπουν DC μετρήσεις ηλεκτρικού πεδίου από το EFI. Η τάση μεταξύ δύο οποιοδήποτε σημείων στη επιφάνεια του διαστημοπλοίου θα πρέπει να είναι το πολύ 1V.

#### (3) AC ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές

Οι ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές, τόσο από τα συστήματα του διαστημοπλοίου όσο και από τα όργανα μέτρησης, στο φάσμα συχνοτήτων των οργάνων EFI, MAG και SCM (DC στα 250 KHz) πρέπει να ελαχιστοποιηθούν και να ελεγχθούν. Οι συχνότητες των Η/Μ εκπομπών που υπερβαίνουν το επίπεδο θορύβου των οργάνων του THOR

πρέπει να σταθεροποιηθούν και να συγχρονιστούν σε όσο το δυνατόν πιο λίγες διακριτές συχνότητες.

### 2.4.3 Κατάλογος οργάνων Αποστολής

- (1)MAG (DC Magnometer)
- (2)SCM (Search- Coil Magnometer)
- (3)EFI (Electric Field Instrument)
- (4)FWP (Fields and Waves Professor)
- (5)FAR (Faraday Cup)
- (6)CSW (Cold Solar Wind)
- (7)ESA (TEA) (Electro-Static Analyzer)
- (8)IMS (Ion Mass Spectrometer)
- (9)EPE (Energetic Particle Experiment)
- (10)PPU (Particle Processing Unit)
- (11)Harness (Καλωδίωση)

Το βασικό μοντέλο των οργάνων μέτρησης της αποστολής THOR περιλαμβάνει DC και AC Μαγνητόμετρα (MAG, SCM) με 4 wire probe antennas και 3 orthogonal (ορθογώνιες) διπολικές κεραιές για να μετράνε 3D DC και AC ηλεκτρικά πεδία Όλες οι μετρήσεις από τους ηλεκτρομαγνητικούς αισθητήρες των οργάνων θα υποβάλλονται σε επεξεργασία από ειδικές ηλεκτρονικές μονάδες που περιέχονται εντός του οργάνου FWP.

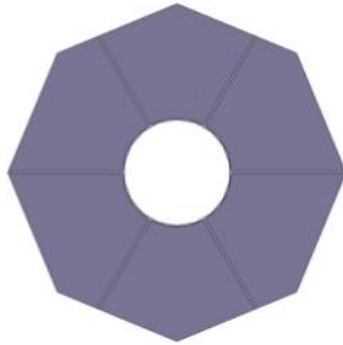
Η αποστολή THOR θα μεταφέρει προηγμένα όργανα αναγνώρισης σωματιδίων, σχεδιασμένα να επιτρέπουν μετρήσεις πολύ υψηλής ανάλυσης χρόνου. Το όργανο Faraday Cup (FAR) μετρά την θερμοκρασία των ιόντων και την ροή της ταχύτητας , ενώ η θερμοκρασία των ηλεκτρονίων και η πυκνότητα προέρχονται από τα δεδομένα ηλεκτρικού κύματος που παράγονται από το FWP. Οι 3D λειτουργίες διανομής των σωματιδίων (ιόντων και ηλεκτρονίων) μετριοούνται χρησιμοποιώντας ηλεκτροστατικούς αναλυτές (ESA και IMS).

Το όργανο IMS θα επιτρέπει τον επιμέρους διαχωρισμό ειδών ιόντων σε πολύ υψηλή ανάλυση χρόνου. Ο αναλυτής ηλεκτρονίων ESA θα δοκιμάσει τη θερμική διάχυση ηλεκτρονίων σε πολύ υψηλό ρυθμό ενώ τα μεγαλύτερης ενέργειας (suprathermal) ηλεκτρόνια σε χαμηλότερο ρυθμό. Ένα ειδικό όργανο CSW θα συμπεριληφθεί για να παρέχει μετρήσεις βελτιστοποιημένης υψηλής ανάλυσης των παρασυρόμενων κρύων ιόντων ηλιακού ανέμου.

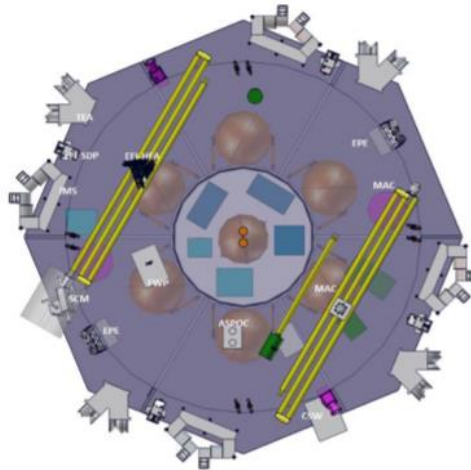
Τα δεδομένα που μετρούνται από τους αναλυτές IMS, ESA και CSW θα επεξεργάζονται από μια κοινή ψηφιακή μονάδα επεξεργασίας (PPU) για να ανακατασκευάζει τις λειτουργίες διανομής των σωματιδίων και να υπολογίζει τις ροπές. Υψηλότερης ακόμη ενέργειας ηλεκτρόνια και ιόντα παρακολουθούνται από ανιχνευτή στερεάς κατάστασης EPE σε χαμηλότερη χρονική ανάλυση. Το συνολικό βάρος των οργάνων μέτρησης ανέρχεται στα 144,25 Kg και η συνολική ισχύς στα 151,20 W.



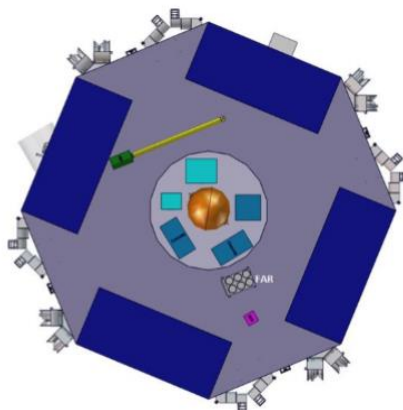
- THOR είναι ένα spinning διαστημόπλοιο. Η δομή του είναι αξονοσυμμετρική.
- Υπάρχουν 2 MAG τοποθετημένα σε ένα boom κάτω από το bottom panel.
- Το SCM είναι τοποθετημένο στο τέλος του δεύτερου boom.
- Το EFI έχει 2 διακριτά μέρη. Το όργανο EFI-SDP (Spin Plane Double) και το όργανο EFI-HFA (High Frequency Antenna).
- Το ESA(TEA) βρίσκεται κυκλικά του top panel 4 στο αριθμό.
- Το CSW πρέπει να είναι προσανατολισμένο στο ήλιο.
- Το IMS βρίσκεται κυκλικά του sun panel 4 στο αριθμό
- Το FAR βρίσκεται στην κορυφή του top panel
- EPE υπάρχουν 2 ένα σε κάθε πλευρά του διαστημοπλοίου
- Το FWP είναι κάτω από το bottom panel συλλέγει δεδομένα από MAG/SCM/HFA
- Το PPU βρίσκεται πάνω στο shadow platform συλλέγει δεδομένα από TEA/IMS/CSW



Σχήμα 2.1:Επάνω επίπεδο Πλατφόρμας+ Θέσεις Διάτμησης panel



Σχήμα 2.2:Θέσεις Οργάνων-Κάτω μέρος panel



Σχήμα 2.3:Θέσεις Οργάνων-Επάνω μέρος panel

## 2.5 Μηχανισμοί Αποστολής THOR

### 2.5.1 Απαιτήσεις και Οδηγοί Σχεδιασμού

Καμία συγκεκριμένη απαίτηση, που να είναι εφαρμόσιμη στους μηχανισμούς, δεν έχει ταυτοποιηθεί. Οι εισηγήσεις της μαγνητικής καθαρότητας προτείνουν αποφυγή ή περιορισμό μηχανισμών ειδικά κινητήρων, ηλεκτρονόμων (ρελέ) και βαλβίδων.

Ο βασικός σχεδιασμός που ταυτοποιήθηκε περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

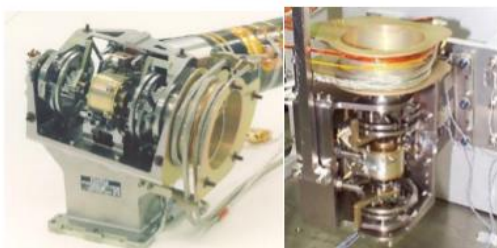
- Το μήκος των βραχιόνων (booms) μεγαλύτερο από 5m ώστε να συμμορφωθεί με τις απαιτήσεις της μαγνητικής καθαρότητας.
- Ο αριθμός των οργάνων που τοποθετούνται στους βραχιόνες και οι διαστάσεις των οργάνων έχουν επίδραση στο σχεδιασμό των βραχιόνων.
- Ο διαθέσιμος χώρος στο διαστημόπλοιο για τη διανομή των μαγνητόμετρων στα boom και η παρουσία κεραιών στα boom θα έχει αντίκτυπο στο σχεδιασμό των μαγνητόμετρων στα boom. Δεδομένου ότι το μήκος των booms είναι περίπου 6.3m, υπάρχει ανάγκη να έχουν 3 τμήματα για να φιλοξενηθούν στο bottom panel του διαστημοπλοίου.

### 2.5.2 Μηχανισμός Βραχίονα (Boom) Μαγνητόμετρου

Ο βασικός σχεδιασμός είναι ένας πτυσσόμενος άκαμπτος βραχίονας που περιλαμβάνει ένα σωλήνα CFRB (Carbon Fibre Reinforced Polymer) και spring base hinges (ελατηριωτούς εύκαμπτους συνδέσμους).

Τα χαρακτηριστικά του βραχίονα όπως παρακάτω:

- 6.3μ μήκος.
- Spring base hinges (Ελατηριωτούς εύκαμπτους συνδέσμους).
- Μια υπολογισμένη  $0.45^\circ$  ακρίβεια θέσης μπορεί να επιτευχθεί.
- Ακτινική ανάπτυξη όπως στο συγκρότημα βραχίονα μαγνητομέτρου της αποστολής Sener.
- Ο συγχρονισμός της ανάπτυξης των 3 τμημάτων ενός DC brushed motor με gearhead. (όπως στη Rosetta)



Σχήμα 2.4: Rosetta πτυσσόμενος βραχίονας από αποστολή Sener (Αριστερά). Μηχανισμός Συγχρονισμού (Δεξιά).

### 2.5.3 Μηχανισμός Βραχίονα (Boom) Κεραίας

Για τους δύο 1m βραχιόνες της κεραίας επιλέχθηκαν ως βασικά τα εξής:

- Δεδομένα από το συγκρότημα βραχίονα κεραίας της αποστολής Sener.
- Ένα σε κάθε τμήμα.
- Εύκαμπτους συνδέσμους βασισμένους σε ελατήριο.
- Βραχίονας του CFRP



Σχήμα 2.5: Συγκρότημα Βραχίονα κεραίας αποστολής Sener

#### 2.5.4 Μηχανισμός Συγκράτησης και Απελευθέρωσης του Βραχίονα (HDRM)

- Βασίζεται σε ένα μη εκρηκτικό ενεργοποιητή
- 3 HDRM ανά βραχίονα



Σχήμα 2.6: HDRM Βραχίονα Μαγνητομέτρου αποστολής Sener

#### 2.5.5 Μηχανισμός Συγκράτησης και Απελευθέρωσης Βραχίονα Κεραίας

Ο Βραχίονας κεραίας HDRM είναι όμοιος με το αντίστοιχο συγκρότημα βραχίονα κεραίας, βασισμένο σε ένα μη εκρηκτικό ενεργοποιητή με μία πρότυπη διεπαφή cup-cone. Ως βασικός μη εκρηκτικός ενεργοποιητής θεωρήθηκε ο NEA 9100.

### 2.6 Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα (EMC) αποστολής THOR

#### 2.6.1 Απαιτήσεις και Οδηγοί Σχεδιασμού EMC

Είναι γνωστό ότι η επι τόπου εξερεύνηση του πλάσματος απαιτεί αυστηρή ηλεκτρομαγνητική καθαρότητα και συμβατότητα ειδικά σε χαμηλές συχνότητες. Το βασικό αντικείμενο της αποστολής THOR επικεντρώνεται στις παραλλαγές των διαταραχών του πλάσματος και καλύπτει ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών μηκών κλίμακας. Η παρατήρηση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων γίνεται σε μηκη κλίμακας

fluid-like εως μικρά Debye σε ταχύτητες μεταξύ 50-400 km/h (TBC). Τα όργανα μέτρησης πεδίου (EFI-HFA, EFI-SDP, MAG, SCM) είναι απαραίτητο να μετρώνε σήματα στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας από μερικά mHz μέχρι κάποια 100 KHz. Συνεπώς απαιτείται ελάχιστος ρυθμός δειγματοληψίας μέχρι 200KHz. Επιπλέον τα όργανα σωματιδίων (CSW, EPE, ESA , FAR και IMS) χρειάζονται ηλεκτρομαγνητικοστατική καθαρότητα του διαστημοπλοίου ώστε να αποφεύγονται διαταραχές στις τροχιές των σωματιδίων.

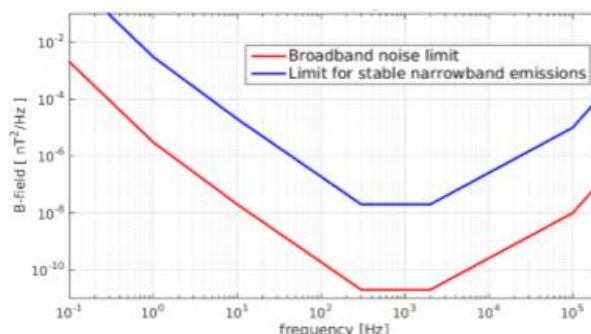
## 2.6.2 Φάσμα Συχνοτήτων αποστολής THOR

Το φάσμα συχνοτήτων των οργάνων MAG και SCM είναι εν μέρει επικαλυπτόμενο για να επιτρέψει τη cross calibration (καλύτερη βαθμονόμηση) των οργάνων. Ο εξωτερικός αισθητήρας του μαγνητομετρου MAG αποτελεί το όργανο κλειδί όσον αφορά τη μαγνητική καθαρότητα μέχρι συχνότητες 1-10 Hz, από όπου το μαγνητόμετρο SCM θεωρείται ότι ξεκινά να έχει καλύτερη ευαισθησία. Για τη μαγνητική καθαρότητα φασματος συχνοτήτων ο ρυθμός δειγματοληψίας 200 KHz πρέπει να θεωρείται με μια επιπλέον μπαντα συχνότητας ως προστασία ενάντια στις επιδράσεις alising από θόρυβο undersampling σε υψηλότερες συχνότητες.

Το όργανο EFI έχει 2 συμπληρωματικούς αισθητήρες για να μετρά μεταξύ DC έως 100 KHz με ένα επικαλύπτομενο φάσμα συχνοτήτων γύρω στα 1-10 KHz. Από τη μια το EFI-SDP μετρά τα δύο ηλεκτρικά στοιχεία κάθετα στον άξονα spin και επιτρέπει την ανακατασκευή του τρίτου στοιχείου έμμεσα μόνο από τις μετρήσεις του διανύσματος πεδίου μέσω της ορθογωνιότητας μεταξύ των δύο πεδίων, ενώ ο EFI-HFA μετρά πάνω από το 1KHz και τα τρια στοιχεία του ηλεκτρικού πεδίου άμμεσα.

## 2.6.3 Ευαισθησία Οργάνων αποστολής THOR

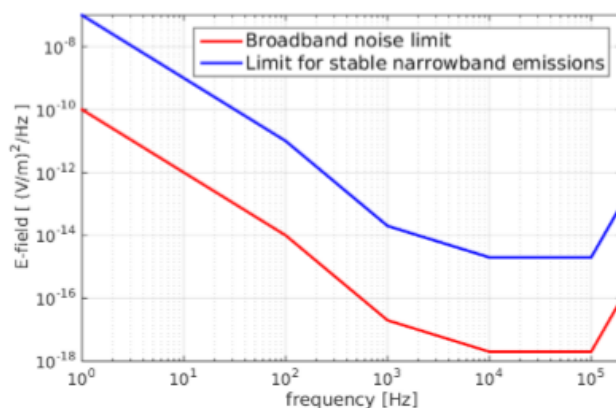
Η ευαισθησία του SCM κυμένεται από περίπου  $100\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$  σε 100 mHz μέσω περίπου  $1\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$  σε 1 Hz μέχρι ένα κατώτατο επίπεδο κάτω από  $0.01\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$  γύρω στα 1 KHz. Σε συχνότητες πάνω από 1 KHz η ευαισθησία ελαττώνεται και το επίπεδο χαλαρώνει πάλι, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.7 [18]. Η ευαισθησία του MAG γύρω στο 1 Hz είναι λιγότερη από 10 pT και επιπλέον υποστηρίζεται για να επιλύει διακυμάνσεις 10 pT peak to peak στο πεδίο του χρόνου έγκαιρα σε κλίμακες μεταξύ 1 sec και 1 h. Σε χρονικές κλίμακες πέραν της 1h προφανώς αυτό μπορεί να χαλαρώσει σε  $500\text{pT}=0.5\text{ nT}$  και για DC ακόμη περισσότερο μέχρι 5nT, το οποίο φαίνεται να βασίζεται στη χρήση του εσωτερικού μαγνητομέτρου για αποτελεσματική διόρθωση λαθών κατά τη διάρκεια της πτήσης.



Σχήμα 2.7: Απαιτήσεις καθαρότητας AC Μαγνητικού Πεδίου στην αποστολή THOR ( nT<sup>2</sup>/Hz)

Τα όργανα των σωματιδίων στοχεύουν στα φορτισμένα σωματίδια (ηλεκτρόνια, ιόντα). Το μέγεθος του μαγνητικού πεδίου από το διαστημόπλοιο κάθετο στη τροχιά των σωματιδίων θα επηρεάσει αυτή τη τροχιά και τη προσπίπτουσα γωνία. Δεδομένου ότι αυτό είναι ένα σωρευτικό αποτέλεσμα, το συνολικό μαγνητικό πεδίο κατά μήκος των σωματιδιακών τροχιών πρέπει να περιοριστεί επιπρόσθετα με το μαγνητικό πεδίο του ίδιου του διαστημοπλοίου.

Η ευαισθησία του EFI-SDP χαμηλής συχνότητας κυμαίνεται περίπου από  $3\mu\text{V}/\text{m}/\sqrt{\text{Hz}}$  μέχρι περίπου  $0.1\mu\text{V}/\text{m}/\sqrt{\text{Hz}}$  σε 1 KHz και  $0.01\mu\text{V}/\text{m}/\sqrt{\text{Hz}}$  σε 10 KHz, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.8. Το EFI-HFA προφανώς θα επικεντρωθεί σε ισχυρές διακυμάνσεις του ηλεκτρικού πεδίου και είναι λιγότερο ευαίσθητο.



Σχήμα 2.8: Απαιτήσεις καθαρότητας AC Ηλεκτρικού Πεδίου στην αποστολή THOR [in(V/m)²/Hz]

Τα ενδεικνύομενα επίπεδα ευαισθησίας είναι όλα εφαρμόσιμα στις περιοχές των αισθητήρων. Οι πραγματικές ανάγκες για εξοπλισμό της πλατφόρμας και των οργάνων συνεπώς θα εξαρτώνται από την τοποθέτηση και ειδικά από το μήκος των διαφορετικών βραχιόνων (booms). Ο καθορισμός των επιπέδων ευαισθησίας βασίζεται κυρίως από τις ευαισθησίες των οργάνων πεδίου. Αυτά εμφανίζονται να μην είναι ακόμη εντελώς συνεπή με τις απαιτήσεις και χρειάζεται να εξετασθούν περαιτέρω από την ερευνητική ομάδα.

Σε κάθε περίπτωση, θα απαιτηθεί ο σχεδιασμός και η επιβεβαίωση του διαστημοπλοίου σύμφωνα με τις καλύτερες μεθόδους. Μελέτη πάνω σε αυτό και ειδική προσοχή σε μεταγενέστερες φάσεις θα απαιτηθούν, συνεπδεν περιορίζονται σε εφαρμογή μιας κεντρικής γείωσης (star pointing ground) για το βασικό δίαυλο (όχι παρουσία πολλών σημείων γείωσης εντός του εξοπλισμού ραδιοσυχνοτήτων και ψηφιακών ηλεκτρονικών), χρήση συμμετρικών και ισορροπημένων φίλτρων γραμμής τροφοδοσίας, ελέγχου συχνότητας (επιλογή και σταθερότητα) ,σταθερότητας κατανάλωσης ισχύος και ηλεκτρομαγνητικής προστασίας.

Επιπλέον αναγκαία είναι η επιλογή υλικών κατάλληλων για ηλεκτροστατική και μαγνητική καθαρότητα, με στόχο την ελαχιστοποίηση των περιοχών τρέχοντος βρόχου και προστασία από θερμοηλεκτρικές επιδράσεις σε μέταλλα, ειδικά κοντά σε μαγνητόμετρα. Σε κάθε περίπτωση όλα τα όργανα πεδίου επιβάλλεται να έχουν επιπλέον ένα επίπεδο κορεσμού, το οποίο πρέπει να είναι σεβαστό ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

## 2.6.4 Ηλεκτροστατική φόρτιση Αποστολής

Το όργανο EFI-SDP απαιτεί οι διαφορές ηλεκτρικού δυναμικού στην επιφάνεια του διαστημοπλοίου να ελαχιστοποιούνται και να έχουν κοινή αναφορά για τους διαφορετικούς αισθητήρες ανίχνευσης (sensor probes). Επιπλέον το ηλεκτρικό πεδίο εξαιτίας των δυναμικών διαφορών επάνω στο διαστημόπλοιο θα επηρεάζει τις τροχιές των φορτισμένων σωματιδίων και τις γωνίες πρόσπτωσης.

Περιορίζοντας το διαφορικό δυναμικό μεταξύ οποιοδήποτε σημείων στην επιφάνεια του διαστημοπλοίου για τιμές κάτω του 1V αναμένεται να καλύπτει τις ανάγκες του EFI και των οργάνων σωματιδίων. Το απόλυτο δυναμικό του διαστημοπλοίου, μπορεί να επηρεάσει τροχιές των φορτισμένων σωματιδίων και των γωνιών πρόσπτωσης, συνεπώς η αποστολή THOR απαιτεί ενεργό έλεγχο του ηλεκτρικού δυναμικού του διαστημοπλοίου.

## 2.6.5 Παραδοχές και Trade-Offs

### 2.6.5.1 Μαγνητική Ροπή

Θεωρώντας το μέτρο της συνολικής μαγνητικής ροπής του διαστημοπλοίου  $|m|$  προσανατολισμένο προς ένα αισθητήρα σε απόσταση  $d$ , το μέτρο του μαγνητικού πεδίου σε μονάδες SI θα είναι<sup>1</sup>:

$$|B| = 2 \times 10^{-7} (V/s) / (A/m) |m| / d^3 \quad (2.1)$$

Για παράδειγμα, η μαγνητική ροπή του  $1 \text{ Am}^2$  σε  $1\text{m}$  απόσταση θα δώσει  $200\text{nT}$ . Από τις παραπάνω ευαισθησίες των οργάνων για εκπομπές μαγνητικού πεδίου αντίστοιχες μαγνητικές ροπές μπορεί να εξαχθούν υποθέτοντας απόσταση  $6.3\text{m}$ :

α) DC:  $5\text{nT req}(\text{factor } 5/200=1/40) \Rightarrow 25\text{mAm}^2, \text{ca. } d=6.3\text{m}(\text{factor } 6.3^3 \sim 250) \Rightarrow |m_{\text{DC}}| \sim 6.25\text{Am}^2$

Επίσης για ευαισθησίες στις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου οι αντίστοιχες μεταβολές στο μέτρο της μαγνητικής μπορούν να εξαχθούν:

β) “AC”  $>1\text{h}$ :  $0.5\text{nT}_{\text{pp}} \text{ req. } = 250 \text{ pT}_{\text{p}}(\text{factor } 5/0.25=20) \Rightarrow \Delta|m|=312.5\text{mAm}^2$   
( $\Delta|m|/|m_{\text{DC}}|=5\%$ )

γ) “AC”  $1\text{s} - 1\text{h}$ :  $10\text{pT}_{\text{pp}} \text{ req} = 5 \text{ pT}_{\text{p}}(\text{factor } 250/5=50) \Rightarrow \Delta|m|=6.25\text{mAm}^2$   
( $\Delta|m|/|m_{\text{DC}}|=0.1\%$ )

Επίσης σε συχνότητες πάνω από  $1 \text{ Hz}$  οι αντίστοιχες μεταβολές της μαγνητικής ροπής μπορεί να εξαχθούν:

δ) AC  $1\text{Hz}-200\text{KHz}$ :  $\sim 10^{-6} - 10^{-11} \text{ nT}^2/\text{Hz} \text{ req.} \Rightarrow \text{ca. } 10^{-3} - 3 \times 10^{-5} \text{ nT}/\sqrt{\text{Hz}}$  και υποθέτοντας ένα εύρος ζώνης του  $1 \text{ Hz}$  αυτό θα αντιστοιχεί σε λιγότερο από  $1\text{pT}-0.01\text{pT} \Rightarrow \Delta|m|=1.25\text{mAm}^2 - 0.001\dots\text{mAm}^2 = 1\mu\text{Am}^2$ .

<sup>1</sup> Βλέπε τύπο μαγνητικού πεδίου που παράγεται από μαγνητική ροπή  $m$  όπως σχέση 3.6.

Τα όργανα του μαγνητικού πεδίου γίνονται όλο και περισσότερο ευαίσθητα με την αύξηση της συχνότητας, το οποίο επηρεάζει επίσης τα απαιτούμενα όρια στις αντίστοιχες μεταβολές της μαγνητικής ροπής. Όσο τα πραγματικά απαιτούμενα όρια ευαισθησίας εξακολουθούν να παγιώνονται, είναι προφανές ότι και τα δύο μαγνητόμετρα θα επωφελούνται από μία επιπλέον αύξηση στο μήκος του βραχίονα (boom). Ακόμη και σχετικά μικρές αυξήσεις στο μήκος του βραχίονα θα παρέχουν πάνω από το αναλογικό οφέλη εξαιτίας του κυβικού νόμου της απόστασης ( $1/r^3$ ).

Στην επόμενη φάση μια τέτοια υψηλού επιπέδου συνολική μαγνητική ροπή είναι αναγκαίο να εξετάσει τις κατανομές του εξοπλισμού και των οργάνων για σύγκριση με ένα bottom-up μαγνητικό budget. Για τις μαγνητικές μεταβολές ωστόσο τα μαγνητικά πεδία που προέρχονται από κατανομές ρευμάτων πρέπει να ληφθούν υπόψη. Δεδομένου ότι τα πραγματικά εσωτερικά ρεύματα του εξοπλισμού και των οργάνων δεν εξαρτώνται μόνο από την κατανάλωση ισχύος, αλλά και από τις διατάξεις στην ηλεκτρονική πλακέτα και τις επιμέρους δευτερεύουσες τάσεις, οι συσχετισμένες μεταβολές πρέπει να αξιολογηθούν σε μεταγενέστερο στάδιο.

#### **2.6.5.2 Συγχρονισμός Μετατροπέα Ισχύος**

Ορισμένες συχνότητες ρολογιού του εξοπλισμού και του φορτίου μέσα στη πλατφόρμα θα εμπίπτουν εντός του φάσματος συχνοτήτων των μετρήσεων του μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου. Για τον εξοπλισμό και τα όργανα που λειτουργούν παράλληλα με ευαίσθητα όργανα πεδίου, επομένως, απαιτείται η σταθερότητα και ο έλεγχος της συχνότητας, για να περιοριστεί ο EMI σε όργανα πεδίου για ένα στενό φάσμα συχνοτήτων.

Λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική ισχύ και το παραγόμενο φάσμα των αρμονικών συχνοτήτων, ειδικά οι DC/DC μετατροπείς ισχύος θα πρέπει να συγχρονιστούν. Ενώ ο τοπικός συγχρονισμός θα μπορούσε να είναι επαρκής για τη σταθερότητα, ο κεντρικός συγχρονισμός θα απλοποιήσει την ταυτοποίηση των ολισθήσεων (drifts) όσο οι ολισθήσεις θα είναι όλες πανομοιότυπες. Επιπλέον ο κεντρικός συγχρονισμός θα προσφέρει τη δυνατότητα του ελέγχου φάσης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποφευχθεί η σε φάση άθροιση του θορύβου, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει κορεσμό των οργάνων πεδίου.

#### **2.6.5.3 Μήκος Βραχίονα (Boom)**

Από σκοπιά της EMC και της μαγνητικής καθαρότητας, το μήκος του βραχίονα πρέπει να μεγιστοποιείται. Ωστόσο περιορισμοί σε μηχανικές πτυχές και σε ευθυγραμμίσεις οργάνων μπορούν να περιορίσουν το πιθανό μήκος του βραχίονα. Παρόλα αυτά η χρήση ενός MACS( Magnetometer Alignment Calibration System)(Σύστημα Ευθυγράμμισης Βαθμονόμησης Μαγνητομετρών) επί του σκάφους θα επιτρέψει τον προσδιορισμό της ευθυγράμμισης των μαγνητομετρικών οργάνων σε πτήση και σε περιπτώσεις όπου η απαιτούμενη ευθυγράμμιση δεν μπορεί να εγγραφεί επαρκώς από το μηχανικό σχεδιασμό.

Επιπλέον ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να παρέχει μια πρόσθετη μέθοδο βαθμονόμησης σε πτήση για τα μαγνητόμετρα. Παρόμοιες προσεγγίσεις έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορα διαστημόπλοια, π.χ. της NASA αποστολή Cassini, της JAXA αποστολή SELENE / Kaguya και της ESA αποστολή Swarm.

## 2.6.6 Βασικός Σχεδιασμός Διαστημικού Σκάφους

Οι απαιτήσεις ηλεκτρομαγνητικής καθαρότητας έχουν αντίκτυπο στη διαδικασία σχεδιασμού διαστημοπλοίου, π.χ. τοποθέτηση των εξαρτημάτων ΕΜ παρεμβολής, και στη διαδικασία ενσωμάτωσης συναρμολόγησης και επαλήθευσης. Οι απαιτήσεις και κατευθυντήριες οδηγίες έχουν θεωρηθεί κατά τη διάρκεια της μελέτης από διάφορες αρχές, ως εκ τούτου μόνο μερικά στοιχεία θα επισημανθούν.

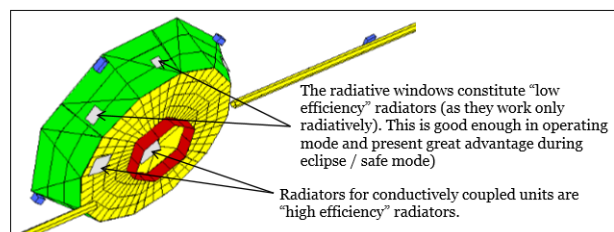
### 2.6.6.1 Σύστημα Ηλεκτρικής Ισχύος

Η κεντρική διανομή ρεύματος προς το παρόν βρίσκεται σε πολύ κεντρική θέση στον εσωτερικό σωλήνα. Αυτό δίνει έμφαση στην έννοια μιας κεντρικής γείωσης (star-pointing ground) στο βασικό δίαυλο και θα μπορούσε επίσης να ελαχιστοποιήσει το μήκος της καλωδίωσης. Η μπαταρία επίσης βρίσκεται σε ένα κεντρικό σημείο στον εσωτερικό σωλήνα, το οποίο μεγιστοποιεί την απόσταση των δύο ειδών μαγνητομέτρων. Η χρήση των δύο μονάδων μπαταρίας θα επιτρέψει την αμοιβαία ακύρωση των υπολειμματικών μαγνητικών ροπών (residual magnetic moments).

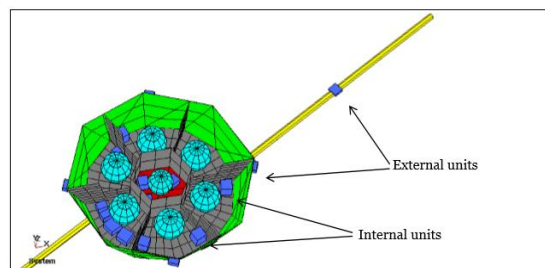
Από την άλλη το επιλεγμένο γραμμικής ρύθμισης σχέδιο με κατανεμημένες power dumps περιορίζει τις μεταβολές στη κατανάλωση ισχύος και τα σχετικά ρεύματα, τα θα παράγουν χαμηλής συχνότητας μεταβολές ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Επιπλέον η διαστασιολόγηση της solar array απαιτεί γυάλινο κάλυμμα με επίστρωση από Οξείδιο Ινδίου Κασσιτέρου (Indium Tin Oxide-ITO) και γείωση για την ελαχιστοποίηση των διαφορών δυναμικού στην επιφάνεια του διαστημικού σκάφους. Επίσης η διαστασιολόγηση προβλέπει back-wiring για να μειώσει τα μαγνητικά πεδία.

### 2.6.6.2 Θερμικό Σύστημα

Ο θερμικός σχεδιασμός βασίζεται σε αγωγή εξωτερικά υλικά, τα οποία ελαχιστοποιούν διαφορές δυναμικού στην επιφάνεια του διαστημόπλοιου.



Σχήμα 2.9: Εξωτερική άποψη του γεωμετρικού θερμικού μοντέλου



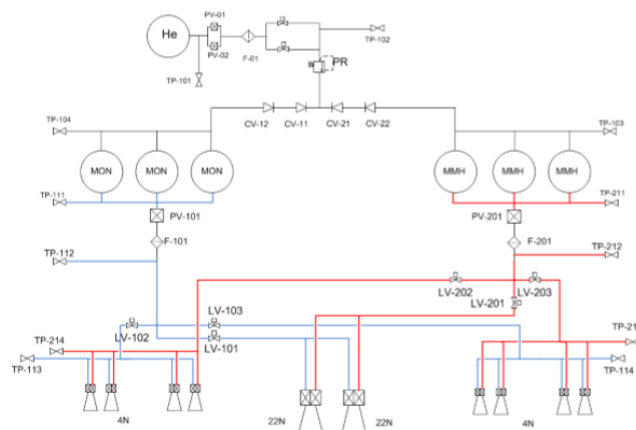
Σχήμα 2.10: Μερική άποψη του γεωμετρικού θερμικού μοντέλου (εσωτερικά τμήματα)



### 2.6.6.3 Σύστημα Πρόωσης Διαστημικού Σκάφους

Δεξαμενές πρόωσης σε ορισμένες προηγούμενες αποστολές έχουν δείξει residual magnetic moments (υπολειμματικές μαγνητικές ροπές), συνήθως κατά μήκος των αξόνων των εδράνων (ρουλεμάν). Η παρούσα σχεδίαση επιτρέπει το προσανατολισμό αυτών των αξόνων κατά μήκος ενός δακτυλίου ή σε μια διαμόρφωση αστέρα, έτσι ώστε να μπορούν να αλληλοεξουδετερώνονται.

Οι προωθητήρες ομαδοποιούνται σε ζεύγη, αλλά λόγω του ταυτόσημου προσανατολισμού είναι απίθανη μια αμοιβαία ακύρωση των μαγνητικών ροπών. Ως βάση για τον κύριο προωθητήρα, ο 22 N προωθητήρας με δεδομένα από DST-13, εφαρμόζοντας μια single burn στρατηγική. Η δομή του υποσυστήματος πρόωσης για το διαστημόπλοιο του THOR παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα 2.11



Σχήμα 2.11: Αρχιτεκτονική του υποσυστήματος πρόωσης του διαστημικού σκάφους THOR

### 2.6.6.4 Δομή

Η δομή είναι κατασκευασμένη από πάνελ αλουμινίου με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία χρησιμεύει ως μια άριστη καλού επιπέδου γείωση. Με την επιλεγμένη ανοικτού σχεδιασμού δομή δεν υπάρχει αγωγίμος δακτύλιος, το οποίο αποτρέπει τον κίνδυνο των επαγόμενων δινορευμάτων. Αυτό θα είναι όλο και πιο σημαντικό σε υψηλότερους ρυθμούς spin.

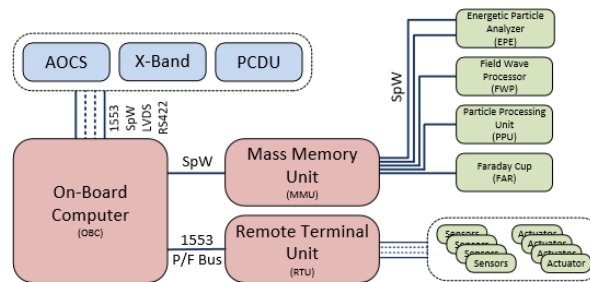
### 2.6.6.5 Καλωδίωση

Ο προϋπολογισμός της μάζας περιλαμβάνει μία επιπλέον κατανομή του 2% της ξηρής μάζας για την θωράκιση και backshells. Μια αυστηρή θωράκιση όλης της καλωδίωσης θα ελαχιστοποιήσει τις εκπομπές και ευαισθησίες μέσω της ισχύος και των διεπαφών σήματος.

### 2.6.6.6 Σύστημα χειρισμού δεδομένων

Παρόμοια με τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, ο χειρισμός των δεδομένων έχει συνδεθεί με τον υπολογιστή on board και τη mass memory που βρίσκονται κεντρικά στο εσωτερικό του σωλήνα. Παρόμοια με την τοπολογία του συστήματος ισχύος, αυτό

εγκαθιστά μία star-like δρομολόγηση της καλωδίωσης του σήματος δεδομένων. Για κεντρικό συγχρονισμό προβλέπεται το ρολόι του υπολογιστή on board.



Σχήμα 2.12 : Περίγραμμα του υποσυστήματος χειρισμού δεδομένων μαζί με διεπαφές

### 2.6.6.7 Μηχανισμοί αποστολής THOR

Στη παρούσα σχεδίαση δε χρειάζονται μηχανισμοί να λειτουργούν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η ανάπτυξη του μηχανισμού συγκράτησης και απελευθέρωσης που απαιτούνται για τους βραχίονες και τις κεραίες θα παραμείνει στάσιμη μετά την ανάπτυξη κατά τη διάρκεια της αποστολής. Συνεπώς οποιοσδήποτε μαγνητικές μεταβολές ή ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές που σχετίζεται με τον κινητήρα αποφεύγονται. Εξαιτίας της μικρής απόστασης, οι μηχανισμοί συγκράτησης και απελευθέρωσης στους βραχίονες με τα μαγνητόμετρα μπορεί να είναι ωστόσο μια σημαντική συμβολή στο DC μαγνητικό πεδίο και οι χαμηλές διακυμάνσεις της συχνότητας του στις θέσεις του μαγνητόμετρου.

### 2.6.6.8 Σύστημα Επικοινωνίας

Το σύστημα επικοινωνίας προβλέπει 3 κεραίες χαμηλού κέρδους, με δύο κεραίες πάνω στους βραχίονες, αλλά χωρίς τους μηχανισμούς antennas pointing. Η ισχύς εξόδου των περίπου 55 W  $\pm$  47,4 dBm θα δώσει για ένα κέρδος κεραίας όχι καλύτερο από -4 dBi και απώλειες εξασθένησης περίπου 2 dB, ένα ηλεκτρικό πεδίο των περίπου 21 V/m στο 1 m απόσταση.

Ανάλογα με το πραγματικό σχέδιο της κεραίας και τις πραγματικές αποστάσεις, πεδία πάνω στο διαστημικό σκάφος θα μπορούσαν να είναι χαμηλότερα ή ακόμη υψηλότερα, αλλά θα πρέπει να ελέγχονται σε κάθε περίπτωση με ένα επιπλέον περιθώριο παρεμβολής. Η ελάχιστη αναμενόμενη πυκνότητα ροής ισχύος των -100 dBW/m<sup>2</sup> στις κεραίες συνεπάγεται αντίστοιχα επίπεδα του ηλεκτρικού πεδίου άνω των 45 dBμV/m για το σήμα ανερχόμενης ζεύξης. Σε μεταγενέστερο στάδιο, η πραγματική ευαισθησία του δέκτη πρέπει να ελεγχθεί.

### 2.6.6.9 Επαλήθευση

Η προσέγγιση της επαλήθευσης περιλαμβάνει τις δοκιμές σε εξοπλισμό και σε όργανα επιπέδου μονάδας για χαμηλής συχνότητας μαγνητικά και ηλεκτρικά πεδία. Επιπλέον, προσομοιώσεις φόρτισης και ένα μαγνητικό μοντέλο σε επίπεδο συστήματος, περιλαμβάνοντας την ανάλυση Biot-Savart για το solar array, θα πρέπει να ξεκινήσουν ήδη σε ένα πρώιμο στάδιο του σχεδιασμού.

Επιπλέον, το διαστημικό σκάφος θα πρέπει να δοκιμαστεί σε μεγάλες εγκαταστάσεις προσομοίωσης μαγνητικών πεδίων όπως η μεγάλη εγκατάσταση προσομοίωσης μαγνητικού πεδίου (γερμανικά: Magnetfeldsimulationsanlage, MFSA) σε IABG στο Ottobrunn κοντά στο Μόναχο, ή μικρότερες εγκαταστάσεις, όπως CNES's J.B. BIOT.

Για την εξακρίβωση των «ακτινοβολούντων» ηλεκτρικών πεδίων απαιτούνται συχνότητες κάτω των 20 MHz. Απορροφητές RF παρέχουν συνήθως λιγότερο από 10 εξασθένηση dB σε συχνότητες κάτω των 30 MHz, δηλαδή είναι σχεδόν RF διαφανή. Ως εκ τούτου, οι τυπικές εγκαταστάσεις της EMC με θωρακισμένα δωμάτια couple with με τον υπό δοκιμή εξοπλισμό. Επιπλέον, στα σχετικά μήκη κύματος της σύνδεσης άνω των 15 m (μικρές συχνότητες συνεπώς) έχουν ως αποτέλεσμα coupling με την εγκατάσταση και το setup της εγκατάστασης στο κοντινό πεδίο.

Τα προκύπτοντα επίπεδα των εκπομπών του υπό δοκιμή εξοπλισμού γίνονται ως εκ τούτου εξαρτώμενα από την εγκατάσταση και το set-up. Αυτό περιορίζει τις δυνατότητες να συγκρίνουν τα αποτελέσματα των δοκιμών σε επίπεδο μονάδας με τις απαιτήσεις σε επίπεδο συστήματος ή με τα αποτελέσματα. Μια ανάλυση θα χρειαστεί για την αξιολόγηση και τη σύγκριση επιπέδου μονάδας με επιδόσεις επίπεδου συστήματος.

## **2.6.7 Ειδικά Συστήματα Διαδτημοπλοίου**

### **2.6.7.1 Active Spacecraft Charging Controller (ASEPCO)**

Ο ASEPCO θα μειώσει το δυναμικό του διαστημοπλοίου με την εκπομπή ιόντων θετικού Ινδίου, το οποίο εκπέμπεται μέσα σε ένα οπτικό πεδίο  $\pm 45$  deg. Για την αποφυγή διανομής των εκπεμπόμενων ιόντων η κεντρική κατεύθυνση εκπομπής χρειάζεται να είναι κατά μήκος του άξονα spin.

### **2.6.7.2 Magnetometer Alignment Calibration System (MACS)**

Αποτελείται από 1-2 σπείρες, οι οποίες παρέχουν ακριβή γνώση του μαγνητικού πεδίου. Η λειτουργία είναι τυπικά 1-2 ώρες πχ κατά τη διάρκεια της έναρξης της αποστολής και μετά από ελιγμούς.

### **2.6.7.3 Εσωτερική Μονάδα Power Dumps**

Για επιπλέον βελτίωση της σταθερότητας του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που σχετίζεται με τη διανομή ισχύος, τα dumps διανεμημένης ισχύος μπορούν να τοποθετηθούν άμεσα μέσα στο φορτίο οργάνων και στη πλατφόρμα εξοπλισμού.

#### **2.6.7.4 Κεντρική Μονάδα εξωτερικά του εσωτερικού κυλίνδρου**

Για την αγωγήμη δομή του διαστημόπλοιου, η οποία χρησιμεύει ως ένα ηλεκτρικό επίπεδο γείωσης, απαιτείται άριστη ηλεκτρική συνέχεια. Ειδικά για την κεντρική μονάδα διανομής ισχύος, η οποία θα περιέχει την κύρια αρτηρία ισχύος απαιτείται μία κεντρική γείωση (star pointing ground). Αυτό είναι σημαντικό και θα ήταν προτιμότερο να τοποθετηθεί έξω του κεντρικού κυλίνδρου στην κάτω δομή του δακτυλίου.

Λαμβάνοντας υπόψη το προκύπτουν μεγάλο ποσό καλωδίωσης που πρέπει να κατευθύνεται προς τον υπολογιστή on board και της mass memory στο εσωτερικό του κεντρικού κυλίνδρου, οι αναγκαίες cut-outs στο κεντρικό κύλινδρο θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη σταθερότητα δομής. Trade-offs για εναλλακτικές λύσεις όπως η δρομολόγηση της καλωδίωσης μέσω του άνω χείλους του κεντρικού κυλίνδρου πρέπει να ληφθούν υπόψη, καθώς και η αύξηση του μήκους της καλωδίωσης και της περιοχής βρόχου μεταξύ της καλωδίωσης και της αγωγήμη δομής.

#### **2.6.7.5 Έλεγχος Φάσης για διανεμημένα clock σηματα**

Συγχρονισμός των συχνοτήτων ρολογιού από ένα κεντρικό ρολόι αναφοράς προσφέρει την δυνατότητα ελέγχου φάσης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποφευχθεί η σε φάση άθροιση του θορύβου, το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει κορεσμό των οργάνων πεδίου.

#### **2.6.8 Τεχνολογικές Απαιτήσεις Αποστολής**

- (1) Magnetometer Boom ( όπως 2.6.5.3)
- (2) Central Synchronisation Clock ( όπως 2.6.5.2+2.6.7.5)
- (3) Solar Array Magnetic Model (όπως 2.6.6.9)
- (4) Low-Frequency Electric Field Verification (2.6.6.9)

### **2.7 Ισχύς**

#### **2.7.1 Απαιτήσεις και Οδηγοί Σχεδιασμού**

Οι κύριες απαιτήσεις και περιορισμοί που οδήγησαν στο σχεδιασμό και το μέγεθος του συστήματος ηλεκτρικής ισχύος αναφέρονται παρακάτω:

- Το σχέδιο της αποστολής και των σχετιζόμενων οργάνων οδήγησαν έντονα στο θεμελιώδη σχεδιασμό του διαστημικού σκάφους να είναι αυτός ενός περιστρεφόμενου μικρού κυλίνδρου με το ένα άκρο (και του άξονα περιστροφής) προσανατολισμένο στον ήλιο. Είναι μια απαίτηση επιστημονικά προερχόμενη από το γεγονός ότι ο άξονας περιστροφής πρέπει να διατηρείται εντός 10 ° από την κατεύθυνση του ήλιου κατά τη διάρκεια των φάσεων απόκτησης δεδομένων.
- Οι εξαιρετικά ελλειπτικές τροχιές της αποστολή θα παράγουν σχετικά λίγες εκλείψεις (περίπου 300 συνολικά) κατά τη διάρκεια της αποστολής. Οι εκλείψεις θα είναι εξαιρετικά μεταβλητές σε μήκος, μεταξύ μηδέν και 370 λεπτά, με τις χρονικά μεγαλύτερες εκλείψεις να συμβαίνουν στις

μεγαλύτερες τροχιές. Η λειτουργία των οργάνων και/ή μετάδοση των επικοινωνιών κατά τη διάρκεια της έκλειψης δεν είναι μια σκληρή απαίτηση και είναι ανοικτό (trade off) σε επίπεδο συστήματος.

- Η φύση των οργάνων απαιτεί πολύ υψηλή EMC & μαγνητική καθαρότητα από όλα τα υποσυστήματα της πλατφόρμας. Αυτό επηρεάζει δυνητικά το σχεδιασμό όλων των πτυχών του συστήματος ηλεκτρικής ισχύος, όπως solar array, ρύθμιση συστοιχίας, τοπολογία ισχύς διαύλου και της μπαταρίας

## 2.7.2 Παραδοχές και Trade-Offs

### 2.7.2.1 Λειτουργικότητα του συστήματος Κατά τη διάρκεια της Έκλειψης

Το σχέδιο της αποστολής δεν βασίζεται στο να λειτουργεί πλήρως το αεροσκάφος κατά τη διάρκεια της έκλειψης, είτε από άποψη οργάνων είτε από άποψη μετάδοσης επικοινωνιών. Επειδή η διάρκεια της έκλειψης θα ποικίλει σε μεγάλο βαθμό (οι μεγάλες εκλείψεις όντας πολύ σπάνιες), αποφασίστηκε σε επίπεδο μελέτης ότι η βέλτιστη προσέγγιση είναι να σχεδιαστεί ένα διαστημόπλοιο ικανό να στηρίζει την πλήρη λειτουργία για την πλειοψηφία των εκλείψεων, με τις λίγες μεγάλες εκλείψεις (κυρίως στην Orbit 3), να οδηγούν σε μια διακοπή λειτουργίας των οργάνων και του πομπού. Συνοψίζοντας:

- Εκλείψεις < 100 min: Όργανα και επικοινωνίες είναι σε λειτουργία. Η αντίστοιχη λειτουργία του συστήματος ονομάζεται Sh\_ECL\_COMMS.
- Εκλείψεις 100 min <> 370 min (μέγιστο): Όργανα και επικοινωνίες είναι εκτός λειτουργίας. Η αντίστοιχη λειτουργία του συστήματος ονομάζεται Lo\_ECL.

### 2.7.2.2 Ρύθμιση solar array

Η επιλογή του τύπου του ρυθμιστή array ορίζεται από τις αυστηρές απαιτήσεις EMC της αποστολής. Η αποστολή THOR προτείνεται να χρησιμοποιήσει ένα γραμμικό σκεδαζόμενο σύστημα διοχεύτησης (linear dissipative shunt system), στο οποίο η ισχύς πάνω από την πλατφόρμα και την απαίτηση του φορτίου να εκτρέπεται με αντίσταση σε "power dumps". Η ρύθμιση αυτή δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθεί ένα σταθερό θερμικά διαστημικό σκάφος, τουλάχιστον υπό ηλιόλουστες συνθήκες. Αυτό είναι πολύ ηλεκτρομαγνητικά συμβατό και πολύ αποτελεσματικό, αν η solar array και οι τάσεις διαύλων μπορούν να συνδυαστούν (δηλαδή σε σταθερές συνθήκες φωτισμού και σε ένα ρυθμισμένο δίαυλο). Αυτή η μέθοδος ρύθμισης χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς στο διαστημικό σκάφος CLUSTER.

Οι πολλαπλές αντιστάσεις των power dumps (που βρίσκονται στην ουσία σε θερμαντήρες), μπορούν να τοποθετηθούν γύρω από το σκάφος σε θέσεις που βελτιστοποιούν τον θερμικό σχεδιασμό. Ακολουθώντας το παράδειγμα του CLUSTER, προβλέπεται ότι οι περισσότερες power dumps θα βρίσκονται στο εσωτερικό, όπου μπορούν να διασκορπιστούν ως αποζημίωση για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό που μπορεί να απενεργοποιηθεί.

Μερικές power dumps θα βρίσκονται εξωτερικά επιτρέποντας την απαγωγή απευθείας στο διάστημα της περίσσειας ενέργειας που παράγεται από την ηλιακή συστοιχία στο BOL ή υπό μεταβατικές συνθήκες cold array (π.χ. σε έξοδο από έκλειψη). Οι συνήθεις μέθοδοι για την ηλιακή ρύθμιση της solar array είναι  $S^3R$ , το οποίο βασίζεται σε hard short αλλαγές (π.χ. σε  $\sim 3\text{kHz}$ ) του ολόκληρου τμήματος της solar array, ή μια MPPT που χρησιμοποιεί μετατροπείς DC-DC ( $100^{\text{th}}$  των kHz) μεταξύ της SA(solar array) και του διαύλου. Καμία από αυτές δεν συνιστάται για την αποστολή THOR.

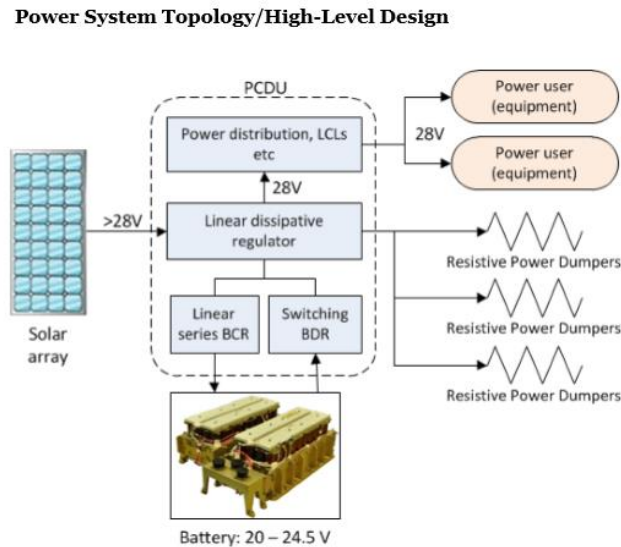
### 2.7.2.3 Τάση Διαύλου και Σταθερότητα

Θεωρήθηκε σκόπιμο για τη διαστημική αποστολή THOR η χρήση ενός 28V unregulated διαύλου (ο οποίος διατηρεί σταθερή ισχύ και ταυτόχρονα είναι για AC). Η πρόταση του σχεδιασμού CDF είναι για ένα 28V regulated δίαυλο(ρυθμιστής τάσης, για DC). Ο ρόλος του δίαυλου είναι βασικός διότι:

- Ένας 28V regulated δίαυλος είναι η συνήθης λύση της ESA για το επιστημονικό διαστημικό σκάφος για ένα καλό λόγο: δίνει απλοποιημένες συνθήκες διασύνδεσης με τους δευτερεύοντες μετατροπείς ισχύος του ηλεκτρικού εξοπλισμού (οργάνων κλπ). Αυτοί οι δευτερεύοντες μετατροπείς τότε μπορούν να είναι απλούστεροι και ευκολότεροι να σχεδιαστούν με αποτέλεσμα να είναι πιο αποτελεσματικοί. Στην περίπτωση του THOR, η λογική αυτή ενισχύεται περαιτέρω, επειδή οι δευτερεύοντες μετατροπείς ισχύος σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να εφαρμόσουν κάποια μη τυποποιημένα πρότυπα επιπλοκών που προκύπτουν από τις απαιτήσεις EMC (π.χ. διανεμημένο μονό σημείο γείωσης, γαλβανικές απομονώσεις και το συγχρονισμό μεταγωγής).
- Για το THOR, οι εκλείψεις θα είναι λίγες σε αριθμό. Οι μεγάλες εκλείψεις θα είναι ιδιαίτερα σπάνιες. Αυτό σημαίνει ότι ο κύκλος degradation (υποβάθμισης) της μπαταρίας είναι ασήμαντος, και επιτρέπει το μέγεθος και τη μάζα της μπαταρίας να διατηρούνται όσο το δυνατόν μικρότερα με τη χρήση μεγάλων εκφορτίσεων (πολύ μεγάλες για τις σπάνιες περιπτώσεις μεγάλης έκλειψης). Ως εκ τούτου, ένας unregulated δίαυλος θα υπόκειται σε πολύ μεγάλες διακυμάνσεις της τάσης.
- Ο ρυθμιστής φόρτισης μπαταρίας (BCR) που απαιτείται για το regulated δίαυλο μπορεί να εφαρμοστεί από μία τοπολογία linear series (γραμμικής σειράς). Αυτό θα έχει σχετικά χαμηλή απόδοση, αλλά και για το BCR δεν είναι πρόβλημα, διότι υπάρχει αρκετός χρόνος μεταξύ εκλείψεων για την επαναφόρτιση της μπαταρίας.
- Ο ρυθμιστής αποφόρτισης της μπαταρίας (BDR) θα πρέπει να απασχολεί έναν μετατροπέα DC-DC (για την ενίσχυση τάσης στο regulated δίαυλο), αλλά αυτό μπορεί να εφαρμοστεί σε έναν EMC τρόπο, όπως έγινε με επιτυχία στο CLUSTER.

## 2.7.3 Βασικός Σχεδιασμός Συστήματος Ισχύος

### 2.7.3.1 Τοπολογία συστήματος Ισχύος /Υψηλού Επιπέδου Σχεδιασμός



Σχήμα 2.13: Τοπολογία Συστήματος Ισχύος

### 2.7.3.2 Μπαταρία

Μια SAFT VES16 Li-ion επαναφορτιζόμενη δευτερεύων μπαταρία επιλέχθηκε για την διαστημική αποστολή THOR. Σε αντίθεση π.χ. το Sony 18650HC, το κύτταρο VES16 κατασκευάζεται από ένα μη μαγνητικό ωστενιτικό ανοξείδωτο χάλυβα (AISI 305, 304, 304L). Αυτό παρέχει μια καλή βάση από την οποία εξασφαλίζεται ένα χαμηλό μαγνητικό πεδίο εκπομπής. Η SAFT VES16 μπαταρία, όπως είναι σήμερα, δεν συνδέεται με καλώδιο με σκοπό την ελαχιστοποίηση του επαγόμενου μαγνητικού ρεύματος που προκαλείται από αυτό. Ως εκ τούτου υποτίθεται στο βασικό σχεδιασμό ότι η μπαταρία πρέπει να υλοποιηθεί ως δύο φυσικά ξεχωριστές μονάδες.

Συνεπώς παρέχει την ευκαιρία για βελτίωση της μαγνητικής καθαρότητας προσανατολίζοντας τις μονάδες στις  $180^\circ$  σε σχέση τη μία με την άλλη, προκειμένου να επιτευχθεί κάποια ανακοπή/ακύρωση μαγνητικού πεδίου. Στην πραγματικότητα, ο VES16 " by default" σχεδιασμός είναι για μεγαλύτερες μπαταρίες που πρέπει να εφαρμοστούν ως πολλαπλά συγκροτήματα μικροκυψελών σε κάθε περίπτωση.

Η περίπτωση μεγέθους μπαταρίας είναι όπως παρακάτω:

- Λειτουργία Lo\_ECL, 370 λεπτά, 286 W κατά μέσο όρο (συμπ. 20% περιθώριο του προϋπολογισμού), που ακολουθείται αμέσως από:
- Ασφαλή λειτουργία για 15 λεπτά, 249W κατά μέσο όρο (συμπ. περιθώριο προϋπολογισμού 20%). Αυτό γίνεται για να αντιπροσωπεύουν μια πιθανή ανώμαλη κατάσταση στην οποία το

διαστημόπλοιο έχει χάσει το προσανατολισμό προς τον ήλιο, και η ασφαλή λειτουργία ενεργοποιείται ενώ ανακτάται το επίπεδο ελέγχου.

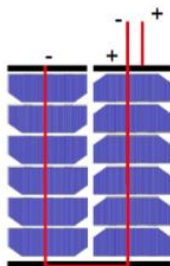
Αυτό, όπως προσδιορίζεται με προσομοίωση στο σύστημα ισχύος με εργαλείο μοντελοποίησης ESA PEPS, καταλήγει σε ένα μέγεθος μπαταρίας:  $2 \times \{ \text{μονάδα 6s-12P, 54 Ah, 1,2 kWh, 10,4 kg, } 368 \times 190 \times 180 \text{ mm} \}$ . Έτσι περιλαμβάνει την παροχή μιας πλεονάζοντος στοιχειοσειράς (string). Η SAFT VES16 μπαταρία περιλαμβάνει κάποια ηλεκτρονικά κυκλώματα για την εξισορρόπηση μικροκυψελών φόρτισης. Αυτό το συστατικό (το «απλοποιημένο σύστημα εξισορρόπησης» ή «SBS» στην ορολογία SAFT) είναι το πιο ευαίσθητο μέρος της μπαταρίας σε ιονίζουσα ακτινοβολία, και είναι κατάλληλο για 140 krad TID (Total Ionising Dose) τρεις φορές την ημέρα (πριν από οποιαδήποτε εφαρμογή του περιθωρίου).

### 2.7.3.3 Solar Array

Τα στοιχεία Azur "επόμενης γενιάς" είναι κατάλληλα για μια αποστολή που πρόκειται να ξεκινήσει το 2026. Θεωρούνται περίπου 10% καλύτερα (σε σχετικούς όρους) σε απόδοση από τα τρέχοντα στοιχεία Azur "3G30". Για την εξάλειψη τυχόν ηλεκτροστατικών επιδράσεων φόρτισης (τουλάχιστον από την άποψη potential array με σεβασμό στο δάπεδο του διαστημόπλοιου) σε μία ηλεκτροστατικά ευαίσθητη αποστολή όπως το THOR, θα είναι απαραίτητη η επικάλυψη της εμπρόσθιας επιφάνειας της μικροκυψέλης (array), (δηλαδή τα γυάλινο κάλυμμα των κυψελών) με ένα ηλεκτρικά αγώγιμο διαφανές επίχρισμα που μπορεί να συνδεθεί με το δάπεδο του διαστημόπλοιου. Το καθιερωμένο υλικό είναι οξειδίο του ινδίου κασσιτέρου («ITO»).

Ωστόσο, έχει διαπιστωθεί ότι μια επίστρωση ITO μπορεί, μέσω της εκπομπής φωτοηλεκτρονίων, να αυξήσει την τάση του διαστημικού οχήματος (στο σύνολό της), να γίνει θετικά φορτισμένο, επηρεάζοντας έτσι το ποσό της αντιστάθμισης που θα πρέπει να παρέχεται κατά τη διάρκεια της αποστολής μέσω του «Ενεργού Συστήματος Δυναμικού ελέγχου του διαστημοπλοίου».

Εξασθένηση του φωτός από την επικάλυψη και την χαμένη περιοχή (σκίαση) για τα αποτελέσματα συνδέσεων γείωσης οδηγεί σε μια κατά προσέγγιση απώλειας απόδοσης 10% σε σχέση με ένα πρότυπο μη γειωμένης μικροκυψέλης (array). Το Backwiring (για ακύρωση των ρευμάτων της ηλιακής μικροκυψέλης) μαζί με τις συνδέσεις γείωσης / καλωδίωσης για την αγώγιμη επίστρωση ITO προσθέτει περίπου 15% της μάζας PVA. Η αρχή της backwiring των μικροκυψελών απεικονίζεται παρακάτω:



Σχήμα 2.14: Συστοιχία ηλιακών κυψελών με back-wiring

- SCI\_COMMS μοντέλο, 536 W μέσο φορτίο (συμπ. περιθώριο προϋπολογισμού 20%), περίπου sun pointed (πρότυπο σε  $6^\circ$  off-point).



- EOL συνολική NID (1 MeV ηλεκτρονίων ισοδύναμης ροής) = 6.2E14 για Voc, 4.3E14 για Isc.

Αυτό, όπως καθορίζεται από την προσομοίωση του συστήματος ηλεκτρικών εργαλείων μοντελοποίησης ESA PEPS, οδηγεί σε μια solar array μεγέθους 18s-43p συνολικά (συμπεριλαμβανομένου μιας πλεονάζοντος σειράς μικροκυψέλης(string)). Περιοχή του 2,91 m<sup>2</sup> συνολικά. Στη συστοιχία μπορεί να διατάσσονται σε 4 ορθογώνια πάνελ σύμφωνα με την πρόταση, εάν αυτό είναι βολικό. Συνολική μάζα PVA + καλωδίωση (αλλά μη συμπεριλαμβανομένου του υποστρώματος πάνελ) 5,6 kg.

#### 2.7.3.4 Ελιγμοί Κατεύθυνσης Διαστημοπλοίου

Προκειμένου να κατευθύνει την κύρια μηχανή στην κατάλληλη κατεύθυνση για transfer burn, θα είναι απαραίτητο να εγκαταλείψει προσωρινά την εκ του σύνεγγυς (σε 10 °) στάση sun pointed του διαστημικού οχήματος. Η off-pointing θα πρέπει να διατηρηθεί για μια χρονική περίοδο που είναι πολύ μεγάλη για να υποστηρίξει την ισχύ της μπαταρίας. Η λειτουργία Transf\_MAN πρέπει, επομένως, να έχει ένα θετικό ισοζύγιο ισχύος (δηλαδή να υποστηρίζεται από την ηλιακή ενέργεια χωρίς αποφόρτιση της μπαταρίας).

Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να υπολογίσει, για την προσαρμογή του μεγέθους της solar array που καθορίζεται από τη λειτουργία SCI\_COMMS (536 W), το βαθμό στον ήλιο off-pointing που μπορεί να γίνει ανεκτός σε λειτουργία Transf\_MAN διατηρώντας ταυτόχρονα ένα θετικό ισοζύγιο ισχύος. Αυτό έχει καθοριστεί από την προσομοίωση στο εργαλείο μοντελοποίησης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ESA PEPS, και είναι 42 °. (πχ η γωνία μεταξύ του επιπέδου κανονικού φορέα (διανύσματος) της solar array και της κατεύθυνσης του ήλιου πρέπει να είναι μικρότερη από 42 °).

Εάν αυτός ο περιορισμός των 42 ° είναι μη αποδεκτός από μια άποψη ανάλυσης αποστολής (περιορισμοί στο παράθυρο, όταν μπορούν να εκτελεστούν τα burns), τότε το μέγεθος solar array μπορεί να αυξηθεί, με σχετικά μικρές επιπτώσεις μάζας, θεωρώντας ότι μόνο PVA και καλωδιώσεις πρέπει να προστεθούν (το υπόστρωμα του top-panel είναι ένα υπάρχον δομικό στοιχείο). Ωστόσο, το γεγονός ότι ισχύς εξόδου από ένα ηλιακό πάνελ διαφέρει ως προς το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης του ήλιου, σημαίνει ότι το απαιτούμενο μέγεθος συστοιχία θα αυξηθεί ταχέως καθώς η απαιτούμενη γωνία off-pointing υπερβαίνει τους 60 ° και περισσότερο.

#### 2.7.3.5 Λειτουργία Εκτόξευσης

Υπολογισμοί της αποστολής έχουν διαπιστώσει ότι το διαστημικό σκάφος μπορεί να απελευθερωθεί από το ανώτερο στάδιο του εκτοξευτή το αργότερο σε 23 ώρες μετά την έναρξη. Η μέση ζήτηση ισχύος της συνολική πλατφόρμα και το φορτίου για τη λειτουργία LAU είναι 94 W, συμπεριλαμβανομένων περιθωρίων.

Έχει καθοριστεί από την προσομοίωση εργαλείων μοντελοποίησης του συστήματος ηλεκτρικών ESA PEPS ότι η μπαταρία μεγέθους όπως περιγράφεται παραπάνω (για τη λειτουργία Lo\_ECL) θα υποστηρίξει τη λειτουργία LAU μόνο για περίπου 16 ώρες. Αν λοιπόν απαιτούνται οι 23 ώρες, το μέγεθος της μπαταρίας θα μπορούσε να αυξηθεί αναλόγως (θα απαιτείται περίπου 10 kg περισσότερο), ή μία από τις ακόλουθες εναλλακτικές προσεγγίσεις θα μπορούσαν να ακολουθηθούν:

## 1. Εκτόξευση Διαστημοπλοίου OFF

Το διαστημικό σκάφος είναι εντελώς απενεργοποιημένο μέχρι να ενεργοποιηθεί από μίαντα διαχωρισμού κατά τη στιγμή διαχωρισμού ανώτερου στάδιο. Αυτή δεν είναι μια παραδοσιακά ευνοούμενη προσέγγιση για πλήρες μέγεθος διαστημικού σκάφος, αλλά είναι τεχνικά δυνατό. Στην περίπτωση του THOR, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο εάν η θερμική κατάσταση του διαστημικού σκάφους θα μπορούσε να διατηρηθεί σε αποδεκτή κατάσταση για 23 ώρες από τα καθαρά παθητικά μέσα, ή π.χ. barbeque turns που διαχειρίζεται το ανώτερο στάδιο.

## 2. Ανώτερο στάδιο εξασφαλίζει σειρές μικροκυψελών (arrays) THOR που είναι sun -pointed μεταξύ burns

Το διαστημικό σκάφος εκτοξεύεται με την πλατφόρμα που ενεργοποιείται ενώ το ανώτερο στάδιο διαχειρίζεται τη στάση (τουλάχιστον μεταξύ των περιόδων burns), προκειμένου να επισημάνει τις THOR top-mounted σειρές μικροκυψελών (arrays) προς τον Ήλιο.

Ένα παράδειγμα αυτής της προσέγγισης είναι ExoMars 2016 Trace Gas Orbiter (TGO). Στην περίπτωση αυτή η TGO ξοδεύει πολύ χρόνο στο ανώτερο στάδιο της LV πριν από την τελική μεταφορά burn στον Άρη, αλλά και στις μεγάλες περιόδους αναμονής μεταξύ burns, οι ίδιες ανώτερες θέσεις για να εξασφαλίσουν τα TGO ηλιακών συστοιχιών παίρνουν κάποιο φως του ήλιου. Στην περίπτωση ExoMars TGO, οι πτυσσόμενες ηλιακές συστοιχίες εξακολουθούν να είναι διπλωμένες σε αυτό το στάδιο, έτσι ώστε μόνο μερικά πάνελ είναι σε θέση να λάβουν φως. Στην περίπτωση THOR, η διαμόρφωση είναι ακόμη πιο κατάλληλη για αυτή την επιλογή.

## 2.8. Επικοινωνίες

### 2.8.1 Απαιτήσεις και Οδηγοί Σχεδιασμού Επικοινωνιών

α. COM-010: Το υποσύστημα επικοινωνιών πρέπει να είναι σε θέση να εκτελέσει τις ακόλουθες λειτουργίες ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες λειτουργίες του διαστημικού σκάφους, σε όλα τα στάδια της αποστολής μετά την έναρξη:

- Λήψη και αποδιαμόρφωση του σήματος ανερχόμενης ζεύξης από το επίγειο τμήμα και μετάδοση telecommands(TC) στο σύστημα διαχείρισης δεδομένων.
- Λήψη με τηλεμετρία (TM) της ροής δεδομένων από το σύστημα διαχείρισης δεδομένων και διαβίβαση στο τμήμα του εδάφους.
- Λήψη, μεταφορά και αναμετάδοση του σήματος τηλεμετρίας

β. COM-020: Το υποσύστημα επικοινωνίας πρέπει να επιτρέπει να μεταδίδονται όλα τα απαιτούμενα δεδομένα Ερευνητικά, Burst, HRWF δεδομένα στη Γη, υποθέτοντας ότι η σύνδεση μπορεί να βιώσει μέχρι τρία πιθανά χαμένα G/S (ground stations) περάσματα (passes).

γ. COM-030: Το υποσύστημα επικοινωνίας πρέπει να είναι σχεδιασμένο για ένα G/S με ένα παραβολικό κάτοπτρο (dish) 35m, αλλά πρέπει να είναι συμβατό και με

το G/S έχοντας ένα παραβολικό κάτοπτρο (dish) 15m σε περίπτωση που το 35m G/S δεν θα είναι διαθέσιμο κατά το χρόνο της αποστολής.

δ. COM-040: Hot redundancy προβλέπεται τηλεχειρισμός (uplink) και cold redundancy για τηλεμετρίας (downlink).

ε. COM-050: Τα περιθώρια προϋπολογισμού της σύνδεσης ορίζονται όπως παρακάτω:

- Ονομαστική > 3 dB
- RSS (Root Sum Square) χειρότερη περίπτωση > 0 dB

## 2.8.2 Παραδοχές και Trade-Offs Επικοινωνιών

### 2.8.2.1 Βασικές Τροχιές

Το διαστημικό σκάφος θα έχει τρεις διαφορετικές ελλειπτικές τροχιές κατά τα τρία χρόνια της αποστολής της ονομαστικής διάρκειας ζωής και δύο χρόνια επέκταση διάρκειας ζωής. Οι τροχιές είναι

- 1ο έτος: περίγειο 4Re, απόγειο 16Re
- 2ο έτος: περίγειο 4Re, απόγειο 26Re
- 3ο έτος: περίγειο 14Re, απόγειο 61Re
- 4ο και 5ο έτος: επέκταση του 3ου έτους τροχιά.

Όπου Re η ακτίνα της γης.

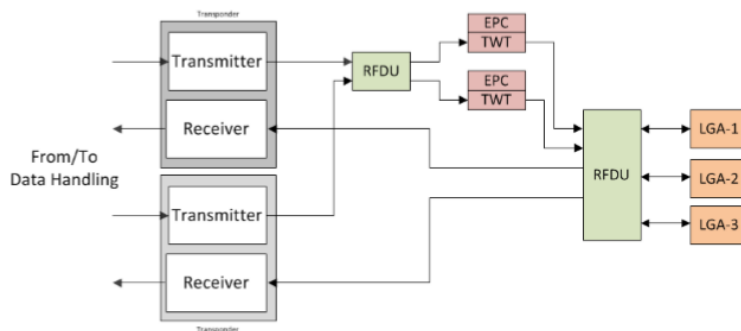
### 2.8.2.2 Εύρος Ζώνης

Η X-Band έχει θεωρηθεί τόσο για TC(τηλεχειρισμό) και TM(τηλεμετρία). Ο ECSS (European Corporation for Space Standardization) προβλέπει για την αποστολή της διαστημικής έρευνας τις συχνότητες 7190 έως 7.235 MHz και 8450-8500 MHz για TC και TM αντίστοιχα.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο ECSS προβλέπει επίσης τη χρήση των S-Band για αποστολές διαστημικής έρευνας. Ωστόσο, δεδομένου ότι S-Band κεραίες έχουν χαμηλά κέρδη και η S-Band περιορίζεται από τους κανονισμούς ECSS (μέγιστο εύρος ζώνης 6 MHz με μια πιθανή μείωση στο εγγύς μέλλον), η επιλογή αυτή έχει απορριφθεί.

## 2.8.3 Βασικός Σχεδιασμός Επικοινωνιών

Το μπλοκ διάγραμμα για το υποσύστημα επικοινωνίας απεικονίζεται παρακάτω:



Σχήμα 2.15:Block διάγραμμα υποσυστήματος επικοινωνίας

Περιλαμβάνει τα εξής:

- Δύο αναμεταδότες X-Band
- Δύο ενισχυτές σωλήνα (tube) οδεύοντος κύματος (TWTA), το καθένα εκ των οποίων αποτελείται από ένα ρυθμιστή ηλεκτρονικής ισχύος (EPC) και ένα σωλήνα (tube) οδεύοντος κύματος (TWT).
- Τρεις LGAs (2 τοποθετημένες στο πτυσσόμενο βραχίονα(boom), 1 συνδέεται με το bottom panel)
- Η μονάδα κατανομής ραδιοσυχνοτήτων (RFDU) που διασυνδέει το σύνολο του εξοπλισμού.

Ο πρώτος αναμεταδότης χρησιμοποιήθηκε για την ονομαστική λειτουργία. Ο δεύτερος αναμεταδότης είναι για εφεδρεία και προβλέπει τον πομπό να δραστηριοποιείται στην κρύα λειτουργία και τον δέκτη σε ζεστή λειτουργία (βλέπε απαίτηση COM-040). Το σήμα εξόδου TM του ενεργού αναμεταδότη ενισχύεται μέσω ενός TWTA κατά τέτοιο τρόπο που ισχύς σήματος φθάνει την απαιτούμενη τιμή για μια αξιόπιστη επικοινωνία. Ο πομπός αλλάζει την διαμόρφωση μεταξύ ενός καταπιεσμένου φέροντος (όταν απαιτείται υψηλή ταχύτητα δεδομένων τηλεμετρίας) και μία residual carrier modulation (διαμόρφωση υπολειμματικού φέροντος) (όταν απαιτείται μεγάλο φάσμα).

Οι δύο LGAs χρησιμοποιούνται για την απόκτηση σχεδόν κατευθυντικής κάλυψης που εγγυάται την υποδοχή των τηλεεντολών (TC) και τη μετάδοση των σημάτων τηλεμετρίας χαμηλού ρυθμού δεδομένων (που μπορεί να υιοθετηθεί για τη καθαρότητα της μετάδοσης σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης). Σύμφωνα με το βασικό σχεδιασμό, έχει αποφασισθεί να αναπτυχθούν τα δύο LGAs για αναδιπλούμενους βραχίονες όπως έγινε στο Cluster. Ως εκ τούτου, το ένα τρίτο του χαμηλού κέρδους κεραίας είναι απαραίτητο κατά τη διάρκεια εργασιών πρώιμου σταδίου, όταν οι βραχίονες των δύο LGAs είναι ακόμα αναδιπλωμένοι.

Τέλος, η RFDU αποτελείται από υβρίδια, διακόπτες και κυματοδηγούς που διασυνδέουν το σύνολο του εξοπλισμού. Οι λεπτομέρειες της RFDU δεν αναφέρονται, διότι είναι εκτός του πεδίου εφαρμογής για τη μελέτη CDF. Ωστόσο, ο σχεδιασμός RFDU θα πρέπει να εκτελείται ισοσταθμίζοντας, αξιοπιστία, μέγεθος, και απώλειες ισχύος.

## 2.9 Θερμικό Σύστημα

### 2.9.1 Όρια Θερμοκρασίας και κατανάλωσης Μονάδων

Unit	Non-operational design limits				Dissipation		Comment
	Operational design limits				SAFE	SCI/ COMMS	
	Tmin	Tmin	Tmax	Tmax			
MMU	-20°C (*)	-20°C (*)	+50°C (*)	+50°C (*)	20 W	25 W	
OBC	-20°C (*)	-20°C (*)	+50°C (*)	+50°C (*)	20 W	20 W	
RTU	-20°C (*)	-20°C (*)	+50°C (*)	+50°C (*)	15 W	15 W	
GYRO	-30°C	-30°C	+60°C	+60°C	5.5 W	5.5 W	
STR	-25°C	-20°C	+50°C	+60°C	0 W	8.9	
X-TWTA-N	-30°C (*)	-30°C (*)	+75°C (*)	+75°C (*)	9.6 W	96.3	
X-XPND-N	-30°C (*)	-30°C (*)	+50°C (*)	+50°C (*)	11.5 W	25 W	
X-SPND-R	-30°C (*)	-30°C (*)	+50°C (*)	+50°C (*)	10 W	10 W	
BAT	-20°C	+10°C	+30°C	+40°C	3 W	0 W	

NOTE (\*): Hypothesis by similarity with current projects  
 NOTE 2: Design temperature limit includes 10 margin w.r.t. qualification temperature

Πίνακας 2.1: Όρια σχεδιασμού θερμοκρασίας και κατανάλωσης Μονάδων

### 2.9.2 Όρια Θερμοκρασίας και κατανάλωσης Οργάνων

Instrument		Non-operational limits				Dissip.	Comment
		Operational limits					
		Tmin	Tmin	Tmax	Tmax		
MAG	MAGIBS	-100°C	-100°C	+80°C	+80°C	1.5 W	Mounted on boom
	MAGOBS	-100°C	-100°C	+80°C	+80°C	1.5 W	
	Elect. unit	-40°C	-40°C	+80°C	+80°C		Inside S/C
FAR		-55°C	-40°C	+70°C	+125°C	4.8 W	Externally mounted, insulated from the S/C
SCM	Sensor	-150°C (*)	-100°C	+100°C	+100°C	1 W	
	Pre-amplifier	-50°C	-40°C	+80°C	+80°C	0.64 W	
FWP		-55°C	-40°C	+70°C	+125°C	19 W	
ESA		-20°C	0°C	+30°C	+50°C	7.5 W	
IMS		-25°C	-10°C	+40°C	+60°C	8.5 W	
EFI		-55°C	-40°C	+80°C	+125°C	0.5 W	
EPE		-40°C (*)	-40°C	+20°C	+20°C (*)	2.5 W	The cooler the better
CSW		-20°C (*)	0°C	+50°C	+50°C (*)	10 W	
PPU		-55°C	-40°C	+70°C	+125°C	25 W	

NOTE (\*): Hypothesis by similarity with current projects  
 NOTE 2: Design temperature limit includes 10 margin w.r.t. qualification temperature

Πίνακας 2.2: Όρια σχεδιασμού θερμοκρασίας και κατανάλωσης Οργάνων

## 2.9.3 Ταυτοποίηση Περιπτώσεων

### 2.9.3.1 Hot Περίπτωση

Η χειρότερη hot περίπτωση εμφανίζεται στη λειτουργία της επικοινωνίας με το υψηλότερο ποσοστό μετάδοσης δεδομένων στη Γη, καθώς διαθέτει την υψηλότερη ταυτόχρονη διάχυση. Η hot περίπτωση οδηγεί άμεσα στην ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια ακτινοβολητή σε συνδυασμό με τη θερμική σύζευξη μεταξύ των μονάδων σκεδάσεως και των ακτινοβολητών.

### 2.9.3.2 Cold Περίπτωση

Η χειρότερη cold περίπτωση εμφανίζεται σε ασφαλή λειτουργία κατά τη διάρκεια μιας μακράς έκλειψης δεδομένου ότι όλες οι μη ουσιώδεις μονάδες θα σβήσουν. Η cold περίπτωση σε συνδυασμό με τα κατώτατα όρια θερμοκρασία σε περίπτωση μη λειτουργίας καθορίζει τη ισχύ θέρμανσης που χρειάζεται. Μια μακρά έκλειψη 370 λεπτών έχει ληφθεί υπόψη.

## 3 Πειραματικό Μέρος

### 3.1 Εισαγωγή

Το πρόβλημα της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC) που παρουσιάστηκε, σε γενικές γραμμές, στο πρώτο κεφάλαιο, σχετίζεται με την ανάλυση μαγνητικής και ηλεκτρικής υπογραφής αντικειμένων.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο καταγράφουμε τα πειραματικά αποτελέσματα που λάβαμε από κάποιες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του matlab για να καταφέρουμε να συσχετίσουμε την ένταση του μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου σε διάφορες θέσεις του πεδίου.

### 3.2 Η Μέθοδος των Ειδώλων (Μέθοδος Κατοπτρισμού)

Έστω ότι στον απέραντο χώρο υπάρχει ένας αγωγός και ηλεκτρικά φορτία έξω απ' αυτόν. Στην περίπτωση αυτή στην επιφάνεια του αγωγού επάγονται φορτία, τα οποία κατανέμονται με τρόπο ώστε το πεδίο στο εσωτερικό του να είναι μηδενικό και ο όγκος του ισοδυναμικός. Γενικά, η κατανομή των επιφανειακών φορτίων είναι άγνωστη και γι' αυτό ο υπολογισμός του δυναμικού και του πεδίου είναι δύσκολος. Όμως, για μερικές απλές γεωμετρίες, που περιλαμβάνουν απέραντα αγωγήμα επίπεδα, αγωγίμους κυλίνδρους άπειρου μήκους, ή αγωγίμες σφαίρες, η λύση μπορεί να βρεθεί με αφαίρεση του αγωγού και αντικατάσταση του από ένα σύνολο ισοδύναμων φορτίων, τοποθετημένων στο χώρο που κάλυπτε πριν ο αγωγός. Τα φορτία αυτά ονομάζονται **είδωλα** και επιλέγονται κατάλληλα, έτσι ώστε μαζί με τα αρχικά φορτία να καθιστούν ισοδυναμική την επιφάνεια του αγωγού, χωρίς να μεταβάλλουν το δυναμικό του ή το συνολικό φορτίο του, ανάλογα με τα δεδομένα του προβλήματος. Αν είναι γνωστά τα είδωλα, το πρόβλημα λύνεται με επαλληλία, σαν να μην υπάρχει ο

αγωγός, αλλά μόνον αυτά και τα αρχικά φορτία. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται **μέθοδος των ειδώλων** ή **μέθοδος του κατοπτρισμού** [15].

Το ερώτημα είναι πώς θα "μαντέψουμε" τα μεγέθη και τις θέσεις των ειδώλων. Εκείνο που συμβαίνει στην πράξη είναι συνήθως το αντίστροφο. Γνωρίζουμε το δυναμικό και τη μορφή των ισοδυναμικών επιφανειών διαφόρων κατανομών φορτίων, γνωστών σε όλο το χώρο. Αν κάποια από αυτές τις ισοδυναμικές επιφάνειες αντικατασταθεί με ένα πολύ λεπτό αγωγίμο κελύφος, που έχει το ίδιο σχήμα και το ίδιο δυναμικό μ' αυτήν, δεν θα υπάρξει καμία μεταβολή του πεδίου στις δύο περιοχές του χώρου που βρίσκονται προς τις δύο όψεις του. Οι πεδιακές γραμμές θα παραμένουν κάθετες στις επιφάνειες του κελύφους. Βέβαια, στο εσωτερικό του αγωγού του κελύφους το πεδίο θα είναι μηδενικό. Αυτό σημαίνει ότι το κελύφος χωρίζει το αρχικό πεδίο σε δύο ανεξάρτητα τμήματα, που το καθένα μπορεί να παραμείνει αμετάβλητο, άσχετα από το τι συμβαίνει στο άλλο. Έτσι, από το ένα μπορούμε να αφαιρέσουμε όλα τα φορτία ή να το αντικαταστήσουμε με κάποιον αγωγό, χωρίς να αλλάξει τίποτε στο άλλο τμήμα. Αυτό είναι προφανές από το θεώρημα της μοναδικότητας, διότι με την εισαγωγή του λεπτού αγωγίμου κελύφους δεν αλλάζουν οι οριακές συνθήκες (Dirichlet) στην ισοδυναμική επιφάνεια την οποία αντικαθιστά.

Οι προηγούμενες παρατηρήσεις δίνουν τη δυνατότητα να απαντήσουμε στο ερώτημα που τέθηκε πριν, σχετικά με την εύρεση των ειδώλων. Δίνεται ο αγωγός και η κατανομή φορτίων έξω από αυτόν. Χρησιμοποιώντας την εμπειρία μας και ερευνώντας κατανομές φορτίων γνωστές σε όλο το χώρο, αναζητούμε εκείνη η οποία 1) ταυτίζεται με τη δοσμένη κατανομή στην περιοχή εκτός του αγωγού και 2) στη περιοχή που κατείχε ο αγωγός (με επιφάνεια  $S$ ) περιλαμβάνει τέτοια φορτία, ώστε η  $S$  να είναι ισοδυναμική επιφάνεια της συνολικής κατανομής, με δυναμικό ή συνολικό φορτίο ίδιο με αυτό του αγωγού. Τα φορτία τα οποία βρίσκονται στην "περιοχή του αγωγού" είναι τα ζητούμενα είδωλα. Το δυναμικό εκτός του αγωγού βρίσκεται με επαλληλία των δυναμικών των αρχικών φορτίων και των ειδώλων, θεωρώντας ότι ο αγωγός δεν υπάρχει και ότι όλος ο χώρος είναι ομογενής, με επιτρεπτότητα ίδια με αυτή του μέσου όπου βρίσκονται τα αρχικά φορτία (βοηθητικό πρόβλημα). Το δυναμικό στο εσωτερικό του αγωγού είναι γνωστό και δεν υπολογίζεται με την προηγούμενη επαλληλία, η οποία στην περίπτωση αυτή δεν δίνει το σωστό αποτέλεσμα.

Η μέθοδος που αναπτύξαμε πριν ονομάζεται μέθοδος των ειδώλων, όταν έξω από τον αγωγό υπάρχουν φορτία. Μπορεί να εφαρμοστεί όμως και στην περίπτωση που δεν υπάρχουν εξωτερικά φορτία. Το μόνο που αλλάζει στην προηγούμενη ανάπτυξη είναι ότι τα εξωτερικά (αρχικά) φορτία θεωρούνται μηδενικά, ενώ τα "εσωτερικά" φορτία δεν ονομάζονται είδωλα.

Η μέθοδος των ειδώλων, συνεπώς, αποτελεί μία τεχνική σύμφωνα με την οποία θεωρούμε μία διάταξη φανταστικών φορτίων-ειδώλων στο εξωτερικό του όγκου  $V$  έτσι ώστε το πεδίο των φορτίων-ειδώλων συν το πεδίο των πραγματικών φορτίων μέσα στον όγκο  $V$  να ικανοποιεί τις συνοριακές συνθήκες για το πεδίο  $\phi$  στο σύνορο του  $V$ . Το θεώρημα της μοναδικότητας εξασφαλίζει ότι το πεδίο στο εσωτερικό του  $V$  είναι το σωστό. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε λίγες μόνο περιπτώσεις, όπου δηλαδή η συμμετρία του προβλήματος το επιτρέπει.

Θα ασχοληθούμε τώρα με το απλούστερο παράδειγμα του σημειακού φορτίου κόντα σε αγωγίμο επίπεδο.

Για να διατυπώσουμε το πρόβλημα με μαθηματικό τρόπο, θα θεωρήσουμε πως το επίπεδο συμπίπτει με το επίπεδο  $yz$  και το σημειακό φορτίο φορτίο βρίσκεται πάνω στον άξονα  $x=d$  (βλέπε σχήμα 3.3α).

Επιπλέον υποθέσουμε ότι το δυναμικό μπορεί να γραφεί με την παρακάτω μορφή:

$$\varphi(r) = \varphi_1(r) + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_S \frac{\sigma(r') da'}{|r-r'|} \quad (3.1)$$

$$\text{όπου η } \varphi_1(x, y, z) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r_1} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{(x-d)^2 + y^2 + z^2}} \quad (3.2)$$

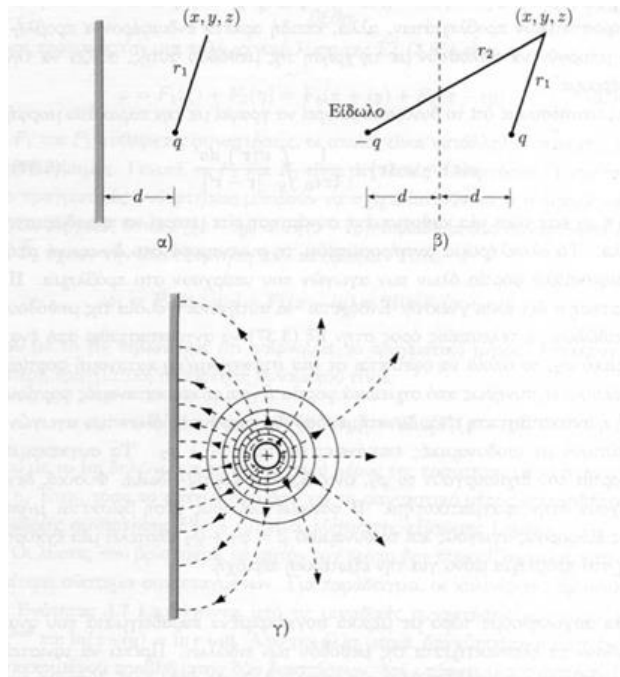
Ας θεωρήσουμε τώρα ένα διαφορετικό πρόβλημα, αυτό των δύο σημειακών φορτίων ( $q$  και  $-q$ ) που η μεταξύ τους απόσταση είναι  $2d$ , όπως φαίνεται στο Σχ.(3.1β). Το δυναμικό που οφείλεται στα δύο φορτία:

$$\varphi(x, y, z) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_1} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_2} \quad (3.3)$$

όχι μόνο ικανοποιεί την εξίσωση Laplace σε όλα τα σημεία εκτός των φορτίων, αλλά, επίσης, ανάγεται σε μία σταθερά (ίση με μηδέν) πάνω στο μεσοκάθετο, της απόστασης των φορτίων, επίπεδο. Επομένως, η Εξ.(3.3) ικανοποιεί συνοριακές συνθήκες του αρχικού προβλήματος. Επειδή οι λύσεις της εξίσωσης Laplace είναι μοναδικές, η Εξ. (3.3) αποτελεί τη σωστή λύση δυναμικό στο δεξί μέρος του χώρου που ορίζει το αγωγίμο επίπεδο. Το φορτίο  $-q$  συμβάλλει στο δυναμικό με:

$$\varphi_2(x, y, z) = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_2} = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{(x+d)^2 + y^2 + z^2}} \quad (3.4)$$

Το φορτίο αυτό καλείται είδωλο του σημειακού φορτίου  $q$ . Φυσικά, το είδωλο δεν υπάρχει πραγματικά και η Εξ. (3.2) δεν αποδίδει σωστά το δυναμικό αριστερά του αγωγίμου επιπέδου στο Σχ.(3.3α) [14].



Σχήμα 3.1: Η μέθοδος των ειδώλων για το πρόβλημα ενός σημειακού ου και ενός αγωγίμου επιπέδου: α) το αρχικό πρόβλημα, β) τοποθέτηση φορτίου-ειδώλου, γ) σχεδίαση των δυναμικών γραμμών (διακεκομμένες) των ισοδυναμικών επιφανειών (συνεχείς).



Το ηλεκτρικό πεδίο  $E$  στην περιοχή δεξιά του αγωγίμου επιπέδου υπολογίζεται αν θεωρήσουμε την αρνητική βαθμίδα της Εξ.(3.3). Αφού το αγωγίμο επίπεδο αποτελεί μία ενδιάμεση επιφάνεια, που συνδέει δύο λύσεις της εξίσωσης Laplace, δηλαδή τη  $\varphi = 0$  και την Εξ.(10.3), η ασυνέχεια στο ηλεκτρικό πεδίο διευθετείται από τη δημιουργία επιφανειακής πυκνότητας φορτίου πάνω στο επίπεδο:

$$\sigma(y, z) = \varepsilon_0 E_x|_{x=0} = -\frac{qd}{2\pi(d^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \quad (3.5)$$

Οι δυναμικές γραμμές και οι ισοδυναμικές επιφάνειες του αρχικού προβλήματος παρουσιάζονται στο Σχ.(3.1γ) και είναι ίδιες με αυτές που περιγράφουν το πρόβλημα των δύο σημειακών φορτίων του Σχ.(3.1β). Μόνο που στο Σχ.(3.1β) οι δυναμικές γραμμές επεκτείνονται και στο αριστερό ημιεπίπεδο. Είναι φανερό πως όλες οι γραμμές της ηλεκτρικής ροής, οι οποίες κανονικά θα συνέκλιναν στο φορτίο-είδωλο, ανακόπτονται από την πλάκα, Σχ.(3.1γ). Έτσι, το συνολικό φορτίο του επιπέδου ισούται με το είδωλο του φορτίου, δηλαδή το  $-q$ . Στο ίδιο αποτέλεσμα θα καταλήγαμε ολοκληρώνοντας την Εξ.(3.5) πάνω σε όλο το επίπεδο

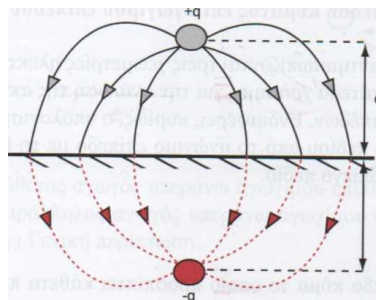
Είναι προφανές πως το σημειακό φορτίο  $q$  ασκεί μία ελκτική δύναμη στο επίπεδο, επειδή το επαγόμενο επιφανειακό φορτίο έχει αντίθετο πρόσημο. Από το νόμο της δράσης -αντίδρασης του Νεύτωνα προκύπτει ότι ασκείται από το επίπεδο στο φορτίο  $q$  δύναμη ίσου μέτρου. Αφού στο σημειακό φορτίο  $q$  δεν ασκείται καμία δύναμη λόγω του δικού του πεδίου, έχουμε:

$$F = -q\nabla\varphi_2 \quad (3.5)$$

που είναι ακριβώς η δύναμη που ασκείται σε αυτό από το είδωλό του.

Η παρουσία σκεδαστών στο περιβάλλον μιας κεραίας επηρεάζει σημαντικά τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της, λόγω της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων επί των σκεδαστών.

Ας θεωρηθεί ένα σημειακό ηλεκτρικό φορτίο  $q$  που βρίσκεται σε απόσταση  $d$  πάνω από ένα αγωγίμο επίπεδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2 [13]. Ο υπολογισμός του ηλεκτροστατικού πεδίου που δημιουργείται από τη διάταξη μπορεί να γίνει με την αντικατάσταση του αγωγίμου επιπέδου από το είδωλο του φορτίου. Το είδωλο πρέπει να έχει τέτοιο φορτίο και να είναι τοποθετημένο σε τέτοια θέση, ώστε η κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή πάνω από τη θέση του αγωγίμου επιπέδου να μη διαταράσσεται. Όπως είναι φανερό από το σχήμα 3.2, η τοποθέτηση του ειδώλου με αντίθετο φορτίο σε απόσταση  $a$  συμμετρικά ως προς το αρχικό φορτίο δημιουργεί την ίδια κατανομή ηλεκτρικού πεδίου με το αρχικό πρόβλημα στο χώρο πάνω από το αγωγίμο επίπεδο.

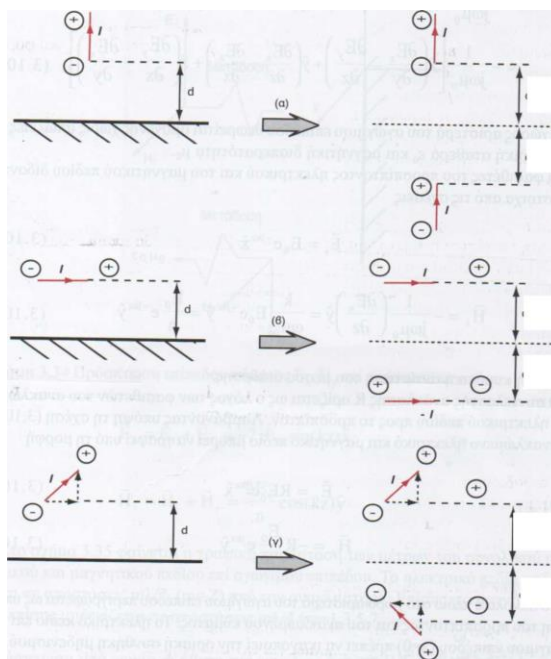


Σχήμα 3.2: Τοποθέτηση ειδώλου με αντίθετο φορτίο

Στη συνέχεια, ας θεωρηθεί ένα στοιχειώδης αγωγός με ρεύμα  $I$  ο οποίος είναι κάθετος και σε απόσταση  $a$  από αγωγίμο επίπεδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3α. Επειδή το ηλεκτρικό ρεύμα αντιστοιχεί σε ροή ηλεκτρικών φορτίων, παρατηρείται συσσώρευση θετικών ηλεκτρικών φορτίων στο πάνω άκρο του στοιχειώδους αγωγού και αντίστοιχα συσσώρευση αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων στο κάτω άκρο του, όπως αντιστοιχεί στη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος. Με ανάλογο τρόπο, όπως και στην περίπτωση του σχήματος 3.2, το αγωγίμο επίπεδο μπορεί να αντικατασταθεί από τα είδωλα των ηλεκτρικών φορτίων που τοποθετούνται συμμετρικά ως προς το αγωγίμο επίπεδο με αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο σε σχέση με τα αρχικά. Επομένως, εύκολα προκύπτει ότι το είδωλο του στοιχειώδους κατακόρυφου αγωγού με ρεύμα  $I$  είναι αγωγός συμμετρικά τοποθετημένος ως προς το αγωγίμο επίπεδο με ρεύμα της ίδιας φοράς.

Με αντίστοιχο σκεπτικό διαπιστώνεται ότι το είδωλο στοιχειώδους δίπολου παράλληλου με το αγωγίμο επίπεδο αγωγού με ρεύμα  $I$  είναι αγωγός συμμετρικά τοποθετημένος ως προς το αγωγίμο επίπεδο με ρεύμα αντίθετης φοράς (σχήμα 3.3β).

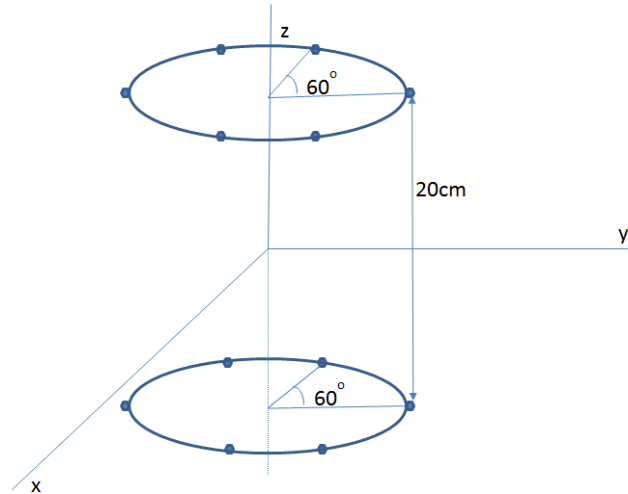
Τέλος, αν ο αγωγός είναι τοποθετημένος κατα αυθαίρετο τρόπο υπεράνω αγωγίμου επιπέδου το ρεύμα είναι δυνατόν να αναλυθεί σε κατάλληλες συνιστώσες και να προσδιοριστούν τα ισοδύναμα είδωλα των περιπτώσεων (α) και (β). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή της θέσης των ειδώλων καθώς και η φορά των ρευμάτων είναι τέτοια ώστε να ικανοποιούνται οι οριακές συνθήκες επί του αγωγίμου επιπέδου δηλαδή ο μηδενισμός του εφαπτομενικού ηλεκτρικού πεδίου.



Σχήμα 3.3(α) Κάθετος αγωγός υπεράνω αγωγίμου επιπέδου και το είδωλο του  
 (β) Παράλληλος αγωγός υπεράνω αγωγίμου επιπέδου και το είδωλο του..  
 (γ) Γενική περίπτωση

### 3.3 Η Διάταξη του Πειράματος

Η πειραματική διαδικασία (σχήμα 3.4) πραγματοποιήθηκε με στόχο τη μέτρηση της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου θεωρώντας τους ρευματικούς βρόχους σε ισοδύναμα μαγνητικά και ηλεκτρικά δίπολα.



Σχήμα 3.4: Πειραματική Διάταξη

Αρχικά τοποθετήσαμε 12 μαγνητόμετρα, 6 από αυτά σε κύκλο με κέντρο  $[0,0,10\text{cm}]$  και ακτίνα  $r_c=50\text{cm}$  σε γωνία  $60^\circ$  το ένα από το άλλο και τα υπολοιπα 6 μαγνητόμετρα σε κύκλο με κέντρο  $[0,0,-10\text{cm}]$  με όμοια ακτίνα και γωνίες τοποθέτησης των μαγνητομέτρων. Η θέση της πηγής του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, η οποία προσομοιώνεται στο πείραμα μας με ένα δίπολο, επιλέχθηκε τυχαία στα  $[1,1, 5]$  (cm). Χρησιμοποιώντας τις μαγνητικές ροπές για τις διάφορες μπάντες συχνοτήτων σύμφωνα με τις προδιαγραφές για τη διαστημική αποστολή THOR λαμβάνουμε μετρήσεις για την ένταση του ηλεκτρικού μαγνητικού πεδίου στη συγκεκριμένη θέση του διπόλου. Επαναλαμβάνουμε τις ίδιες μετρήσεις αλλάζοντας της θέση του διπόλου στα  $[1,1,-5]$ (cm). Έπειτα αυξάνουμε την ακτίνα του κύκλου των μαγνητομέτρων στα  $r_c=6.3\text{m}$  και επαναλαμβάνουμε τις ίδιες μετρήσεις. Για τον υπολογισμό του ηλεκτρικού πεδίου χρησιμοποιήθηκε συχνότητα 200 KHz γνωρίζοντας ότι το ηλεκτρικό πεδίο είναι μετρήσιμο σε συχνότητες πάνω των 10KHz ήταν η μόνη συχνότητα για την οποία γνωρίζαμε τη μαγνητική ροπή της από τις προδιαγραφές της αποστολής του THOR.

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε τη μέθοδο των ειδώλων για να υπολογίσουμε την ένταση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου της πηγής δίπολο παρουσία ενός αγωγίμου επιπέδου και επαναλαμβάνουμε της ίδιες μετρήσεις. Θεωρείται χρήσιμο να παρουσιαστούν οι βασικές μαθηματικές σχέσεις στις οποίες βασίστηκε ο υπολογισμός του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου της πηγής διπόλου.

Το μαγνητικό πεδίο που παράγεται από μία μαγνητική ροπή σε ένα σημείο παρατήρησης  $r_c$  μπορεί να περιγραφεί με την ακόλουθη σχέση [19]:

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}_c, t) = \frac{e^{-i\omega t} \mu_0}{4\pi} \left[ \frac{3(\mathbf{r}_c - \mathbf{r}')[(\mathbf{r}_c - \mathbf{r}') \cdot \mathbf{m}]}{|\mathbf{r}_c - \mathbf{r}'|^5} - \frac{\mathbf{m}}{|\mathbf{r}_c - \mathbf{r}'|^3} \right] \quad (3.6)$$

όπου  $r'$  είναι η θέση της μαγνητικής ροπής στο αντίστοιχο σύστημα συντεταγμένων, ενώ μέσω της εξίσωσης του Maxwell:  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$  (3.7) προκύπτει το ηλεκτρικό πεδίο:

$$E(\mathbf{r}_c, t) = \frac{-Z_0 i k e^{-i\omega t}}{4\pi} ((\mathbf{r}_c - \mathbf{r}') \times \mathbf{m}) \frac{1}{|\mathbf{r}_c - \mathbf{r}'|^3} \quad (3.8)$$

Για κάθε προσομοίωση (δίπολο) που τρέχουμε υπολογίζουμε ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό δίπολο ταλαντώνεται στα 200 KHz. Το μαγνητικό του πεδίο θα είναι το στατικό (Εξ. 3.6) πολλαπλασιασμένο με τον όρο  $e^{-i\omega t}$ , δηλαδή θα ταλαντώνεται στο χρόνο με τον ίδιο τρόπο που ταλαντώνεται η μαγνητική ροπή και θα έχει διαστάσεις  $1/r^3$ . Το ηλεκτρικό πεδίο (Εξ.3.8) εξαρτάται από τη συχνότητα ( $k = \omega/c$ ) και έχει διαστάσεις  $1/r^2$ .

Οπότε για κάθε δίπολο, ή ακόμα και για 2 διπολα (θεωρία ειδώλων) υπολογίζουμε το μέτρο του μαγνητικού και του ηλεκτρικού πεδίου σε nT και  $\mu V/m$  αντίστοιχα. Συγκρίνουμε δηλαδή μαγνητικό με μαγνητικό και ηλεκτρικό με ηλεκτρικό στις διάφορες περιπτώσεις (μέγεθος ροπής, συχνότητα, θέση διπόλου, θεωρία ειδώλων).

### 3.4 Παρουσίαση των μετρήσεων μετά των ιστογραμμάτων της έντασης του μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου της πηγής-διπόλου.

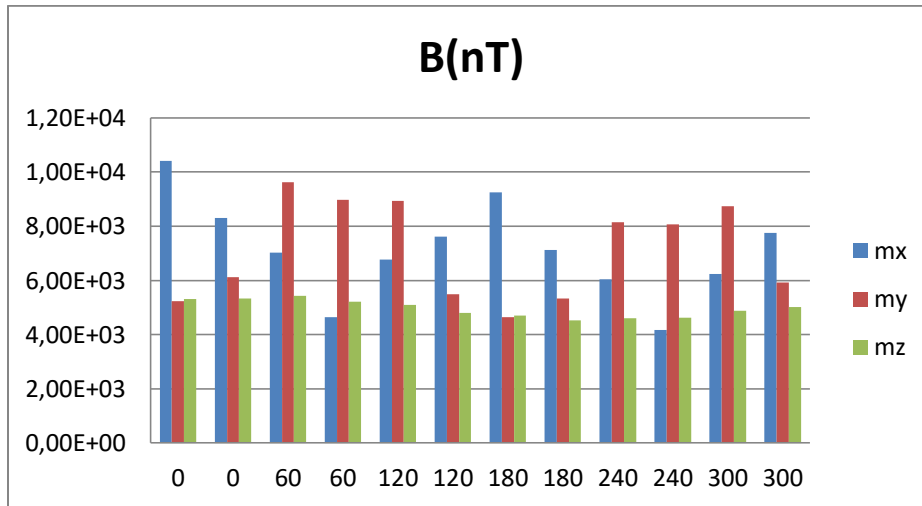
#### 3.4.1 Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγή

##### 3.4.1.1 Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγή σε απόσταση 50cm

Θεωρώ μια DC πηγή με  $m=6250\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm

rc=50cm m=6250mA·m <sup>2</sup> DC	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
$m_x$ (πάνω κύκλος)	1,04E+04	7,02E+03	6,77E+03	9,25E+03	6,03E+03	6,23E+03
(κάτω κύκλος)	8,31E+03	4,64E+03	7,61E+03	7,13E+03	4,16E+03	7,75E+03
$m_y$ (πάνω κύκλος)	5,23E+03	9,63E+03	8,93E+03	4,64E+03	8,15E+03	8,74E+03
(κάτω κύκλος)	6,12E+03	8,98E+03	5,48E+03	5,33E+03	8,06E+03	5,93E+03
$m_z$ (πάνω κύκλος)	5,31E+03	5,43E+03	5,10E+03	4,71E+03	4,61E+03	4,89E+03
(κάτω κύκλος)	5,32E+03	5,20E+03	4,80E+03	4,53E+03	4,63E+03	5,01E+03

Πίνακας 3.1: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=50\text{cm}, m=6250\text{mA}\cdot\text{m}^2, DC$



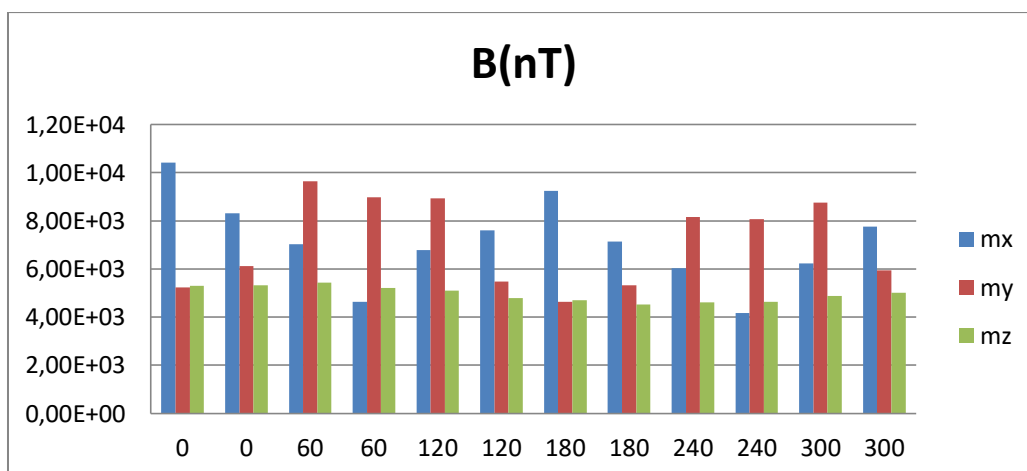
Σχήμα 3.5: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.1

### 3.4.1.2 Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγή σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής

Θεωρώ μια DC πηγή με  $m=-6250\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

rc=50cm m=-6250mA·m <sup>2</sup> DC	B(nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	<b>m<sub>x</sub></b> (πάνω κύκλος)	8,98E+03	6,12E+03	5,93E+03	8,06E+03	5,33E+03
(κάτω κύκλος)	9,63E+03	5,23E+03	8,74E+03	8,15E+03	4,64E+03	8,93E+03
<b>m<sub>y</sub></b> (πάνω κύκλος)	4,64E+03	8,31E+03	7,75E+03	4,16E+03	7,13E+03	7,61E+03
(κάτω κύκλος)	7,02E+03	1,04E+04	6,23E+03	6,03E+03	9,25E+03	6,77E+03
<b>m<sub>z</sub></b> (πάνω κύκλος)	5,20E+03	5,32E+03	5,01E+03	4,63E+03	4,53E+03	4,80E+03
(κάτω κύκλος)	5,43E+03	5,31E+03	4,89E+03	4,61E+03	4,71E+03	5,10E+03

Πίνακας 3.2: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=50cm, m=-6250mA·m<sup>2</sup>, DC



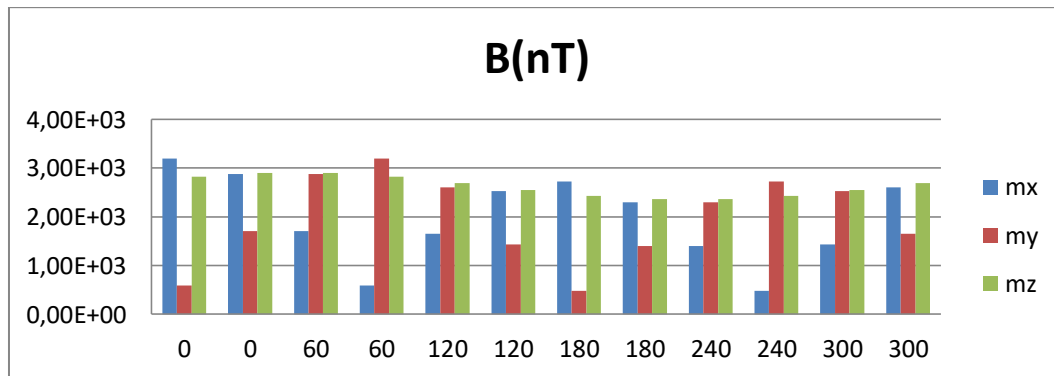
Σχήμα 3.6: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.2

### 3.4.1.3 Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγή σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίου επιπέδου

Θεωρώ μια DC πηγή με  $m=6250\text{mA}m^2$  υπεράνω αγωγίου επιπέδου και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

		B(nT)					
rc=50cm		0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=6250mA <sup>2</sup> με αγωγήμη επιφάνεια							
DC							
$m_x$ (πάνω κύκλος)		3,19E+03	1,71E+03	1,66E+03	2,73E+03	1,40E+03	1,44E+03
(κάτω κύκλος)		2,88E+03	5,89E+02	2,53E+03	2,30E+03	4,87E+02	2,60E+03
$m_y$ (πάνω κύκλος)		5,89E+02	2,88E+03	2,60E+03	4,87E+02	2,30E+03	2,53E+03
(κάτω κύκλος)		1,71E+03	3,19E+03	1,44E+03	1,40E+03	2,73E+03	1,66E+03
$m_z$ (πάνω κύκλος)		2,82E+03	2,90E+03	2,69E+03	2,43E+03	2,37E+03	2,54E+03
(κάτω κύκλος)		2,90E+03	2,82E+03	2,54E+03	2,37E+03	2,43E+03	2,69E+03

Πίνακας 3.3: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=50\text{cm}$ ,  $m=6250\text{mA}m^2$  με αγωγήμη επιφάνεια, DC



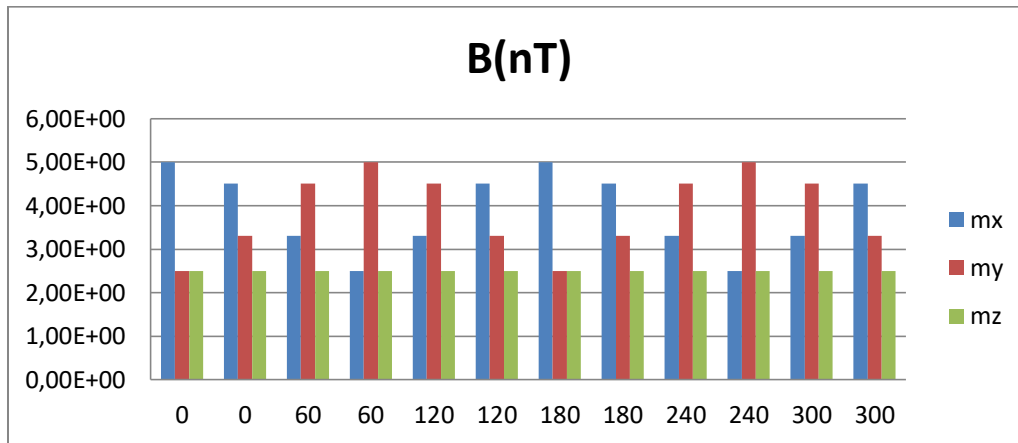
Σχήμα 3.7: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.3

### 3.4.1.4 Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγή σε απόσταση 6.30m

Θεωρώ μια DC πηγή με  $m=6250\text{mA}m^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

		B (nT)					
rc=6.30m		0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=6250mA <sup>2</sup>							
DC							
$m_x$ (πάνω κύκλος)		5,00E-03	3,31E-03	3,31E-03	5,00E-03	3,31E-03	3,31E-03
(κάτω κύκλος)		4,51E-03	2,50E-03	4,51E-03	4,50E-03	2,50E-03	4,51E-03
$m_y$ (πάνω κύκλος)		2,50E-03	4,51E-03	4,51E-03	2,50E-03	4,50E-03	4,51E-03
(κάτω κύκλος)		3,31E-03	5,00E-03	3,31E-03	3,31E-03	5,00E-03	3,31E-03
$m_z$ (πάνω κύκλος)		2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03
(κάτω κύκλος)		2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03

Πίνακας 3.4: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=6.30\text{m}$ ,  $m=6250\text{mA}m^2$ , DC



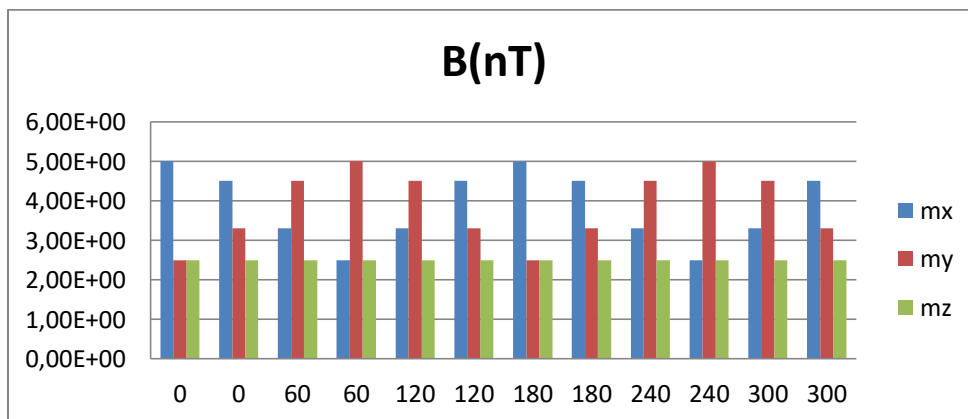
Σχήμα 3.8: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.4

### 3.4.1.5 Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής

Θεωρώ μια DC πηγή με  $m=-6250\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

	B (nT)					
	0°	60°	120	180	240°	300°
$r_c=6.30\text{m}$						
$m=-6250\text{mA}\cdot\text{m}^2$						
DC						
$m_x$ (πάνω κύκλος)	5,00E-03	3,31E-03	3,31E-03	5,00E-03	3,31E-03	3,31E-03
(κάτω κύκλος)	4,51E-03	2,50E-03	4,51E-03	4,50E-03	2,50E-03	4,51E-03
$m_y$ (πάνω κύκλος)	2,50E-03	4,51E-03	4,51E-03	2,50E-03	4,50E-03	4,51E-03
(κάτω κύκλος)	3,31E-03	5,00E-03	3,31E-03	3,31E-03	5,00E-03	3,31E-03
$m_z$ (πάνω κύκλος)	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03
(κάτω κύκλος)	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03

Πίνακας 3.5: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $r_c=6.30\text{m}, m=-6250\text{mA}\cdot\text{m}^2, \text{DC}$



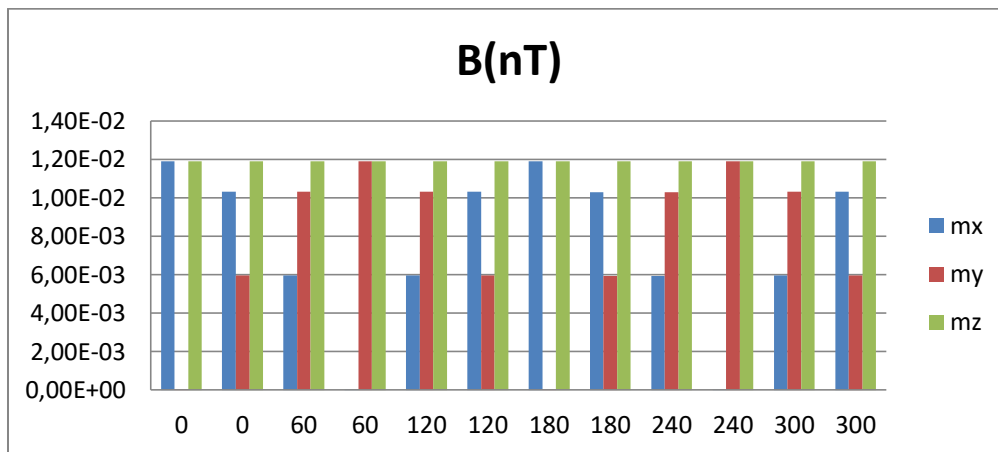
Σχήμα 3.9: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.5

### 3.4.1.6 Μαγνητικό Πεδίο από DC Πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίμου επιπέδου

Θεωρώ μια DC πηγή με  $m=6250\text{mA}\cdot\text{m}^2$  υπεράνω αγωγίμου και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

rc=6.30m m=6250mA·m <sup>2</sup> με αγωγήμη επιφάνεια DC	B (nT)					
	0°	60°	120°	180	240°	300°
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	1,19E-02	5,96E-04	5,95E-03	1,19E-02	5,95E-03	5,95E-02
(κάτω κύκλος)	1,03E-02	1,90E-05	1,03E-02	1,03E-02	1,90E-05	1,03E-02
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	1,90E-05	1,03E-02	1,03E-02	1,90E-05	1,03E-02	1,03E-02
(κάτω κύκλος)	5,96E-03	1,19E-02	5,95E-03	5,95E-03	1,19E-02	5,95E-03
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	1,19E-02	1,19E-02	1,19E-02	1,19E-02	1,19E-02	1,19E-02
(κάτω κύκλος)	1,19E-02	1,19E-02	1,19E-02	1,19E-02	1,19E-02	1,19E-02

Πίνακας 3.6: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=6.30\text{m}$ ,  $m=6250\text{mA}\cdot\text{m}^2$  με αγωγήμη επιφάνεια, DC



Σχήμα 3.10: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.6

### 3.4.2 Μαγνητικό Πεδίο από αργα μεταβαλλόμενη AC πηγή (AC>1h)

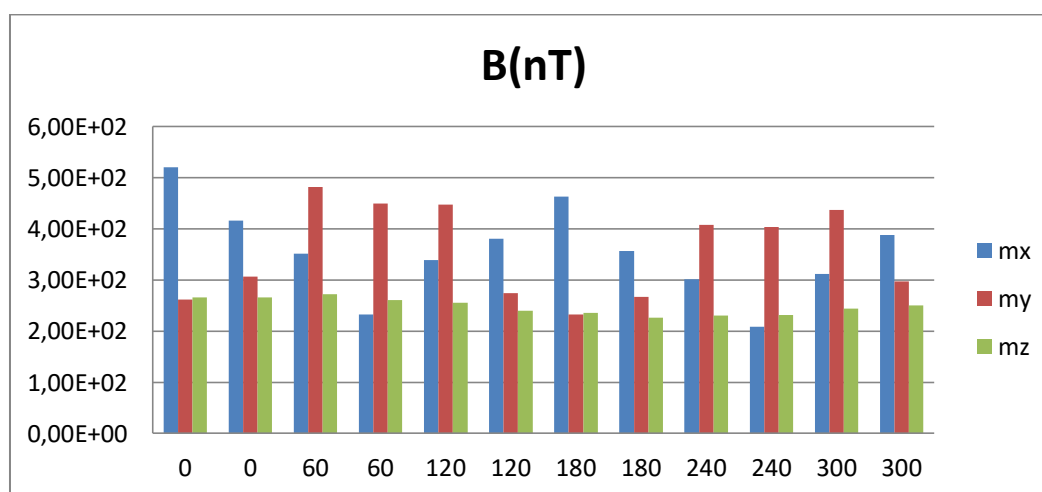
#### 3.4.2.1 Μαγνητικό Πεδίο από αργα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50 cm

Θεωρώ μια αργά μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=312.5\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.



rc=50cm m=-312.5mA <sup>2</sup> AC>1h	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	5,21E+02	3,51E+02	3,39E+02	4,62E+02	3,02E+02
(κάτω κύκλος)	4,15E+02	2,32E+02	3,81E+02	3,57E+02	2,08E+02	3,88E+02
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	2,62E+02	4,82E+02	4,47E+02	2,32E+02	4,07E+02	4,37E+02
(κάτω κύκλος)	3,06E+02	4,49E+02	2,74E+02	2,67E+02	4,03E+02	2,97E+02
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	2,65E+02	2,72E+02	2,55E+02	2,35E+02	2,31E+02	2,44E+02
(κάτω κύκλος)	2,66E+02	2,60E+02	2,40E+02	2,27E+02	2,31E+02	2,50E+02

Πίνακας 3.7: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=50cm,m=312.5mA<sup>2</sup>,AC>1h



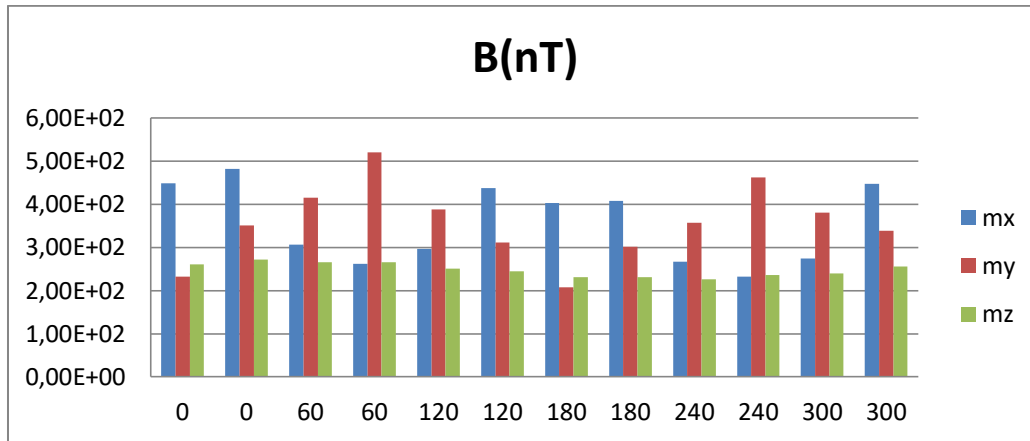
Σχήμα 3.11: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.7

### 3.4.2.2 Μαγνητικό Πεδίο από αργά μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50 cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροής

Θεωρώ μια αργά μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-312.5\text{mA}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

rc=50cm m=-312.5mA <sup>2</sup> AC>1h	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	4,49E+02	3,06E+02	2,97E+02	4,03E+02	2,67E+02
(κάτω κύκλος)	4,82E+02	2,62E+02	4,37E+02	4,07E+02	2,32E+02	4,47E+02
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	2,32E+02	4,15E+02	3,88E+02	2,08E+02	3,57E+02	3,81E+02
(κάτω κύκλος)	3,51E+02	5,21E+02	3,12E+02	3,02E+02	4,62E+02	3,39E+02
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	2,60E+02	2,66E+02	2,50E+02	2,31E+02	2,27E+02	2,40E+02
(κάτω κύκλος)	2,72E+02	2,65E+02	2,44E+02	2,31E+02	2,35E+02	2,55E+02

Πίνακας 3.8: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=50cm,m=-312.5mA<sup>2</sup>,AC>1h



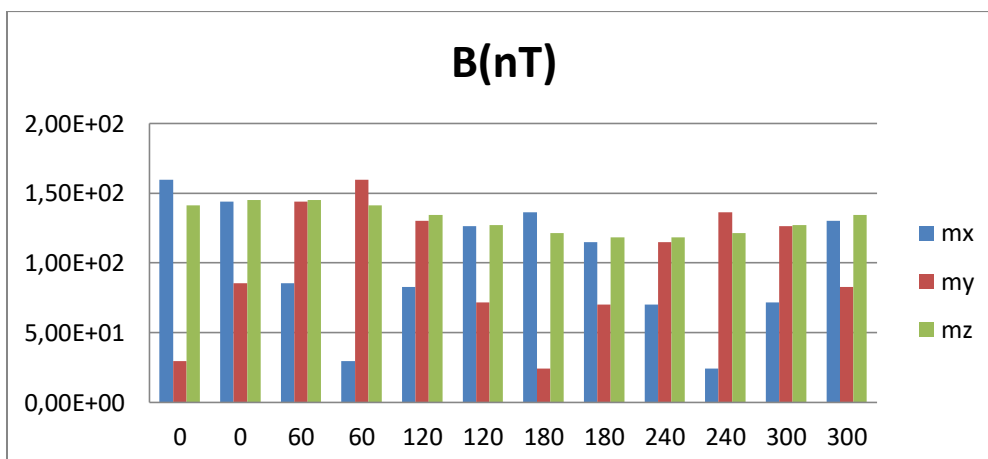
Σχήμα 3.12: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.8

### 3.4.2.3 Μαγνητικό Πεδίο από αργά μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50 cm υπεράνω αγωγίμου επιπέδου

Θεωρώ μια αργά μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=312.5\text{mA}\cdot\text{m}^2$  υπεράνω αγωγίμου επιπέδου και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

rc=50cm m=312.5mA·m <sup>2</sup> με αγωγή επιφάνεια AC>1h	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
<b>m<sub>x</sub></b> (πάνω κύκλος)	1,60E+02	8,54E+01	8,28E+01	1,36E+02	7,01E+01	7,18E+01
(κάτω κύκλος)	1,44E+02	2,95E+01	1,26E+02	1,15E+02	2,43E+01	1,30E+02
<b>m<sub>y</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,95E+01	1,44E+02	1,30E+02	2,43E+01	1,15E+02	1,26E+02
(κάτω κύκλος)	8,54E+01	1,60E+02	7,18E+01	7,01E+01	1,36E+02	8,28E+01
<b>m<sub>z</sub></b> (πάνω κύκλος)	1,41E+02	1,45E+02	1,34E+02	1,21E+02	1,18E+02	1,27E+02
(κάτω κύκλος)	1,45E+02	1,41E+02	1,27E+02	1,18E+02	1,21E+02	1,34E+02

Πίνακας 3.9: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=50\text{cm}$ ,  $m=312.5\text{mA}\cdot\text{m}^2$  με αγωγή επιφάνεια,  $AC>1h$



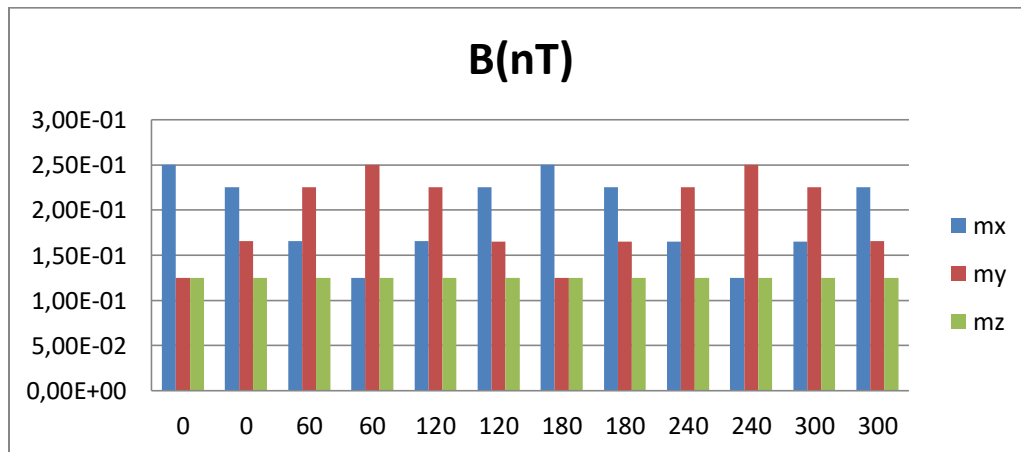
Σχήμα 3.13: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.9

### 3.4.2.4 Μαγνητικό Πεδίο από αργά μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m

Θεωρώ μια αργά μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=312.5\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

rc=6.30m m=312.5mA·m <sup>2</sup> AC>1h	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	$m_x$ (πάνω κύκλος)	2,50E-01	1,65E-01	1,65E-01	2,50E-01	1,65E-01
(κάτω κύκλος)	2,25E-01	1,25E-01	2,25E-01	2,25E-01	1,25E-01	2,25E-01
$m_y$ (πάνω κύκλος)	1,25E-01	2,25E-01	1,25E-01	2,25E-01	2,25E-01	1,25E-01
(κάτω κύκλος)	1,65E-01	1,65E-01	1,65E-01	2,50E-01	1,65E-01	1,65E-01
$m_z$ (πάνω κύκλος)	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01
(κάτω κύκλος)	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01

Πίνακας 3.10: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=6.30\text{m}$ ,  $m=312.5\text{mA}\cdot\text{m}^2$ ,  $AC>1\text{h}$



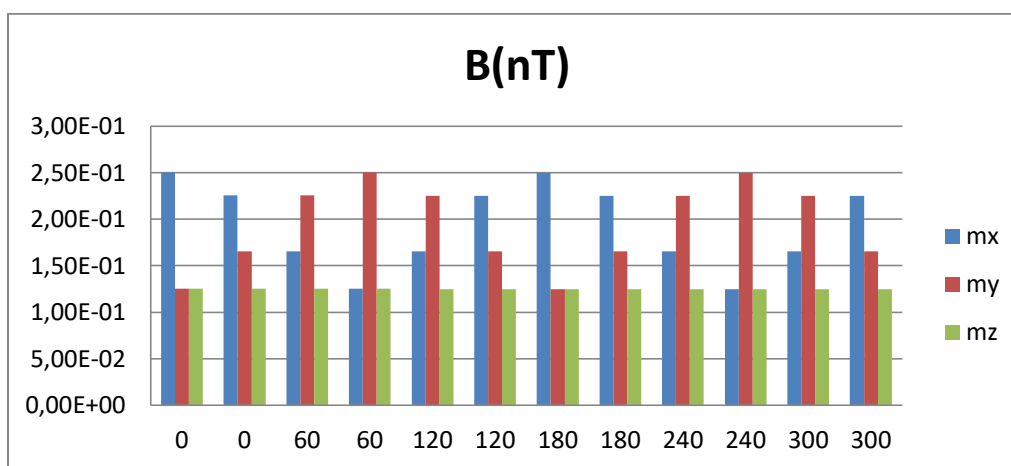
Σχήμα 3.14: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.10

### 3.4.2.5 Μαγνητικό Πεδίο από αργά μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροής

Θεωρώ μια αργά μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-312.5\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

rc=6.30m m=-312.5mA <sup>2</sup> AC>1h	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	2,50E-01	1,65E-01	1,65E-01	2,50E-01	1,65E-01
(κάτω κύκλος)	2,25E-01	1,25E-01	2,25E-01	2,25E-01	1,25E-01	2,25E-01
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	1,25E-01	2,25E-01	1,25E-01	2,25E-01	2,25E-01	1,25E-01
(κάτω κύκλος)	1,65E-01	1,65E-01	1,65E-01	2,50E-01	1,65E-01	1,65E-01
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01
(κάτω κύκλος)	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01

Πίνακας 3.11: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=6.30m,m=-312.5mA<sup>2</sup>,AC>1h



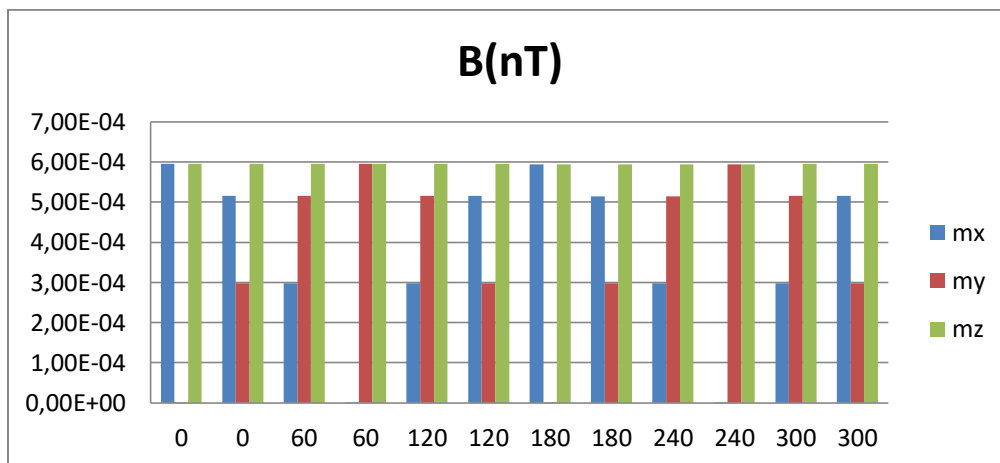
Σχήμα 3.15: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.11

### 3.4.2.6 Μαγνητικό Πεδίο από αργά μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίου επιπέδου

Θεωρώ μια αργά μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=312.5\text{mA}^2$  υπεράνω αγωγίου επιπέδου και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

rc=6.30m m=312.5mA <sup>2</sup> με αγωγιμη επιφάνεια AC>1h	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	5,96E-04	2,98E-04	2,98E-04	5,95E-04	2,97E-04
(κάτω κύκλος)	5,16E-04	9,50E-07	5,15E-04	5,15E-04	9,49E-07	5,15E-04
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	9,50E-07	5,16E-04	5,15E-04	9,49E-07	5,15E-04	5,15E-04
(κάτω κύκλος)	2,98E-04	5,96E-04	2,97E-04	2,97E-04	5,95E-04	2,98E-04
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	5,95E-04	5,96E-04	5,95E-04	5,95E-04	5,95E-04	5,95E-04
(κάτω κύκλος)	5,96E-04	5,95E-04	5,95E-04	5,95E-04	5,95E-04	5,95E-04

Πίνακας 3.12: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=6.30m,m=312.5mA<sup>2</sup> με αγωγήμη επιφάνεια, AC>1h



Σχήμα 3.16: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.12

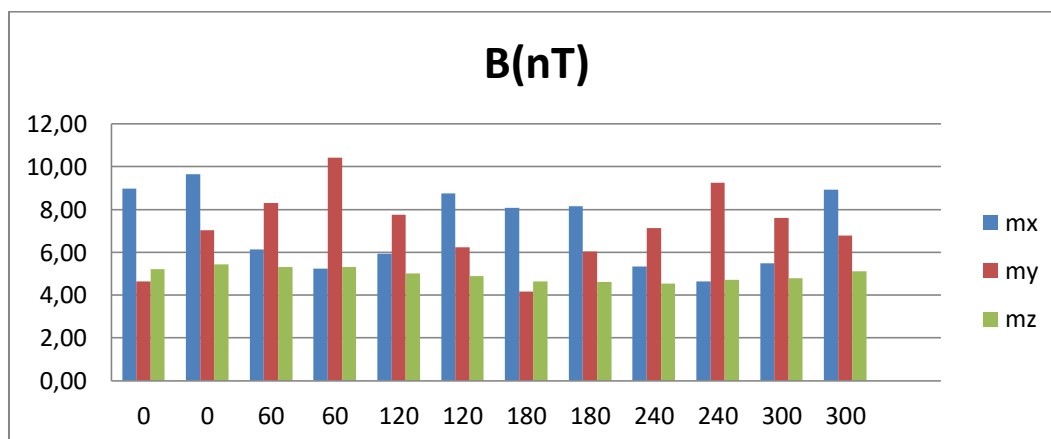
### 3.4.3 Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή ( $1h > AC > 1s$ )

#### 3.4.3.1 Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm

Θεωρώ μια μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=6.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
$r_c=50\text{cm}$						
$m=6.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$						
$1h > AC > 1s$						
$m_x$ (πάνω κύκλος)	10,41	7,02	6,77	9,25	6,03	6,23
(κάτω κύκλος)	8,31	4,64	7,61	7,13	4,16	7,75
$m_y$ (πάνω κύκλος)	5,23	9,63	8,93	4,64	8,15	8,74
(κάτω κύκλος)	6,12	8,98	5,48	5,33	8,06	5,93
$m_z$ (πάνω κύκλος)	5,31	5,43	5,10	4,71	4,61	4,89
(κάτω κύκλος)	5,32	5,20	4,80	4,53	4,63	5,01

Πίνακας 3.13: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $r_c=50\text{cm}$ ,  $m=6.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$ ,  $1h > AC > 1s$



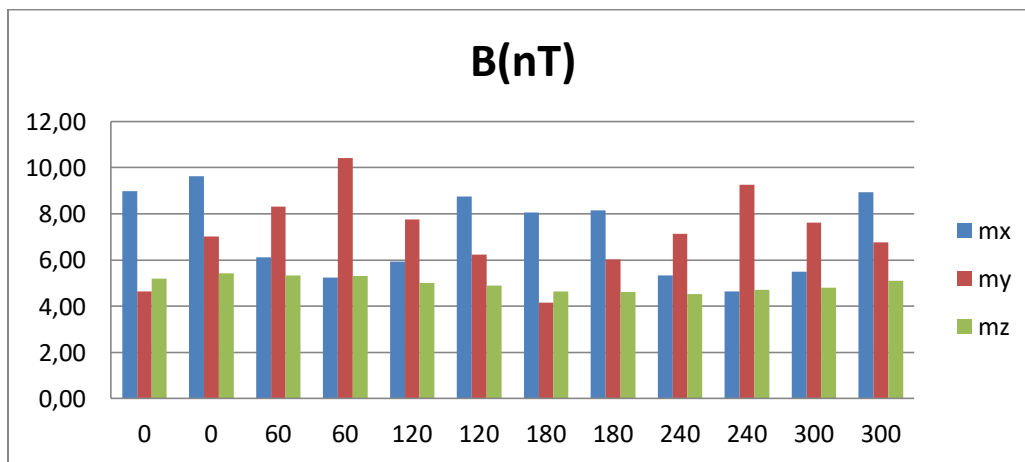
Σχήμα 3.17: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.13

### 3.4.3.2 Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροής

Θεωρώ μια μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-6.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

	B (nT)					
$r_c=50\text{cm}$ $m=-6.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$ $ h>AC>1\text{s}$	$0^\circ$	$60^\circ$	$120^\circ$	$180^\circ$	$240^\circ$	$300^\circ$
$m_x$ (πάνω κύκλος)	8,98	6,12	5,93	8,06	5,33	5,48
(κάτω κύκλος)	9,63	5,23	8,74	8,15	4,64	8,93
$m_y$ (πάνω κύκλος)	4,64	8,31	7,75	4,16	7,13	7,61
(κάτω κύκλος)	7,02	10,41	6,23	6,03	9,25	6,77
$m_z$ (πάνω κύκλος)	5,20	5,32	5,01	4,63	4,53	4,80
(κάτω κύκλος)	5,43	5,31	4,89	4,61	4,71	5,10

Πίνακας 3.14: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $r_c=50\text{cm}$ ,  $m=-6.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$ ,  $|h>AC>1\text{s}$



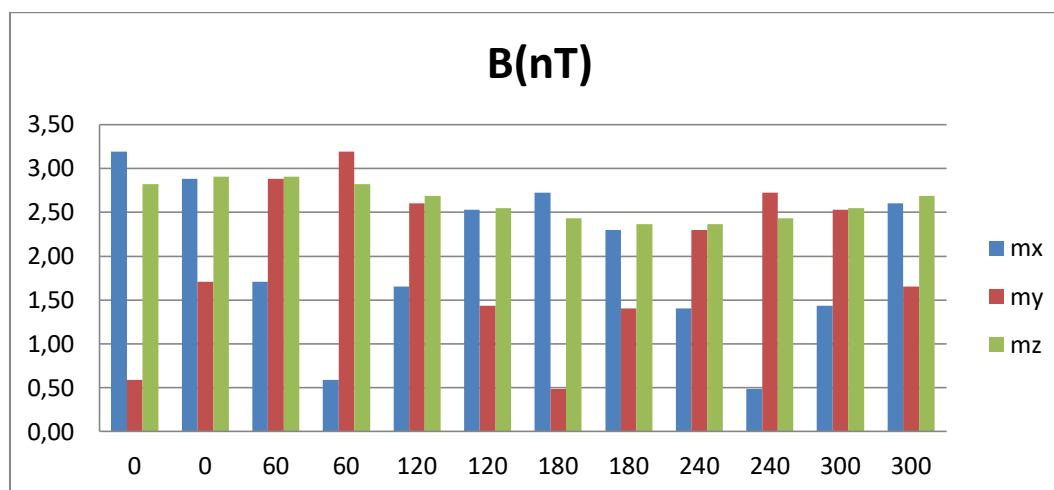
Σχήμα 3.18: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.14

### 3.4.3.3 Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίου επιπέδου

Θεωρώ μια μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=6.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  υπεράνω αγωγίου επιπέδου και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

rc=50cm m=6.25mA <sup>2</sup> με αγώγιμη επιφάνεια  h>AC>1s	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	3,19	1,71	1,66	2,73	1,40
(κάτω κύκλος)	2,88	0,59	2,53	2,30	0,49	2,60
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	0,59	2,88	2,60	0,49	2,30	2,53
(κάτω κύκλος)	1,71	3,19	1,44	1,40	2,73	1,66
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	2,82	2,90	2,69	2,43	2,37	2,54
(κάτω κύκλος)	2,90	2,82	2,54	2,37	2,43	2,69

Πίνακας 3.15: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=50cm, m=6.25mA<sup>2</sup> με αγώγιμη επιφάνεια, |h>AC>1s



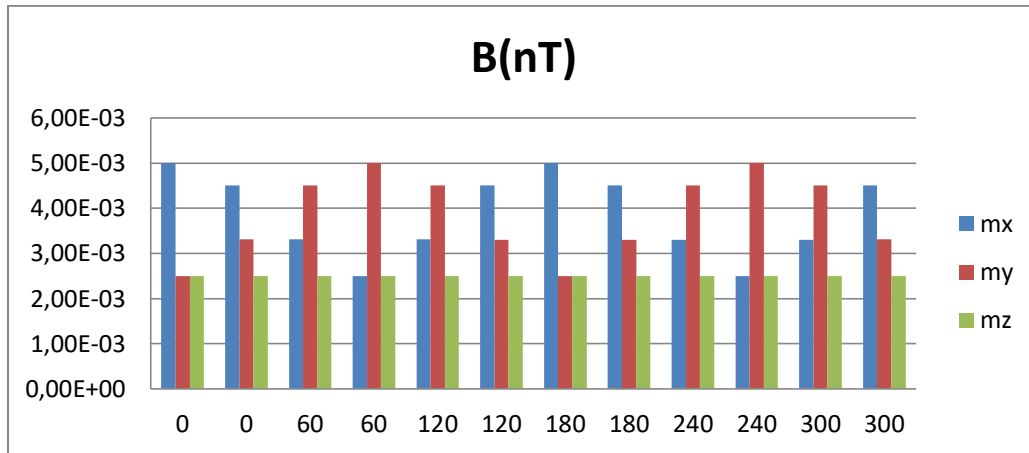
Σχήμα 3.19: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.15

### 3.4.3.4 Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m

Θεωρώ μια μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=6.25\text{mA}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

rc=6.30m m=6.25mA <sup>2</sup>  h>AC>1s	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	5,00E-03	3,31E-03	3,31E-03	5,00E-03	3,30E-03
(κάτω κύκλος)	4,51E-03	2,50E-03	4,51E-03	4,50E-03	2,50E-03	4,51E-03
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	2,50E-03	4,51E-03	4,51E-03	2,50E-03	4,50E-03	4,51E-03
(κάτω κύκλος)	3,31E-03	5,00E-03	3,31E-03	3,30E-03	5,00E-03	3,31E-03
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03
(κάτω κύκλος)	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03

Πίνακας 3.16: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=6.30m, m=6.25mA<sup>2</sup>, |h>AC>1s



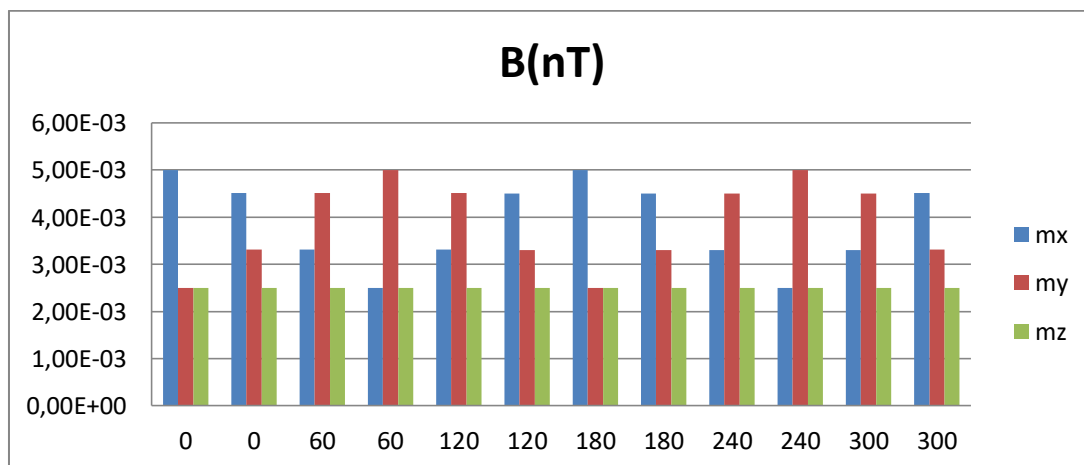
Σχήμα 3.20: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.16

### 3.4.3.5 Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροής

Θεωρώ μια μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-6.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

rc=6.30m m=-6.25mA·m <sup>2</sup> Ih>AC>Is	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	<b>m<sub>x</sub></b> (πάνω κύκλος)	5,00E-03	3,31E-03	3,31E-03	5,00E-03	3,30E-03
(κάτω κύκλος)	4,51E-03	2,50E-03	4,51E-03	4,50E-03	2,50E-03	4,51E-03
<b>m<sub>y</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,50E-03	4,51E-03	4,51E-03	2,50E-03	4,50E-03	4,51E-03
(κάτω κύκλος)	3,31E-03	5,00E-03	3,31E-03	3,30E-03	5,00E-03	3,31E-03
<b>m<sub>z</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03
(κάτω κύκλος)	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03

Πίνακας 3.17: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=6.30\text{m}$ ,  $m=-6.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$ ,  $Ih>AC>Is$



Σχήμα 3.21: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.17

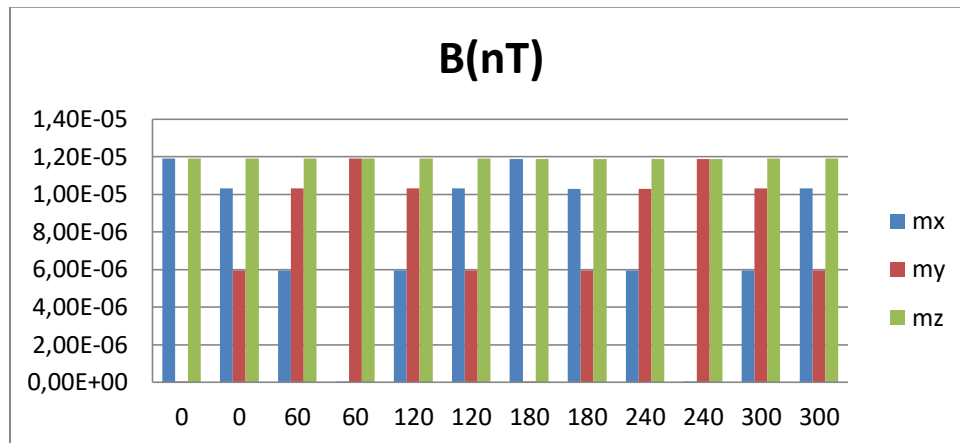


### 3.4.3.6 Μαγνητικό Πεδίο από μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίου επιπέδου

Θεωρώ μια μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=6.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  υπεράνω αγωγίου επιπέδου και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

rc=6.30m m=6.25mA·m <sup>2</sup> με αγωγήμη επιφάνεια 1h>AC>1s	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	1,19E-05	5,96E-06	5,95E-06	1,19E-05	5,95E-06	5,95E-06
(κάτω κύκλος)	1,03E-05	1,90E-08	1,03E-05	1,03E-05	1,90E-08	1,03E-05
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	1,90E-08	1,03E-05	1,03E-05	1,90E-08	1,03E-05	1,03E-05
(κάτω κύκλος)	5,96E-06	1,19E-05	5,95E-06	5,95E-06	1,19E-05	5,95E-06
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	1,19E-05	1,19E-05	1,19E-05	1,19E-05	1,19E-05	1,19E-05
(κάτω κύκλος)	1,19E-05	1,19E-05	1,19E-05	1,19E-05	1,19E-05	1,19E-05

Πίνακας 3.18: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=6.30\text{m}$ ,  $m=6.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  με αγωγήμη επιφάνεια,  $1h>AC>1s$



Σχήμα 3.22: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.18

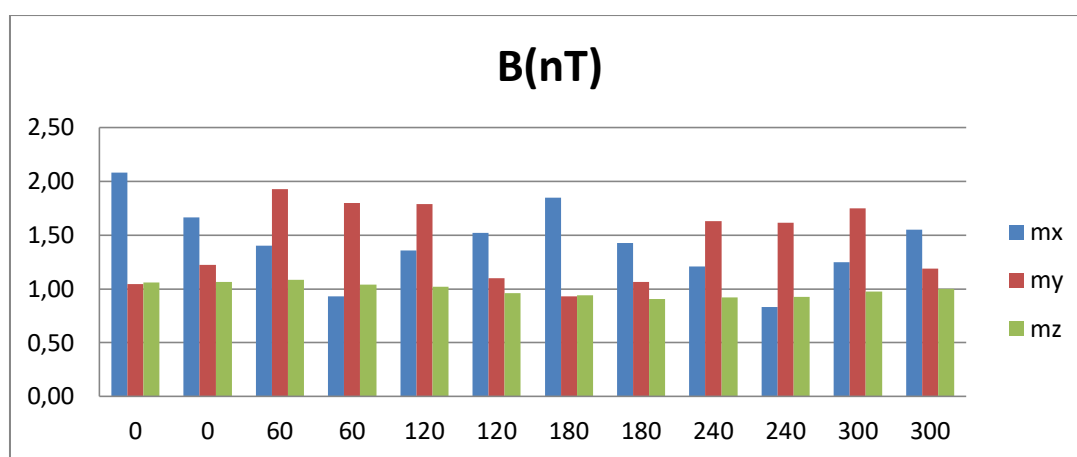
### 3.4.4 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή (AC~1Hz)

#### 3.4.4.1 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

	B (nT)					
rc=50cm	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=1.25mA <sup>m2</sup>						
AC~1Hz						
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	2,08	1,40	1,35	1,85	1,21	1,25
(κάτω κύκλος)	1,66	0,93	1,52	1,43	0,83	1,55
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	1,05	1,93	1,79	0,93	1,63	1,75
(κάτω κύκλος)	1,22	1,80	1,10	1,07	1,61	1,19
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	1,06	1,09	1,02	0,94	0,92	0,98
(κάτω κύκλος)	1,06	1,04	0,96	0,91	0,93	1,00

Πίνακας 3.19: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=50cm,m=1.25mA<sup>m2</sup>,AC~1Hz



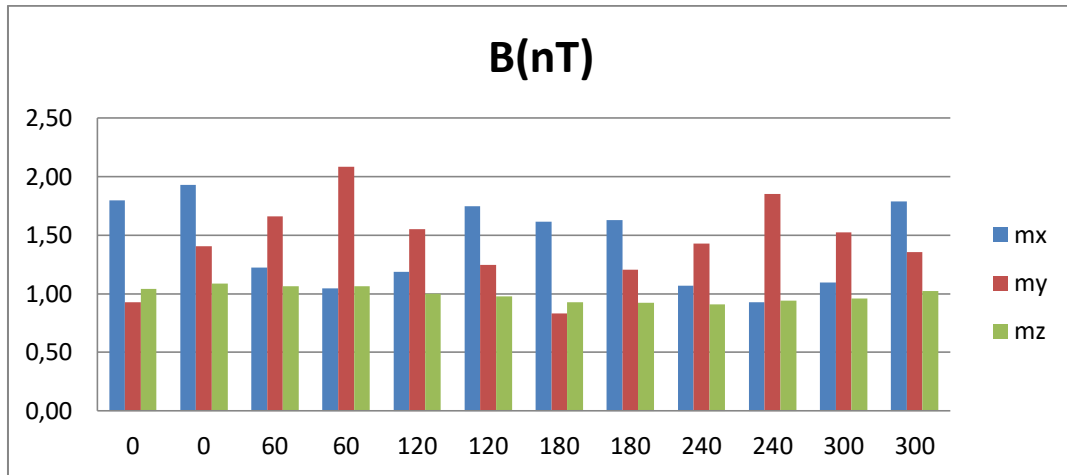
Σχήμα 3.23: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.19

### 3.4.4.2 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροής

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-1.25\text{mA}^m2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

	B (nT)					
rc=50cm	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=-1.25mA <sup>m2</sup>						
AC~1Hz						
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	1,80	1,22	1,19	1,61	1,07	1,10
(κάτω κύκλος)	1,93	1,05	1,75	1,63	0,93	1,79
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	0,93	1,66	1,55	0,83	1,43	1,52
(κάτω κύκλος)	1,40	2,08	1,25	1,21	1,85	1,35
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	1,04	1,06	1,00	0,93	0,91	0,96
(κάτω κύκλος)	1,09	1,06	0,98	0,92	0,94	1,02

Πίνακας 3.20: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=50cm,m=-1.25mA<sup>m2</sup>,AC~1Hz



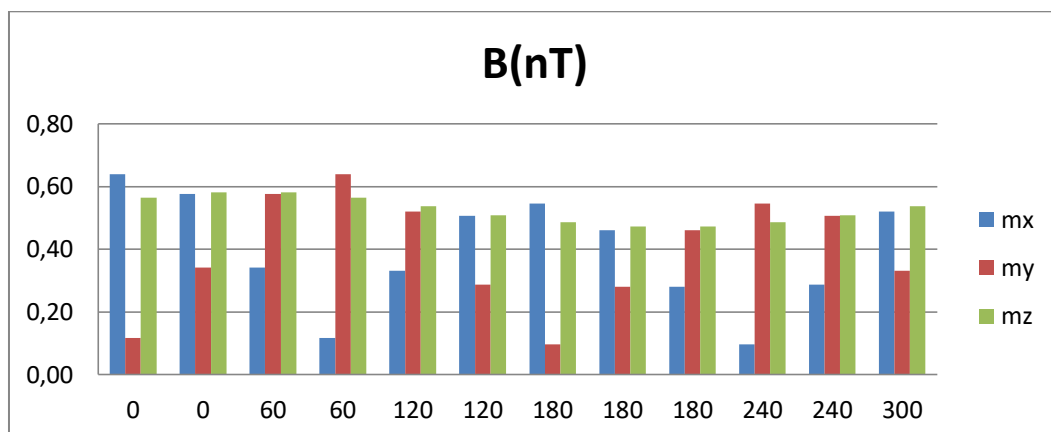
Σχήμα 3.24: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.20

### 3.4.4.3 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίμου επιπέδου

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  υπεράνω αγωγίμου επιπέδου και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

rc=50cm m=1.25mA·m <sup>2</sup> με αγωγή επιφάνεια AC~1Hz	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
$m_x$ (πάνω κύκλος)	0,64	0,34	0,33	0,55	0,28	0,29
(κάτω κύκλος)	0,58	0,12	0,51	0,46	0,10	0,52
$m_y$ (πάνω κύκλος)	0,12	0,58	0,52	0,10	0,46	0,51
(κάτω κύκλος)	0,34	0,64	0,29	0,28	0,55	0,33
$m_z$ (πάνω κύκλος)	0,56	0,58	0,54	0,49	0,47	0,51
(κάτω κύκλος)	0,58	0,56	0,51	0,47	0,49	0,54

Πίνακας 3.21: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=50\text{cm}$ ,  $m=1.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  με αγωγή επιφάνεια, AC~1Hz



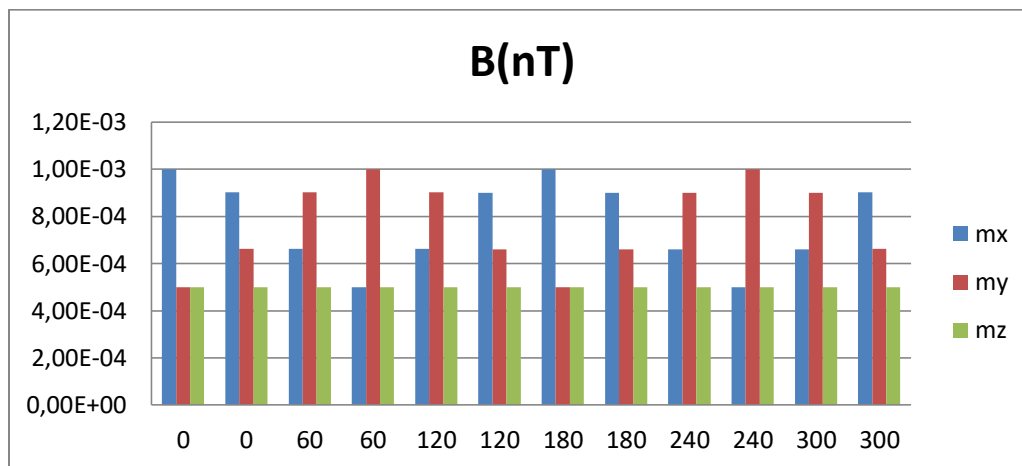
Σχήμα 3.25: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.21

### 3.4.4.4 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

rc=6.30m m=1.25mA·m <sup>2</sup> AC~1Hz	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	$m_x$ (πάνω κύκλος)	1,00E-03	6,62E-04	6,62E-04	9,99E-04	6,61E-04
(κάτω κύκλος)	9,02E-04	5,00E-04	9,01E-04	9,01E-04	5,00E-04	9,01E-04
$m_y$ (πάνω κύκλος)	5,00E-04	9,02E-04	9,01E-04	5,00E-04	9,01E-04	9,01E-04
(κάτω κύκλος)	6,62E-04	1,00E-03	6,61E-04	6,61E-04	9,99E-04	6,62E-04
$m_z$ (πάνω κύκλος)	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04
(κάτω κύκλος)	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04

Πίνακας 3.22: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=6.30\text{m}$ ,  $m=1.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$ ,  $AC\sim 1\text{Hz}$



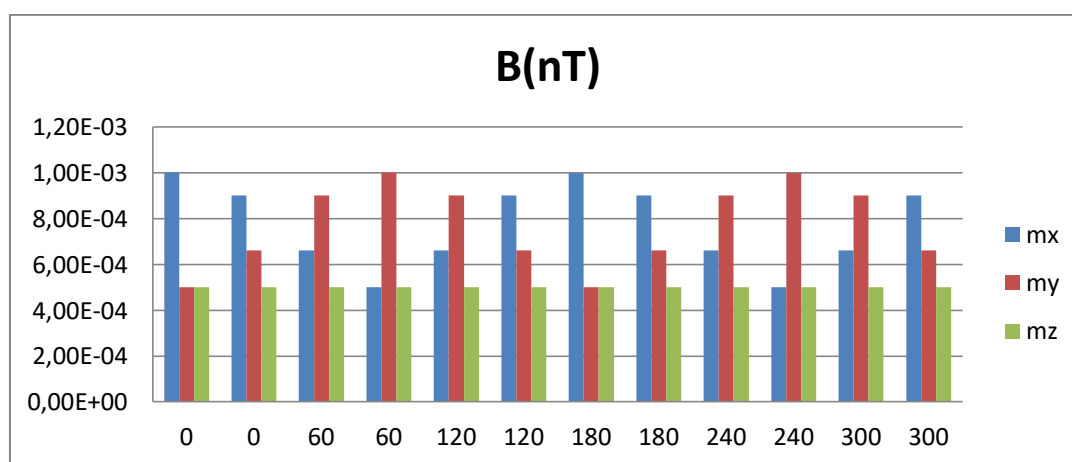
Σχήμα 3.26: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.22

### 3.4.4.5 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-1.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

	B (nT)					
rc=6.30m m=-1.25mAm <sup>2</sup> AC~1Hz	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	1,00E-03	6,62E-04	6,62E-04	9,99E-04	6,61E-04	6,61E-04
(κάτω κύκλος)	9,02E-04	5,00E-04	9,01E-04	9,01E-04	5,00E-04	9,01E-04
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	5,00E-04	9,02E-04	9,01E-04	5,00E-04	9,01E-04	9,01E-04
(κάτω κύκλος)	6,62E-04	1,00E-03	6,61E-04	6,61E-04	9,99E-04	6,62E-04
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04
(κάτω κύκλος)	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04

Πίνακας 3.23: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=6.30m, m=-1.25mAm<sup>2</sup>, AC~1Hz



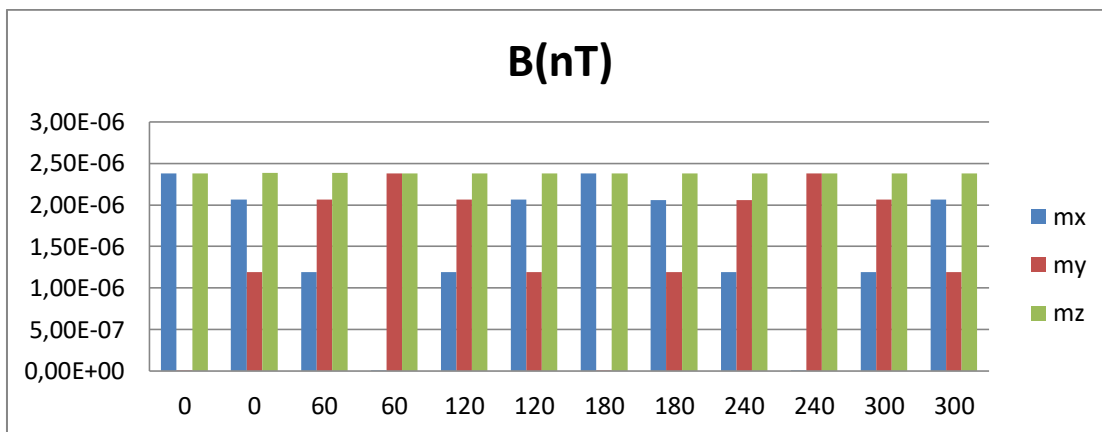
Σχήμα 3.27: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.23

### 3.4.4.6 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίου επιπέδου

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1.25\text{mAm}^2$  υπεράνω αγωγίου επιπέδου και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

	B (nT)					
rc=6.30m m=1.25mAm <sup>2</sup> με αγωγήμη επιφάνεια AC~1Hz	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	2,38E-06	1,19E-06	1,19E-06	2,38E-06	1,19E-06	1,19E-06
(κάτω κύκλος)	2,06E-06	3,80E-09	2,06E-06	2,06E-06	3,79E-09	2,06E-06
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	3,80E-09	2,06E-06	2,06E-06	3,79E-09	2,06E-06	2,06E-06
(κάτω κύκλος)	1,19E-06	2,38E-06	1,19E-06	1,19E-06	2,38E-06	1,19E-06
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	2,38E-06	2,38E-06	2,38E-06	2,38E-06	2,38E-06	2,38E-06
(κάτω κύκλος)	2,38E-06	2,38E-06	2,38E-06	2,38E-06	2,38E-06	2,38E-06

Πίνακας 3.24: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=6.30m, m=1.25mAm<sup>2</sup> με αγωγήμη επιφάνεια, AC~1Hz



Σχήμα 3.28: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.24

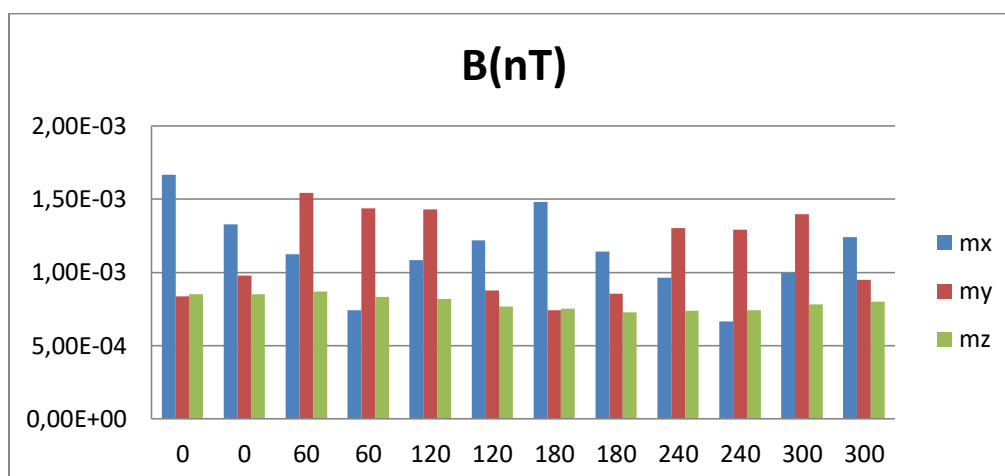
### 3.4.5 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή (AC~200KHz)

#### 3.4.5.1 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1\mu\text{Am}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

rc=50cm m=1 $\mu\text{Am}^2$ AC~200KHz	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	$m_x$ (πάνω κύκλος)	1,67E-03	1,12E-03	1,08E-03	1,48E-03	9,65E-04
(κάτω κύκλος)	1,33E-03	7,43E-04	1,22E-03	1,14E-03	6,66E-04	1,24E-03
$m_y$ (πάνω κύκλος)	8,37E-04	1,54E-03	1,43E-03	7,43E-04	1,30E-03	1,40E-03
(κάτω κύκλος)	9,79E-04	1,44E-03	8,78E-04	8,53E-04	1,29E-03	9,49E-04
$m_z$ (πάνω κύκλος)	8,49E-04	8,69E-04	8,17E-04	7,53E-04	7,38E-04	7,82E-04
(κάτω κύκλος)	8,52E-04	8,33E-04	7,68E-04	7,25E-04	7,40E-04	8,01E-04

Πίνακας 3.25: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=50\text{cm}$ ,  $m=1\mu\text{Am}^2$ , AC~200KHz



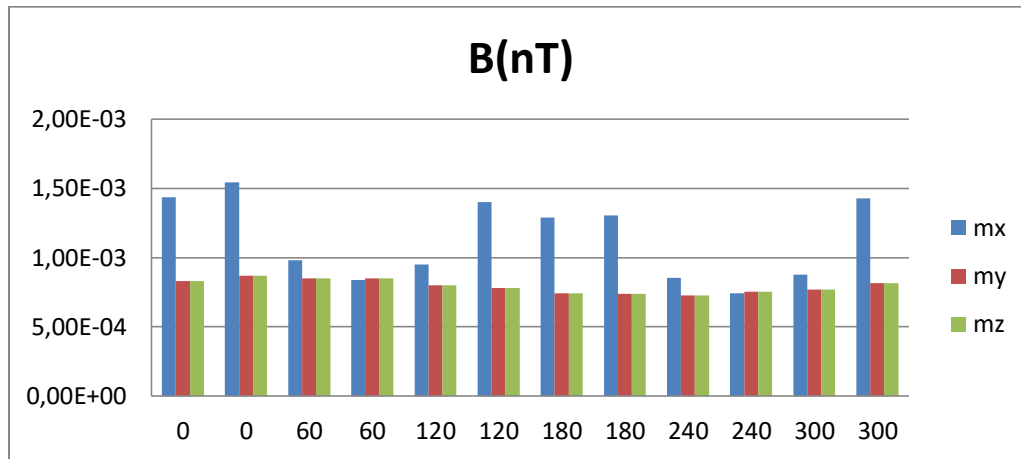
Σχήμα 3.29: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.25

### 3.4.5.2 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροής

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-1\mu\text{Am}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

rc=50cm m=-1 $\mu\text{Am}^2$ AC~200KHz	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	$m_x$ (πάνω κύκλος)	1,44E-03	9,79E-04	9,49E-04	1,29E-03	8,53E-04
(κάτω κύκλος)	1,54E-03	8,37E-04	1,40E-03	1,30E-03	7,43E-04	1,43E-03
$m_y$ (πάνω κύκλος)	7,43E-04	1,33E-03	1,24E-03	6,66E-04	1,14E-03	1,22E-03
(κάτω κύκλος)	1,12E-03	1,67E-03	9,97E-04	9,65E-04	1,48E-03	1,08E-03
$m_z$ (πάνω κύκλος)	8,33E-04	8,52E-04	8,01E-04	7,40E-04	7,25E-04	7,68E-04
(κάτω κύκλος)	8,69E-04	8,49E-04	7,82E-04	7,38E-04	7,53E-04	8,17E-04

Πίνακας 3.26: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=50\text{cm}, m=-1\mu\text{Am}^2, AC\sim 200\text{KHz}$



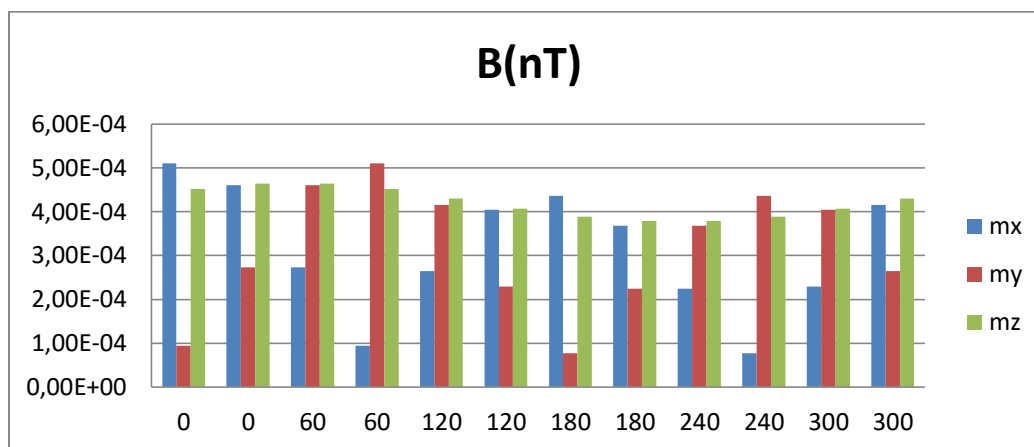
Σχήμα 3.30: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.26

### 3.4.5.3 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίμου επιπέδου

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1\mu\text{Am}^2$  υπεράνω αγωγίμου επιπέδου και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

	B (nT)					
rc=50cm	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=1μAm <sup>2</sup> με αγώγιμη επιφάνεια						
AC~200KHz						
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	5,11E-04	2,73E-04	2,65E-04	4,36E-04	2,24E-04	2,30E-04
(κάτω κύκλος)	4,61E-04	9,42E-05	4,05E-04	3,68E-04	7,79E-05	4,16E-04
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	9,42E-05	4,61E-04	4,16E-04	7,79E-05	3,68E-04	4,05E-04
(κάτω κύκλος)	2,73E-04	5,11E-04	2,30E-04	2,24E-04	4,36E-04	2,65E-04
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	4,52E-04	4,65E-04	4,30E-04	3,89E-04	3,79E-04	4,07E-04
(κάτω κύκλος)	4,65E-04	4,52E-04	4,07E-04	3,79E-04	3,89E-04	4,30E-04

Πίνακας 3.27: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=50cm, m=1μAm<sup>2</sup> με αγώγιμη επιφάνεια, AC~200KHz



Σχήμα 3.31: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.27

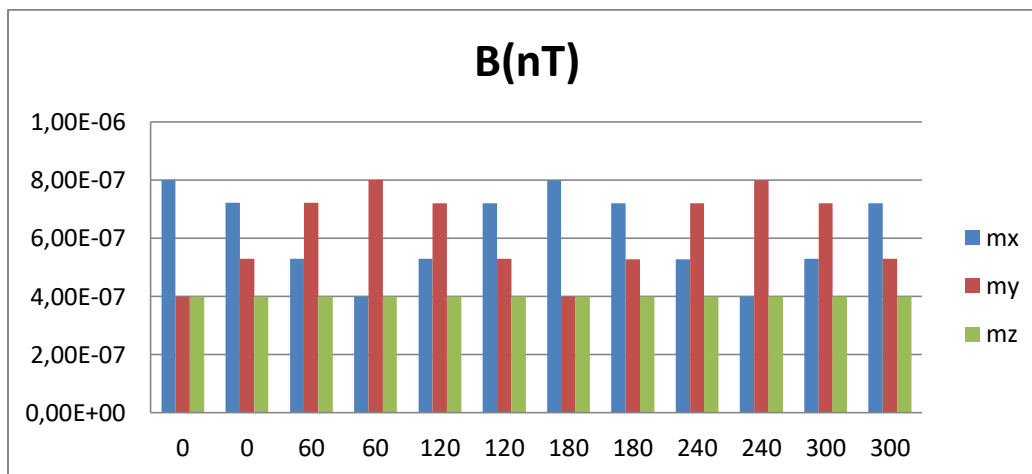
### 3.4.5.4 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1\mu\text{Am}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

	B (nT)					
rc=6.30 m	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=1μAm <sup>2</sup>						
AC~200KHz						
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	8,00E-07	5,29E-07	5,29E-07	7,99E-07	5,29E-07	5,29E-07
(κάτω κύκλος)	7,21E-07	4,00E-07	7,21E-07	7,20E-07	4,00E-07	7,21E-07
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	4,00E-07	7,21E-07	7,21E-07	4,00E-07	7,20E-07	7,21E-07
(κάτω κύκλος)	5,29E-07	8,00E-07	5,29E-07	5,29E-07	7,99E-07	5,29E-07
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07
(κάτω κύκλος)	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07

Πίνακας 3.28: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=6.30m, m=1μAm<sup>2</sup>, AC~200KHz





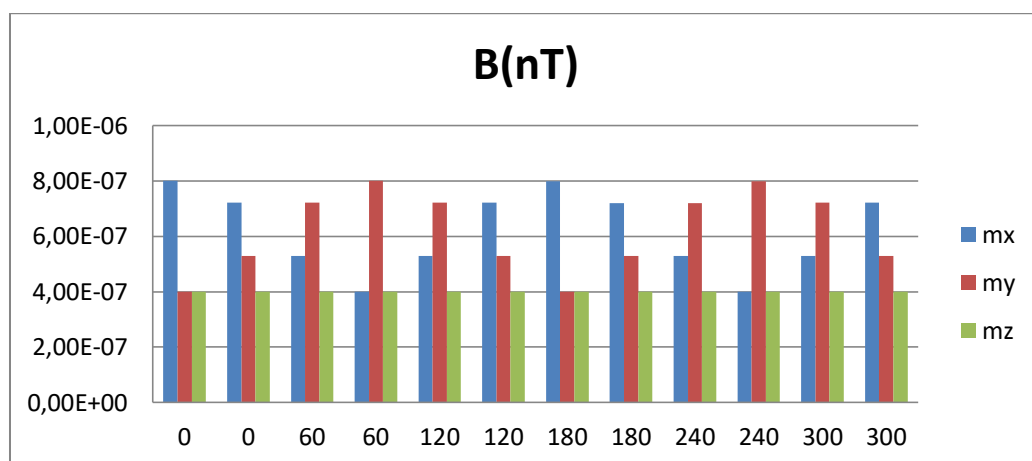
Σχήμα 3.32: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.28

### 3.4.5.5 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-1\mu\text{Am}^2$  και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
rc=6.30 m						
m=-1 $\mu\text{A}^2$						
AC~200KHz						
$m_x$ (πάνω κύκλος)	8,00E-07	5,29E-07	5,29E-07	7,99E-07	5,29E-07	5,29E-07
(κάτω κύκλος)	7,21E-07	4,00E-07	7,21E-07	7,20E-07	4,00E-07	7,21E-07
$m_y$ (πάνω κύκλος)	4,00E-07	7,21E-07	7,21E-07	4,00E-07	7,20E-07	7,21E-07
(κάτω κύκλος)	5,29E-07	8,00E-07	5,29E-07	5,29E-07	7,99E-07	5,29E-07
$m_z$ (πάνω κύκλος)	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07
(κάτω κύκλος)	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07	4,00E-07

Πίνακας 3.29: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=6.30\text{m}$ ,  $m=-1\mu\text{Am}^2$ ,  $AC\sim 200\text{KHz}$



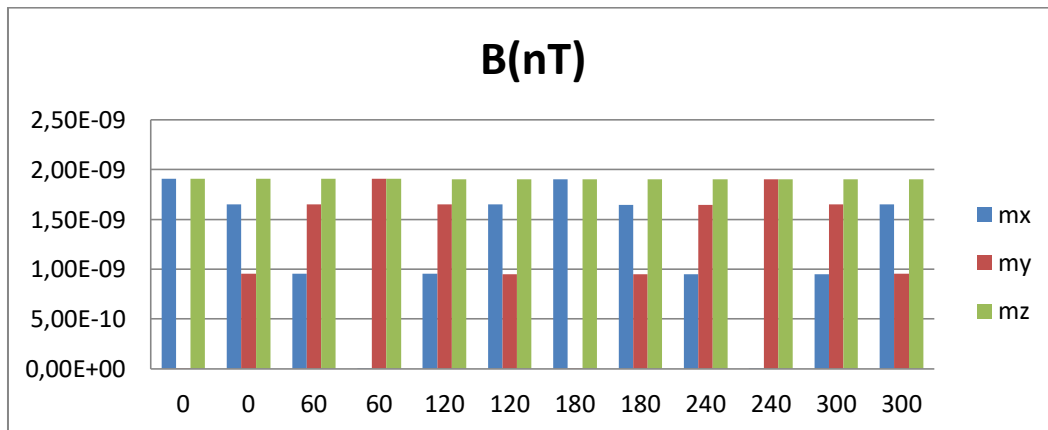
Σχήμα 3.33: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.29

### 3.4.5.6 Μαγνητικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίμου επιπέδου

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1\mu\text{Am}^2$  υπεράνω αγωγίμου επιπέδου και υπολογίζω το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

rc=6.30 m	B (nT)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=1 $\mu\text{Am}^2$ με αγωγή επιφάνεια AC~200KHz						
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	1,91E-09	9,53E-10	9,53E-10	1,90E-09	9,51E-10	9,52E-10
(κάτω κύκλος)	1,65E-09	3,04E-12	1,65E-09	1,65E-09	3,04E-12	1,65E-09
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	3,04E-12	1,65E-09	1,65E-09	3,04E-12	1,65E-09	1,65E-09
(κάτω κύκλος)	9,53E-10	1,91E-09	9,52E-10	9,51E-10	1,90E-09	9,53E-10
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	1,91E-09	1,91E-09	1,90E-09	1,90E-09	1,90E-09	1,90E-09
(κάτω κύκλος)	1,91E-09	9,10E-10	1,90E-09	1,90E-09	1,90E-09	1,90E-09

Πίνακας 3.30: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με rc=6.30m, m=1 $\mu\text{Am}^2$ , AC~200KHz



Σχήμα 3.34: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.30

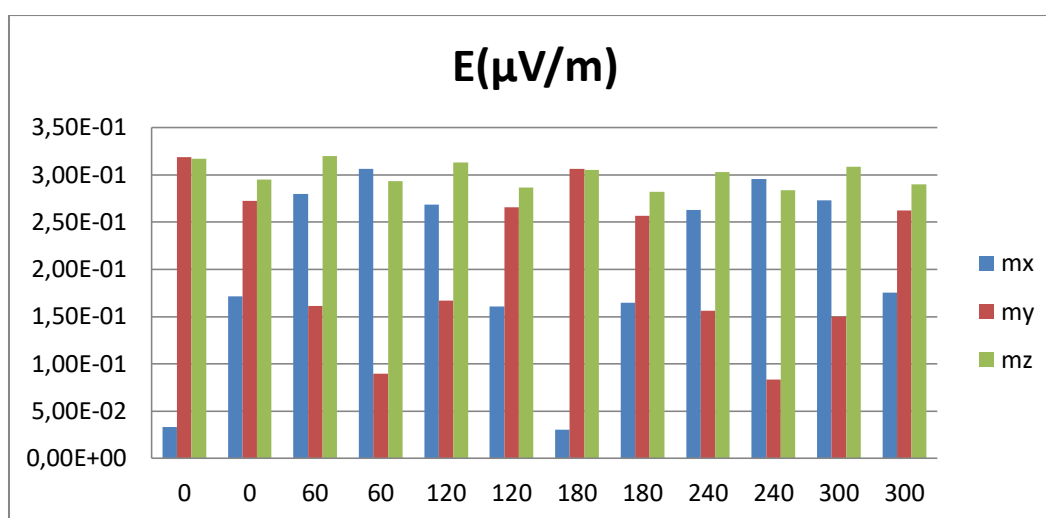
### 3.4.6 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή (f=200KHz)

#### 3.4.6.1 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1\mu\text{Am}^2$  και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

	E (μV/m)					
rc=50cm	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=1.25mA <sup>2</sup>						
f=200KHz						
<b>m<sub>x</sub></b> (πάνω κύκλος)	3,30E-02	2,80E-01	2,69E-01	3,05E-02	2,63E-01	2,73E-01
(κάτω κύκλος)	1,72E-01	3,06E-01	1,61E-01	1,65E-01	2,95E-01	1,75E-01
<b>m<sub>y</sub></b> (πάνω κύκλος)	3,19E-01	1,61E-01	1,67E-01	3,06E-01	1,56E-01	1,50E-01
(κάτω κύκλος)	2,72E-01	8,99E-02	2,66E-01	2,57E-01	8,35E-02	2,62E-01
<b>m<sub>z</sub></b> (πάνω κύκλος)	3,17E-01	3,20E-01	3,13E-01	3,05E-01	3,03E-01	3,09E-01
(κάτω κύκλος)	2,95E-01	2,93E-01	2,86E-01	2,82E-01	2,83E-01	2,90E-01

Πίνακας 3.31: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με rc=50cm, m=1.25mA<sup>2</sup>, f=200KHz



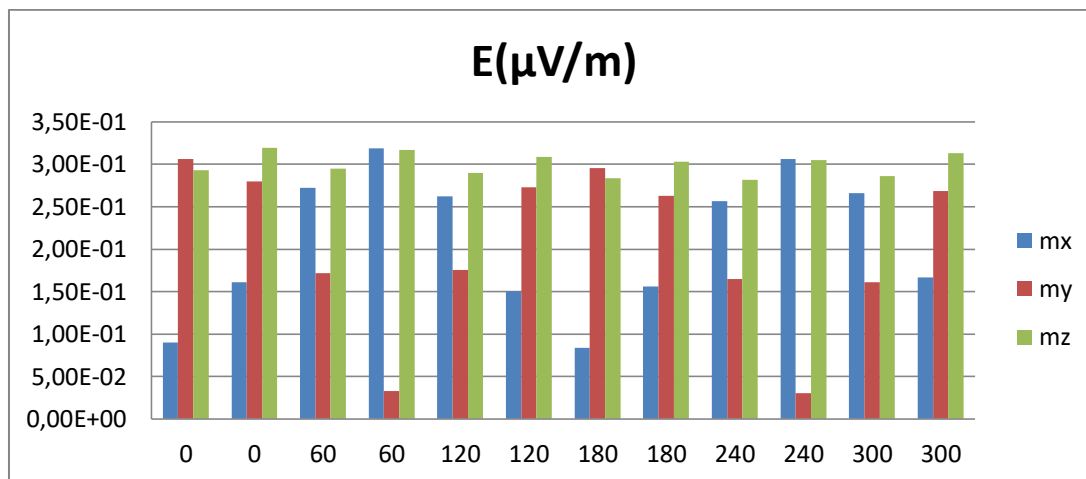
Σχήμα 3.35: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.31

### 3.4.6.2 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-1.25\text{mA}^2$  και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

	E (μV/m)					
rc=50cm	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=-1.25mA <sup>2</sup>						
f=200KHz						
<b>m<sub>x</sub></b> (πάνω κύκλος)	8,99E-02	2,72E-01	2,62E-01	8,35E-02	2,57E-01	2,66E-01
(κάτω κύκλος)	1,61E-01	3,19E-01	1,50E-01	1,56E-01	3,06E-01	1,67E-01
<b>m<sub>y</sub></b> (πάνω κύκλος)	3,06E-01	1,72E-01	1,75E-01	2,95E-01	1,65E-01	1,61E-01
(κάτω κύκλος)	2,80E-01	3,30E-02	2,73E-01	2,63E-01	3,05E-02	2,69E-01
<b>m<sub>z</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,93E-01	2,95E-01	2,90E-01	2,83E-01	2,82E-01	2,86E-01
(κάτω κύκλος)	3,20E-01	3,17E-01	3,09E-01	3,03E-01	3,05E-01	3,13E-01

Πίνακας 3.32: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με rc=50cm, m=-1.25mA<sup>2</sup>, f=200KHz



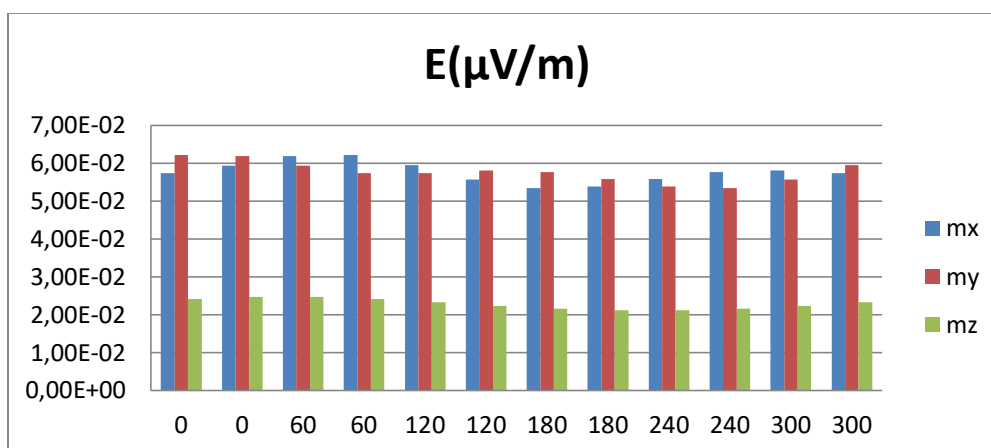
Σχήμα 3.36: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.32

### 3.4.6.3 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίμου επιπέδου

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  υπεράνω αγωγίμου επιπέδου και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

		E (μV/m)					
		0°	60°	120°	180°	240°	300°
rc=50cm m=1.25mA·m <sup>2</sup> με αγωγή επιφάνεια f=200KHz	m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	5,73E-02	6,19E-02	5,94E-02	5,35E-02	5,59E-02	5,80E-02
	(κάτω κύκλος)	5,94E-02	6,22E-02	5,56E-02	5,39E-02	5,76E-02	5,74E-02
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	(κάτω κύκλος)	6,22E-02	5,94E-02	5,74E-02	5,76E-02	5,39E-02	5,56E-02
	m <sub>y</sub> (κάτω κύκλος)	6,19E-02	5,73E-02	5,80E-02	5,59E-02	5,35E-02	5,94E-02
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	(κάτω κύκλος)	2,41E-02	2,47E-02	2,33E-02	2,16E-02	2,12E-02	2,23E-02
	m <sub>z</sub> (κάτω κύκλος)	2,47E-02	2,41E-02	2,23E-02	2,12E-02	2,16E-02	2,33E-02

Πίνακας 3.33: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με  $r_c=50\text{cm}$ ,  $m=1.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$ ,  $f=200\text{KHz}$



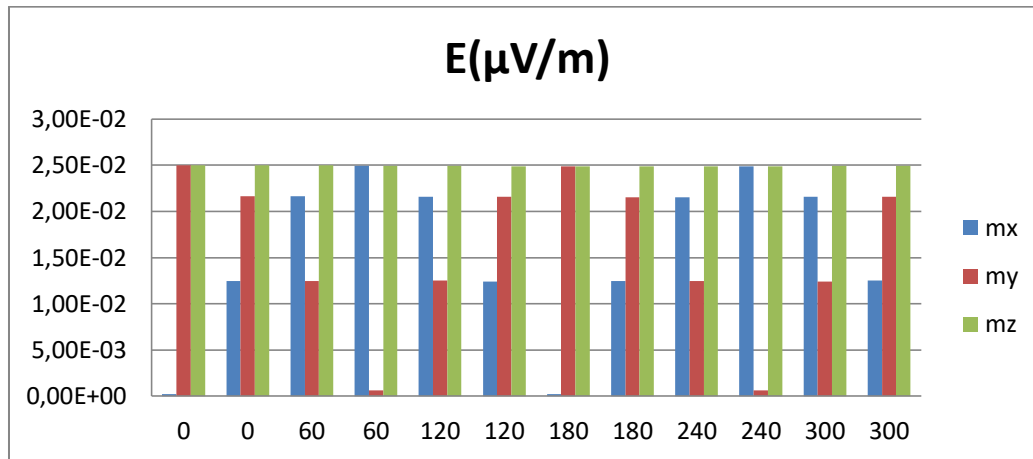
Σχήμα 3.37: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.33

### 3.4.6.4 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

rc=6.30m m=1.25mA·m <sup>2</sup> f=200KHz	E (μV/m)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
<b>m<sub>x</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,02E-04	2,16E-02	2,16E-02	2,01E-04	2,15E-02	2,16E-02
(κάτω κύκλος)	1,25E-02	2,50E-02	1,24E-02	1,25E-02	2,49E-02	1,25E-02
<b>m<sub>y</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,50E-02	1,25E-02	1,25E-02	2,49E-02	1,25E-02	1,24E-02
(κάτω κύκλος)	2,16E-02	5,97E-04	2,16E-02	2,15E-02	5,93E-04	2,16E-02
<b>m<sub>z</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,50E-02	2,50E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02
(κάτω κύκλος)	2,50E-02	2,50E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02

Πίνακας 3.34: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με  $rc=6.30\text{m}$ ,  $m=1.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$ ,  $f=200\text{KHz}$



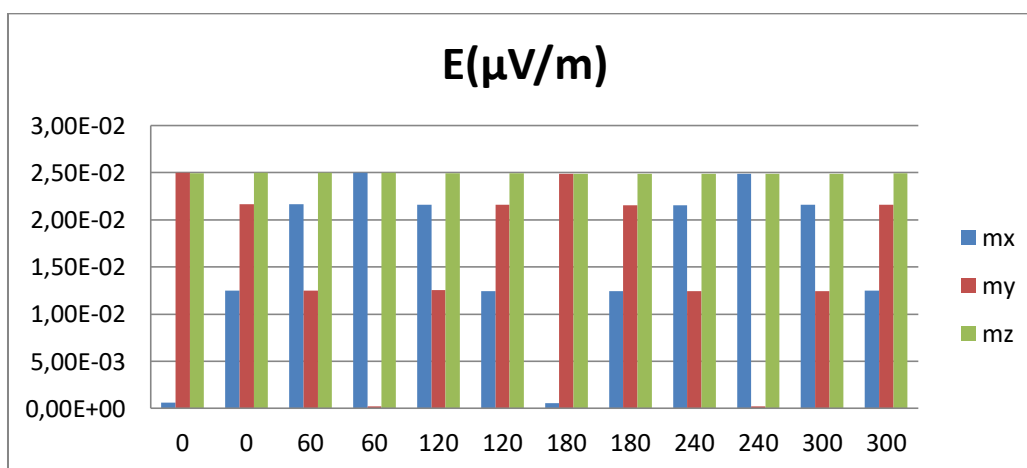
Σχήμα 3.38: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.34

### 3.4.6.5 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-1.25\text{mA}\cdot\text{m}^2$  και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

		E (μV/m)					
rc=6.30m m=-1.25mA <sup>2</sup> f=200KHz		0°	60°	120°	180°	240°	300°
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)		5,97E-04	2,16E-02	2,16E-02	5,93E-04	2,15E-02	2,16E-02
	(κάτω κύκλος)	1,25E-02	2,50E-02	1,24E-02	1,25E-02	2,49E-02	1,25E-02
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)		2,50E-02	1,25E-02	1,25E-02	2,49E-02	1,25E-02	1,24E-02
	(κάτω κύκλος)	2,16E-02	2,02E-04	2,16E-02	2,15E-02	2,01E-04	2,16E-02
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)		2,50E-02	2,50E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02
	(κάτω κύκλος)	2,50E-02	2,50E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02

Πίνακας 3.35: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με rc=6.30m,m=1.25mA<sup>2</sup>, f=200KHz



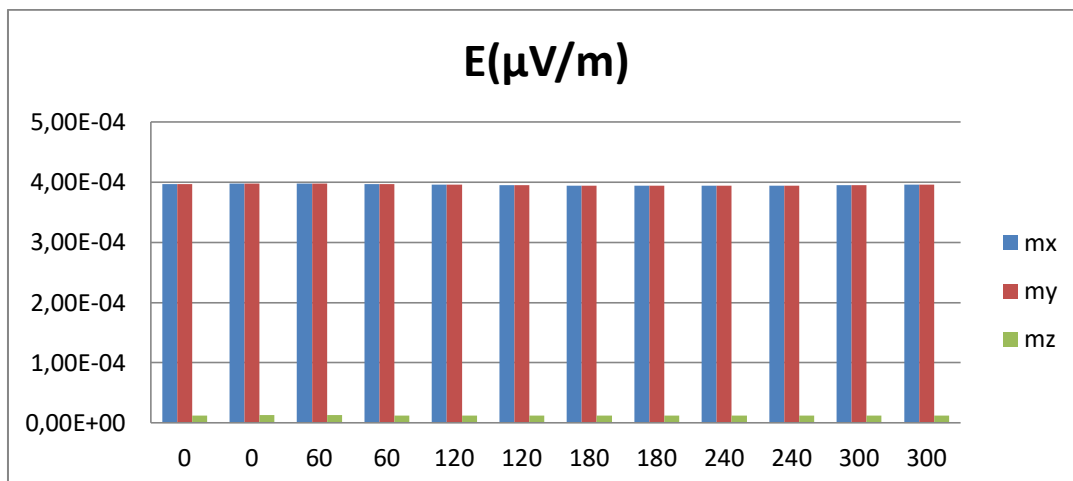
Σχήμα 3.39: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.35

### 3.4.6.6 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίου επιπέδου

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1.25mA^2$  υπεράνω αγωγίου επιπέδου και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

		E (μV/m)					
rc=6.30m m=1.25mA <sup>2</sup> με αγωγή επιφάνεια f=200KHz		0°	60°	120°	180°	240°	300°
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)		3,97E-04	3,97E-04	3,96E-04	3,94E-04	3,94E-04	3,95E-04
	(κάτω κύκλος)	3,97E-04	3,97E-04	3,95E-04	3,94E-04	3,94E-04	3,96E-04
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)		3,97E-04	3,97E-04	3,96E-04	3,94E-04	3,94E-04	3,95E-04
	(κάτω κύκλος)	3,97E-04	3,97E-04	3,95E-04	3,94E-04	3,94E-04	3,96E-04
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)		1,26E-05	1,26E-05	1,26E-05	1,25E-05	1,25E-05	1,25E-05
	(κάτω κύκλος)	1,26E-05	1,26E-05	1,25E-05	1,25E-05	1,25E-05	1,26E-05

Πίνακας 3.36: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με rc=6.30m,m=1.25mA<sup>2</sup>, f=200KHz



Σχήμα 3.40: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.36

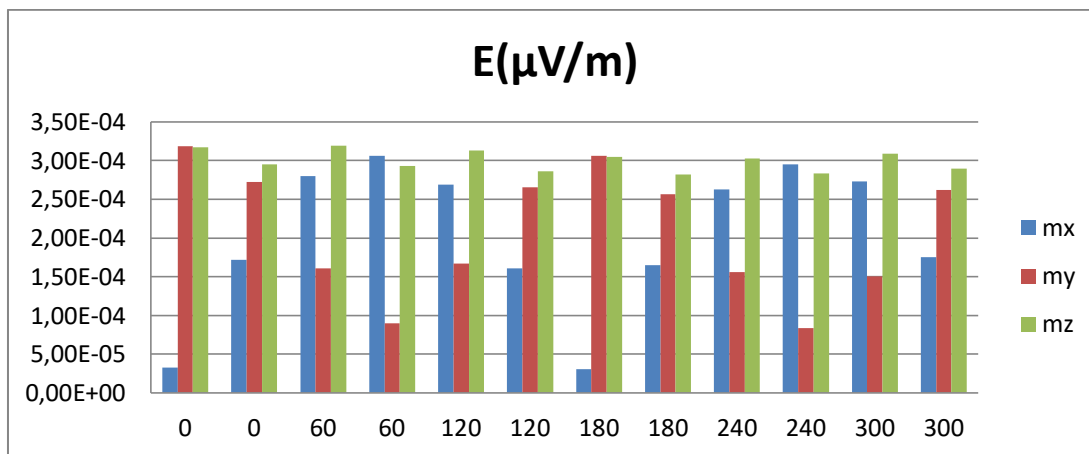
### 3.4.7 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC ( $f=200\text{KHz}$ ) πηγή με μικρότερη μαγνητική ροπή

#### 3.4.7.1 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1.25\mu\text{Am}^2$  και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

	E (μV/m)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
	rc=50cm m=1.25μAm <sup>2</sup> f=200KHz					
<b>m<sub>x</sub></b> (πάνω κύκλος)	3,30E-05	2,80E-04	2,69E-04	3,05E-05	2,63E-04	2,73E-04
(κάτω κύκλος)	1,72E-04	3,06E-04	1,61E-04	1,65E-04	2,95E-04	1,75E-04
<b>m<sub>y</sub></b> (πάνω κύκλος)	3,19E-04	1,61E-04	1,67E-04	3,06E-04	1,56E-04	1,50E-04
(κάτω κύκλος)	2,72E-04	8,99E-05	2,66E-04	2,57E-04	8,35E-05	2,62E-04
<b>m<sub>z</sub></b> (πάνω κύκλος)	3,17E-04	3,20E-04	3,13E-04	3,05E-04	3,03E-04	3,09E-04
(κάτω κύκλος)	2,95E-04	2,93E-04	2,86E-04	2,82E-04	2,83E-04	2,90E-04

Πίνακας 3.37: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με  $rc=50\text{cm}$ ,  $m=1.25\mu\text{Am}^2$ ,  $f=200\text{KHz}$



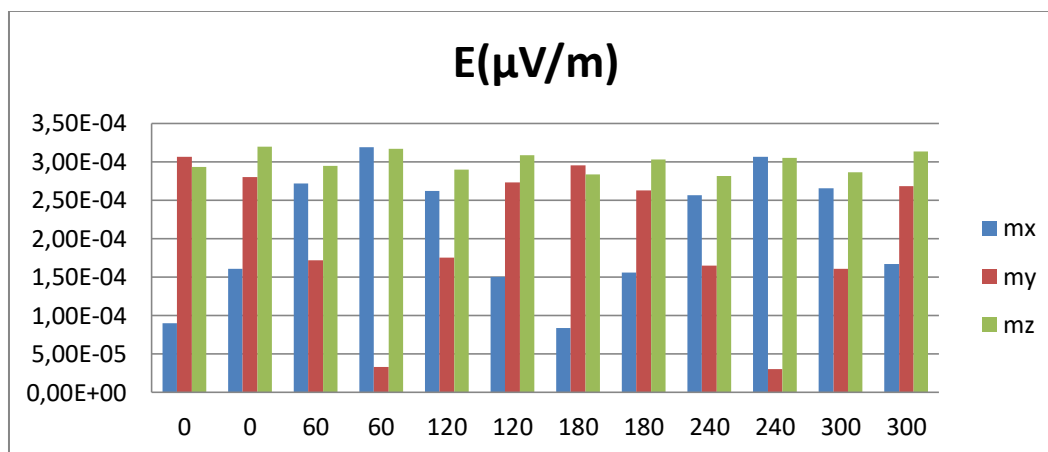
Σχήμα 3.41: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.37

### 3.4.7.2 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροής

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-1.25\mu\text{Am}^2$  και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

		E (μV/m)					
rc=50cm		0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=-1.25μAm <sup>2</sup>							
f=200KHz							
$m_x$	(πάνω κύκλος)	8,99E-05	2,72E-04	2,62E-04	8,35E-05	2,57E-04	2,66E-04
	(κάτω κύκλος)	1,61E-04	3,19E-04	1,50E-04	1,56E-04	3,06E-04	1,67E-04
$m_y$	(πάνω κύκλος)	3,06E-04	1,72E-04	1,75E-04	2,95E-04	1,65E-04	1,61E-04
	(κάτω κύκλος)	2,80E-04	3,30E-05	2,73E-04	2,63E-04	3,05E-05	2,69E-04
$m_z$	(πάνω κύκλος)	2,93E-04	2,95E-04	2,90E-04	2,83E-04	2,82E-04	2,86E-04
	(κάτω κύκλος)	3,20E-04	3,17E-04	3,09E-04	3,03E-04	3,05E-04	3,13E-04

Πίνακας 3.38: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με  $rc=50\text{cm}$ ,  $m=-1.25\mu\text{Am}^2$ ,  $f=200\text{KHz}$



Σχήμα 3.42: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.38

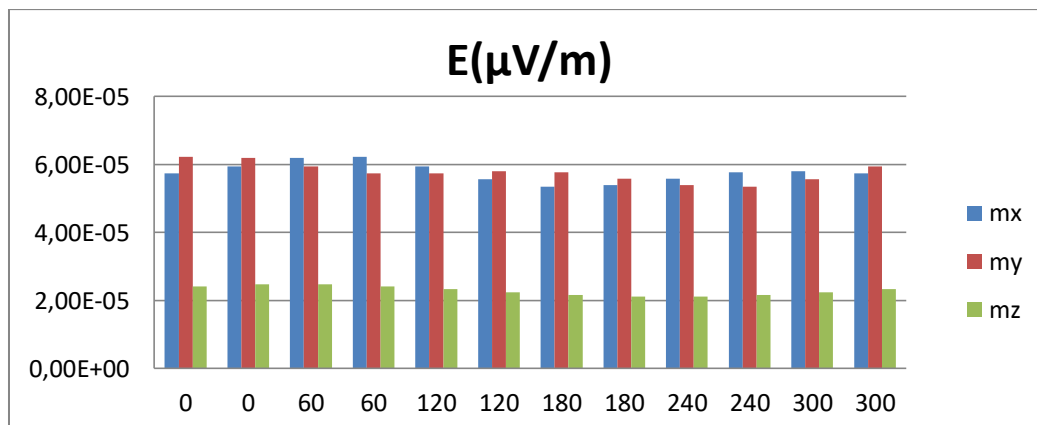


### 3.4.7.3 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 50cm υπεράνω αγωγίμου επιπέδου

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1.25\mu\text{Am}^2$  υπεράνω αγωγίμου επιπέδου και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 50cm.

rc=50cm m=1.25μAm <sup>2</sup> με αγωγή επιφάνεια f=200KHz	E (μV/m)					
	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)	5,73E-05	6,19E-05	5,94E-05	5,35E-05	5,59E-05	5,80E-05
(κάτω κύκλος)	5,94E-05	6,22E-05	5,56E-05	5,39E-05	5,76E-05	5,74E-05
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)	6,22E-05	5,94E-05	5,74E-05	5,76E-05	5,39E-05	5,56E-05
(κάτω κύκλος)	6,19E-05	5,73E-05	5,80E-05	5,59E-05	5,35E-05	5,94E-05
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)	2,41E-05	2,47E-05	2,33E-05	2,16E-05	2,12E-05	2,23E-05
(κάτω κύκλος)	2,47E-05	2,41E-05	2,23E-05	2,12E-05	2,16E-05	2,33E-05

Πίνακας 3.39: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με rc=50cm, m=1.25μAm<sup>2</sup> με αγωγή επιφάνεια, f=200KHz



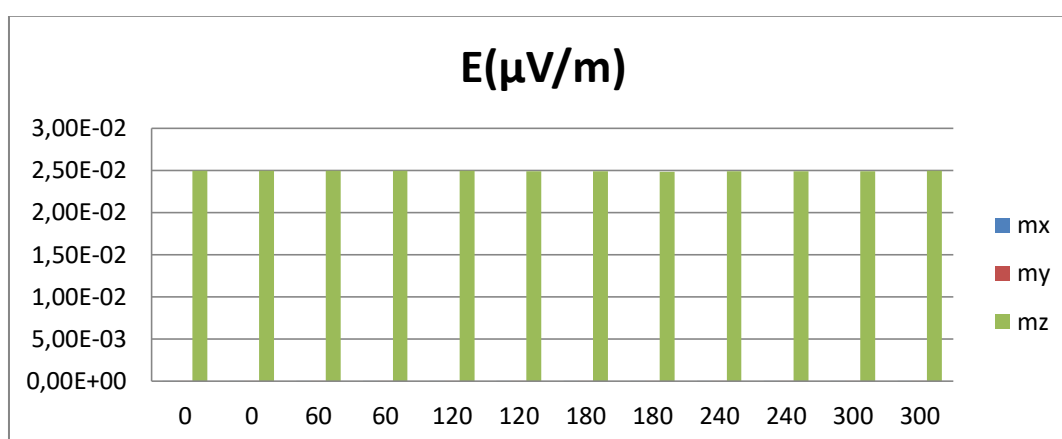
Σχήμα 3.43: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.39

### 3.4.7.4 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1.25\mu\text{Am}^2$  και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

	E (μV/m)					
rc=6.30m	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=1.25μAm <sup>2</sup>						
f=200KHz						
<b>m<sub>x</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,02E-07	2,16E-05	2,16E-05	2,01E-07	2,15E-05	2,16E-05
(κάτω κύκλος)	1,25E-05	2,50E-05	1,24E-05	1,25E-05	2,49E-05	1,25E-05
<b>m<sub>y</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,50E-05	1,25E-05	1,25E-05	2,49E-05	1,25E-05	1,24E-05
(κάτω κύκλος)	2,16E-05	5,97E-07	2,16E-05	2,15E-05	5,93E-07	2,16E-05
<b>m<sub>z</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,50E-02	2,50E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02
(κάτω κύκλος)	2,50E-02	2,50E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02	2,49E-02

Πίνακας 3.40: Τιμές έντασης Ηλεκτρικού πεδίου με  $rc=6.30m, m=1.25\mu Am^2, f=200KHz$



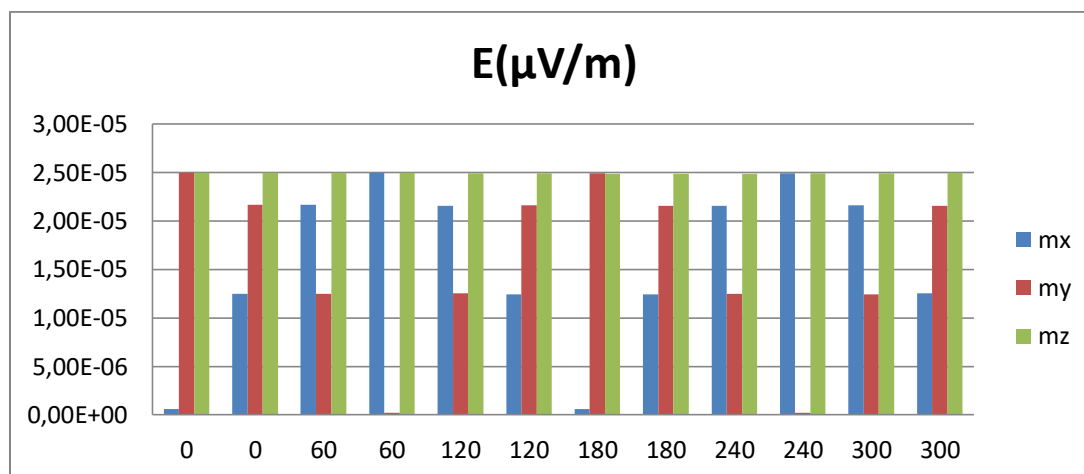
Σχήμα 3.44: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.40

### 3.4.7.5 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m με αντίθετο πρόσημο μαγνητικής ροπής

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=-1.25\mu Am^2$  και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

	E (μV/m)					
rc=6.30m	0°	60°	120°	180°	240°	300°
m=-1.25μAm <sup>2</sup>						
f=200KHz						
<b>m<sub>x</sub></b> (πάνω κύκλος)	5,97E-07	2,16E-05	2,16E-05	5,93E-07	2,15E-05	2,16E-05
(κάτω κύκλος)	1,25E-05	2,50E-05	1,24E-05	1,25E-05	2,49E-05	1,25E-05
<b>m<sub>y</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,50E-05	1,25E-05	1,25E-05	2,49E-05	1,25E-05	1,24E-05
(κάτω κύκλος)	2,16E-05	2,02E-07	2,16E-05	2,15E-05	2,01E-07	2,16E-05
<b>m<sub>z</sub></b> (πάνω κύκλος)	2,50E-05	2,50E-05	2,49E-05	2,49E-05	2,49E-05	2,49E-05
(κάτω κύκλος)	2,50E-05	2,50E-05	2,49E-05	2,49E-05	2,49E-05	2,49E-05

Πίνακας 3.41: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=6.30m, m=-1.25\mu Am^2, f=200KHz$



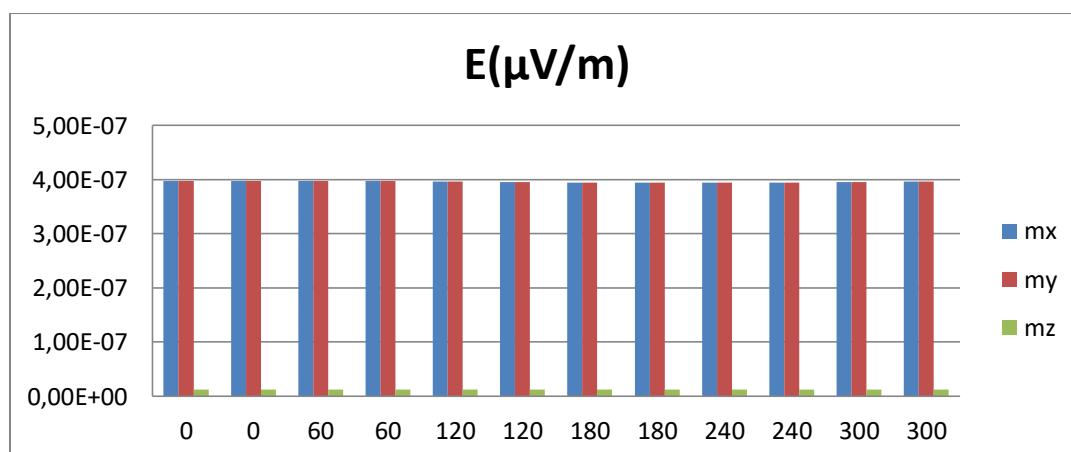
Σχήμα 3.45: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.41

### 3.4.7.6 Ηλεκτρικό Πεδίο από γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή σε απόσταση 6.30m υπεράνω αγωγίου επιπέδου

Θεωρώ μια γρήγορα μεταβαλλόμενη AC πηγή με  $m=1.25\mu\text{Am}^2$  υπεράνω αγωγίου επιπέδου και υπολογίζω το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στα σημεία παρατήρησης του σχήματος 3.4 ακτίνας 6.30m.

		E (μV/m)					
		0°	60°	120°	180°	240°	300°
rc=6.30m							
m=1.25μAm <sup>2</sup> με αγωγή επιφάνεια							
f=200KHz							
m <sub>x</sub> (πάνω κύκλος)		3,97E-07	3,97E-07	3,96E-07	3,94E-07	3,94E-07	3,95E-07
(κάτω κύκλος)		3,97E-07	3,97E-07	3,95E-07	3,94E-07	3,94E-07	3,96E-07
m <sub>y</sub> (πάνω κύκλος)		3,97E-07	3,97E-07	3,96E-07	3,94E-07	3,94E-07	3,95E-07
(κάτω κύκλος)		3,97E-07	3,97E-07	3,95E-07	3,94E-07	3,94E-07	3,96E-07
m <sub>z</sub> (πάνω κύκλος)		1,26E-08	1,26E-08	1,26E-08	1,25E-08	1,25E-08	1,25E-08
(κάτω κύκλος)		1,26E-08	1,26E-08	1,25E-08	1,25E-08	1,25E-08	1,26E-08

Πίνακας 3.42: Τιμές έντασης Μαγνητικού πεδίου με  $rc=6.30m, m=1.25\mu\text{Am}^2$  με αγωγή επιφάνεια,  $f=200\text{KHz}$



Σχήμα 3.46: Ιστόγραμμα μετρήσεων πίνακα 3.42

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η CDF THOR μελέτη υποδεικνύει ένα προκαταρκτικό σχεδιασμό του διαστημικού οχήματος καθώς και της επιστημονικής αποστολής του, με βάση την πρόταση που υπέβαλε Σουηδικό Ινστιτούτο Διαστημικής Φυσικής. Οι περιοχές του προβλήματος είχαν εντοπιστεί στις αρχικές συνεδρίες, και η προτεινόμενη σχεδίαση έχει λεπτομερώς αναλυθεί.

Μια σειρά από trade-offs, σε επίπεδο των υποσυστημάτων του διαστημοπλοίου, καθώς και στο επίπεδο του συστήματος, έχουν αναλυθεί, προκειμένου να καθορίσουν το καταλληλότερο βασικό σχέδιο για την αποστολή. Γενικά όλες οι απαιτήσεις της αποστολής έχουν επιτευχθεί, ακόμη και το κόστος είναι κάτω από την αποστολή Cosmic Vision M-class.

Παρατηρώντας τώρα προσεκτικά τα ιστογράμματα των τιμών της έντασης του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου μπορούμε να εξάγουμε τα παρακάτω συμπεράσματα:

- ✓ Επαληθεύεται ο ρόλος που παίζει στην ένταση του μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου τα ακόλουθα μεγέθη με διαφορετικό βάρος το καθένα: η ένταση της μαγνητικής ροπής, η σχετική απόσταση της θέσης της πηγής (διπόλου) με τις θέσεις των μαγνητομέτρων, η συχνότητα που ταλαντώνεται η μαγνητική ροπή καθώς και η ύπαρξη άλλων πηγών.
- ✓ Στο μαγνητικό πεδίο μία σημαντική παρατήρηση είναι ότι η τοποθέτηση της μαγνητικής ροπής στην  $m_z$  συνιστώσα οδήγησε σε μικρότερη απόκλιση στις τιμές στις διάφορες θέσεις των μαγνητομέτρων, συγκρινόμενη με τις τιμές που προκύπτουν από τις άλλες δύο συνιστώσες  $m_x$   $m_y$  και ταυτόχρονα σε μικρότερη ένταση πεδίου. Συνεπώς εκτός από το μέγεθος της ροπής σημαντικό ρόλο παίζει και η συνιστώσα της ροπής. Συγχρόνως όμως παρατηρήθηκαν μεταβολές της έντασης και στην αλλαγή του προσήμου της μαγνητικής ροπής, οπότε επηρεάζεται η ένταση του μαγνητικού πεδίου και από το πρόσημο της μαγνητικής ροπής. Βέβαια η αλλαγή προσήμου της μαγνητικής ροπής δεν επιφέρει αλλαγή της έντασης σε μεγάλες αποστάσεις παρά σε αποστάσεις κοντινές στην πηγή-δίπολο.
- ✓ Επιπλέον η ύπαρξη αγωγίμης επιφάνειας επηρεάζει το μέγεθος της έντασης του μαγνητικού πεδίου, το οποίο στη περίπτωση μας έχει τη μικρότερη επιρροή λόγω της συμμετρικότητας του προβλήματος. Όταν έχεις μια current loop σε μικρή απόσταση πάνω από αγωγίμο επίπεδο είναι σαν backwiring, δηλαδή βγάζεις το επίπεδο και έχεις μια άλλη current loop με αντίθετη φορά ρεύματος
- ✓ Παράλληλα η αύξηση της απόστασης (πηγής-διπόλου με θέσεις μαγνητομέτρων) οδηγεί στη μείωση της έντασης του μαγνητικού πεδίου, μάλιστα μειώνεται με τον κυβικό νομο της απόστασης ( $1/r^3$ ) ενώ το μέγεθος της ροπής παίζει μικρότερο ρόλο στην ένταση του πεδίου σε αυτή την περίπτωση.
- ✓ Ταυτόχρονα η συχνότητα αποτελεί σημαντικό μέρος στην ένταση του μαγνητικού πεδίου καθώς η αύξηση της οδηγεί σε μείωση της μαγνητικής ροπής, η οποία συνεπάγεται μείωση της έντασης του μαγνητικού πεδίου.
- ✓ Από την άλλη μεριά στο ηλεκτρικό πεδίο παρατηρούνται μικρότερες αποκλίσεις στην ένταση του οφειλόμενες στην τοποθέτηση της μαγνητικής ροπής σε άλλη άλλη συνιστώσα. Η αλλαγή προσήμου της μαγνητικής ροπής οδηγεί και εδώ σε αποκλίσεις των τιμών στην ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Η διαφορά είναι ότι η επιδραση της αλλαγής προσήμου είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση του ηλεκτρικού πεδίου από ότι στην περίπτωση του

μαγνητικού πεδίου.

- ✓ Η αύξηση της τιμής της συχνότητας της μαγνητικής ροπής παίζει πρωτεύοντα ρόλο στην ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Αν και η αύξηση της συχνότητας οδηγεί σε μείωση της μαγνητικής ροπής, παράλληλα συνεπάγεται και την αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στο ηλεκτρικό πεδίο η ένταση εξαρτάται κυματαριθμό ( $k = \omega/c$ ) ο οποίος με τη σειρά του εξαρτάται από τη συχνότητα  $\omega = 2\pi f$ . Στη περίπτωση μας χρησιμοποιήσαμε μία μόνο συχνότητα για την οποία γνωρίζαμε τη αντίστοιχη μαγνητική ροπή από τις απαιτήσεις της διαστημικής αποστολής αλλά ταυτόχρονα θα έδινε και μετρήσιμες τιμές διότι για συχνότητες κάτω των 10KHz η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι σχεδόν μη ανιχνεύσιμη.
- ✓ Μία ακόμη ενδιαφέρουσα παρατήρηση είναι ότι η αύξηση της απόστασης (πηγής-διπόλου με θέσεις μαγνητομέτρων) οδηγεί και εδώ στη μείωση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου αλλά με μικρότερο ρυθμό, εδώ μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης ( $1/r^2$ ).
- ✓ Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί ότι στα 6.3m που είναι η απαίτηση του μήκους του βραχίονα στην αποστολή THOR επαληθεύονται όλες οι απαιτήσεις για την ηλεκτρομαγνητική καθαρότητα. Συγκεκριμένα το μαγνητικό πεδίο είναι ( $<5nT$ ) σε DC,  $<0.5 nT$  όταν AC  $>1h$  και  $< 10pT$  όταν  $1h > AC > 1s$ .
- ✓ Τέλος θεωρείται απαραίτητο να τονισθεί η επίδραση των ειδώλων στη παραπάνω πειραματική διάταξη. Ακόμη δηλαδή και μία μοναδική πηγή να υπάρχει σε ένα οχήμα, σκάφος, εξοπλισμό η παρουσία αγωγίμης επιφάνειας γύρω από αυτή συνεπάγεται στην δημιουργία ειδώλων τα οποία επηρεάζουν την ένταση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που αναπτύσσεται σε αυτό. Οπότε πάντοτε οι μελέτες θα πρέπει να συνυπολογίζουν στις μετρήσεις τους τα λεγόμενα ειδώλα τα οποία τις περισσότερες φορές δεν λαμβάνονται υπόψιν αλλά σε περιπτώσεις ανάλυσης ηλεκτρικής και μαγνητικής υπογραφής σε χαμηλές συχνότητες (Low frequency EMI) παίζουν σημαντικό ρόλο, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

Συνεπώς στις στρατιωτικές εφαρμογές ακόμη και η ύπαρξη ενός απλού κινητού εντός ενός οχήματος παρεμβάλει όχι μόνο ως μία πηγή αλλά επίσης και με τα είδωλα τα οποία δημιουργούνται από τις αγωγίμες επιφάνειες του οχήματος (πχ ενός άρματος στο οποίο ένας χειριστής φέρει μαζί του ένα κινητό ή οποιοδήποτε εξοπλισμό ακτινοβολεί).

Το αντίστροφο πρόβλημα του πειράματος της παρουσίας διπλωματικής εργασίας αποτελεί το πρόβλημα της αναζήτησης μαγνητικών πηγών από τοπικά μετρούμενα μαγνητικά πεδία. Η μαγνητική καθαρότητα είναι καίριας σημασίας στις διαστημικές αποστολές. Ο εξοπλισμός που είναι τοποθετημένος πάνω στα σκάφη, για μετρήσεις μαγνητικών πεδίων λειτουργεί σε ένα μαγνητικό περιβάλλον. Τα πεδία που αφορούν αυτές τις αποστολές είναι πολύ ασθενή και για αυτό το λόγο τα μαγνητόμετρα πρέπει να είναι τοποθετημένα σε μαγνητικά καθαρά σημεία όπου το πεδίο είναι της τάξεως 0.1-1nT.

Για να είναι δυνατό να επιτευχθεί η μαγνητική καθαρότητα θα πρέπει να αναπτυχθούν μέθοδοι που να μπορούν να υπολογίζουν με ακρίβεια τα μοντέλα του εξοπλισμού πάνω στο σκάφος. Τέτοια μοντέλα έχουν αναπτυχθεί στο παρελθόν και βασίζονται στη τεχνική του μοντέλου πολλαπλών μαγνητικών διπόλων multiple magnetic dipole model-MDM. Οι παράμετροι του μοντέλου (θέση και μαγνητική ροπή) υπολογίζονται χρησιμοποιώντας μετρήσεις που γίνονται σε ειδικές εγκαταστάσεις coil facilities (Magnetic Coil Facility-MCF). Βασιζόμενοι σε αυτές τις μετρήσεις οι

αλγόριθμοι λύνουν το αντίστροφο πρόβλημα.

Αντί για τους κλασσικούς αλγορίθμους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η PSO (Particle swarm optimization) σαν στοχαστική ευρεστική μέθοδος έτσι ώστε να προβλέψει ένα σετ μαγνητικών διπόλων για να προσομοιώσει το μαγνητικό πεδίο μιας συσκευής υπό εξέταση (Equipment Under Test-EUT).

Προτείνεται λοιπόν ως μελλοντική εργασία η πρόβλεψη των μαγνητικών ροπών του πειραματός μας με τη μέθοδο PSO και έλεγχο της μαγνητικής καθαρότητας του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με τα αποτελέσματα αυτά. Επιπλέον θα μπορούσε να συνδυαστεί με τις επιδράσεις που έχουν στα ηλεκτρονικά συστήματα ενός άρματος η πυροβόλου ακόμη και ενός ελικοπτέρου, παρεμβολές από τα είδωλα και τρόποι αντιμετώπισής τους.



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### A Βοηθήματα

- [1] USAF, «*MIL-STD-826 Military Standard Electromagnetic Intereference Test Requirements and Test Methods*», 1964
- [2] Department of Defense, «*MIL-STD-461A Military Standard Electromagnetic Intereference Characteristics Requirements for Equipment*», 1-8- 1968.
- [3] Department of Defense, «*MIL-STD-463A Military Standard Definitions and System of Units, Electromagnetic Intereference and Electromagnetic Compatibility Technology*», 1-6-1977.
- [4] American National Standards Institute (ANSI), « *C63.14 American National Standard Dictionary for Technologies of Electromagnetic Compatibility (EMC), Electromagnetic Pulse (EMP), and Electrostatic Discharge (ESD) (Dictionary of EMC/EMP/ESD Terms and Definitions)*», 21-4-1992.
- [5] Department of Defense, «*MIL-STD-462D Military Standard Measurement of Electromagnetic Intereference Characteristics* », 11-1-1993.
- [6] Department of Defense, «*MIL-STD-464 DoD Interface Standard Electromagnetic Enviromental Effects Requirements for Systems*», 18-3-1997.
- [7] Department of Defense, «*MIL-STD-461E DoD, Interface Standard Requirements for the Control of Electro-Magnetic Intereference Emissions and Susceptibility*», 20-8-1999.
- [8] Department of Defense, «*MIL-STD-461F DoD Interface Standard Requirements for the control of Electro-Magnetic Intereference Emissions and Susceptibility*», 10-12-2007.
- [9] Department of Defense, «*MIL-STD-464C DoD Interface Standard Electromagnetic Enviromental Effects Requirements for Systems* », 1-12-2010.
- [10] C. Christopoulos, *Principles and Techniques of Electromagnetic Compatibility*, Seond Edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2007.
- [11] C. R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, 2nd edition, Wiley, Hoboken, NJ, 2006.
- [12] X. Καψάλης-Π. Τρακάδας, *Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα(EMC)*, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2006.
- [13] X.Καψάλης-Π.Κωπτής, *Κεραίες και Ασύρματες Ζεύξεις*, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2011.
- [14] J.R.Reitz-F.J.Milford-R.W.Christy, *Τα θεμέλια της Ηλεκτρομαγνητικής Θεωρίας*, Πανεπιστημικές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2003.
- [15] Ι. Ρουμελιώτης-Ι.Τσαλαμέγκας,*Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία*, Τόμος Β, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2014.

### B Μελέτες-Εφημερίδες

- [16] Οδηγία 2004/108/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 15ης Δεκεμβρίου 2004 για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και την κατάργηση της οδηγίας 89/336/ΕΟΚ. *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*, L.390/24-37, 31.12.2004.
- [17] CDF Study Report THOR, *Assesment of Mission to explore Plasma Energisation in Space Turbulence*, July 2015.
- [18] THOR Study Team ESTEC, *THOR Mission Requirements Document*, 20-09-2015.
- [19] Sotirios T. Spantideas, Adrianos G. Katsouris, Elpida G. Chatzineofytou, Nikolaos C. Kapsalis and Christos N. Capsalis, *Modeling of EUT's low frequency magnetic behavior for AC magnetic cleanliness verification in space missions*, 30-09-2016.