



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε**

**Πτυχιακή εργασία**

Του φοιτητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας  
Του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε

Θέμα διατριβής:

**«Μελέτη φαινομένων ακτινοβολίας από ηλεκτρικές εκκενώσεις μέσω  
προσομοιώσεων.»**

ΣΑΒΒΙΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Αριθμός Μητρώου: ΗΝ08102

Επιβλέπων

Κος ΑΜΑΝΑΤΙΑΔΗΣ ΣΤΑΜΑΤΙΟΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρουσίαση αυτής της πτυχιακής αναφέρεται στην μελέτη των ηλεκτρικών εκκενώσεων και συγκεκριμένα στα πιθανά φαινόμενα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αρχικά, σχεδιάστηκε κατάλληλα το υπό μελέτη πρόβλημα και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση του ηλεκτρομαγνητικού φαινομένου στο πεδίο του χρόνου. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που προέκυψαν σχετίζονται με την ένταση της ακτινοβολίας σε κοντινές αποστάσεις από την ηλεκτρική εκκένωση έτσι ώστε να προσδιοριστεί η πιθανότητα πρόκλησης βλάβης σε κοντινές συσκευές.

## ABSTRACT

The presentation of this thesis refers to the study of electrical discharges, and in particular to the possible effects of electromagnetic radiation. Initially, the problem in study was properly designed and the electromagnetic phenomenon was subsequently simulated within the scope of time. In addition, the results of the simulation obtained are related to the intensity of radiation at short distances from the electrical discharge in order to determine the likelihood of injury to nearby devices.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα ολόψυχα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπον καθηγητή μου κος Αμανατιάδη Σταμάτιο για τον πολύτιμο χρόνο που μου πρόσφερε κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της πτυχιακής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για ακόμη μια φορά για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του για την επίλυση διάφορων προβλημάτων που αντιμετώπισα πάνω στην πτυχιακή μου εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την ψυχή μου και τους γονείς μου οι οποίοι συνέβαλλαν σημαντικά για την καλύτερη δυνατή μόρφωσή μου.

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	2
ABSTRACT .....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ.....</b>	<b>7</b>
1.1 ΤΥΠΟΙ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ .....	7
1.2 ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ.....	9
1.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΚΕΡΑΥΝΟΥ .....	11
1.3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ .....	13
1.3.2 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ .....	14
1.3.3 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝ ΟΙ ΚΕΡΑΥΝΟΙ .....	17
1.4 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ.....	20
1.4.1 ΑΙΤΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ .....	21
1.4.2 ΤΥΠΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ .....	22
1.5 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΝΝΕΤΡΙΩΝ (ESD) .....	22
1.6 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ .....	27
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ .....</b>	<b>28</b>
2.1 Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ.....	29
2.2 Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ .....	33
2.3 ΟΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΣΕ $\mu\text{sec}$ .....	36
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΟΥ DC ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ .....</b>	<b>39</b>
3.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ DC ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ .....	39
3.1.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ T1 .....	41
3.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ T2 .....	43
3.1.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ 0,05 ΜΕΤΡΑ ΚΑΙ 2 ΜΕΤΡΑ .....	44
3.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ .....	46
3.2.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΣΕ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0,092 ΜΕΤΡΑ .....	46
3.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΚΕΝΩΣΗ.....	47
3.3 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	49
3.3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ T1 ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΠΗΓΗ ΠΡΩΤΗΣ, ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ .....	49

3.3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ T2 ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΠΗΓΗ	
ΠΡΩΤΗΣ, ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΚΑΙ ΠΕΜΠΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ .....	50
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	52

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε γενικά στις ηλεκτρικές εκκενώσεις, τον κεραυνό, στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση αλλά και θα εστιάσουμε τόσο στις εξισώσεις υπέρτασης όσο και στον όρο της απόκρισης συχνότητας.

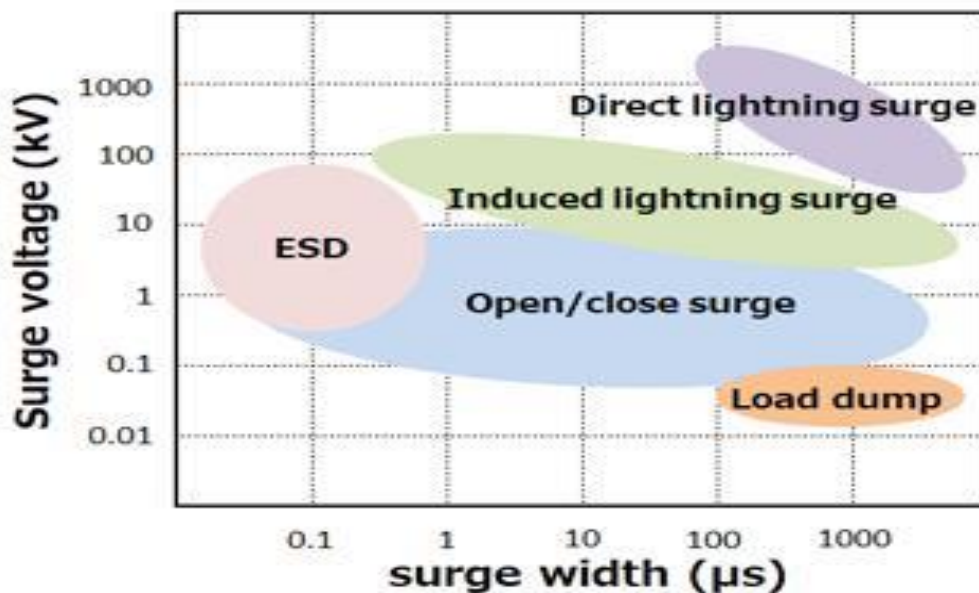
Αφενός θα επισημάνουμε τους τύπους των υπερτάσεων και αφετέρου θα τονίσουμε τις επιπτώσεις και τους κινδύνους της ηλεκτροστατικής εκκένωσης.

### 1.1 ΤΥΠΟΙ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ

Με τον όρο υπέρταση εννοούμε την υψηλή τάση η οποία ξεπερνάει κατά πολύ το επιτρεπόμενο εύρος της τάσης των εξαρτημάτων και εξοπλισμού. Επίσης η απότομη αυτή αύξηση της τάσης έχει ως αποτέλεσμα να διαλύσει τα εξαρτήματα αλλά και τον εξοπλισμό ακαριαία.

Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζονται οι υπερτάσεις των οποίων οι τάσεις και τα πλάτη αποτυπώνονται στον κατακόρυφο και στον οριζόντιο άξονα.

ΕΙΚΟΝΑ 1.1: ΑΠΟΤΗΠΟΝΕΤΑΙ Η ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ Η ΤΑΣΗ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΕΙΔΟΣ ΤΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ



Πηγή: [industrial.panasonic.com](http://industrial.panasonic.com)

## ΥΠΕΡΤΑΣΗ ΚΕΡΑΥΝΟΥ

Ο κεραυνός είναι ένα φαινόμενο φυσικό που περιλαμβάνει μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι ο κεραυνός ομαδοποιείται σε άμεσες υπερτάσεις κεραυνών και σε επαγόμενες αστραπές. Ωστόσο είναι πολύ δύσκολη η προστασία από ένα άμεσο κύμα κεραυνού, αντιθέτως όμως η προστασία από των επαγόμενων κεραυνών είναι πιο εφικτή. Επιπλέον ο επαγόμενος κεραυνός έχει υψηλή τάση και διεγείρεται από ένα μακρύ καλώδιο, τέτοια καλώδια είναι τα καλώδια επικοινωνίας που βρίσκονται κοντά σε κεραυνό ή τα καλώδια τροφοδοσίας.

## ΑΝΟΙΓΜΑ/ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΥΠΕΡΤΑΣΗΣ

Το άνοιγμα/κλείσιμο κύμα είναι ένα κύμα υψηλής τάσης το οποίο διεγείρεται σε ρελέ ή διακόπτη κατά την λειτουργία ενεργοποίησης και απενεργοποίησης, κυρίως όμως κατά την απενεργοποίηση, το οποίο διεγείρει την γρήγορη αλλαγή του ρεύματος και την επαγωγή του κυκλώματος ή της καλωδίωσης. Επίσης η τάση που διεγείρεται από ένα κύμα ανοίγματος/κλεισίματος είναι αρκετά υψηλή με αποτέλεσμα σε κάποιες περιπτώσεις, να παράγει σπινθήρα, θερμότητα ή ακόμη και να ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο διεγείρεται από ένα μεγάλο ρεύμα ταλάντωσης απόσβεσης που παράγεται από μια αιωρούμενη στατική χωρητικότητα επαγωγής και επαφής, με αποτέλεσμα αυτό το κύμα της υψηλής τάσης να επιφέρει την δυσλειτουργία ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις να προκαλέσει και την καταστροφή του εξαρτήματος.

## ΥΠΕΡΤΑΣΗ ΕΚ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

Η υπέρταση εκ μεταφοράς φορτίου είναι το κύμα το οποίο παράγεται από την αποκοπή της σύνδεσης της μπαταρίας σε ένα αυτοκίνητο. Ακόμη η πιο σοβαρή περίπτωση παρουσιάζεται όταν χάνεται η σύνδεση της μπαταρίας ενώ ο κινητήρας του αυτοκινήτου είναι σε λειτουργία και ο εναλλάκτης φορτίζει την μπαταρία. Επιπλέον το μέγεθος της τάσης υπέρτασης εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του εναλλάκτη αλλά και από την ισχύ διέγερσης του μαγνητικού πεδίου τη στιγμή της διακοπής.



## ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ

Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση είναι το φαινόμενο όπου το φορτίο συσσωρεύεται σε μια μικρή αιωρούμενη χωρητικότητα σε μια ουσία ή σε ένα ανθρώπινο σώμα και έπειτα εκκενώνεται σε ένα αντικείμενο και κατατάσσεται ως τύπος υπέρτασης. Επίσης αξίζει να σημειωθεί πως η ηλεκτροστατική εκφόρτιση έχει σύντομη χρονική διάρκεια με λίγη ενέργεια, αλλά επειδή δημιουργεί υψηλή τάση έως και αρκετά kVolt, μπορεί να επιφέρει την δυσλειτουργία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ή ακόμη και την καταστροφή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

### 1.2 ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι πιο γνωστοί κίνδυνοι της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης είναι η πυρκαγιά και η έκρηξη και η ηλεκτρονική αστοχία. Στα τελευταία αυτά χρόνια έχουν επισημανθεί διαταραχές και ζημιές, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις οι βαθύτερες αιτίες των αστοχιών της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης δεν μπορούν να εντοπιστούν.

## ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΣΟΚ

Για τους ανθρώπους το ηλεκτροστατικό σοκ είναι ένας από τους σημαντικότερους κινδύνους. Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση παράγει ενέργεια η οποία μπορεί να είναι μερικές φορές αρκετά υψηλή με αποτέλεσμα να επιφέρει οδυνηρές καταστάσεις στον άνθρωπο όπως ακουστικές κινήσεις ή ακόμη να οδηγήσει και σε ατύχημα.

## ΠΥΡΚΑΓΙΑ ΚΑΙ ΕΚΡΗΞΕΙΣ

Ένας από τους σημαντικότερους κινδύνους είναι και ο στατικός ηλεκτρισμός με παρουσία εύφλεκτων αερίων, υγρών και άλλων εύφλεκτων υλικών. Ωστόσο σημαντικό είναι το γεγονός πως η χρήση των εύφλεκτων ουσιών στις εγκαταστάσεις έχει μειωθεί, όμως χωρίς τον έλεγχο, ο κίνδυνος εκρήξεων και πυρκαγιών μπορεί να

παρουσιαστεί σε μονάδες εντατικής θεραπείας και χειρουργεία αλλά και σε ειδικά εργαστήρια.

## ΑΠΟΤΥΧΙΑ ΗΛΕΚΤΡΩΝΙΚΩΝ

Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση μπορεί να προκαλέσει σημαντικές βλάβες στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που μπορεί να είναι soft failures, λανθάνοντα ελαττώματα και καταστροφικές αποτυχίες.

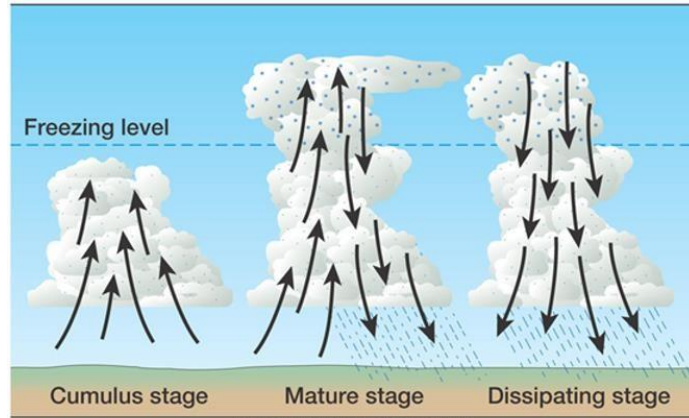
Όσο αναφορά το soft failures το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται λόγω της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης μπορεί να μεταβάλλει την εσωτερική λογική διεγείροντας το κλειδωμά του συστήματος. Επιπλέον, η ηλεκτροστατική εκφόρτιση μπορεί να επιφέρει την καταστροφή της ροής των δεδομένων στα ηλεκτρονικά συστήματα. Ωστόσο, αν και το αποτέλεσμα αυτό είναι προσωρινό τα συμβάντα αυτά της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης μπορούν να χρονοτριβούν τις επικοινωνίες ή σε περίπτωση κλειδώματος του συστήματος να απαιτήσουν επανεκκίνηση.

Η λανθάνουσα αστοχία είναι ο λιγότερος εμφανής τύπος. Συγκεκριμένα είναι το σημείο στο οποίο η συσκευή αυτή έχει καταστραφεί αλλά δεν χαλάει αμέσως. Επειδή όμως η ζημιά δεν είναι τόσο ορατή, η επακόλουθη ζημιά μπορεί να συνεχίσει να συμβαίνει πριν επέλθει η αστοχία. Επιπλέον, η εκφόρτιση του στατικού ηλεκτρισμού μαζί με τα ενεργά ηλεκτρονικά συστήματα μπορεί να επιφέρει την καταστροφή της μνήμης ή ακόμη και προσωρινή αστοχία λόγω κλειδώματος της συσκευής, που συνήθως ανακτάται κατά την επανεκκίνηση. Οι ηλεκτροστατικές εκκενώσεις μπορούν να οδηγήσουν σε ολική καταστροφή. Παράλληλα στις καταστροφικές αποτυχίες η καταστροφική αστοχία προκαλεί αστοχία σε ένα ευάλωτο στοιχείο της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης που είναι μόνιμη. Αυτό το συμβάν της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης μπορεί να προκαλέσει τήξη μετάλλου, βλάβη στην διασταύρωση ή ακόμη και αστοχία οξειδίου.

### 1.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ ΛΟΓΩ ΚΕΡΑΥΝΟΥ

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ηλεκτρική εκκένωση όπου δραστηριοποιείται στην ατμόσφαιρα καλείται ως κεραυνός. Πρόκειται για το φαινόμενο όπου συνδέεται και συνοδεύεται άρρηκτα από φωτεινά «φαινόμενα», τις αστραπές και κατ' ακολουθίαν από τα ηχητικά «φαινόμενα», τις ονομαζόμενες βροντές. Οι κεραυνοί παράγονται στα σύννεφα σωρειτομελανία, μελανόστρωμα, σε χιονοθύελλες, σε κονιορτοθύελλες αλλά και σποραδικά στα αέρια που οδηγούν στην έκρηξη ενός ηφαιστείου. Παράγονται ανάμεσα στο νέφος και στο έδαφος ή αναμεταξύ των νεφών ή ακόμα και μέσα στο νέφος και οδηγείται από το φαινόμενο της αστραπής και της βροντής. Με τον όρο κεραυνό εννοούμε τον σπινθήρα που υπάρχει μεταξύ του νέφους και του εδάφους, οι άλλες δυο περιπτώσεις καθορίζονται από τον όρο της αστραπής που είναι το ίδιο φαινόμενο ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αερίου. Τα φαινόμενα αυτά δημιουργούνται εξαιτίας της συσσώρευσης σε σημαντικές περιοχές όπου είναι φορτισμένες με θετικά και αρνητικά ηλεκτρικά φορτία. Η διάσπαση των ηλεκτρικών φορτίων οδηγεί σε μια διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού, όπου μόλις αυτή η διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού ξεπεράσει την διηλεκτρική αντοχή που έχει ο αέρας, θα επακολουθήσει το φαινόμενο του κεραυνού. Επιπλέον και η καταιγίδα είναι μια σειρά από ηλεκτρικές εκκενώσεις όπου τα βασικά της χαρακτηριστικά είναι η ραγδαία βροχή, οι ισχυροί άνεμοι, οι βροντές και οι αστραπές. Οι καταιγίδες αντιστοιχίζονται με τα κατακόρυφα νέφη ανάπτυξης, όπως οι σωρειτομελανίες και οδηγείται από ραγδαίες βροχές. Για να αναπαραχθεί μια καταιγίδα θα πρέπει να πραγματοποιηθούν 3 προϋποθέσεις όπως η υγρασία, η ασταθής ατμόσφαιρα, δηλαδή η παρουσία του ζεστού αέρα κάτω από τον κρύο αέρα και η ανυψωτική δύναμη, δηλαδή οι καταιγίδες που εξελίσσονται σε μια ασταθής ατμόσφαιρα. Η καταιγίδα αναπτύσσεται σε 3 διαφορετικά στάδια: το πρώτο στάδιο που θα αναφερθούμε είναι το στάδιο της ανάπτυξης, το δεύτερο στάδιο είναι το στάδιο της ωρίμανσης και το τρίτο στάδιο είναι το στάδιο της διάλυσης.

ΕΙΚΟΝΑ 1.2: ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΕΓΙΔΑΣ



Πηγή: *Pearson Prentice Hall, Inc*

❖ **Στάδιο σωρείτη ή ανάπτυξης (*cumulus stage*).**

Στο στάδιο αυτό εξαιτίας της αστάθειας του αέρα παράγεται ένα ισχυρό ανοδικό ρεύμα και ο ζεστός αέρας συνέρχεται κατακόρυφα και αναπτύσσεται σε σωρείτη, καθώς ο ζεστός αέρας συνέρχεται, ψύχεται και συμπυκνώνεται δημιουργώντας μερικές σταγόνες νερού. Τα σταγονίδια αυτά παρασύρονται από το ανοδικό ρεύμα και συγκρούονται αναμεταξύ τους παράγοντας μεγαλύτερες σταγόνες, που όταν γίνουν πολύ μεγάλες καταλήγουν στο έδαφος.

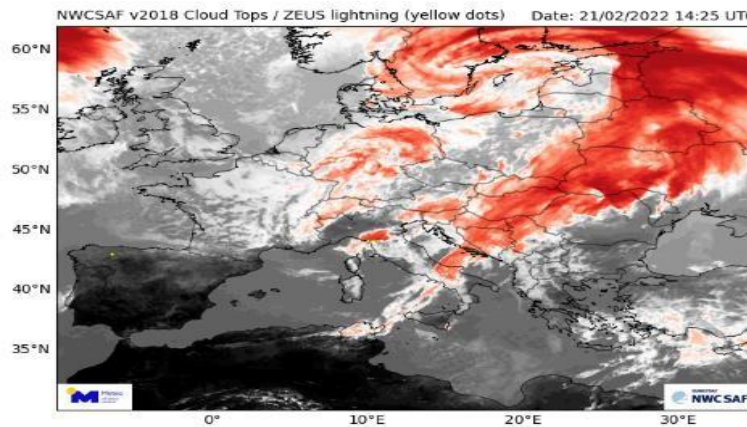
❖ **Στάδιο ωρίμανσης (*mature stage*).**

Στο στάδιο αυτό το νεφικό σύστημα επεκτείνεται πάρα πολύ στην ατμόσφαιρα και ο σωρείτης μεταβάλλεται σε cumulonimbus (cb) σε λιγότερο από μια ώρα. Το νέφος αυτό φτάνει σε ύψος 12km στα μέσα πλάτη και τα 18km στον Ισημερινό. Έτσι η κορυφή του cumulonimbus εισέρχεται στην ατμόσφαιρα και δημιουργεί το χαρακτηριστικό άκμονα που έχει την ίδια κατεύθυνση με αυτή που κινείται η καταιγίδα. Λόγω του εκτενούς νεφικού συστήματος τα σταγονίδια παγώνουν με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σε παγοκρυστάλλους οι οποίοι καταλήγουν στο έδαφος με τη μορφή όμβρου ή χαλαζιού, έτσι ώστε να δημιουργείται παράλληλα με το ανοδικό ρεύμα και ένα καθοδικό, το οποίο έχει πιο μικρή ταχύτητα σε σχέση με το ανοδικό. Επιπλέον η καταιγίδα στο στάδιο αυτό της ωρίμανσης συνοδεύεται από ηλεκτρικές εκκενώσεις τις αστραπές.

❖ **Στάδιο διάλυσης (*dissipating stage*).**

Σε αυτό το στάδιο της διάλυσης το ανοδικό ρεύμα αποδυναμώνεται με αποτέλεσμα να κυριαρχεί το καθοδικό ρεύμα. Έτσι η κορυφή του νέφους διαλύεται και η ένταση της βροχής μειώνεται ώσπου κάποια στιγμή σταματά.

ΕΙΚΟΝΑ 1.3: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΚΟΡΥΦΕΣ ΝΕΦΩΝ ΚΑΙ ΚΕΡΑΥΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ 21/02/2022



Πηγή: [NWCSAF](#)

### 1.3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ

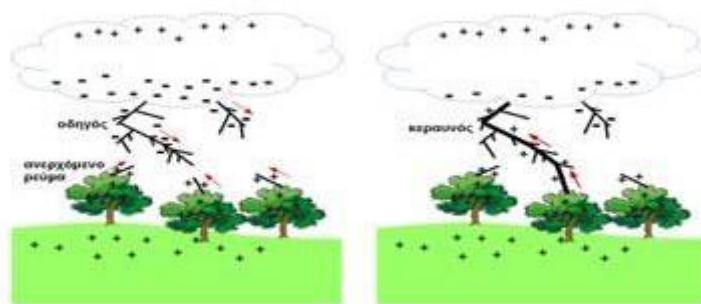
Σημαντικό είναι να αναφέρουμε πως με την εμφάνιση των καταιγιδοφόρων νεφών του τύπου σωρειτομελανία, αλλάζει ολοκληρωτικά η ηλεκτρική κατάσταση της ατμόσφαιρας αλλά και του εδάφους. Στο εσωτερικό του σωρειτομελανία υπάρχουν ισχυρά ρεύματα, ανοδικά και καθοδικά με αποτέλεσμα να δρα σαν μια τεράστια ηλεκτροστατική μηχανή. Η διαφορά δυναμικού αναμεταξύ της βάσης και της κορυφής του νέφους, που πρωτίστως υπάρχει λόγω του επίγειου ηλεκτρικού πεδίου, παίρνει αρκετά μεγάλες τιμές με αποτέλεσμα να επακολουθήσει το φαινόμενο του κεραυνού αναμεταξύ του νέφους και του εδάφους, όπου ήδη έχουν μαζευτεί μεγάλα επαγωγικά ηλεκτρικά φορτία, ή αναμεταξύ δυο νεφών ή μέσα στο νέφος. Συχνά θετικά φορτισμένη είναι η βάση του νέφους και αρνητικά φορτισμένο το έδαφος, ωστόσο πολύ πιθανόν είναι να συμβεί και το αντίθετο ή ακόμη μπορεί και να γίνει ταχύτατη εναλλαγή της πολικότητας στη διάρκεια του φαινομένου.

Η διαφορά δυναμικού μόλις επέλθει η έκρηξη του κεραυνού είναι εκατοντάδες εκατομμύρια Volt και το ρεύμα που περνάει από την φλέβα του σπινθήρα είναι δεκάδες χιλιάδες Amperes. Επιπρόσθετα το μήκος του κεραυνού μπορεί να φθάσει

αρκετά χιλιόμετρα και η μορφή του είναι τεθλασμένη ή κυματοειδή, ενώ το πλάτος της φλέβας του σπινθήρα είναι μικρό, μερικές δεκάδες εκατοστόμετρα. Ο κεραυνός έχει πολύ μικρή διάρκεια, μερικά δέκατα του δευτερολέπτου, όμως μέσα σε αυτό το διάστημα παράγονται αρκετοί διαδοχικοί σπινθήρες που έχουν μια μικρή μετατόπιση στην τροχιά τους. Η θερμοκρασία που εξελίσσεται μέσα στην φλέβα είναι αρκετά μεγάλη, της τάξης των 10.000C° και έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργήσει έντονο ιονισμό και διέγερση των αερίων της ατμόσφαιρας, με σκοπό να φωτοβολούν, για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η εκκένωση.

Επίσης η μεγάλη θέρμανση του αέρα και η εκτόνωση του έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός έντονου κρότου την ονομαζόμενη βροντή. Επειδή το φως μεταδίδεται ασυγκρίτως πιο γρήγορα από τον ήχο, αν μετρηθεί το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί αναμεσαύ της βροντής και της αστραπής μπορεί να προσδιοριστεί κατά προσέγγιση η απόσταση του τόπου παρατήρησης από την περιοχή που θα πέσει ο κεραυνός. Μορφολογικά οι κεραυνοί διακρίνονται συχνά σε γραμμικούς, που με την σειρά τους μπορεί να είναι κυματοειδείς, διακλαδιζόμενοι, διακεκομμένοι και τέλος στους κομβοειδείς και πολύ σπάνια στους σφαιροειδείς.

Εικόνα 1.4 : Στάδια δημιουργίας κεραυνού: (α) Η δημιουργία του κατερχόμενου οδηγού και η έναρξη των θετικών ρευμάτων από τη γη, (β) Η δημιουργία κεραυνού (ρεύμα επιστροφής)



### 1.3.2 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ

Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι στην συγκεκριμένη υποενότητα θα εξεταστούν και θα αναλυθούν τα είδη των ηλεκτρικών εκκενώσεων που είναι αστραπή από το σύννεφο προς το έδαφος, αστραπή από το έδαφος προς το σύννεφο, αστραπή από σύννεφο προς σύννεφο, κεραυνός εν αίθρια και τέλος αστραπή από σύννεφο προς αέρα.

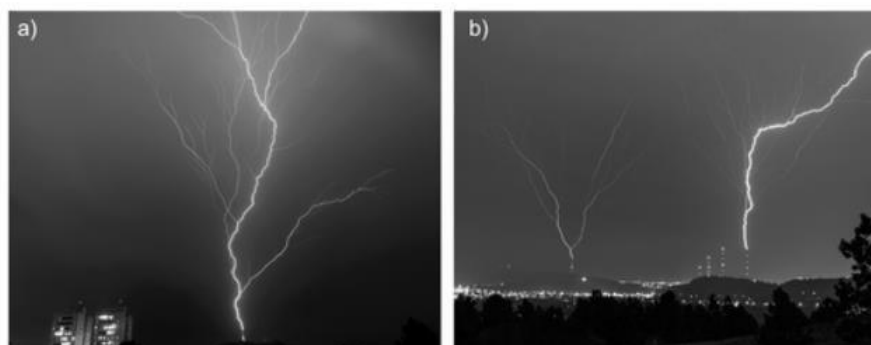
## ΑΣΤΡΑΠΗ ΑΠΟ ΣΥΝΝΕΦΟ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ – CLOUD TO GROUND LIGHTNING

Είναι η ηλεκτρική εκκένωση που σχετίζεται με φορτία που είναι αντίθετα ηλεκτρικά και βρίσκονται ανάμεσα στο νέφος και στο έδαφος. Η ηλεκτρική εκκένωση από το σύννεφο προς το έδαφος συμβαίνει αφενός λόγω των αρνητικών φορτίων που υπάρχουν στο σύννεφο και των θετικών φορτίων που βρίσκονται στο έδαφος (αρνητικού τύπου αστραπή από το σύννεφο προς το έδαφος– Negative Cloud to Ground Lightning), αυτό το είδος είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος αστραπής, και αφετέρου λόγω των θετικών φορτίων που υπάρχουν στο σύννεφο και των αρνητικών φορτίων που βρίσκονται στο έδαφος (θετικού τύπου αστραπή από το σύννεφο προς το έδαφος– Positive Cloud to Ground Lightning ). Ο αρνητικός τύπος της αστραπής που είναι από το σύννεφο προς το έδαφος γίνεται εμφανές από την παράλειψη των <<παρακλαδιών>>.

## ΑΣΤΡΑΠΗ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΥΝΝΕΦΟ – ΚΕΡΑΥΝΟΣ - GROUND TO CLOUD LIGHTNING.

Είναι η ηλεκτρική εκκένωση που σχετίζεται με την συνάθροιση των έντονων ηλεκτρικών πεδίων που βρίσκονται σε υψηλές κορυφές αντικειμένων κατά την διάρκεια της καταιγίδας. Οι ανάποδοι κεραυνοί στην διεθνή αρθρογραφία ονομάζονται ως Upward Lightning.

ΕΙΚΟΝΑ 1.5: ΑΝΑΠΟΔΟΣ ΚΕΡΑΥΝΟΣ (UPWARD LIGHTNING)



Πηγή: *Research article Marselo M.F. Saba et al (2016) : “Upward lightning flashes characteristics from high-speed videos”*

## ΑΣΤΡΑΠΗ ΑΠΟ ΣΥΝΝΕΦΟ ΠΡΟΣ ΣΥΝΝΕΦΟ - CLOUD TO CLOUD LIGHTNING.

Η κατηγορία αυτή μπορεί να διαχωριστεί σε 2 υποκατηγορίες. Η πρώτη σχετίζεται με τις ηλεκτρικές εκκενώσεις που εκπηγάζουν σε διάφορα σημεία μέσα στο ίδιο το σύννεφο, όπου παρατηρούνται διαφορετικά ηλεκτρικά φορτία. Επίσης είναι κοινό γνωστό ως sheet lightning, καθώς ο ουρανός φωτίζεται από ένα <<πέπλο>> λάμψης, συνήθως η ηλεκτρική εκκένωση αυτή δεν είναι τόσο εμφανής εξαιτίας του συννέφου που κρύβει μεγάλο μέρος της ή και όλο. Οι αστραπές αυτού του είδους είναι και οι πιο συχνές που βλέπουμε από οποιαδήποτε άλλη κατηγορία. Επιπλέον σε αυτήν την υποκατηγορία που αναφερθήκαμε και παραπάνω υπόκεινται και οι αστραπές τύπου αράχνης Spider Lightning. Όσο αναφορά την δεύτερη υποκατηγορία η οποία σχετίζεται με τις ηλεκτρικές εκκενώσεις αναμεταξύ δυο διαφορετικών συννεφιών, όπου ρέουν διαφορετικά ηλεκτρικά φορτία.

## ΚΕΡΑΥΝΟΣ ΕΝ ΑΙΘΡΙΑ - BOLT FROM THE BLUE.

Οι κεραυνοί αυτοί ονομάζονται και ως Anvil to Ground Lightning ( αστραπή από αμώνι προς το έδαφος). Η ονομασία κεραυνός εν αιθρία δόθηκε για τον λόγο ότι ο κεραυνός αυτός πέφτει πολλά χιλιόμετρα μακριά από το καταιγιδοφόρο νέφος, όπου ο καιρός μπορεί να είναι αίθριος. Οι κεραυνοί του είδους αυτού κατάγονται από τις υψηλότερες περιοχές ενός καταιγιδοφόρου νέφους οι οποίοι αρχικά περιηγούνται για αρκετή απόσταση οριζόντια εκτός του νέφους, πριν αρχίσουν την κατακόρυφη κίνηση τους προς την επιφάνεια του εδάφους. Αυτού του είδους κεραυνοί περιηγούνται πάνω από 40 χιλιόμετρα πριν έρθουν σε επαφή με το έδαφος.



ΕΙΚΟΝΑ 1.6: ΚΕΡΑΥΝΟΣ ΕΝ ΑΙΘΡΙΑ (BOLT FROM THE BLUE) ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΕΡΙΠΟΥ 10 ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΚΑΤΑΙΓΙΔΟΦΟΡΟΝΕΦΟΣ

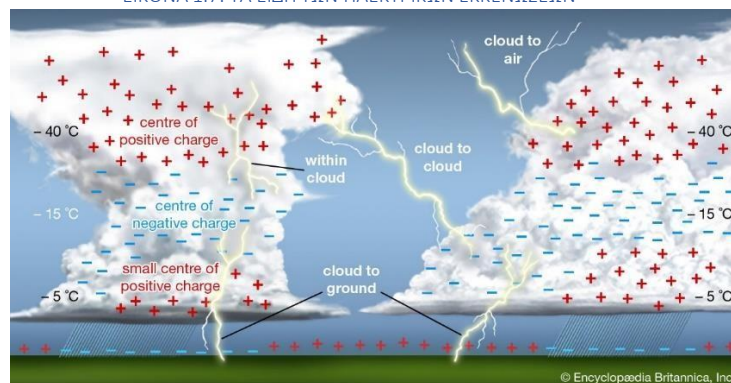


Πηγή: *Kitas weather.*

### ΑΣΤΡΑΠΗ ΑΠΟ ΣΥΝΝΕΦΟ ΠΡΟΣ ΑΕΡΑ - CLOUD TO AIR LIGHTNING.

Είναι η ηλεκτρική εκκένωση ή ένα μέρος της που εκπηγάει από το σύννεφο προς τον αέρα. Τα παρακλάδια της αστραπής που περατώνονται σε καθαρό αέρα θεωρούνται ως αστραπές από σύννεφο προς αέρα. Τα πιο ωραία παραδείγματα αστραπών από σύννεφο προς αέρα ενατενίζονται όταν η ολόκληρη ηλεκτρική εκκένωση εκπηγάει εκτός του νέφους και περατώνεται στον αέρα.

ΕΙΚΟΝΑ 1.7: ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ



Πηγή: *Encyclopaedia Britannica.*

### 1.3.3 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝ ΟΙ ΚΕΡΑΥΝΟΙ.

Σημαντικό είναι να αναφερθούμε στο γεγονός πως οι κεραυνοί μπορούν να δημιουργήσουν πολύ ισχυρές και επώδυνες καταστροφές που είναι κυρίως επικίνδυνες για τον άνθρωπο, εξαιτίας των αυξημένων εντάσεων και τάσεων

ρευμάτων που δημιουργούν. Ο κεραυνός αφού εισχωρήσει μέσα στο σώμα μας θα έρθει σε επαφή με την γη αφού πρώτα διαπεράσει το νευρικό μας σύστημα με συνέπεια να τερματίσει την λειτουργία της καρδιάς μας.

Επίσης σαν σημεία εισόδου και εξόδου του κεραυνού εμφανίζονται τα εγκαύματα, αλλά και σημεία που βρίσκονται σε άμεση επαφή με αντικείμενα που είναι μεταλλικά.

Επιπλέον ο κεραυνός είναι επικίνδυνος και όταν δεν μας χτυπήσει άμεσα, αλλά απλώς πέσει κάπου πολύ κοντά μας. Με απλά λόγια ο κεραυνός έχει ως στόχο όλη την επιφάνεια της γης χωρίς καμία εξαίρεση, με αποτέλεσμα να δημιουργεί μια σειρά ατυχημάτων.

### ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΧΕΙ Ο ΚΕΡΑΥΝΟΣ ΣΕ ΑΝΘΡΩΠΟΥΣ ΚΑΙ ΖΩΑ

Τα άτομα και τα ζώα που βρίσκονται και κυκλοφορούν στην επιφάνεια της γης είναι πολύ πιθανόν να γίνουν στόχος του κεραυνού, εφόσον βρίσκονται σε έναν απροστάτευτο χώρο κατά την διάρκεια της καταιγίδας. Είναι κοινό γνωστό ότι στην διάρκεια της καταιγίδας δεν πρέπει να κυκλοφορούν τα άτομα ούτε και να βρίσκονται κάτω από δέντρα ή σε ηλεκτρικές γραμμές. Επίσης είναι γνωστό πως με το βάδισμα ενός ατόμου είναι δυνατόν να υπάρξει βηματική τάση η οποία οφείλεται στη διαφορά της τάσης στο άνοιγμα των ποδιών του ατόμου, που έρχεται από την πτώση του κεραυνού στην περιοχή με αποτέλεσμα να προκαλέσει ηλεκτροπληξία ή ακόμη και θάνατο. Ωστόσο και η τηλεφωνική επικοινωνία ενός ατόμου από ένα ενσύρματο δίκτυο κατά τη διάρκεια της καταιγίδας μπορεί να γίνει η αιτία για να υπάρξει ηλεκτροπληξία από την πτώση του κεραυνού στο τηλεφωνικό δίκτυο. Έτσι όπως ο άνθρωπος κινδυνεύει από την πτώση του κεραυνού, με αντίστοιχο τρόπο κινδυνεύουν και τα ζώα.

### ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΧΕΙ Ο ΚΕΡΑΥΝΟΣ ΣΤΗ ΦΥΣΗ

Ο κεραυνός μπορεί να επιφέρει σημαντικές ζημιές στην φύση όπου μια από αυτές είναι η πυρκαγιά στα δάση. Τα συστήματα εντοπισμού των κεραυνών μπορούν να δώσουν ενδείξεις για τη θέση που είναι πιθανόν να εμφανιστεί η πυρκαγιά από την πτώση του κεραυνού στο δάσος. Επιπλέον ζημιές μπορούν να επέλθουν και από την

απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων τοξικών ουσιών που προέρχονται από την επίδραση που θα επιφέρει η πυρκαγιά κατά την πτώση του κεραυνού σε υλικά ή σε ζώντες οργανισμούς.

#### ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ ΠΑΝΩ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Με την πτώση του κεραυνού κινδυνεύουν και τα κτίρια, κυρίως όμως τα κτίρια που επηρεάζονται από την πτώση του κεραυνού είναι αυτά που περιλαμβάνουν ηλεκτρικές και άλλες εγκαταστάσεις, καθώς και ενοίκους που βρίσκονται στο κτίριο ή στην περιοχή του. Γενικά ο κεραυνός ψάχνει να βρει έναν εύκολο δρόμο. Αρκετά από τα υλικά των κτιρίων είναι μέτριοι αγωγοί του ηλεκτρισμού όμως έχουν λιγότερη αντίσταση από τον αέρα. Στο πέρασμα του κεραυνού η αντίσταση προκαλεί τριβή και υπερβολική θερμότητα με σκοπό την εμφάνιση της πυρκαγιάς ή της έκρηξης ή ακόμη και των δύο. Ωστόσο οι εθνικοί ή και διεθνείς κανονισμοί είναι αυτοί που καθορίζουν τον τρόπο προστασίας των κτιρίων από τους κεραυνούς γι αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται και τα αντικεραυνικά συστήματα.

#### ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ ΣΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Οι Γραμμές Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας έχουν εξαιτίας του μεγάλου μήκους τους πολύ υψηλή πιθανότητα να δεχτούν κεραυνούς. Η προστασία των ηλεκτρικών συστημάτων ισχύος απαιτεί ειδική τεχνική και προδιαγραφές που αναπτύσσονται με διεθνή συνεργασία. Για την επίλυση κάποιων προβλημάτων υπάρχουν περιορισμένες διαφορές μεταξύ των διαφόρων Εθνικών Προδιαγραφών που οφείλονται γενικά στην αντίληψη διαφοροποίησης των συστημάτων γείωσης. Τα μέτρα ασφάλειας προσδιορίζουν τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία που αναμένεται να είναι εξαιρετικά υψηλή. Σε κάθε περίπτωση η ανάγκη αντιμετώπισης κοινών προβλημάτων επιβάλλει τη συστηματική συνεργασία των ηλεκτρικών επιχειρήσεων ιδιαίτερα σε θέματα απρόβλεπτων διακοπών παροχής ισχύος από κεραυνούς, καταιγίδες και τυφώνες.

#### ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Τα συστήματα τηλεπικοινωνιών είναι ευαίσθητα σε βλάβες από άμεση πτώση κεραυνού στις γραμμές ή στις κεραίες τους. Ωστόσο δυσμενή επίδραση έχουν πάνω

σ' αυτά οι κεραυνοί που πέφτουν σε γειτονικές εγκαταστάσεις, ενώ υπερτάσεις μπορούν να δημιουργηθούν στα δίκτυά τους από πτώση κεραυνού σε κοντινές και σε παράλληλες ηλεκτρικές γραμμές κατά μήκος των τηλεφωνικών δικτύων. Οι τεχνικοί μέθοδοι προστασίας τους είναι πολύπλοκες και απαιτούν συστηματική έρευνα από το στάδιο της μελέτης των τηλεπικοινωνιακών εγκαταστάσεων. Για την προστασία των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων υπάρχουν οι διεθνείς και εθνικοί κανονισμοί που θα πρέπει να εφαρμόζονται πιστά.

## ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ ΣΤΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ο κεραυνός μπορεί να προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις στους υπολογιστές και στα ηλεκτρονικά συστήματα, καθώς όλα αυτά τα συστήματα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στα ηλεκτρομαγνητικά φορτία που εμφανίζονται κατά την πτώση των κεραυνών σε γειτονικές περιοχές αλλά και στα μεταβατικά φαινόμενα από την πτώση των κεραυνών σε κοντινούς αγωγούς. Επειδή όμως στις μέρες μας οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν μπει στην καθημερινότητά μας τα προβλήματα αυτά έχουν μελετηθεί σημαντικά και καταβάλλονται προσπάθειες για την αντιμετώπισή τους.

### 1.4 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ

Με τον όρο ηλεκτροστατική εκφόρτιση (ESD) εννοούμε την γρήγορη και αυθόρμητη μεταφορά ηλεκτροστατικού φορτίου που διεγείρεται από υψηλό ηλεκτροστατικό πεδίο. Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση είναι επίσης μια συγκέντρωση φορτίσεων σε μια συγκεκριμένη περιοχή η οποία δεν έχει ροή ρεύματος. Επιπρόσθετα ο όρος της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης μπορεί να εκφραστεί και ως ένα ανεξέλεγκτο κύμα στατικού ηλεκτρισμού μεταξύ αντικειμένων που έχουν διαφορετικά δυναμικά τάσεων.

### 1.4.1 ΑΙΤΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ

Σημαντικό είναι να αναφερθούμε στις αιτίες της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης, όπου μια από αυτές είναι ο στατικός ηλεκτρισμός. Ο στατικός ηλεκτρισμός δημιουργείται μέσω της φόρτισης του διαχωρισμού των ηλεκτρικών φορτίων που συμβαίνει όταν δυο υλικά έρχονται σε επαφή και στην συνέχεια απομακρύνονται. Επιπλέον παραδείγματα φόρτισης είναι το τρίψιμο μιας πλαστικής χτένας σε στεγνά μαλλιά, το τρίψιμο ενός μπαλονιού σε ένα πουλόβερ, το περπάτημα σε ένα χαλί και τέλος η αφαίρεση ορισμένων τύπων πλαστικών συσκευασιών. Στις περιπτώσεις αυτές η διακοπή της επαφής ανάμεσα σε δυο υλικά έχει ως αποτέλεσμα την φόρτιση με σκοπό να παραχθεί μια διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Επιπρόσθετα μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση μπορεί να επέλθει και από ενεργητικά φορτισμένα σωματίδια τα οποία έρχονται σε επαφή με ένα αντικείμενο. Τα περισσότερα διαστημόπλοια κινδυνεύουν από αυτό. Επιπλέον μια αιτία βλάβης της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης είναι η ηλεκτροστατική επαγωγή όπου ένα ηλεκτρικά φορτισμένο αντικείμενο τοποθετείται κοντά σε ένα αγώγιμο αντικείμενο που είναι απομονωμένο από το έδαφος. Το φορτισμένο αυτό αντικείμενο παράγει ένα ηλεκτροστατικό πεδίο που διεγείρει την ανακατανομή των ηλεκτρικών φορτίων στην επιφάνεια του άλλου αντικειμένου. Ωστόσο παρόλο που το καθαρό ηλεκτροστατικό φορτίο του αντικειμένου δεν έχει αλλάξει, έχει περιοχές με αρνητικά και θετικά φορτία. Επίσης μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση μπορεί να συμβεί όταν ένα αντικείμενο έρθει σε επαφή με μια αγώγιμη διαδρομή όπως για παράδειγμα οι φορτισμένες περιοχές στις επιφάνειες κυπέλλων ή σακουλιών από φελιζόλ μπορούν να προκαλέσουν δυναμικό σε κοντινά ευαίσθητα εξαρτήματα μέσω της ηλεκτροστατικής επαγωγής με αποτέλεσμα να προκύψει η ηλεκτροστατική εκφόρτιση εάν το εξάρτημα αγγίξει ένα μεταλλικό εργαλείο.

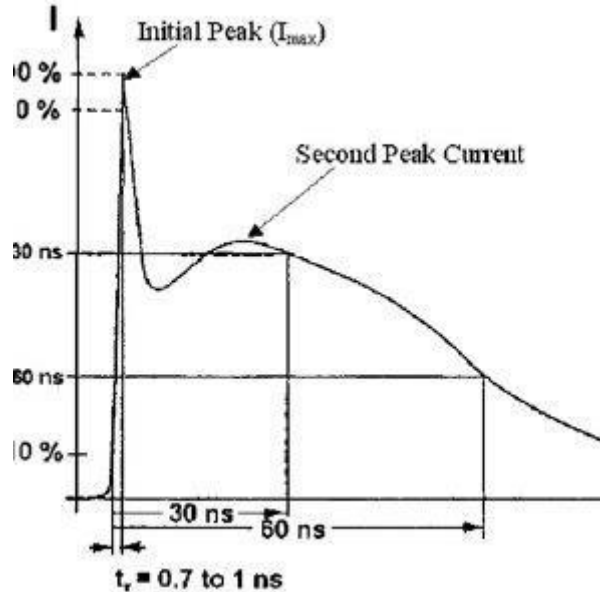
## 1.4.2 ΤΥΠΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση έχει την μορφή του σπινθήρα. Ο σπινθήρας αυτός εμφανίζεται όταν ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο παράγει μια ιονισμένη αγώγιμη διαδρομή στον αέρα, με αποτέλεσμα να επιφέρει ζημιές στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό, ενοχλήσεις στους ανθρώπους και τέλος πυρκαγιές και εκρήξεις εάν ο αέρας περιέχει εύφλεκτα αέρια ή σωματίδια. Επιπλέον ορισμένες συσκευές που είναι ηλεκτρονικές μπορούν να καταστραφούν από εκκενώσεις τόσο μικρές όσο 30V. Η ηλεκτροστατική εκφόρτιση μπορεί να επιφέρει ξεκάθαρες βλάβες στη συσκευή ή να προκαλέσει λιγότερο εμφανείς μορφές υποβάθμισης με αποτέλεσμα να επηρεάσει την μακροπρόθεσμη αξιοπιστία και απόδοση των ηλεκτρονικών συσκευών. Ωστόσο το πιο γνωστό παράδειγμα του φυσικού σπινθήρα είναι ο κεραυνός. Το ηλεκτρικό δυναμικό ανάμεσα στο νέφος και στο έδαφος, ή ανάμεσα των δυο σύννεφων, είναι εκατοντάδες εκατομμύρια Volt.

## 1.5 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (ESD)

Οι γεννήτριες των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων είναι απαραίτητες για τη δοκιμή της ανθεκτικότητας των ηλεκτρονικών στην ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Οι ηλεκτροστατικές εκκενώσεις μπορούν να προκύψουν είτε ως εκφορτίσεις επαφής είτε ως εκφορτίσεις αέρα. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι σύμφωνα με το IEC 61000-4-2 η εφαρμογή των εκφορτίσεων επαφής είναι η προτιμώμενη μέθοδος δοκιμής και οι εκφορτίσεις αέρα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η εφαρμογή των εκφορτίσεων επαφής. Επιπλέον οι τάσεις σε επίπεδο δοκιμής για τις εκφορτίσεις επαφής κυμαίνονται ανάμεσα στα 2 και στα 8 kV και για τις εκφορτίσεις αέρα ανάμεσα στα 2 και στα 15 kV. Επίσης πρέπει να επισημανθεί ότι για την επαλήθευση των γεννητριών ESD, οι εκφορτίσεις είναι εκφορτίσεις επαφής και όχι αέρα. Η γεννήτρια της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης πρέπει να παράγει ένα παλμό ανθρωπίνου σώματος όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα 1.8.

ΕΙΚΟΝΑ 1.8: Τυπική κυματομορφή του ρεύματος εξόδου της γεννήτριας ESD που ορίζει το πρότυπο IEC 61000-4-2



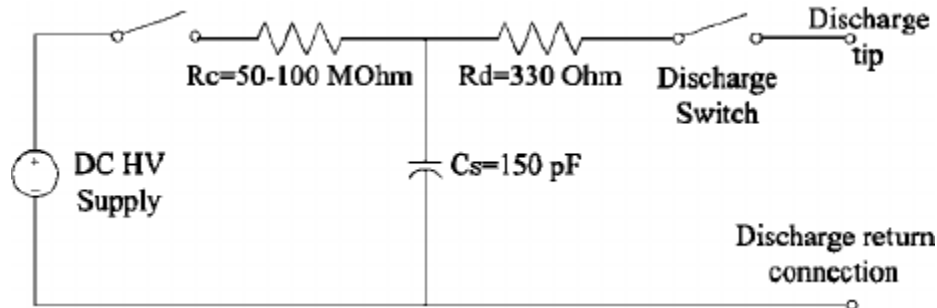
Πηγή: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Επίσης ο παλμός της εικόνας 1.8 χωρίζεται σε δυο μέρη: στο πρώτο ανώτατο όριο που καλείτε αρχική κορυφή και διεγείρεται από την εκφόρτιση του χεριού, στο οποίο υπάρχει το μέγιστο ρεύμα και σε ένα δεύτερο ανώτατο όριο το οποίο διεγείρεται από την απόρριψη του σώματος. Ωστόσο ο χρόνος ανόδου  $t_r$  της αρχικής κορυφής κυμαίνεται ανάμεσα στο 0,7 ns και 1 ns και το πλάτος του εξαρτάται από την τάση φόρτισης του προσομοιωτή ESD. Παράλληλα στην εικόνα 1.9 αποτυπώνεται το κύκλωμα της γεννήτριας ESD. Σύμφωνα με το πρότυπο, η αντίσταση φόρτισης RC (50-100MΩ), ο πυκνωτής αποθήκευσης ενέργειας CS (150pF  $\pm$  10%), η αντίσταση εκφόρτισης Rd η οποία αντιπροσωπεύει την αντίσταση του δέρματος (330 $\pm$ 10%).

Σημαντικό είναι το γεγονός να αναφέρουμε ότι το μοντέλο αναφοράς της κυματομορφής της ηλεκτροστατικής εκφόρτισης είναι η εκφόρτιση ανθρώπου-μετάλλου. Έτσι όταν ένας άνθρωπος κρατάει ένα κομμάτι μετάλλου, το δέρμα επηρεάζει το ρεύμα εκφόρτισης με αποτέλεσμα όταν λάβει χώρα μια εκφόρτιση το τόξο δεν θα πέσει πάνω στο δέρμα αλλά πάνω στο μέταλλο. Το Rd αντιπροσωπεύει τη συνολική αντίσταση του δέρματος και όχι μόνο την αντίσταση του δέρματος κοντά στο σημείο της εκφόρτισης. Επίσης η τιμή του πυκνωτή αποθήκευσης ενέργειας CS είναι αντιπροσωπευτική της ηλεκτροστατικής χωρητικότητας του ανθρώπινου

σώματος, ενώ η αντίσταση των 330 είναι κοντά στην αντίσταση του ανθρώπινου σώματος στο δέρμα.

ΕΙΚΟΝΑ 1.9: Απλοποιημένο διάγραμμα της γεννήτριας ESD που ορίζει το πρότυπο IEC 61000-4-2



Πηγή: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Σύμφωνα με το πρότυπο για την επαλήθευση των γεννητριών ESD υπάρχουν τέσσερις παράμετροι των οποίων οι τιμές πρέπει να περιορίζονται σε ορισμένα όρια. Οι παράμετροι αυτοί είναι οι εξής: ο χρόνος ανόδου  $t_r$ , το μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης  $I_{max}$  και το ρεύμα στους 30ns και 60ns. Οι δυο τιμές αυτές υπολογίζονται για τις χρονικές περιόδους των 30 και 60 ns, που παρουσιάζονται για πρώτη φορά από την χρονική στιγμή κατά την οποία το τρέχον ισούται με το 10% του μέγιστου ρεύματος. Αυτά τα όρια των παραμέτρων απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα 1 και ισχύουν μόνο για τις εκφορτίσεις επαφής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.10: Παράμετροι κυματομορφής

Voltage (kV)	$I_{max}$ (A)	$t_r$ (ns)	$I_{30}$ (A)	$I_{60}$ (A)
2	6.75–8.25	0.7–1	2.8–5.2	1.4–2.6
4	13.50–16.50	0.7–1	5.6–10.4	2.8–5.2
6	20.25–24.75	0.7–1	8.4–15.6	4.2–7.8
8	27.00–33.00	0.7–1	11.2–20.8	5.6–10.4

Πηγή: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)



Μια γεννήτρια ESD πρέπει να αναπαράγει ηλεκτροστατικές εκκενώσεις με αξιόπιστο και ακριβή τρόπο. Το πρότυπο καθορίζει τις τιμές των παραμέτρων της κυματομορφής του ρεύματος εκκένωσης που παράγει μια γεννήτρια ESD. Ωστόσο μια γνωστή εξίσωση η οποία δεν αντιστοιχεί στο ρεύμα εκκένωσης, αλλά θα χρησιμοποιηθεί στην περαιτέρω ανάλυση, είναι η εξίσωση του ρεύματος των κεραυνών.

$$i(t) = i_0 \cdot (e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}})$$

Επιπλέον μια πρώτη κατά προσέγγιση εξίσωση του ρεύματος εκφόρτισης για εμπορικούς προσομοιωτές είναι η εξής διπλή εκθετική συνάρτηση.

$$i(t) = i_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} - i_2 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

Επιπρόσθετα η κυματομορφή αναφοράς για το ρεύμα εκφόρτισης είναι :

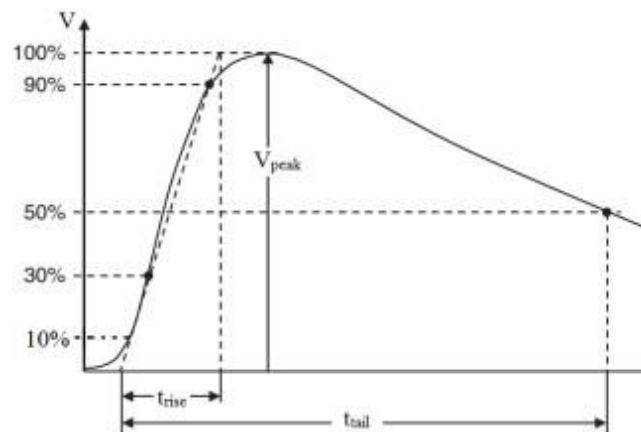
$$i(t) = A \cdot e^{-\left(\frac{t-t_1}{\sigma_1}\right)^2} + B \cdot t \cdot e^{-\left(\frac{t-t_2}{\sigma_2}\right)^2}$$

Ο παλμός που απεικονίζεται στο σχήμα 7 μπορεί να θεωρηθεί ως το άθροισμα των δυο Gaussians στο πεδίο του χρόνου, ένας στενός και ο άλλος ευρύς. Επίσης οι παράγοντες  $A \cdot e^{-\left(\frac{t-t_1}{\sigma_1}\right)^2}$  και  $B \cdot t \cdot e^{-\left(\frac{t-t_2}{\sigma_2}\right)^2}$  αντιπροσωπεύουν τους στενούς και τους ευρύς Gaussians αντίστοιχα.

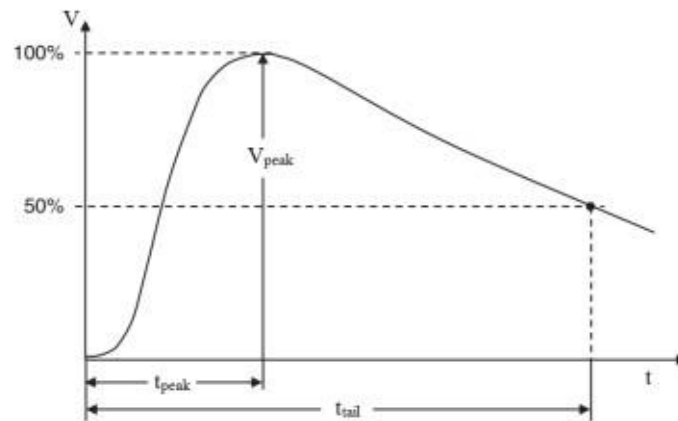
Σημαντικό είναι να αναφερθούμε στο γεγονός πως τα τελευταία αυτά χρόνια η αστραπή και η αλλαγή των τάσεων ερμηνεύτηκαν ως ο κύριος λόγος βλάβης ή καταστροφής των συσκευών συστήματος ισχύος. Ωστόσο ο κεραυνός και η παροδική μεταγωγή σε τάσεις μπορούν να επιφέρουν πολύ μεγάλη βλάβη στη μόνωση των ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο του συστήματος ισχύος θα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έτσι ώστε να μπορούν να αντέχουν σε τέτοιες αστραπές και να μετατοπίζονται σε τάσεις. Επιπλέον το δίκτυο του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται κυρίως με την αξιοπιστία της κάθε συσκευής που χρησιμοποιείται σε

αυτήν. Έτσι για να συντηρηθεί η αξιοπιστία του συστήματος ισχύος έναντι των κεραυνών και της αλλαγής των τάσεων, πρέπει να ελεγχθεί και να επαληθευτεί η αντοχή της ηλεκτρικής βλάβης ή η ικανότητα μόνωσης των συσκευών ισχύος υψηλής τάσης πριν από την εισαγωγή στο δίκτυο του συστήματος ισχύος. Τα διεθνή πρότυπα όπως IEC 60060-1 και IEEE 4-2013 περιγράφουν τόσο την πλήρη αστραπιαία παρόρμηση (LI) όσο και τις δοκιμές τάσης μεταγωγής (SI) που κανονικά εκτελούνται επι της μόνωσης των συσκευών του συστήματος ισχύος, προκειμένου να ελέγχεται η διηλεκτρική ισχύς. Οι γραφικές κυματομορφές LI και SI αποτυπώνονται στις εικόνες 1.11 και 1.12 και χαρακτηρίζονται από τρεις παραμέτρους, οι οποίες είναι, η τιμή αιχμής ( $V_{peak}$ ), ο χρόνος αύξησης ( $t_{rise}$ ) για πλήρες LI ή χρόνος έως αιχμή ( $t_{peak}$ ) για πλήρες SI και χρόνος έως μισή τιμή κορυφής ( $t_{tail}$ ). Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 4-2013, το πλήρες LI έχει  $t_{rise}=1,2 \mu s$  και  $t_{tail}=50 \mu s$  με ανοχές  $\pm 30\%$  για τον χρόνο αύξησης( $t_{rise}$ ) και  $\pm 20$  για τον χρόνο έως μισή τιμή κορυφής ( $t_{tail}$ ). Ενώ με το πρότυπο IEC 60060-1 το πλήρες SI έχει  $t_{peak}=250 \mu s$  και  $t_{tail}=2500 \mu s$  με ανοχές  $\pm 20\%$  για τον χρόνο έως αιχμή ( $t_{peak}$ ) και  $\pm 60\%$  για τον χρόνο έως μισή τιμή κορυφής ( $t_{tail}$ ).

ΕΙΚΟΝΑ 1.11: ΔΙΠΛΟ ΕΚΘΕΤΙΚΟ ΚΥΜΑ ΜΕ  $t_{rise}$  ΚΑΙ  $t_{tail}$  ΤΗΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΠΛΗΡΗΣ ΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΑΛΜΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ



Πηγή: [acadpubl.eu](http://acadpubl.eu)



Πηγή: [acadpubl.eu](http://acadpubl.eu)

Επιπλέον οι τυπικές αυτές πλήρες κυματομορφές LI και SI εκφράζονται μαθηματικά με διπλή εκθετική συνάρτηση που είναι η εξής:

$$V(t) = V_0 K (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

Έτσι όπου  $V_0$  είναι το πλάτος,  $\alpha$  και  $\beta$  είναι οι αναλυτικοί διπλοεκθετικοί παράμετροι λειτουργίας. Ωστόσο για να διατηρηθεί η θετική πόλωση του παλμού, οι αναλυτικοί διπλοεκθετικοί σταθεροί παράμετροι  $\alpha$  και  $\beta$  θα πρέπει να ισχύει ότι  $\beta > \alpha > 0$ ,  $t \geq 0$ . Το  $K$  είναι ο συντελεστής μετατροπής πλάτους.

## 1.6 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Αξίζει να σημειωθεί πως με τον όρο απόκριση συχνότητας ενός συστήματος εννοούμε το ποσοτικό μέτρο του μεγέθους και της φάσης της εξόδου ως συνάρτηση της συχνότητας εισόδου. Αρχικά η απόκριση συχνότητας χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό και την ανάλυση συστημάτων, όπως για παράδειγμα τα συστήματα ήχου και ελέγχου. Έτσι σε ένα ηχοσύστημα χρησιμοποιείται για την ελάττωση της ακουστικής παραμόρφωσης σχεδιάζοντας εξαρτήματα ,με σκοπό η συνολική απόκριση να είναι όσο γίνεται πιο επίπεδη σε όλο το εύρος ζώνης του συστήματος. Αντίθετα στα συστήματα ελέγχου όπως για παράδειγμα το cruise control ενός αυτοκινήτου χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ευστάθειας του συστήματος. Ωστόσο η απόκριση συχνότητας χαρακτηρίζει τα συστήματα στον τομέα της

συχνότητας. Επίσης η απόκριση συχνότητας χαρακτηρίζεται από το μέγεθος , συνήθως σε ντεσιμπέλ (dB) ή ως γενικό πλάτος της εξαρτημένης μεταβλητής, και η φάση ,σε ακτίνια ή μοίρες, μετρούμενη έναντι της συχνότητας, σε ακτίνια/δευτερόλεπτα , Hertz (Hz) ή ως κλάσμα της συχνότητας δειγματοληψίας . Τέλος σημαντικό είναι το γεγονός να αναφέρουμε πως στο ηχητικό εύρος αναφέρεται συνήθως σε σύνδεση με ηλεκτρονικούς ενισχυτές, μικρόφωνα και μεγάφωνα .Επίσης οι μετρήσεις της απόκρισης συχνότητας υπερήχων περιέχουν σεισμούς και ηλεκτροεγκεφαλογραφία. Συνοψίζοντας, οι καμπύλες της απόκρισης συχνότητας χρησιμοποιούνται συχνά για να δείξουν την ακρίβεια των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων ή συστημάτων. Η μορφή μιας καμπύλης απόκρισης συχνότητας είναι πολύ σημαντική για την προστασία κατά της εμπλοκής ραντάρ , επικοινωνιών και άλλων συστημάτων. Έτσι λοιπόν την απόκριση συχνότητας μπορούμε να την χαρακτηρίσουμε και σαν ένα γράφημα κέρδους ή απώλειας τάσης σε σχέση με την συχνότητα. Καθώς ένα είδος ηλεκτρομαγνητικού κύματος φτάνει στα όρια του στο εύρος συχνοτήτων, μπορεί να έχει κέρδος ή απώλεια τάσης. Τα όρια συχνότητας αλλά και το κέρδος ή η απώλεια είναι η αποκαλούμενη απόκριση συχνότητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό με την χρήση του προγράμματος του MATLAB θα διατυπωθούν και θα υλοποιηθούν αναλυτικά οι προσομοιώσεις των γραφικών παραστάσεων ρεύματος ,τάσης αλλά και της φασματικής ανάλυσης σε σχέση με τον χρόνο.

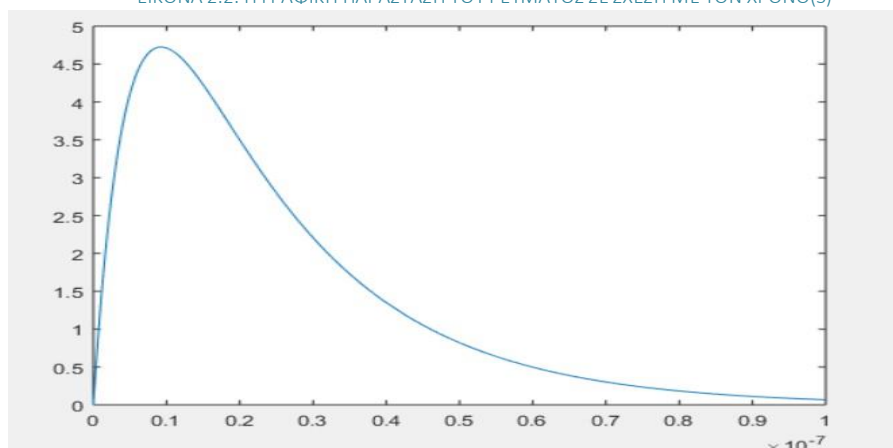
### 2.1 Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ

Με την βοήθεια των εντολών οι οποίες αποτυπώνονται στην παρακάτω εικόνα κατασκευάσαμε την γραφική παράσταση του ρεύματος με τον χρόνο. Αρχικά ορίσαμε το εύρος των τιμών του χρόνου οι οποίες είναι από 0 μέχρι 100ns και στην συνέχεια δώσαμε τιμές για  $i_0$  και για  $t_1, t_2$  που αντιστοιχούν σε μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Τέλος, γράψαμε την εξίσωση του ρεύματος και με την εντολή `plot(t,i)` κατασκευάσαμε την γραφική παράσταση του ρεύματος σε σχέση με τον χρόνο.

ΕΙΚΟΝΑ 2.1: ΟΙ ΕΝΤΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

```
t = linspace(0,100e-9,1001);  
i0=10;  
t1= 20e-9;  
t2= 5e-9;  
i=i0*(exp(-t/t1)-exp(-t/t2));  
plot(t,i);
```

ΕΙΚΟΝΑ 2.2: Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ(S)



- Το μέγιστο ρεύμα Initial Peak( $I_{max}$ )=4,724A με χρόνο  $t_{peak}$ =9,25nsec που είναι η χρονική στιγμή από το 0% μέχρι το 100% του μεγίστου .
- Second Peak Current  $I$ =2,36A με χρόνο  $t_{tail}$ =29ns που είναι η χρονική στιγμή από το 10% του μεγίστου μέχρι το 50%.
- Με  $t_{rise}$ =5,4ns που είναι η χρονική στιγμή από το 10% του μεγίστου μέχρι το 90%, το ρεύμα είναι  $I$ =4,24A.

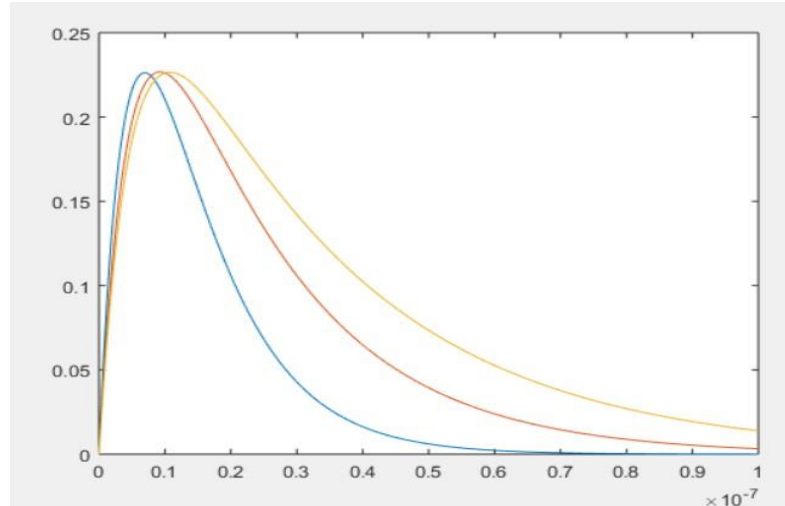
## ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟ $t_1$

Σε αυτήν την πειραματική προσομοίωση που έγινε πάνω στην γραφική παράσταση του ρεύματος σε σχέση με τον χρόνο μεταβάλαμε την αρχική τιμή του  $t_1$  από  $20e-9$  που ήταν, σε άλλες δυο κοντινές τιμές, σε  $10e-9$  και σε  $30e-9$  και υπολογίσαμε το  $t_{rise}$ ,  $t_{tail}$  και το  $t_{peak}$ , και κρατήσαμε σταθερή την αρχική τιμή του δεύτερου χρόνου που ήταν  $t_2=5e-9$ . Οι μετρήσεις από την προσομοίωση αυτή αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΕΙΚΟΝΑ 2.3 : ΟΙ ΕΝΤΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

```
t = linspace(0,100e-9,1001);
t3= 10e-9;
t1=20e-9;
t4=30e-9;
t2= 5e-9;
i0=0.905;
i1=i0*(exp(-t/t3)-exp(-t/t2));
i0=0.48;
i2=i0*(exp(-t/t1)-exp(-t/t2));
i0=0.389;
i3=i0*(exp(-t/t4)-exp(-t/t2));
plot(t,i1,t,i2,t,i3);
```

ΕΙΚΟΝΑ 2.4: ΟΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ



Πίνακας 2.5: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΩΝ

<b>T2=5e-9 σταθερό</b>	T1=10e-9	T1=20e-9	T1=30e-9
trise	4nsec	5,4nsec	6nsec
ttail	19,3nsec	28,8nsec	37nsec
tpeak	7nsec	9,25nsec	10,8nsec

**Σχόλιο:** Από την πειραματική αυτή προσομοίωση παρατηρήσαμε πως η μέγιστη τιμή του ρεύματος εμφανίζεται αργότερα καθώς αυξάνουμε με σταθερό ρυθμό τις τιμές του χρόνου  $t_1$ , επίσης παρατηρήσαμε πως η ένταση αργεί να μειωθεί καθώς αυξάνεται ο χρόνος  $t_1$ .

#### ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟ T2

Σε αυτήν την πειραματική προσομοίωση που έγινε πάλι πάνω στην γραφική παράσταση του ρεύματος σε σχέση με τον χρόνο μεταβάλαμε την τιμή του  $t_2$  από  $5e-9$  που ήταν αρχικά σε άλλες δυο κοντινές τιμές, σε  $10e-9$  και σε  $15e-9$  και υπολογίσαμε το  $t_{rise}$ ,  $t_{tail}$  και το  $t_{peak}$ , με σταθερό το  $t_1$  στην αρχική του τιμή που ήταν  $t_1=20e-9$ . Οι μετρήσεις από την προσομοίωση αυτή αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα.

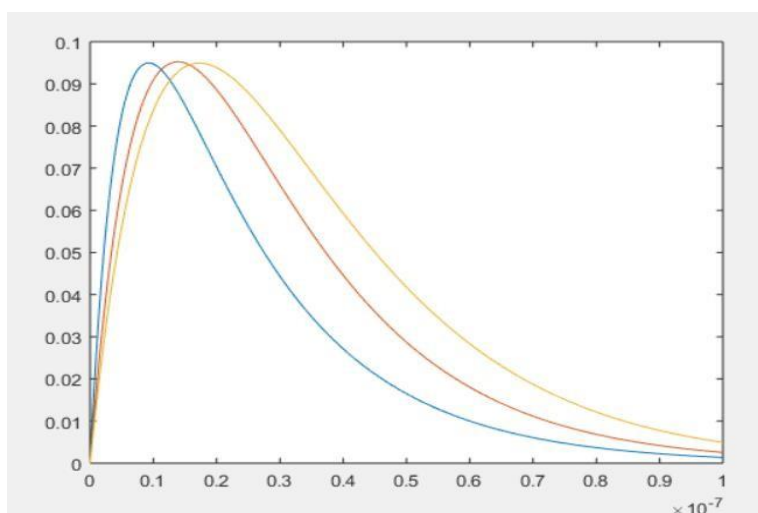
ΕΙΚΟΝΑ 2.6 : ΟΙ ΕΝΤΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

```

t = linspace(0,100e-9,1001);
t1= 20e-9;
t2= 5e-9;
t3=10e-9;
t4=15e-9;
i0=0.201;
i1=i0*(exp(-t/t1)-exp(-t/t2));
i0=0.381;
i2=i0*(exp(-t/t1)-exp(-t/t3));
i0=0.9;
i3=i0*(exp(-t/t1)-exp(-t/t4));
plot(t,i1,t,i2,t,i3);

```

ΕΙΚΟΝΑ 2.7 : ΟΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ



Πίνακας 2.8: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΩΝ

T1=20e-9 σταθερό	T2=5e-9	T2=10e-9	T2=15e-9
trise	5,4nsec	8,35nsec	10,38nsec
ttail	28,6nsec	38,422nsec	46,63nsec
tpeak	9,25nsec	13,9nsec	17,6nsec

**Σχόλιο:** Από την πειραματική προσομοίωση αυτή παρατηρήσαμε πως η μέγιστη τιμή του ρεύματος εμφανίζεται αργότερα καθώς αυξάνουμε με σταθερό ρυθμό τις τιμές του χρόνου  $t_2$ , επίσης παρατηρήσαμε πως η ένταση αργεί να μειωθεί καθώς αυξάνεται ο χρόνος  $t_2$ .



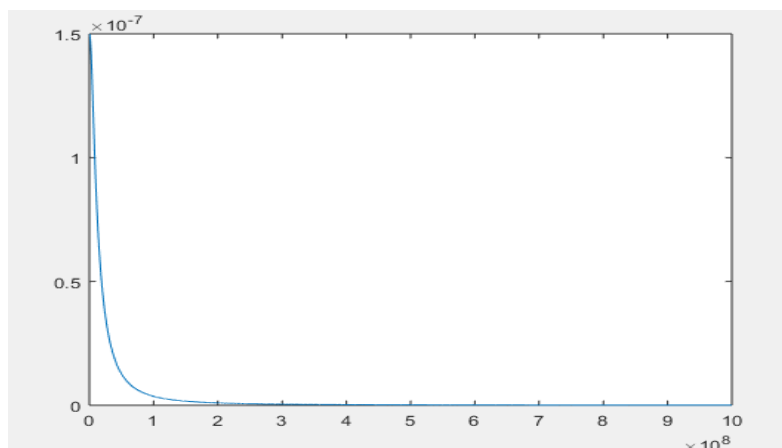
## 2.2 Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Με την βοήθεια των εντολών οι οποίες αποτυπώνονται στην παρακάτω εικόνα κατασκευάσαμε στο MATLAB την γραφική παράσταση της φασματικής ανάλυσης. Αρχικά ορίσαμε το εύρος των τιμών της συχνότητας και στην συνέχεια δώσαμε τιμές για  $i0$  και για  $t1, t2$  που αντιστοιχούν σε μια ηλεκτροστατική εκφόρτιση. Τέλος, γράψαμε τις εξισώσεις των ρευμάτων  $I$  και  $I1$  και με την εντολή `plot(f,abs(I1))` κατασκευάσαμε την γραφική παράσταση της φασματικής ανάλυσης.

ΕΙΚΟΝΑ 2.9: ΟΙ ΕΝΤΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

```
i0=10;  
t1=20e-9;  
t2=5e-9;  
f=linspace(0,1e9,10001);  
I = i0./(1i*2*pi*f+1/t1) - i0./(1i*2*pi*f+1/t2);  
I1 = i0*(t1-t2)./(1+1i*2*pi*f*(t1+t2)-t1*t2*(2*pi*f).^2);  
plot(f,abs(I1))
```

ΕΙΚΟΝΑ 2.10: Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ



- Για ρεύμα  $I=75\text{nA}$  το  $f_{\text{tail}}=12,5\text{MHz}$  που είναι η συχνότητα του μεγίστου από το 10% μέχρι 50%.

**Σχόλιο:** Παρατηρώντας την γραφική παράσταση καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το μέγιστο εμφανίζεται στη συχνότητα  $f=0$ , δηλαδή στο DC.

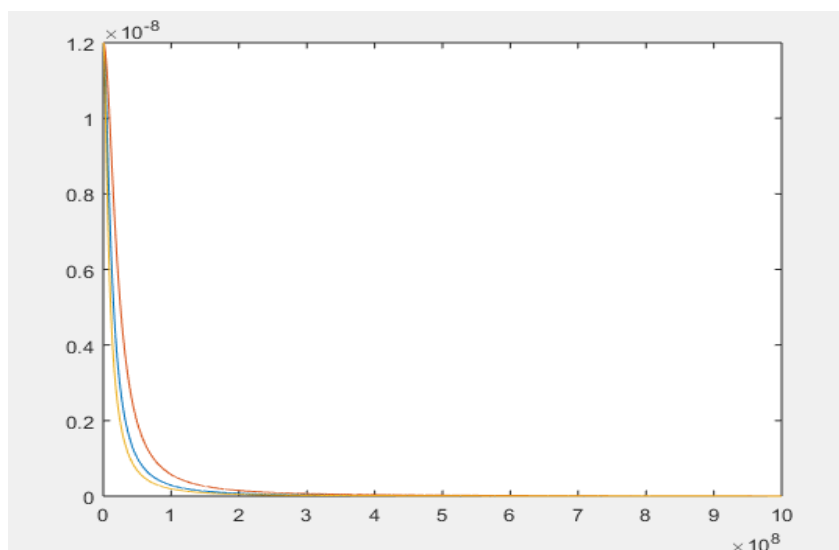
## Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟ T1

Σε αυτήν την πειραματική προσομοίωση που έγινε πάνω στην γραφική παράσταση της φασματικής ανάλυσης μεταβάλαμε την αρχική τιμή του  $t_1$  από  $20e-9$  που ήταν, σε άλλες δυο κοντινές τιμές, σε  $10e-9$  και σε  $30e-9$  και υπολογίσαμε το  $f_{rise}$ ,  $f_{tail}$  και το  $f_{peak}$ , και κρατήσαμε σταθερή την αρχική τιμή του δεύτερου χρόνου που ήταν  $t_2=5e-9$ . Οι μετρήσεις από την προσομοίωση αυτή αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΕΙΚΟΝΑ 2.11: ΟΙ ΕΝΤΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

```
t3=10e-9;
t1=20e-9;
t4=30e-9;
t2=5e-9;
f=linspace(0,1e9,10001);
i0=0.8;
I = i0./(1i*2*pi*f+1/t1) - i0./(1i*2*pi*f+1/t2);
i0=2.4;
I2= i0./(1i*2*pi*f+1/t3) - i0./(1i*2*pi*f+1/t2);
i0=0.48;
I3 = i0./(1i*2*pi*f+1/t4) - i0./(1i*2*pi*f+1/t2);
i0=0.8;
I4 = i0*(t1-t2) ./ (1+1i*2*pi*f*(t1+t2)-t1*t2*(2*pi*f).^2);
i0=2.4;
I5 = i0*(t3-t2) ./ (1+1i*2*pi*f*(t3+t2)-t3*t2*(2*pi*f).^2);
i0=0.48;
I6 = i0*(t4-t2) ./ (1+1i*2*pi*f*(t4+t2)-t4*t2*(2*pi*f).^2);
plot(f,abs(I4),f,abs(I5),f,abs(I6))
```

ΕΙΚΟΝΑ 2.12: ΟΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ



Πίνακας 2.13: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΩΝ

<b>T2=5e-9 σταθερό</b>	T1=10e-9	T1=20e-9	T1=30e-9
ftail	21,2MHZ	12,5MHZ	8,8MHZ

**Σχόλιο:** Από την πειραματική αυτή προσομοίωση παρατηρήσαμε πως η μέγιστη τιμή του ρεύματος εμφανίζεται στην ίδια τιμή της συχνότητας καθώς αυξάνουμε με σταθερό ρυθμό τις τιμές του χρόνου t1, επίσης παρατηρήσαμε πως η ένταση μειώνεται με γρηγορότερο ρυθμό καθώς αυξάνεται ο χρόνος t1.

## Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟ T2

Σε αυτήν την πειραματική προσομοίωση που έγινε πάνω στην γραφική παράσταση της φασματικής ανάλυσης μεταβάλαμε την τιμή του t2 από 5e-9 που ήταν αρχικά σε άλλες δυο κοντινές τιμές, σε 10e-9 και σε 15e-9 και υπολογίσαμε το frise, ftail και το freak, με σταθερό το t1 στην αρχική του τιμή που ήταν t1=20e-9. Οι μετρήσεις από την προσομοίωση αυτή αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα.

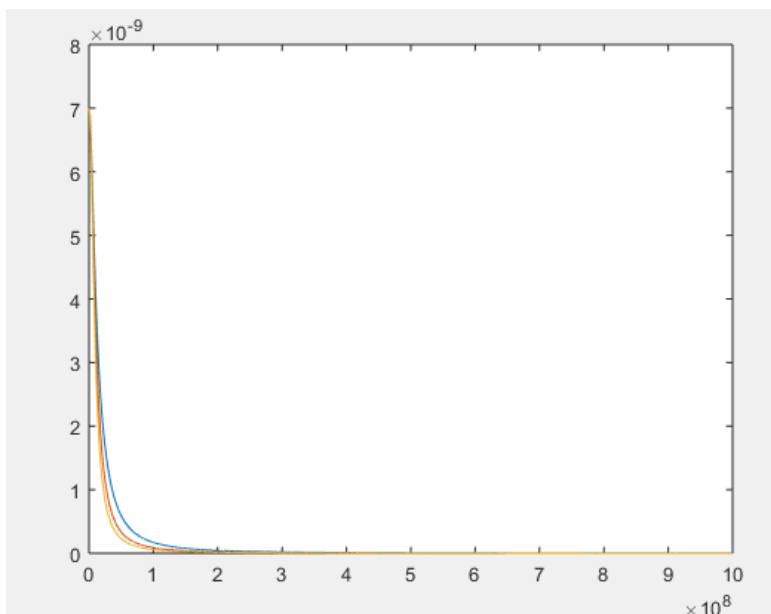
ΕΙΚΟΝΑ 2.14: ΟΙ ΕΝΤΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

```

t1=20e-9;
t2=5e-9;
t3=10e-9;
t4=15e-9;
f=linspace(0,1e9,10001);
i0=0.467;
I = i0./(1i*2*pi*f+1/t1) - i0./(1i*2*pi*f+1/t2);
i0=0.7;
I2= i0./(1i*2*pi*f+1/t1) - i0./(1i*2*pi*f+1/t3);
i0=1.4;
I3 = i0./(1i*2*pi*f+1/t1) - i0./(1i*2*pi*f+1/t4);
i0=0.467;
I4 = i0*(t1-t2) ./ (1+1i*2*pi*f*(t1+t2)-t1*t2*(2*pi*f).^2);
i0=0.7;
I5 = i0*(t1-t3) ./ (1+1i*2*pi*f*(t1+t3)-t1*t3*(2*pi*f).^2);
i0=1.4;
I6 = i0*(t1-t4) ./ (1+1i*2*pi*f*(t1+t4)-t1*t4*(2*pi*f).^2);
plot(f,abs(I4),f,abs(I5),f,abs(I6))

```

ΕΙΚΟΝΑ 2.15: ΟΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ



Πίνακας 2.16: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΩΝ

T1=20e-9 σταθερό	T2=5e-9	T2=10e-9	T2=15e-9
ftail	12,5MHZ	10,6MHZ	10MHZ

**Σχόλιο:** Από την πειραματική προσομοίωση αυτή παρατηρήσαμε πως η μέγιστη τιμή του ρεύματος εμφανίζεται στην ίδια τιμή της συχνότητας καθώς αυξάνουμε με σταθερό ρυθμό τις τιμές του χρόνου  $t_2$ , επίσης παρατηρήσαμε πως η ένταση μειώνεται με γρηγορότερο ρυθμό καθώς αυξάνεται ο χρόνος  $t_2$ .

### 2.3 ΟΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΚΚΕΝΩΣΕΩΝ ΣΕ $\mu\text{sec}$ .

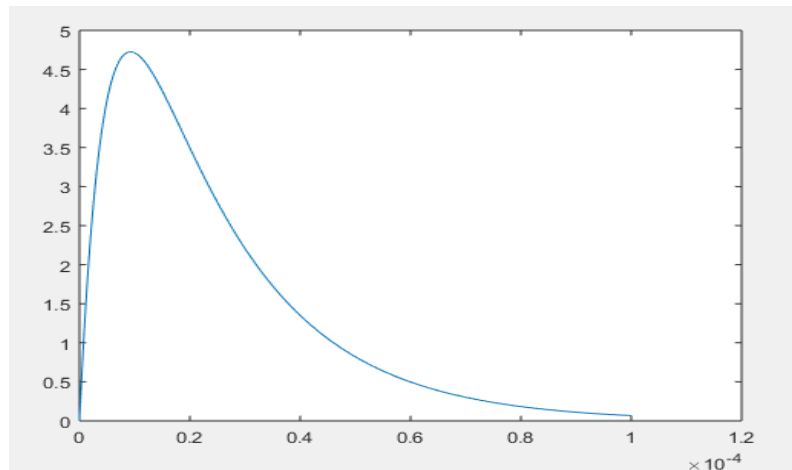
Με την χρήση των εντολών οι οποίες αποτυπώνονται στην παρακάτω εικόνα κατασκευάσαμε την γραφική παράσταση του ρεύματος σε σχέση με τον χρόνο αλλά και την γραφική παράσταση της φασματικής ανάλυσης. Αρχικά ορίσαμε το εύρος των τιμών του χρόνου όπου αυτήν τη φορά το ορίσαμε από 0 μέχρι 100 $\mu\text{s}$  και στην συνέχεια δώσαμε τιμές για  $i_0$  αλλά και για  $t_1, t_2$  που αντιστοιχούν σε φαινόμενο κεραυνού. Τέλος, γράψαμε την εξίσωση του ρεύματος αλλά και του φάσματος και με

την εντολή `plot(t,i)` κατασκευάσαμε την γραφική παράσταση του ρεύματος σε σχέση με τον χρόνο και την γραφική παράσταση της φασματικής ανάλυσης.

ΕΙΚΟΝΑ 2.17: ΟΙ ΕΝΤΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

```
t = linspace(0,100e-6,1001);  
i0=10;  
t1= 20e-6;  
t2= 5e-6;  
i=i0*(exp(-t/t1)-exp(-t/t2));  
plot(t,i);
```

ΕΙΚΟΝΑ 2.18: Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ(μS)

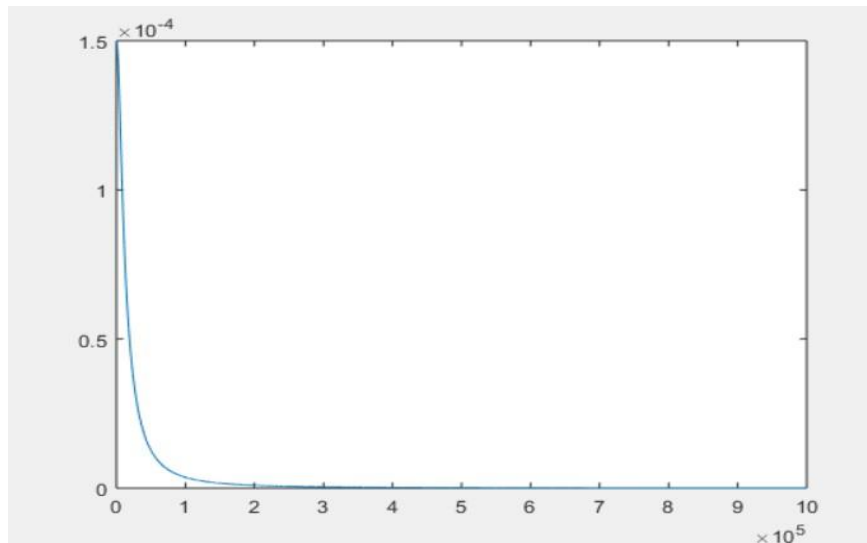


- Το μέγιστο ρεύμα Initial Peak( $I_{max}$ )=4,724A με χρόνο  $t_{peak}$ =9,25μsec που είναι η χρονική στιγμή από το 0% μέχρι το 100% του μεγίστου.
- Second Peak Current  $I$ =2,36A με χρόνο  $t_{tail}$ =28,6μsec που είναι η χρονική στιγμή από το 10% του μεγίστου μέχρι το 50%.
- Με  $t_{rise}$ =5μsec που είναι η χρονική στιγμή από το 10% του μεγίστου μέχρι το 90%, το ρεύμα είναι  $I$ =4,25A.

ΕΙΚΟΝΑ 2.19: ΟΙ ΕΝΤΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

```
i0=10;  
t1=20e-6;  
t2=5e-6;  
f=linspace(0,1e6,10001);  
I = i0./(1i*2*pi*f+1/t1)- i0./(1i*2*pi*f+1/t2);  
I1 = i0*(t1-t2) ./ (1+1i*2*pi*f*(t1+t2)-t1*t2*(2*pi*f).^2);  
plot(f,abs(I1))
```

ΕΙΚΟΝΑ 2.20: Η ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ



- Για ρεύμα  $I=75\mu\text{A}$  το  $f_{\text{tail}}=12,5\text{KHz}$  που είναι η συχνότητα του μεγίστου από το 10% μέχρι 50%.

**Σχόλιο:** Παρατηρώντας την γραφική παράσταση του φάσματος καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το μέγιστο εμφανίζεται στη συχνότητα  $f=0$ , δηλαδή στο DC.

**Σχόλιο:** Στην πειραματική αυτή προσομοίωση, κατασκευάσαμε την γραφική παράσταση του ρεύματος σε σχέση με τον χρόνο που είναι σε  $\mu\text{sec}$  και την γραφική παράσταση της φασματικής ανάλυσης σε  $\text{kHz}$ . Στην συνέχεια συγκρίναμε αυτές τις γραφικές παραστάσεις με τις γραφικές των προηγούμενων προσομοιώσεων του ρεύματος σε σχέση με τον χρόνο που είναι σε  $\text{nsec}$  και της αντίστοιχης φασματικής ανάλυσης που είναι σε  $\text{MHz}$ , με αποτέλεσμα να καταλήξουμε στο γεγονός ότι σε αυτήν την πειραματική προσομοίωση το φαινόμενο εμφανίζεται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και σε μικρότερη συχνότητα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΟΥ DC ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό με την χρήση του προγράμματος του MATLAB κατασκευάστηκαν οι γραφικές παραστάσεις του dc και του ακτινοβολούμενου πεδίου. Σκοπός αυτής της προσομοίωσης είναι να καταλάβουμε από ποια απόσταση και μετά το ακτινοβολούμενο κύμα θα δημιουργήσει προβλήματα για τις συσκευές. Έτσι στην πειραματική προσομοίωση αυτή παρατηρήσαμε πως η καμπύλη του πρώτου φαινομένου που αφορά το dc είναι πιο ισχυρή κοντά στην πηγή αλλά όταν απομακρύνεται από αυτήν εξασθενεί, ενώ σε αντίθεση με το δεύτερο φαινόμενο που αφορά την δεύτερη καμπύλη που είναι του ακτινοβολούμενου πεδίου παρατηρήσαμε ότι είναι πιο αδύναμη κοντά στην πηγή αλλά έχει την ικανότητα να διαδίδεται σε πιο μακρινές αποστάσεις.

### 3.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ DC ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Στην πειραματική αυτή προσομοίωση έχουμε τοποθετήσει την πηγή μας σε μια τυχαία ακριανή θέση με σκοπό να παρατηρήσουμε το φαινόμενο της εκκένωσης. Έτσι με την βοήθεια των εντολών οι οποίες αποτυπώνονται στην παρακάτω εικόνα κατασκευάσαμε την γραφική παράσταση του dc και του ακτινοβολούμενου πεδίου. Η αρχική εντολή που δώσαμε στο matlab ήταν `a=importdata('testn.txt');` η οποία αφορά το άνοιγμα του αρχείου. Στην συνέχεια δώσαμε την εντολή `for i=1:500` η οποία αφορά την επανάληψη του βήματος της τιμής από 1 μέχρι 500.

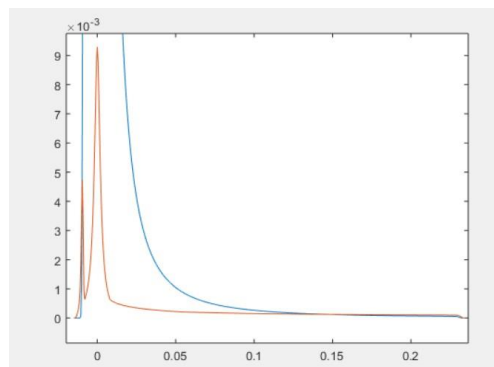
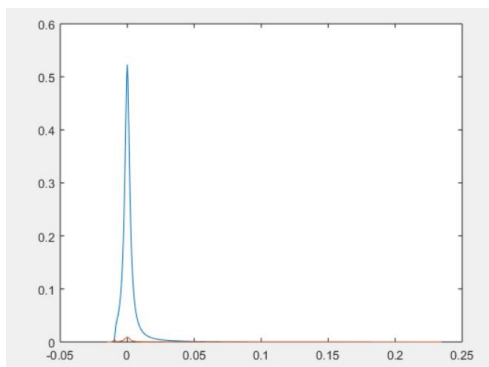
Επιπρόσθετα δώσαμε την εντολή, `b=abs(fft(a(:,i+2)))`; η οποία αφορά τον υπολογισμό του φάσματος και μετά πληκτρολογήσαμε και την εντολή `m1(i)=b(1)`; Η οποία αφορά τον υπολογισμό της dc συνιστώσας. Επιπλέον δώσαμε και την εντολή `m2(i)=max(b(2:end))`; η οποία αφορά τον υπολογισμό της ακτινοβολούμενης συνιστώσας. Τέλος δώσαμε τις εντολές που αφορούν τις διαστάσεις του χώρου μας οι οποίες είναι η `dx=0.25/500`; Και η `x=(-30:500-31)*dx`, και με την εντολή `plot(x,m1,x,m2)` βλέπουμε πότε το dc γίνεται μικρότερο από το ακτινοβολούμενο

πεδίο. Οι εντολές αυτές είναι κοινές και για τις υπόλοιπες παρακάτω προσομοιώσεις που θα εξετάσουμε στην συνέχεια.

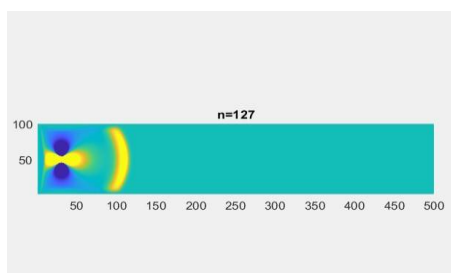
ΕΙΚΟΝΑ 3.1: ΕΝΤΟΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΤΟΥ DC ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

```
a=importdata('testn.txt');  
for i=1:500  
    b=abs(fft(a(:,i+2)));  
    m1(i)=b(1);  
    m2(i)=max(b(2:end));  
end  
dx=0.25/500;  
x=(-30:500-31)*dx;  
plot(x,m1,x,m2)
```

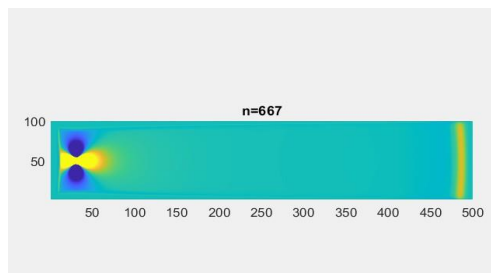
ΕΙΚΟΝΑ 3.2: ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ DC ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



ΕΙΚΟΝΑ 3.3: ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ



ΕΙΚΟΝΑ 3.4: ΛΗΞΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ



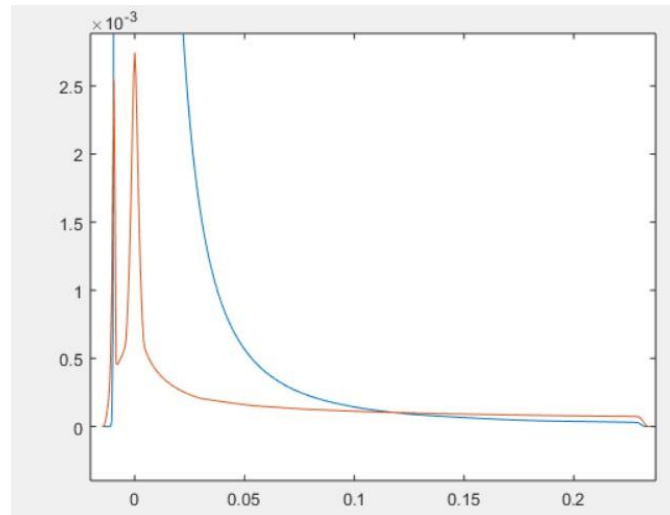
**Σχόλιο:** Παρατηρούμε ότι στην πρώτη προσομοίωση όπου το  $t_1=20e-9$  και το  $t_2=5e-9$ , η πρώτη καμπύλη η οποία οφείλεται στο DC είναι πιο ισχυρή όταν είναι κοντά στην πηγή σε σχέση με την δεύτερη καμπύλη αλλά καθώς απομακρύνεται από την πηγή η πρώτη καμπύλη μειώνεται ακαριαία σε σχέση με την δεύτερη καμπύλη η οποία μειώνεται με πιο αργό ρυθμό. Στην συνέχεια παρατηρούμε ότι όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή η δεύτερη καμπύλη η οποία αφορά το



ακτινοβολούμενο πεδίο αρχίζει να γίνεται πιο ισχυρή από την πρώτη καμπύλη και αυτό το φαινόμενο αρχίζει να γίνεται στα 0,1483 μέτρα.

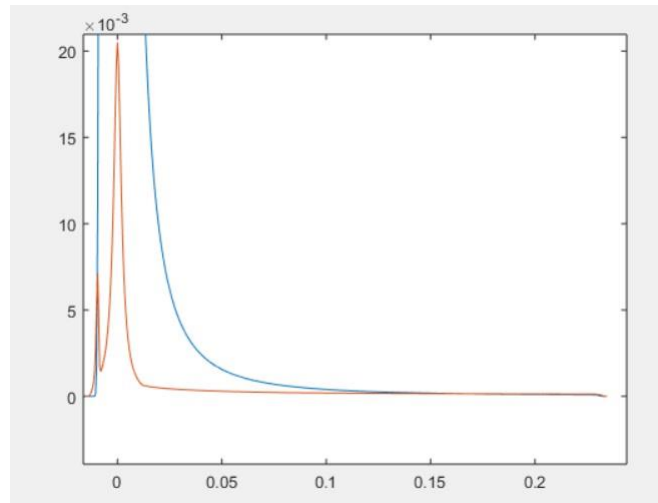
### 3.1.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ T1

ΕΙΚΟΝΑ 3.5: ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ DC ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



Σχόλιο: Όπως και στην παραπάνω προσομοίωση έτσι και στην δεύτερη προσομοίωση όπου τώρα κρατάμε σταθερό το  $t_2=5e-9$  και μεταβάλλουμε το  $t_1=10e-9$ , παρατηρούμε ότι όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή η δεύτερη καμπύλη η οποία αφορά το ακτινοβολούμενο πεδίο αρχίζει να γίνεται πιο ισχυρή από την πρώτη καμπύλη και αυτό το φαινόμενο αρχίζει να γίνεται στα 0,1176 μέτρα.

ΕΙΚΟΝΑ 3.6: ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ DC ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

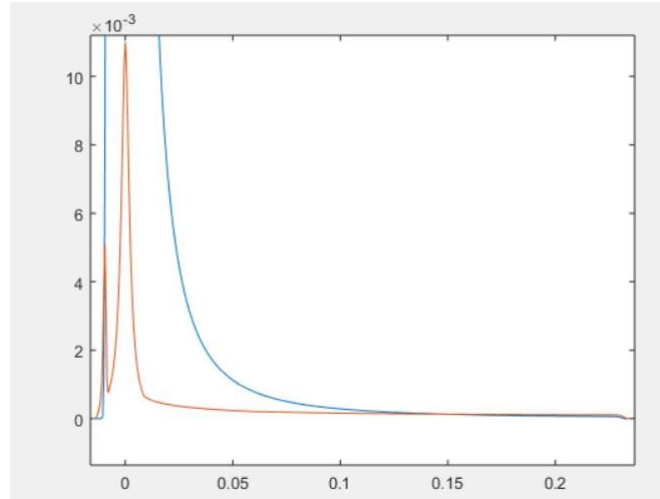


**Σχόλιο:** Όπως και στην παραπάνω προσομοίωση, έτσι και στην Τρίτη προσομοίωση όπου πάλι κρατήσαμε σταθερό το  $t_2=5e-9$  και μεταβάλλαμε το  $t_1=30e-9$ , παρατηρήσαμε ότι όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή η δεύτερη καμπύλη η οποία αφορά το ακτινοβολούμενο πεδίο αρχίζει να γίνεται πιο ισχυρή από την πρώτη καμπύλη και αυτό το φαινόμενο αρχίζει να γίνεται στα 0,166 μέτρα.

Από τις δυο αυτές παραπάνω προσομοιώσεις καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι κρατώντας σταθερό το  $t_2$  στην τιμή  $5e-9$  και με μεταβαλλόμενο το  $t_1$  στις τιμές  $10e-9$  και  $30e-9$  παρατηρούμε πως καθώς αυξάνεται το  $t_1$  αυξάνεται και η απόσταση στην οποία το ακτινοβολούμενο πεδίο γίνεται πιο ισχυρό από το dc.

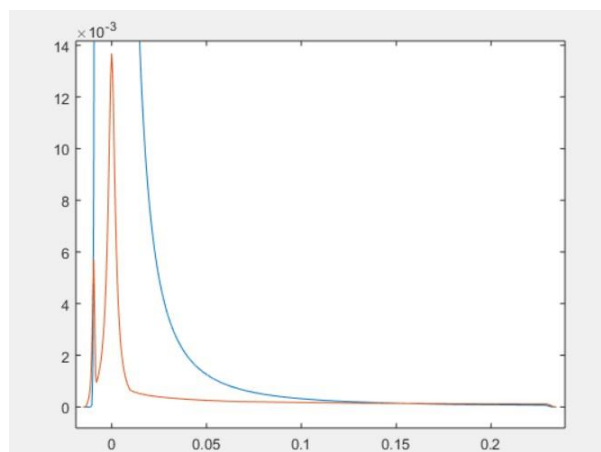
### 3.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ T2

ΕΙΚΟΝΑ 3.7: ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ DC ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



**Σχόλιο:** Παρατηρούμε ότι στην τέταρτη προσομοίωση όπου τώρα κρατάμε σταθερό το  $t_1$  στην τιμή  $20e-9$  και μεταβάλλουμε το  $t_2$  στην τιμή  $10e-9$ , η πρώτη καμπύλη η οποία οφείλεται στο DC είναι πιο ισχυρή όταν είναι κοντά στην πηγή σε σχέση με την δεύτερη καμπύλη αλλά καθώς απομακρύνεται από την πηγή η πρώτη καμπύλη μειώνεται ακαριαία σε σχέση με την δεύτερη καμπύλη η οποία μειώνεται με πιο αργό ρυθμό, δηλαδή έχουμε ακριβώς το ίδιο φαινόμενο που είχαμε και με τα παραπάνω πειράματα όπου εκεί είχαμε σταθερό το  $t_2$  και μεταβάλλαμε το  $t_1$ . Στην συνέχεια παρατηρούμε ότι όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή η δεύτερη καμπύλη η οποία αφορά το ακτινοβολούμενο πεδίο αρχίζει να γίνεται πιο ισχυρή από την πρώτη καμπύλη και αυτό το φαινόμενο αρχίζει να γίνεται στα 0,15 μέτρα.

ΕΙΚΟΝΑ 3.8: ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ DC ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ



**Σχόλιο:** Όπως και στην παραπάνω προσομοίωση έτσι και στην Πέμπτη προσομοίωση κρατάμε πάλι σταθερό το  $t_1=20e-9$  και μεταβάλλουμε το  $t_2=15e-9$ , παρατηρούμε ότι όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή η δεύτερη καμπύλη η οποία αφορά το ακτινοβολούμενο πεδίο αρχίζει να γίνεται πιο ισχυρή από την πρώτη καμπύλη και αυτό το φαινόμενο αρχίζει να γίνεται στα 0,155 μέτρα.

Από τις δυο αυτές προσομοιώσεις που κάναμε καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως καθώς τώρα πλέον κρατάμε σταθερό το  $t_1$  στην τιμή  $20e-9$  και μεταβάλλουμε το  $t_2$  στις τιμές  $10e-9$  και  $15e-9$ , παρατηρούμε πως ενώ αυξάνεται το  $t_2$  αυξάνεται και η απόσταση στην οποία το ακτινοβολούμενο πεδίο γίνεται πιο ισχυρό από το dc.

### 3.1.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ 0,05 ΜΕΤΡΑ ΚΑΙ 2 ΜΕΤΡΑ

Σε αυτήν την υποενότητα θα εξετάσουμε τις προσομοιώσεις των γραφικών παραστάσεων του αρχικού μας σήματος και του φάσματος σε δυο συγκεκριμένες θέσεις όπου η μια θέση είναι κοντά στην πηγή και είναι στα 0,05 μέτρα και η άλλη θέση είναι μακριά από την πηγή και είναι στα 2 μέτρα με σκοπό να δούμε πόσο ισχυρή είναι η διέγερση μας στις δυο αυτές θέσεις.

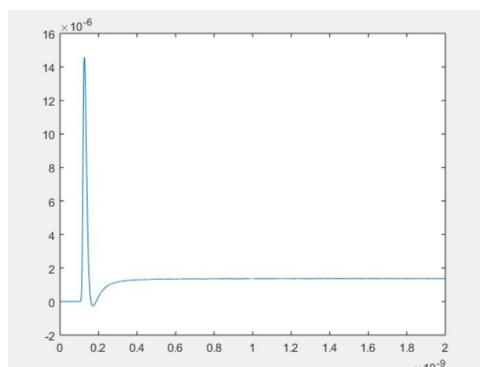
ΕΙΚΟΝΑ 3.9: ΕΝΤΟΛΕΣ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ 0,05

```
a=importdata('testn.txt');
dt=a(2,1)*1000
Fs = 1/dt;
x=a(:,100);
t=a(:,1)*1000;
L = length(x);
NFFT = 2^(nextpow2(L));
X = fft(x,NFFT)/L;
X = 2*X(1:NFFT/2+1)*L/2*dt;
f = Fs/2* linspace(0,1,NFFT/2+1);
plot(t,x);
```

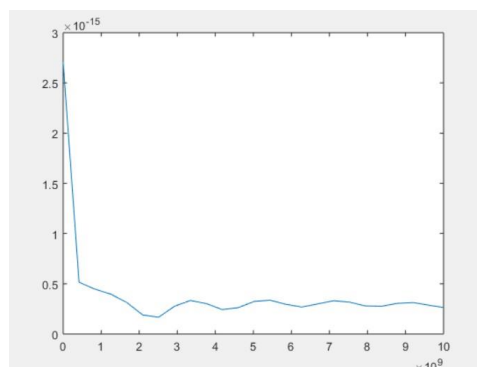
ΕΙΚΟΝΑ 3.10: ΕΝΤΟΛΕΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΓΙΑ 0,05

```
a=importdata('testn.txt');
dt=a(2,1)*1000
Fs = 1/dt;
x=a(:,100);
t=a(:,1)*1000;
L = length(x);
NFFT = 2^(nextpow2(L));
X = fft(x,NFFT)/L;
X = 2*X(1:NFFT/2+1)*L/2*dt;
f = Fs/2* linspace(0,1,NFFT/2+1);
plot(f,abs(X));
xlim([0 1e10]);
```

ΕΙΚΟΝΑ 3.11: ΑΡΧΙΚΟ ΣΗΜΑ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ 0,05



ΕΙΚΟΝΑ 3.12: ΦΑΣΜΑ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ 0,05



**Σχόλιο:** Στην πειραματική αυτή προσομοίωση όπου η διέγερση βρίσκεται πολύ κοντά στον αισθητήρα παρατηρούμε ότι είναι πολύ ισχυρή. Επιπλέον στην πειραματική αυτή προσομοίωση όπου η διέγερση βρίσκεται πολύ κοντά στον αισθητήρα παρατηρούμε ότι το φάσμα μας μειώνεται ακαριαία. Τέλος παρατηρούμε πως το φάσμα μας έχει πολύ ισχυρή DC συνιστώσα, πιο ισχυρή από οποιαδήποτε άλλη συχνότητα.

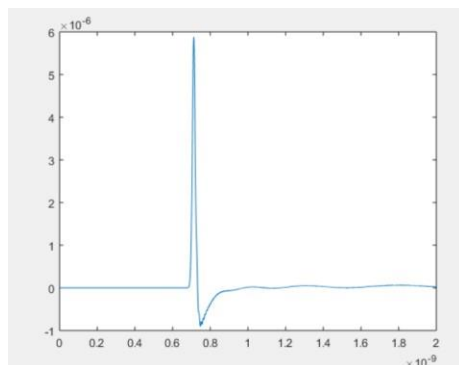
ΕΙΚΟΝΑ 3.13: ΕΝΤΟΛΕΣ ΑΡΧΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ 2

```
a=importdata('testn.txt');
dt=a(2,1)*1000
Fs = 1/dt;
x=a(:,450);
t=a(:,1)*1000;
L = length(x);
NFFT = 2^(nextpow2(L));
X = fft(x,NFFT)/L;
X = 2*X(1:NFFT/2+1)*L/2*dt;
f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
plot(t,x);
```

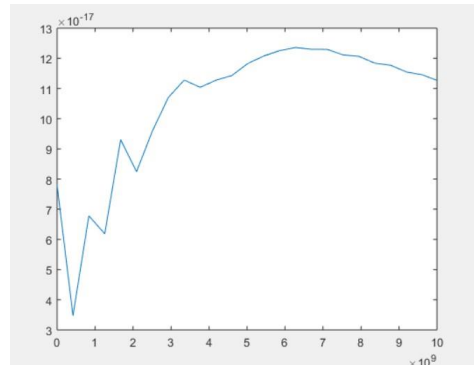
ΕΙΚΟΝΑ 3.14: ΕΝΤΟΛΕΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΓΙΑ 2

```
a=importdata('testn.txt');
dt=a(2,1)*1000
Fs = 1/dt;
x=a(:,450);
t=a(:,1)*1000;
L = length(x);
NFFT = 2^(nextpow2(L));
X = fft(x,NFFT)/L;
X = 2*X(1:NFFT/2+1)*L/2*dt;
f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
plot(f,abs(X));
xlim([0 1e10])
```

ΕΙΚΟΝΑ 3.15: ΑΡΧΙΚΟ ΣΗΜΑ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ 2



ΕΙΚΟΝΑ 3.16: ΦΑΣΜΑ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ 2



**Σχόλιο:** Στην πειραματική αυτή προσομοίωση όπου η διέγερση είναι πιο μακριά από τον αισθητήρα παρατηρούμε ότι είναι πιο αδύναμη. Επιπλέον στην πειραματική αυτή προσομοίωση όπου η διέγερση βρίσκεται πιο μακριά από την αισθητήρα παρατηρούμε ότι το φάσμα μας αυξάνεται απότομα και στην συνέχεια μειώνεται με πιο αργό ρυθμό. Επίσης καθώς απομακρυνόμαστε από την πηγή, το ακτινοβολούμενο πεδίο υπερिशύει του στατικού DC και είναι πιθανό να δημιουργήσει μεγαλύτερα προβλήματα. Τέλος παρατηρούμε πως το φάσμα μας εδώ είναι πιο αδύναμο, καθώς βρισκόμαστε πιο μακριά από την πηγή.

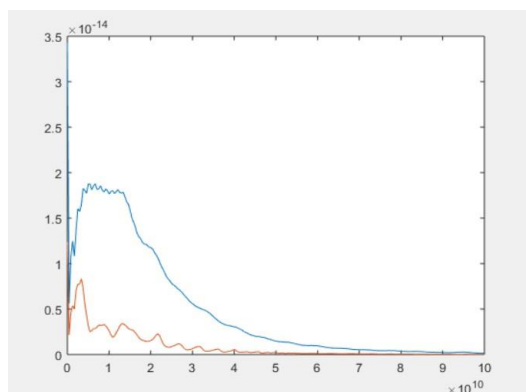
Συνοψίζοντας από τις δυο παραπάνω προσομοιώσεις καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι καθώς απομακρυνόμαστε από την πηγή η εκκένωση είναι πιο αδύναμη σε σχέση όταν είναι πολύ κοντά στην πηγή, αλλά έχουμε ισχυρότερο ακτινοβολούμενο πεδίο.

### 3.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΠΑΝΩ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΜΕ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ

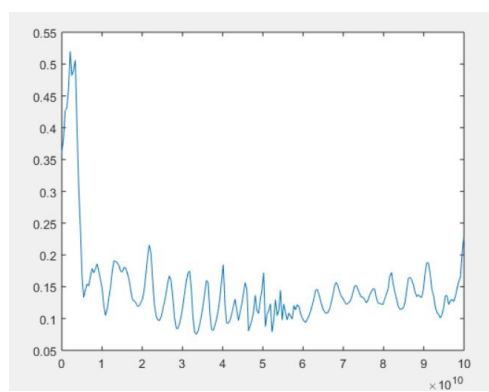
Σε αυτήν την ενότητα θα ασχοληθούμε με δυο τύπους προσομοιώσεων όπου ο ένας αφορά την συσκευή η οποία δεν έχει καμία θωράκιση και ο άλλος τύπος αφορά την συσκευή η οποία έχει θωράκιση και οι δυο περιπτώσεις των προσομοιώσεων αυτών βρίσκονται σε διαφορετική απόσταση από την εκκένωση. Σκοπός των προσομοιώσεων αυτών είναι να δούμε πώς επηρεάζει η θωράκιση στις παρεμβολές λόγω κάποιας ηλεκτροστατικής εκκένωσης ανάλογα με την απόσταση. Τα πειράματα των προσομοιώσεων που θα εξετάσουμε παρακάτω χωρίζονται σε έξι ομάδες .

#### 3.2.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΣΕ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 0,092 ΜΕΤΡΑ

ΕΙΚΟΝΑ 3.17: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΣΤΑ 0,092 ΜΕΤΡΑ



ΕΙΚΟΝΑ 3.18: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΣΤΑ 0,092 ΜΕΤΡΑ

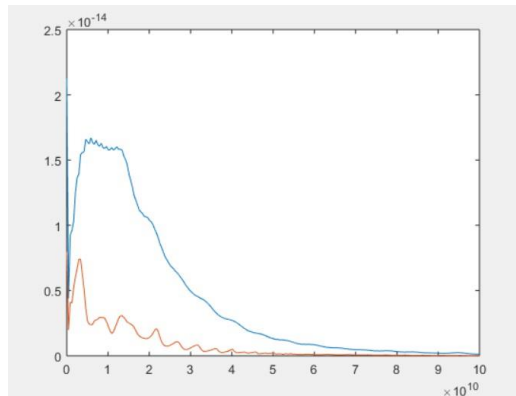


**Σχόλιο:** Η γραφική με το μπλε χρώμα μας δείχνει την ισχύ σε κάθε συχνότητα όταν δεν υπάρχει θωράκιση ενώ η γραφική με το κόκκινο χρώμα όταν υπάρχει θωράκιση. Έτσι παρατηρούμε πως από την τιμή 0,5 της συχνότητας, η συσκευή που έχει θωράκιση, οι τιμές τις φθίνουν και είναι πολύ πιο μικρές σε σχέση με την συσκευή που δεν έχει θωράκιση. Συνεπώς καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως οι

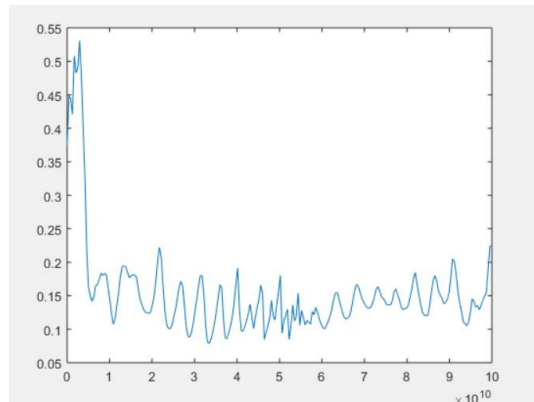
συσκευές με θωράκιση δεν θα επηρεαστούν πολύ σε σχέση με αυτές που δεν έχουν θωράκιση. Επιπλέον από την παραπάνω γραφική παράσταση που απεικονίζει την επίδραση θωράκισης παρατηρούμε και καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως οι συσκευές με θωράκιση έχουν μικρότερες παρεμβολές από την εκκένωση, μιας και οι τιμές τους είναι πολύ χαμηλές σε σχέση με αυτές τις συσκευές που δεν έχουν θωράκιση. Επίσης παρατηρούμε πως στην αρχή έχει τιμές που η συχνότητα είναι κοντά στο 0,5 που αυτό σημαίνει ότι η επίδραση της εκκένωσης έχει μειωθεί στο μισό. Τέλος παρατηρούμε ότι στις πιο ψηλές συχνότητες η θωράκιση βοηθάει ακόμα περισσότερο αφού έχει τιμές μικρότερες από το 0,2 που αυτό σημαίνει ότι η επίδραση της εκκένωσης έχει μειωθεί στο 1/5. Το ίδιο ισχύει και για τα υπόλοιπα σχήματα που είναι παρόμοια με τα σχήματα της εικόνας 3.17 και 3.18.

### 3.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΚΕΝΩΣΗ

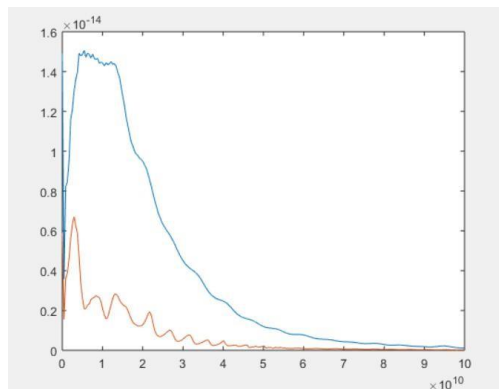
ΕΙΚΟΝΑ 3.19: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΣΤΑ 0,117 ΜΕΤΡΑ



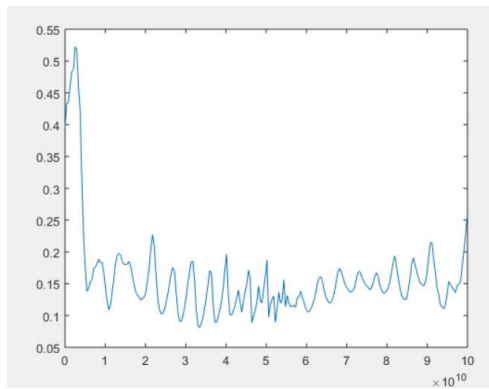
ΕΙΚΟΝΑ 3.20: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΣΤΑ 0,117 ΜΕΤΡΑ



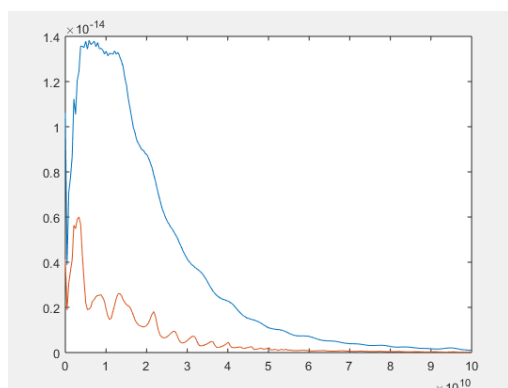
ΕΙΚΟΝΑ 3.21: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΣΤΑ 0,142 ΜΕΤΡΑ



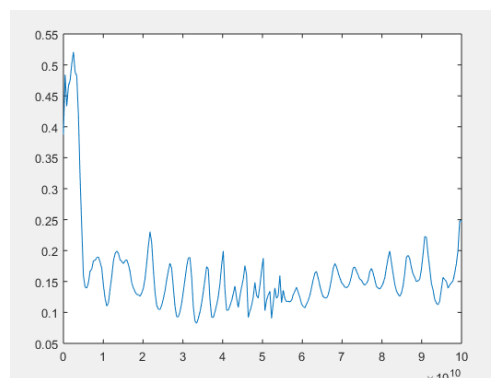
ΕΙΚΟΝΑ 3.22: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΣΤΑ 0,142 ΜΕΤΡΑ



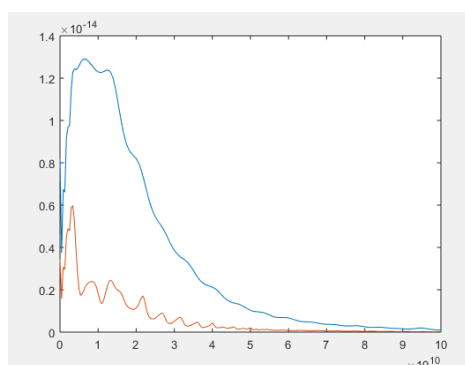
ΕΙΚΟΝΑ 3.23: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΣΤΑ 0,167 ΜΕΤΡΑ



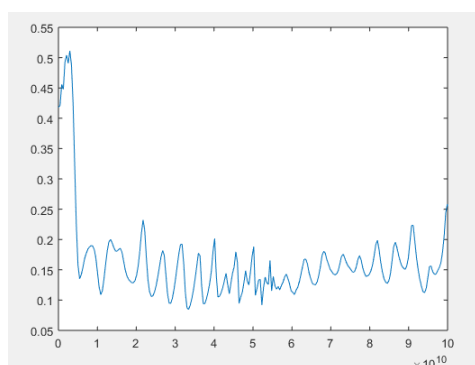
ΕΙΚΟΝΑ 3.24: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΣΤΑ 0,167 ΜΕΤΡΑ



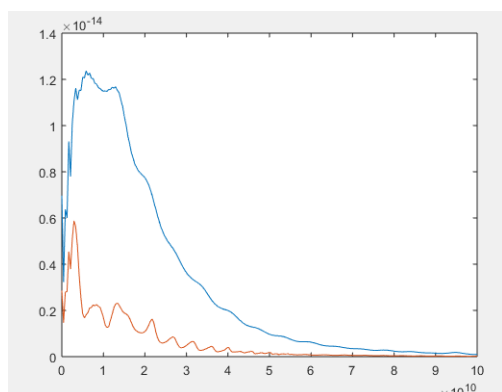
ΕΙΚΟΝΑ 3.25: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΣΤΑ 0,192 ΜΕΤΡΑ



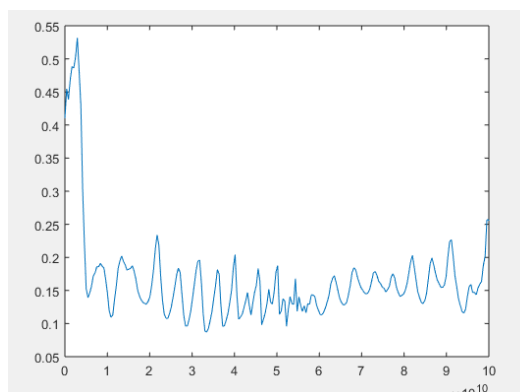
ΕΙΚΟΝΑ 3.26: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΣΤΑ 0,192 ΜΕΤΡΑ



ΕΙΚΟΝΑ 3.27: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΣΤΑ 0,217 ΜΕΤΡΑ



ΕΙΚΟΝΑ 3.28: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΣΤΑ 0,217 ΜΕΤΡΑ



**Σχόλιο:** Συνοψίζοντας από όλες τις παραπάνω προσομοιώσεις των έξι ομάδων που υλοποιήθηκαν, οι οποίες αφορούν την απόσταση από την εκκένωση, όπου η κάθε ομάδα βρίσκεται σε διαφορετική απόσταση από την εκκένωση και πιο συγκεκριμένα η πρώτη ομάδα βρίσκεται στα 0,092 μέτρα μακριά, η δεύτερη ομάδα βρίσκεται στα 0,117 μέτρα, η τρίτη ομάδα βρίσκεται στα 0,142 μέτρα, η τέταρτη



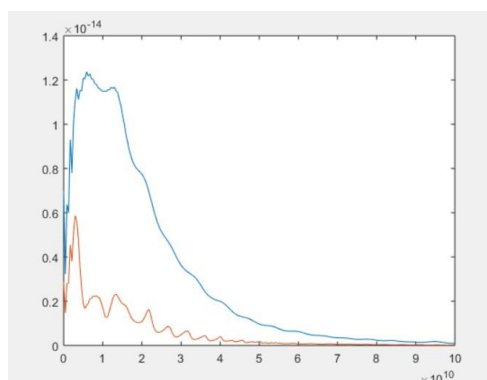
ομάδα βρίσκεται στα 0,167 μέτρα, η πέμπτη ομάδα βρίσκεται στα 0,192 μέτρα και η έκτη ομάδα βρίσκεται στα 0,217 μέτρα, καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως η ένταση της εκκένωσης είναι πιο ισχυρή στις πιο κοντινές αποστάσεις. Ωστόσο, η επίδραση της θωράκισης είναι σχεδόν ίδια είτε είναι κοντά είτε είναι μακριά, δηλαδή καταλήξαμε στο γεγονός πως η επίδραση της θωράκισης δεν εξαρτάται από την απόσταση, αφού όλα τα σχήματα είναι σχεδόν ίδια.

### 3.3 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

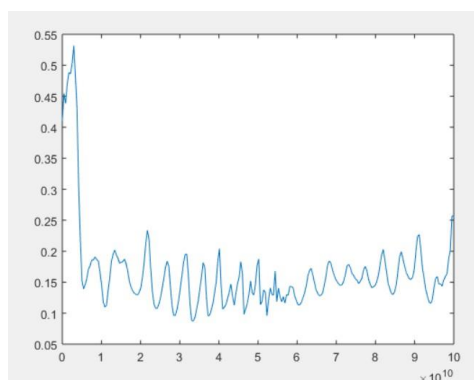
Στην ενότητα αυτή θα υλοποιήσουμε τις πειραματικές προσομοιώσεις των πέντε ομάδων στις οποίες οι συσκευές είναι στην πιο μακρινή απόσταση και μεταβάλλεται η πηγή. Οι πειραματικές μας αυτές αναλύσεις θα γίνουν ως προς το  $t_1$  και το  $t_2$ . Η πρώτη ομάδα έχει τις εξής παραμετρικές τιμές, για  $t_1=20e-9$  και  $t_2=5e-9$ , η δεύτερη ομάδα έχει για  $t_1=10e-9$  και  $t_2=5e-9$ , η τρίτη ομάδα έχει για  $t_1=30e-9$  και  $t_2=5e-9$ , η τέταρτη ομάδα έχει για  $t_1=20e-9$  και  $t_2=10e-9$  και τέλος η πέμπτη ομάδα έχει για  $t_1=20e-9$  και  $t_2=15e-9$ .

#### 3.3.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ $t_1$ ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΠΗΓΗ ΠΡΩΤΗΣ, ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΤΡΙΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ

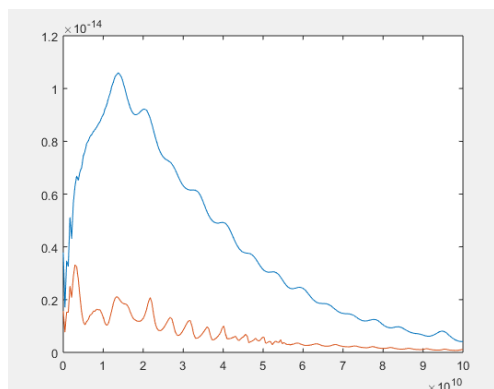
ΕΙΚΟΝΑ 3.29: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ



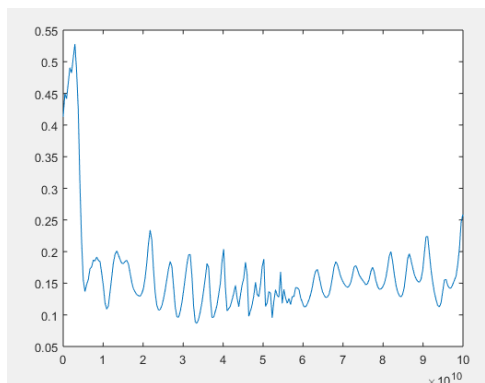
ΕΙΚΟΝΑ 3.30: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ



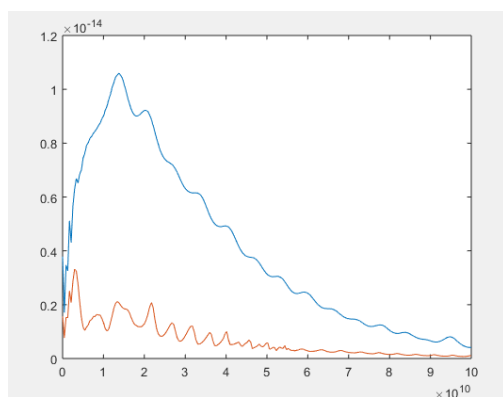
ΕΙΚΟΝΑ 3.31: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΟΜΑΔΑΣ



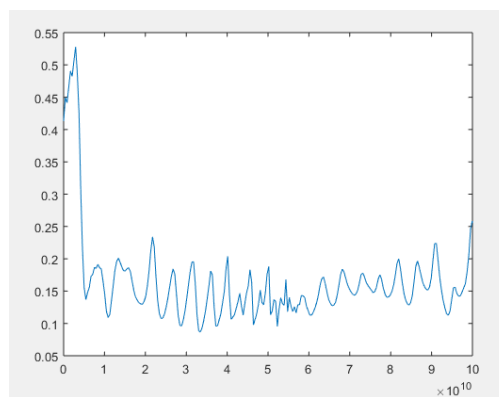
ΕΙΚΟΝΑ 3.32: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΟΜΑΔΑΣ



ΕΙΚΟΝΑ 3.33: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΤΡΙΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ

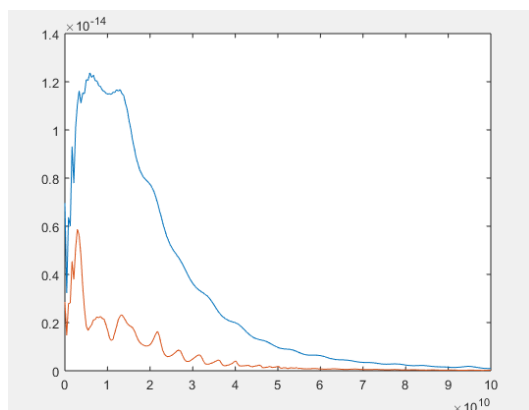


ΕΙΚΟΝΑ 3.34: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΤΡΙΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ

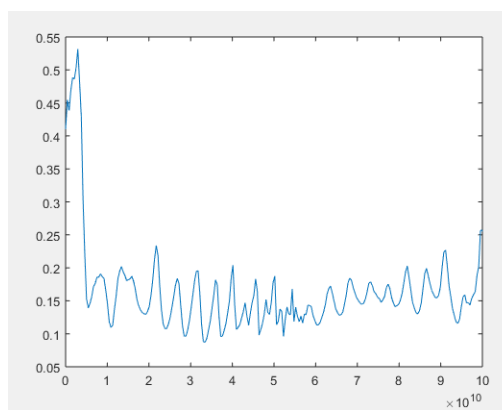


### 3.3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ T2 ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΠΗΓΗ ΠΡΩΤΗΣ, ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΚΑΙ ΠΕΜΠΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ

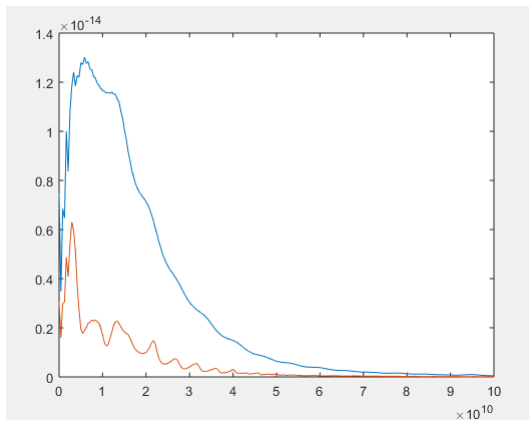
ΕΙΚΟΝΑ 3.35: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ



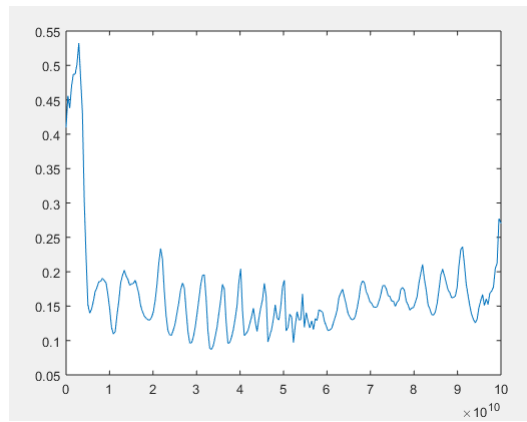
ΕΙΚΟΝΑ 3.36: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ



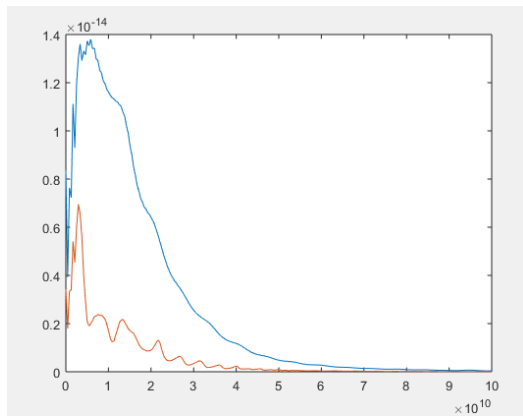
ΕΙΚΟΝΑ 3.37: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ



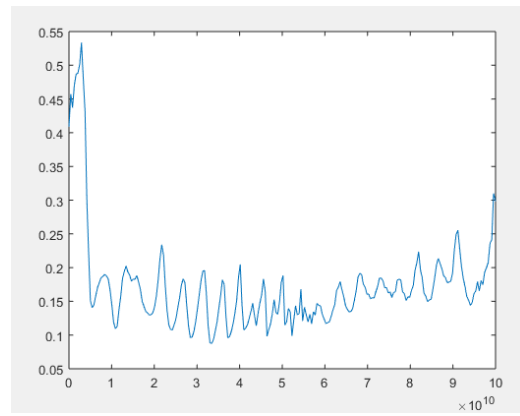
ΕΙΚΟΝΑ 3.38: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ



ΕΙΚΟΝΑ 3.39: ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΠΕΜΠΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ



ΕΙΚΟΝΑ 3.40: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ ΠΕΜΠΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ



**Σχόλιο:** Στην ενότητα αυτή υλοποιήσαμε τις παραπάνω πειραματικές προσομοιώσεις για να εξετάσουμε την επίδραση της θωράκισης για διαφορετικές πηγές και από τις προσομοιώσεις αυτές καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως η επίδραση της θωράκισης δεν εξαρτάται από το είδος της εκκένωσης.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Marcelo M. F. Saba et al (2016): “Upward lightning flashes characteristics from high-speed videos”, Journal of Geophysical Research: Atmospheres. Volume 121, Issue 14, 4 July 2016.

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[www.kitasweather.com](http://www.kitasweather.com)

[www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr)

[www.meteo.gr](http://www.meteo.gr)

[www.helppost.gr](http://www.helppost.gr)

[www.ecoweather.gr](http://www.ecoweather.gr)

[www.meteoclub.gr](http://www.meteoclub.gr)

[www.meteorology.gr](http://www.meteorology.gr)

[www.omazaki.co.id](http://www.omazaki.co.id)

[wikipedia.net](http://wikipedia.net)

[industrial.panasonic.com](http://industrial.panasonic.com)

[www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

[el.wikipedia.org](http://el.wikipedia.org)

[acadpubl.eu](http://acadpubl.eu)

[en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)

[edcorusa.com](http://edcorusa.com)