

Τ.Ε.Ι - Πάτρας
Τμήμα: Ηλεκτρολογίας

Πτυχιακή Εργασία

Αριθμός 265

Θέμα: «Προστασία αεροσκαφών από τους κεραυνούς»

Εισηγητής:
Ε. Πυργιώτη

Σπουδαστές:
Διαμαντόπουλος Ιωάννης
Πανταζώνας Νικόλαος

Πάτρα - Σ 98



ΠΙΘΜΟΣ
ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ 2952



Περιεχόμενα

<i>Πρόλογος</i> -----	4
<i>Εισαγωγή</i> -----	6
Γενικά-----	6
I. Το πρόβλημα-----	7
II. Τρωτότητα του αεροσκάφους-----	8
III. Δημιουργία πεδίων μέσα στο αεροσκάφος-----	11
Αντιμετώπιση του προβλήματος-----	17
<i>Κεφάλαιο 1</i> -----	20
Επιδράσεις ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού στα αεροσκάφη-----	20
1.1 Συσσώρευση ηλεκτρικού φορτίου στα νέφη-----	20
1.2 Ορισμοί σχετικοί με τα μεγέθη του κεραυνού-----	22
1.3 Είδη κεραυνού-----	23
<i>Κεφάλαιο 2</i> -----	27
Έρευνα κεραυνών κατά την πτήση-----	27
2.1 Συλλογή στοιχείων-παρατηρήσεις κατά την πτήση-----	27
2.2 Στατιστικά δεδομένα ερευνών κατά την πτήση-----	31
2.3 Κίνδυνοι του αεροσκάφους-----	36
2.4 Δημιουργία στατικών ηλεκτρικών φορτίων και διαδικασίες εκκένωσης-----	43
2.5 Περιοχές επαφής-----	45
<i>Κεφάλαιο 3</i> -----	52
Χαρακτηριστικά κεραυνών σε σχέση με την προστασία αεροσκαφών-----	52
3.1 Ανάλυση των συνιστούντων στοιχείων της εκκένωσης κεραυνού-----	52
3.2 Προσδιορισμός ασθενών σημείων προσβολής του αεροσκάφους-----	55
3.3 Εργαστηριακά κριτήρια προσδιορισμού συμπεριφοράς κεραυνών για συστήματα πλοήγησης αεροσκαφών-----	57

3.3.1. Κριτήρια δοκιμής για τις έμμεσες επιδράσεις -----	60
3.4 Αλληλοεπίδραση εκκενώσεων κεραυνού με αεροσκάφος -----	61
3.5 Είδη ζημιών -----	64
Κεφάλαιο 4 -----	71
Αντικεραυνική προστασία αεροσκαφών -----	71
4.1 Προστασία ηλεκτρικών κυκλωμάτων-----	72
4.1.1 Προστασία Συστημάτων Αεροπλοΐας από έμμεσες επιδράσεις ---	73
4.1.2 Υπολογισμός Τάσεων και Ρευμάτων που επάγονται στα κυκλώματα χωρίς προστασία-----	74
4.1.3. Επιδράσεις των χαρακτηριστικών της γραμμής-----	81
4.1.4. Ζώνες μαγνητικών πεδίων -----	83
4.1.5. Βοηθήματα για τον υπολογισμό των εκτιμώμενων τάσεων και ρευμάτων -----	85
4.2 Αποτελεσματικότητα της θωράκισης -----	87
4.2.1 Γείωση της θωράκισης-----	87
4.2.2 Παράγοντες γείωσης των θωρακίσεων -----	95
4.3 Προστασία από ραδιοπαρεμβολές -----	98
4.3.1 Μέσα εξουδετέρωσης ραδιοπαρεμβολών -----	98
4.4 Σχεδιασμός συστημάτων για προστασία έμμεσων επιδράσεων-----	100
4.4.1 Προστασία συσκευών δια επιλογής χώρου -----	102
4.4.2 Προστασία καλωδίων δια επιλογή χώρου-----	103
4.4.3 Προστασία μέσω σχεδιασμού κυκλωμάτων-----	109
4.4.4 Προστασία με χρήση συστημάτων συμπίεσης αιχμών -----	113
4.5 Προστασία δομικών υλικών-----	117
4.5.1 Συστήματα υγρού καυσίμου -----	119
4.6 Προστασία των επιφανειών από (CFRP) πλαστικό ενισχυμένο με ίνες άνθρακα σε μεταλλικά αεροσκάφη-----	121
4.6.1 Συμπεριφορά πλασίων CFRP κατά την πτώση κεραυνού (στο εργαστήριο) -----	121

4.6.2 Σύγκριση κατασκευών από μέταλλο και ίνες άνθρακα -----	122
4.6.3 Κυψέλη Αλουμινίου/Πλαίσια Ινών Άνθρακα-----	124
4.6.4 Άμεσες ζημιές στα CFRP και CFRP/Πλαίσια Κυψελών -----	125
4.6.5 Ζημιά εξ' επαφής βολταϊκού Τόξου-----	126
4.6.6 Ωμική θέρμανση -----	127
4.6.7 Σπινθήριση στις γραμμές συγκόλλησης και κοινών επιφανειών	127
4.6.8 Προστασία των επιφανειών CFRP με μεταλλικά στρώματα -----	128
4.7 Προστασία κεραιών-----	129
4.8 Αποφυγή καταιγίδων με χρήση ραντάρ -----	130
<i>Επίλογος- Μια ματιά στο μέλλον -----</i>	140
<i>Βιβλιογραφία-----</i>	143

Πρόλογος

Η ανάγκη της προστασίας των αεροσκαφών από τους κεραυνούς έγινε αντιληπτή πολύ νωρίς με το ξεκίνημα του ανθρώπου για την κατάκτηση του εναέριου χώρου και την πραγματοποίηση πτήσεων με αεροσκάφη.

Η ανάγκη αυτή έγινε επιτακτικότερη με την διαπίστωση βλαβών σε αεροσκάφη που προηγήθηκαν από κτυπήματα κεραυνών, γεγονός που ανάγκασε τους σχεδιαστές και κατασκευαστές αεροσκαφών καθώς και τους αρμόδιους κυβερνητικούς παράγοντες υπεύθυνους για την ασφάλεια πτήσεων, να αναλάβουν την έρευνα και την μελέτη των φαινομένων της ατμόσφαιρας που προκαλούν τους κεραυνούς για να καταστεί στη συνέχεια δυνατή η επινόηση μεθόδων και η παράλληλη ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας για την επαρκή προστασία των πτήσεων.

Για τον σκοπό αυτό, χώρες όπως οι Η.Π.Α., Αγγλία και Γαλλία έχουν αναπτύξει τεχνικές διαδικασίες εξομοίωσης για την ανάλυση των αποτελεσμάτων που έχουν τα κτυπήματα των κεραυνών, στα αεροσκάφη και τις δυνατότητες προστασίας των.

Το όλο θέμα της προστασίας των αεροσκαφών στην παρούσα εργασία έχει χωριστεί σε τέσσερα κεφάλαια. Στο εισαγωγικό μέρος της εργασίας έχουν αναπτυχθεί σε γενικές γραμμές οι επιδράσεις των ηλεκτρικών δραστηριοτήτων της ατμόσφαιρας

στο αεροσκάφος καθώς επίσης ο τρόπος δημιουργίας ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στο εσωτερικό του αεροσκάφους. Στο κεφάλαιο (1) αναφέρονται γενικά στοιχεία περί κεραυνών και στο κεφάλαιο (2) γίνεται μια έρευνα συλλογής στοιχείων για τους κεραυνούς και αναλύονται διεξοδικά οι κίνδυνοι που διατρέχει το αεροσκάφος κατά την πτήση μέσα μια ηλεκτρισμένη ατμόσφαιρα.

Στο κεφάλαιο (3) γίνεται μια προσπάθεια θέσπισης κριτηρίων για το εργαστήριο προκειμένου να προσδιοριστεί η συμπεριφορά εξομοιωμένων (simulation techniques) εκκενώσεων κεραυνού στο αεροσκάφος, προσδιορίζονται τα ασθενή σημεία προσβολής του αεροσκάφους, καθώς επίσης και τα είδη ζημιών που προκαλούνται από τα άμεσα και έμμεσα «κτυπήματα» του κεραυνού. Στο κεφάλαιο (4) αναφέρονται πλέον οι διάφοροι μέθοδοι προστασίας των συστημάτων (ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών, δομικών υλικών) του αεροσκάφους δείχνοντας όμως περισσότερο ενδιαφέρον για τις μεθόδους προστασίας των συστημάτων από τα έμμεσα κτυπήματα των κεραυνών, που είναι και τα σοβαρότερα.

Εισαγωγή

Γενικά

Η δυναμική μαγνητική επιδεκτικότητα του αεροσκάφους στα επικίνδυνα ηλεκτρικά φαινόμενα, όπως εκκενώσεις κεραυνών και φαινόμενα στατικής φόρτισης φαίνεται να συνιστά ένα αυξανόμενο, κίνδυνο για τα αεροπλάνα του μέλλοντος για δύο λόγους. Αφενός μεν όλο και αυξάνεται η χρήση πολύπλοκων ηλεκτρονικών συστημάτων τα οποία είναι ευαίσθητα σε παροδικές επαγωγικές υπερτάσεις και ρεύματα όπως φαίνεται από τις εξελίξεις στον τομέα των προχωρημένων υλικών ελέγχου και κατεύθυνσης, αφετέρου στα νέα δομικά υλικά, όπως τα διηλεκτρικά, συνθετικά υλικά (αντί των κραμάτων αλουμινίου) τα οποία μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία προβλημάτων λόγω της συσσώρευσης φορτίων στην επιφάνεια του αεροσκάφους και της μείωσης της ηλεκτρομαγνητικής προστασίας που προσφέρουν οι συμβατικές επιφάνειες.

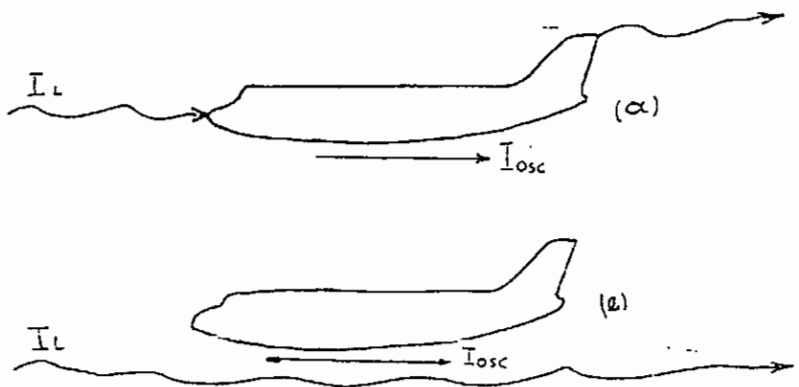
Ταυτόχρονα όμως με τη χρήση των δυο προαναφερθέντων εξελισσόμενων τεχνολογιών έγινε και η αλλαγή στην φιλοσοφία σχεδιασμού και αεροσκαφών, ώστε να γίνεται πλήρης εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων που μπορούν να προσφέρουν οι τεχνολογίες αυτές.

I. Το πρόβλημα

Το πρόβλημα ως προς το πως θα αντιδράσει το αεροσκάφος σαν σύνολο στο πέρασμα ρεύματος μιας εκκένωσης κεραυνού φαίνεται στο σχήμα I.1. Το πρόβλημα αυτό έχει δυο σκέλη, το ένα είναι η αντίδραση του αεροσκάφους σε μια άμεση προσβολή (Direct Flash) κεραυνού και το άλλο είναι οι γειτνιαζουσες εκκενώσεις κεραυνού (nearby flash).

Οι άμεσες προσβολές έχουν σαν αποτέλεσμα τις άμεσες και έμμεσες φθορές στο αεροσκάφος ενώ οι γειτνιαζουσες έχουν σαν αποτέλεσμα μόνο τις έμμεσες φθορές.

Οι φθορές αυτές επηρεάζουν την ασφάλεια της πτήσης του αεροσκάφους και μπορεί να είναι από δευτερεύουσες μέχρι και καταστροφικές.



Σχήμα I.1.: α. Άμεση προσβολή β. Έμμεση προσβολή

II. Τρωτότητα του αεροσκάφους

Το κατά πόσο είναι τρωτό ένα αεροσκάφος στις εκκενώσεις κεραυνών που συμβαίνουν σε μια ηλεκτρισμένη ατμόσφαιρα εξαρτάται από την συμπεριφορά του κεραυνού καθώς επίσης από το σχήμα του αεροσκάφους, το υλικό που έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της επιφάνειας (skin) του και από την εσωτερική κατασκευή του.

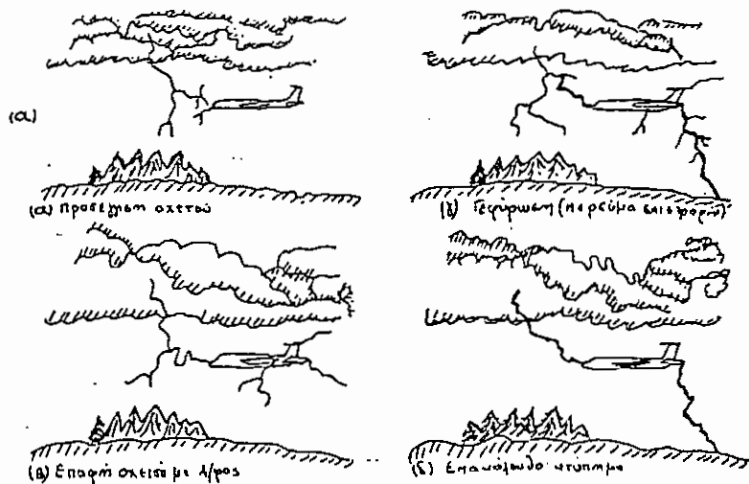
Δυο είναι οι τύποι των ηλεκτρικών δραστηριοτήτων που επιδρούν στο αεροσκάφος κατά την πτήση.

1. Εσωτερική εκκένωση νέφους και η εκκένωση νέφους-νέφους
2. Εκκένωση νέφους-εδάφους

Οι ατμοσφαιρικές υπερτάσεις που προκαλούνται από τις εκκενώσεις της δεύτερης κατηγορίας είναι οι περισσότερα επικίνδυνες για τα αεροσκάφη και γι' αυτό τον λόγο στην παρούσα εργασία θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση όσον αφορά την ανάλυσή της και τις συνέπειες που θα υποστεί το αεροσκάφος.

Κάθε αεροσκάφος που βρίσκεται σε μια ηλεκτρισμένη ατμόσφαιρα μπορεί να γίνει τμήμα μιας τέτοιας εκκένωσης (οχετού), όπως φαίνεται στο σχήμα II.1 με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν υπερτάσεις της τάξης των 50 έως 100 εκατομμυρίων Volts. (Οι τάσεις αυτές εμφανίζονται όταν ο οδηγός οχετός έρχεται σε επαφή με το αεροσκάφος). Η διαδικασία του

σχήματος I.1) συμπληρώνεται σ' ένα μικρό διάστημα μερικών msec, δεδομένου ότι ο οχετός μετακινείται με μια μέση ταχύτητα 0.1-0.2 [m/msec].



Σχήμα II.1: Διαδικασία προσέγγισης εκκένωση κεραυνού

Τα αποτελέσματα των επιδράσεων των διαφόρων υπερτάσεων που εμφανίζονται κατά την διάρκεια της προσέγγισης των οχετών στα αεροσκάφη δεν είναι εντελώς κατανοητά για τους ερευνητές. Όμως είναι βέβαιο ότι η γρήγορη και απότομη ανακατανομή των φορτίων θα έχει σαν αποτέλεσμα ένα πολύ γρήγορο μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, τα δε υψηλά δυναμικά επιβεβαιώνουν την δημιουργία πολύ υψηλών ηλεκτρικών πεδίων. Επομένως, τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα του

αεροσκάφους θα υπόκεινται σε σοβαρές μεταβατικές τάξεις κατά την διάρκεια μιας περιόδου μερικών msec. Επίσης κατά την διάρκεια της διαδικασίας του σχήματος II.1 τα διηλεκτρικά και τα συνθετικά υλικά θα καταπονηθούν στις περιοχές των πεδίων μεγάλης έντασης.

Τα αποτελέσματα των επιδράσεων μιας εκκένωσης κεραυνού μπορούν να χωρισθούν σε δυο (2), κατηγορίες. Οι άμεσες επιδράσεις, που έχουν σαν αποτέλεσμα την φυσική καταστροφή, όπως καύση, διάβρωση, έκρηξη καυσίμου κλπ., λόγω υπερβολικής θερμότητας, συνοδευομένη από ένα δονητικό ακουστικό κύμα, ή παραμόρφωση μαγνητικών πεδίων και οι έμμεσες επιδράσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα την σύζευξη μεταβατικών επαγωγών λόγω των μεταβαλλόμενων ισχυρών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, στις εσωτερικές καλωδιώσεις του αεροσκάφους και στη συνέχεια στα συστήματα επικοινωνίας του.

Οι άμεσες φυσικές ζημιές αν και μπορεί να είναι σοβαρές δεν δημιουργούν προβλήματα στην ασφάλεια της πτήσης αν και αυτό αποτελεί μέριμνα στην συντήρηση.

Η τεχνολογία έχει αντιμετωπίσει το πρόβλημα της διείσδυσης του ρεύματος σε ικανοποιητικό βαθμό και είναι καθιερωμένη πλέον η μέριμνα στον αρχικό σχεδιασμό του αεροσκάφους.

Το πρόβλημα που πρέπει να τύχει εκτενούς εξέτασης, είναι η επίπτωση της ηλεκτρομαγνητικής ζεύξης στα συστήματα προχωρημένης τεχνολογίας, γι' αυτό και στην παρούσα εργασία

έχει δοθεί πολύ περισσότερο, έμφαση στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούνται από τις έμμεσες επιδράσεις.

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στις έμμεσες επιδράσεις συμπεριλαμβάνονται και οι στατικές εκκενώσεις που είναι η πλέον σοβαρή απειλή για τα συστήματα επικοινωνίας.

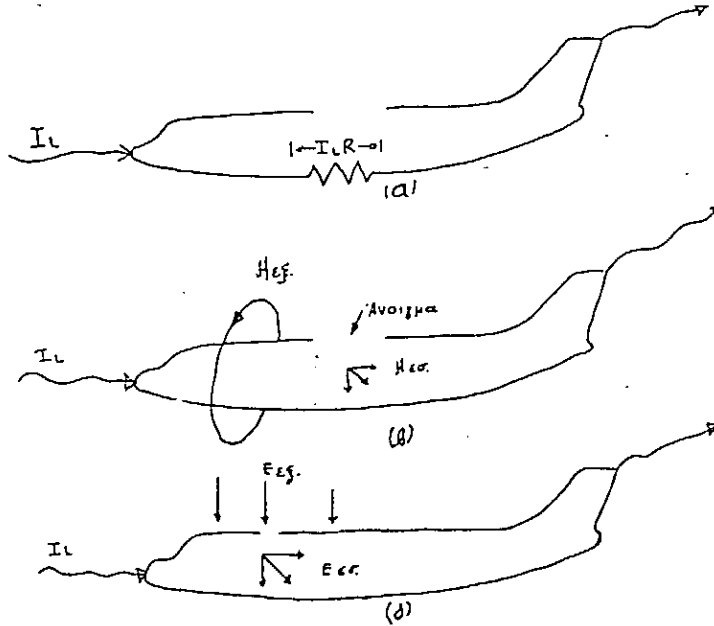
III. Δημιουργία πεδίων μέσα στο αεροσκάφος

Ένα μεταλλικό αεροσκάφος συχνά θεωρείται σαν κλωβός του Faraday, ένα θέμα από την ηλεκτροστατική που σημαίνει ότι το ηλεκτρικό περιβάλλον στο εσωτερικό του αεροσκάφους είναι διαφορετικό και διακριτό από το εξωτερικό.

Αυτό είναι σωστό (μερικώς) όσον αφορά το ηλεκτρικό περιβάλλον στην εσωτερική δομή του αεροσκάφους το οποίο δεν είναι τόσο «βίαιο» όσο το εξωτερικό ηλεκτρικό περιβάλλον. Υπάρχουν όμως μερικοί ενδιαφέροντες μηχανισμοί που εξηγούν την σύζευξη της ηλεκτρικής ενέργειας στο εσωτερικό του αεροσκάφους.

Οι βασικοί μηχανισμοί σύζευξης δείχνονται στο σχήμα III.1. Ο πρώτος σχετίζεται με το ηλεκτρικό πεδίο που παράγεται κατά μήκος των εσωτερικών επιφανειών του αεροσκάφους, λόγω της πτώσης τάσης που προκαλείται στην αντίσταση R (ισοδύναμη αντίσταση κατανεμημένης φύσεως) κατά την διέλευση του ρεύματος I_L .

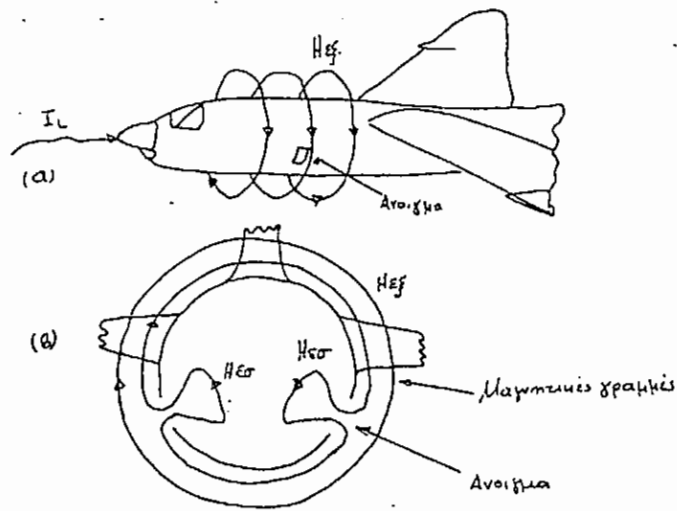
Ο δεύτερος μηχανισμός εμπλέκει τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στον εσωτερικό όγκο του αεροσκάφους. Ο πιο συνηθισμένος και σπουδαιότερος τύπος μαγνητικού πεδίου είναι αυτός που εισέρχεται μέσω ανοιγμάτων από το εξωτερικό προς το εσωτερικό περιβάλλον του αεροσκάφους όπως δείχνεται στο σχήμα III.1 και III.2. Αυτό συχνά καλείται σαν πεδίο «ασυνεχείας». Υπάρχει επίσης και το μαγνητικό πεδίο που προκαλείται από την διάχυση του ρεύματος (I_L) στα εσωτερικά στρώματα της επιφάνειας του αεροσκάφους. Αυτά τα μαγνητικά πεδία συχνά αναφέρονται σαν πεδία διάχυσης. Ο τρίτος τύπος σύζευξης σχετίζεται με την διείσδυση ηλεκτρικών πεδίων κατευθείαν μέσα από ανοίγματα, όπως παράθυρα ή καλύππρες, προς το εσωτερικό του αεροσκάφους. Η διείσδυση του ηλεκτρικού πεδίου, αυτού του τύπου, συμβαίνει ολοκληρωτικά μέσω ανοιγμάτων στα μεταλλικά αεροσκάφη διότι το οποιοδήποτε πάχος του μετάλλου που είναι κατασκευασμένο το αεροσκάφος αποτελεί μια πολύ καλή θωράκιση συγκριτικά με άλλου είδους κατασκευαστικά υλικά. (σχήμα III.1, III.3).



Σχήμα (III-1) Μηχανισμοί σύζευξης: (α) Ωμική (β) Μαγνητικά πεδία (γ) ηλεκτρικά πεδία

Ο πιο εύκολα αντιληπτός μηχανισμός με τον οποίο η διέλευση του ρεύματος κεραυνού δημιουργεί υπερτάσεις στα ηλεκτρικά κυκλώματα του αεροσκάφους, είναι όταν λόγω ροής του ρεύματος μέσα από τις αντιστάσεις αρμών, δημιουργείται μια τάξη με την πτώση τάσεως IR . Μια τέτοια περίπτωση δείχνεται στο σχήμα III.4 όπου μία εκκένωση κεραυνού έρχεται σε επαφή με τον φάρο πλοήγησης του ακροπτερυγίου του αεροσκάφους.

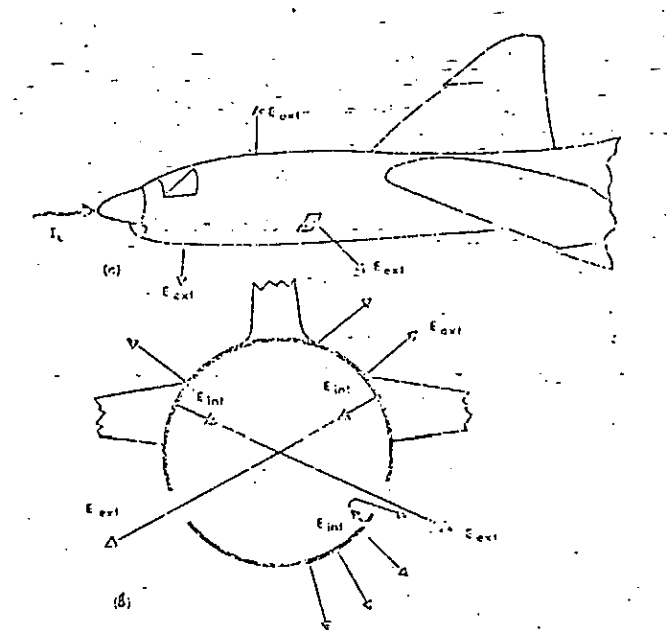
Το ρεύμα της εκκένωσης θα περάσει μέσα από την αντίσταση που παρουσιάζει η βάση προσαρμογής (μεταλλική) του κέλυφους του φάρου με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας πτώσης τάσης πάνω σε αυτή την αντίσταση. Η πτώση τάσης αυτή θα έχει την ίδια κυματομορφή με του ρεύματος της εκκένωσης.



Σχήμα III.2: Σύζευξη μαγνητικού πεδίου (α) Εξωτερικό πεδίο, (β) Εσωτερικό πεδίο

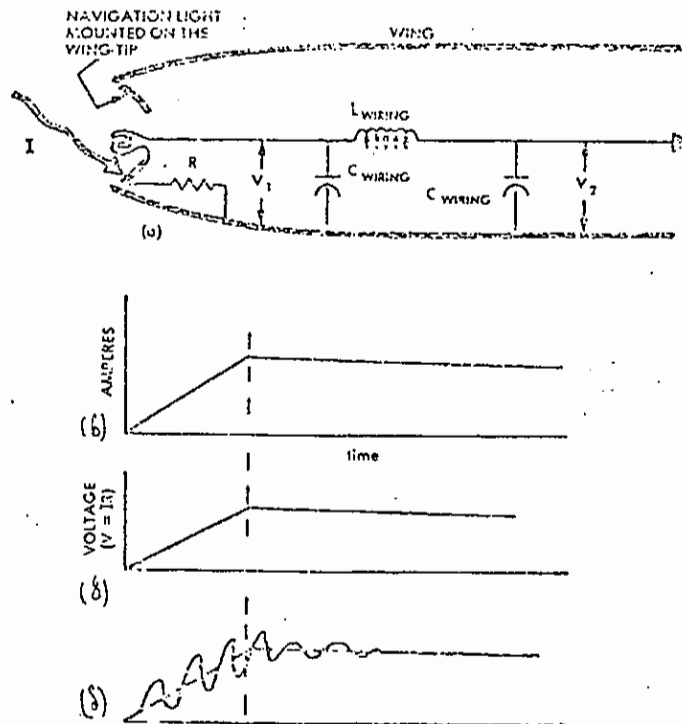
Η τάση όμως σε κάποιο μακρινό σημείο (από τον φάρο), δεν έχει την ίδια κυματομορφή, επειδή η κατανεμημένη επαγωγή και χωρητικότητα των καλωδίων παροχής ισχύος προς το νήμα

θέρμανσης του φάρου, θα οδηγήσει (τα καλώδια) σε ταλαντώσεις που θα υπερτηθούν πάνω στην βασική κυματομορφή IR.



Σχήμα III.3: Σύζευξη ηλεκτρικού πεδίου α) Εσωτερικό πεδίο, β) εξωτερικό πεδίο

Λόγω του ότι η γεωμετρία και τα εσωτερικά ηλεκτρικά κυκλώματα είναι πολύπλοκα δεν είναι δυνατό ακόμη να προσδιοριστούν με ακρίβεια τα μεγέθη και οι κυματομορφές των τάσεων και των ρευμάτων που επάγονται στο αεροσκάφος με την μέθοδο της ανάλυσης.



Σχήμα III.4: Ωμικές πτώσεις τάσεως α) φυσική δομή, β) κυματομορφή ρεύματος, γ) V_1 , δ) V_2

Τα περισσότερα επαγωγικά φαινόμενα είναι γνωστά από πειράματα που έχουν γίνει στα εργαστήρια εξομοίωσης των κεραυνών.

Αντιμετώπιση του προβλήματος

Προκειμένου ν' αντιμετωπισθεί το πρόβλημα, δηλαδή να εξασφαλισθεί η ασφάλεια πτήσης των προχωρημένης τεχνολογίας αεροσκαφών μέσα σε ένα ηλεκτρομαγνητισμένο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, αναπτύχθηκε ένας συστηματικός τρόπος προσέγγισης του προβλήματος.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τομείς προσπάθειών και η μεταξύ των σχέση παρουσιάζεται στο σχήμα IV. Ο πρώτος βασικός τομέας είναι αυτός που χαρακτηρίζει και προσδιορίζει τον βαθμό της ενδογενούς σκληρότητας των υλικών και των ηλεκτρονικών στοιχείων.

Τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί από διερευνήσεις ατυχημάτων παρέχουν κάποια βοήθεια στον προσδιορισμό της τρωτότητας του αεροσκάφους στους κινδύνους του ηλεκτρισμού της ατμόσφαιρας. Η κύρια όμως προσπάθεια γίνεται για την κατανόηση αυτού του τρόπου του κινδύνου.

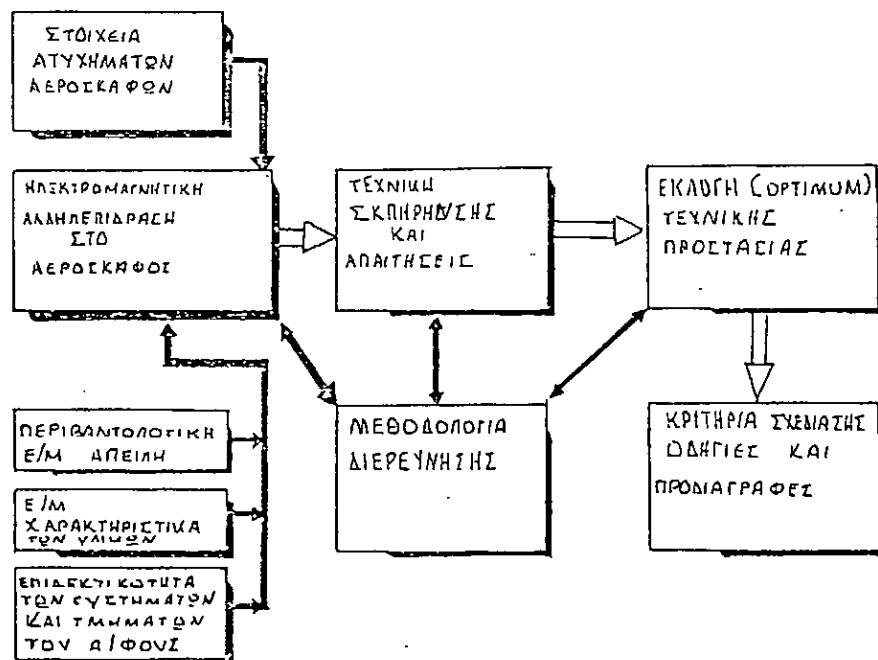
Ο δεύτερος κύριος τομέας είναι αυτός της αξιολόγησης της μεθοδολογίας. Ο τομέας αυτός έχει 2 συμπληρωματικές όψεις, δοκιμή, δοκιμή/εξομοίωση και αναλυτική. Η ενέργεια στον τομέα αυτό αποσκοπεί στην αύξηση της γενικής κατανόησης των φυσικών χαρακτηριστικών της αλληλεπίδρασης αεροσκάφους-κεραυνού και στην ανάπτυξη συγκεκριμένων εργαστηριακών μεθόδων εξομοίωσης της απειλής. Το κύριο αντικείμενο

ανάπτυξης της δραστηριότητας είναι η παροχή καταλλήλων στοιχείων σχεδιασμού για την προστασία και την ασφάλεια πτήσης των αεροσκαφών.

Ο τρίτος τομέας αφορά τον προσδιορισμό των δυνατοτήτων εκλογής σκληρότητας για τα ενδεχομένως τρωτά υποσυστήματα. Αυτός περιλαμβάνει τον βασικό ορισμό της σκληρότητας για καθιερωμένα συστήματα επικοινωνίας και υποσυστήματα και τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας των διαφόρων δυνατοτήτων εκλογής σκληρότητας. Ο τομέας προστασίας και σκληροποίησης είναι συνδεδεμένος με τον τομέα αξιολόγησης/μεθοδολογίας, στο ότι, μόλις προσδιορισθεί (αξιολογηθεί) η επίπτωση του κινδύνου είναι δυνατό να έχουμε ένα στοιχείο για ένα πιο αποδοτικό σχεδιασμό προστασίας. Ο τέταρτος και τελευταίος τομέας είναι η εκλογή σκληρότητας και των προτερημάτων.

Αυτός περιλαμβάνει την καθιέρωση συμβιβασμών μεταξύ των δυνατοτήτων εκλογής της σκληρότητας όπως υπαγορεύεται από την επίδοση του συστήματος, αποδοτικότητα της σκληρότητας, κρισιμότητα του συστήματος, κόστους, δυνατότητας συντήρησης και αξιοπιστίας.

Μετά από τους τέσσερις κύριους τομείς έρχεται η καθιέρωση προτύπων και προδιαγραφών για την δοκιμή των αεροσκαφών σε συνθήκες ηλεκτρισμένης ατμόσφαιρας.



Σχήμα IV. Σχεδιάγραμμα πορείας της τεχνολογίας για την αντιμετώπιση των κινδύνων των αεροσκαφών από τον ηλεκτρισμό της ατμόσφαιρας.

Κεφάλαιο 1

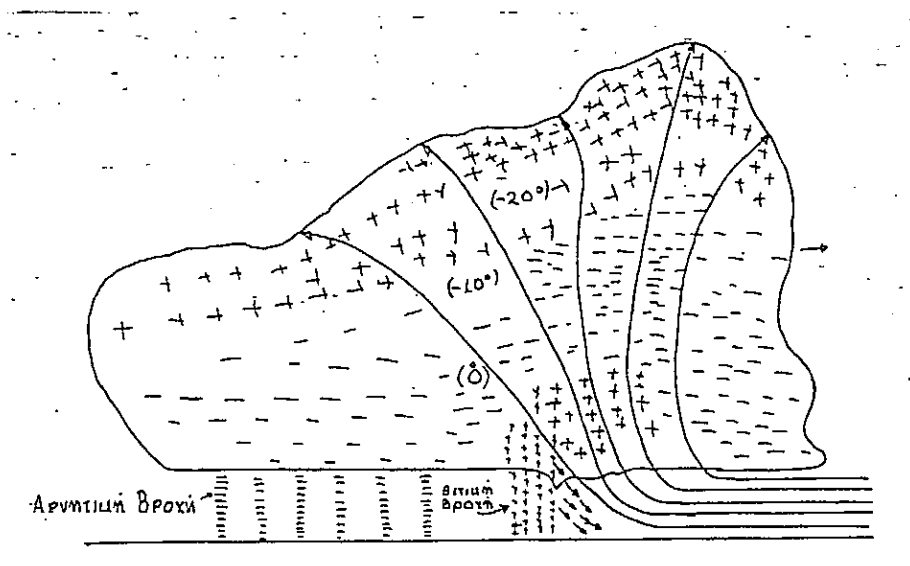
Επιδράσεις ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού στα αεροσκάφη

Οι επιδράσεις του ηλεκτρισμού της ατμόσφαιρας που μας ενδιαφέρουν περισσότερο, είναι οι κεραυνοί και ο στατικός ηλεκτρισμός. Πριν όμως προχωρήσουμε στην περιγραφή του τρόπου των επιδράσεων αυτών και τους κινδύνους που μπορεί να διατρέξει ένα αεροσκάφος λόγω των επιδράσεων (κεραυνούς, στατικός ηλεκτρισμός, θεωρούμε σκόπιμο να πούμε λίγα λόγια για την δημιουργία τους, αρχίζοντας με την δημιουργία ηλεκτρισμένου νέφους που είναι η βάση για όλα τα περαιτέρω.

1.1 Συσσώρευση ηλεκτρικού φορτίου στα νέφη

Για τον μηχανισμό συγκέντρωσης ηλεκτρικού φορτίου στα νέφη, έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς διάφορες θεωρίες, αλλά μέχρι στιγμής καμιά δεν δίνει ικανοποιητικές ερμηνείες. Οι θεωρίες αυτές μπορούν να χωρισθούν σε δυο κατηγορίες: η μια βασίζεται στην φόρτιση των σταγονιδίων του νέφους, που συμβαίνει μόλις αρχίσει η πτώση του προς την γη (κατά τον C.T.R. Wilson 1929) και η άλλη κατηγορία βασίζεται στην μεταφορά φορτίων προς υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας με ανοδικά ρεύματα

αέρος που δημιουργούνται εξ' αιτίας θερμοκρασιακών διαφορών (κατά G.C. Simpson). Οι ηλεκτρικές συνθήκες που παρουσιάζει το νέφος εικονίζονται στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1 Ηλεκτρικές συνθήκες μέσα σ' ένα νέφος

Σύμφωνα με την θεωρία του Wilson, το κατώτερο μέρος του νέφους θα πρέπει να παρουσιάζεται σ' ολόκληρη την ένταση του, φορτισμένο αρνητικά, ενώ κατά την θεωρία του Simpson το φορτίο θα πρέπει να είναι κατά την μεγαλύτερη ένταση του νέφους αρνητικό και μόνο σε κάποια θέση να αναστρέφεται σε θετικό.

Παρόλο που οι παραπάνω θεωρίες ερμηνεύουν αρκετά στοιχεία που έχουν παρατηρηθεί από διάφορες μετρήσεις σχετικά με την

συσσώρευση ηλεκτρικού φορτίου στα νέφη οι έρευνες συνεχίζονται διότι υπάρχουν ακόμη φαινόμενα που καμιά θεωρία δεν μπορεί να ερμηνεύσει.

1.2 Ορισμοί σχετικοί με τα μεγέθη του κεραυνού

Παρακάτω δίνονται μερικοί ορισμοί για τις διάφορες παραμέτρους του κεραυνού.

Πολικότητα κεραυνού

Η εκκένωση ενός «αρνητικού νέφους» προς τη γη γίνεται με ένα «αρνητικό κεραυνό» και ενός «θετικού νέφους» με ένα «θετικό κεραυνό».

Πολικότητα του ρεύματος του κεραυνού

Κατά την εκκένωση ενός «αρνητικού νέφους» ρέει προς τη γη ένα αρνητικό ρεύμα» και αντίθετο.

Κατεύθυνση οχετού προεκκενώσεως

Ένας «κατερχόμενος οχετός προεκκενώσεως» (που συχνά ονομάζεται και «οδηγός οχετός») προχωρεί από το σύννεφο προς το έδαφος, ένας «ανερχόμενος οχετός προεκκενώσεως» προχωρεί από το έδαφος προς το σύννεφο. Ένας «ανερχόμενος

οχετός συνδέσεως» είναι μια εκκένωση που ξεκινά από το έδαφος και συναντά, σε μία ενδιάμεση θέση ανάμεσα σύννεφο και έδαφος, ένα κατερχόμενο οχετό.

Πολικότητα του οχετού προεκκενώσεως

Η πολικότητα ενός οχετού προεκκενώσεως ταυτίζεται με την πολικότητα του φορτίου της θέσεως από την οποία ξεκινά. Έτσι από ένα θετικό σύννεφο, ξεκινά ένας «θετικός οχετός προεκκενώσεως» και αντίθετα. Από μια προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα θετικό σύννεφο ξεκινά ένας «αρνητικός οχετός προεκκενώσεως».

Πολικότητα του ηλεκτρικού πεδίου

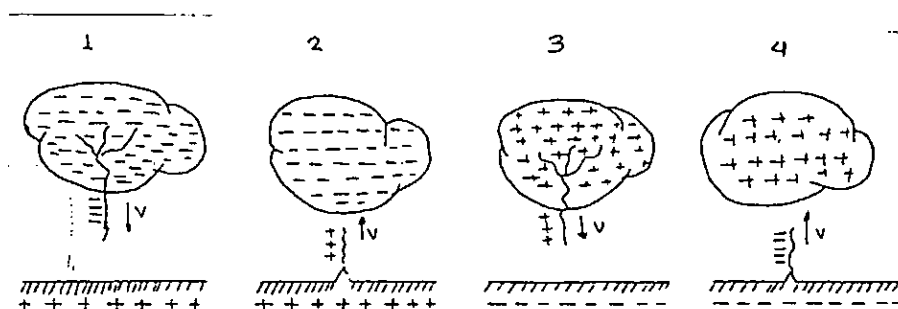
Το ηλεκτρικό πεδίο κάτω από ένα αρνητικό σύννεφο ορίζεται σαν «αρνητικό» και το αντίθετο.

1.3 Είδη κεραυνού

Ο κεραυνός ξεκινά από σημεία υψηλής πεδιακής έντασης. Δυο ετερόσημα φορτία μέσα στο ίδιο σύννεφο ή δύο γειτονικά σύννεφα δημιουργούν στο διάστημα που παρεμβάλλεται μεταξύ τους υψηλές πεδιακές εντάσεις που μπορούν να προκαλέσουν μια εκκένωση εσωτερική του νέφους, ή ανάμεσα σε δυο σύννεφα. Συγκέντρωση φορτίου ενός πρόσημου σε μια θέση του νέφους και το φορτίο αντίθετου πρόσημου που επάγεται εξ' αιτίας του εδάφους δημιουργούν ανάμεσα στο νέφος και το έδαφος μια

ζώνη αυξημένων πεδιακών εντάσεων. Οι υψηλότερες εντάσεις μέσα στη ζώνη αυτή μπορεί να αναπτύσσονται είτε κοντά, στο νέφος είτε -σε περίπτωση που το έδαφος παρουσιάζει μια σημαντική προεξοχή- στη πλευρά του εδάφους. Στην πρώτη περίπτωση, η ενδεχόμενη εκκένωση που θα επακολουθήσει θα αρχίσει από το νέφος (με ένα κατερχόμενο οχετό προεκκένωσης) ενώ στη δεύτερη από το έδαφος (με ένα ανερχόμενο οχετό προεκκένωσης)

Σύμφωνα με τα παραπάνω διακρίνουμε 4 περιπτώσεις που συμβάλλουν στην έναρξη του οχετού προεκκένωσης του κεραυνού και αυτές εικονίζονται στο σχήμα 1.2

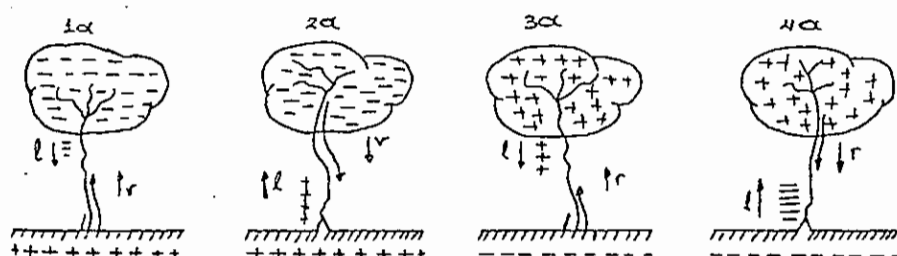


Σχήμα 1.2: Ανάπτυξη οχετού προεκκένωσης (υπεραπλοποιημένη μορφή).

Περιπτώσεις

- (1) «κατερχόμενος αρνητικός οχετός» προεκκένωσης που αρχίζει από ένα αρνητικό σύννεφο.
- (2) «ανερχόμενος θετικός οχετός» προεκκένωσης που αρχίζει από μια προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα αρνητικό σύννεφο.
- (3) «κατερχόμενος θετικός οχετός» προεκκένωσης που αρχίζει από ένα θετικό σύννεφο.
- (4) «ανερχόμενος αρνητικός οχετός» προεκκένωσης που αρχίζει από μια προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα θετικό σύννεφο.

Αν ο οχετός προεκκένωσης που αναπτύσσεται σύμφωνα με μια από τις τέσσερις παραπάνω περιπτώσεις, γεφυρώνει όλο το διάκενο νέφος-γη, επακολουθεί ο οχετός επιστροφής και έτσι ολοκληρώνεται ένας από τους τέσσερις παρακάτω τύπους κεραυνού που εικονίζονται στο σχήμα 1.3



Σχήμα 1.3: Συμπλήρωση του αντίστοιχου είδους κεραυνού με οχετό επιστροφής, 1: οχ. προεκ., r: οχ. Επιστροφής

Για τις περιπτώσεις του σχήματος 1.3 δίνονται οι παρακάτω ορισμοί:

- 1α. «κατερχόμενη αρνητική εκκένωση» πηγάζει από ένα αρνητικό σύννεφο με ένα κατερχόμενο οχετό προεκκενώσεως και αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τύπο κεραυνού που παρατηρείται στα 90% περίπου των περιπτώσεων.
- 2α. «ανερχόμενος θετικός οχετός/αρνητική εκκένωση πηγάζει από μια προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα αρνητικό σύννεφο.
- 3α. «κατερχόμενη θετική εκκένωση» πηγάζει από ένα θετικό σύννεφο (πολύ σπάνια περίπτωση).
- 4α. «ανερχόμενος αρνητικός οχετός/θετική εκκένωση» πηγάζει από μια προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα θετικό σύννεφο.

Κεφάλαιο 2

Έρευνα κεραυνών κατά την πτήση

Η ανάγκη συλλογής πληροφοριών και στοιχείων για την πλήρη έρευνα, μελέτη και ανάλυση των ατμοσφαιρικών φαινομένων, που έχουν σαν συνέπεια τους κεραυνούς, επέβαλε την οργάνωση προγραμμάτων, τόσο στον τομέα των κατάλληλα εξοπλισμένων αεροσκαφών, όσο και στον τομέα εργαστηρίων.

2.1 Συλλογή στοιχείων-παρατηρήσεις κατά την πτήση

Με το πρόγραμμα θύελλας μετά κεραυνών (Thunder Storm) ένα ελικοφόρο αεροσκάφος εξοπλισμένο με τα κατάλληλα όργανα και με ένα είδος καλύμματος εκτροπής, δοκιμάστηκε με υψηλό θετικό δυναμικό από μια γεννήτρια παλμών. Η περίπτωση θανάτου του πιλότου ενός αεροσκάφους χωρίς το κάλυμμα εκτροπής έδωσε την πρώτη απόδειξη για τον υπάρχοντα κίνδυνο και την ανάγκη αντικεραυνικής προστασίας. Εδώ αξίζει να σημειωθεί η περίπτωση του Newman, ο οποίος συμμετέχοντας σε μια δοκιμή σε αεροσκάφος που θα εδέχτο εργαστηριακή ηλεκτρική εκφόρτιση υπέστη ηλεκτρικό σοκ που προκλήθηκε από την διείσδυση του ηλεκτροστατικού πεδίου και την μετάπτωση του

δυναμικού κατά την εκφόρτιση. Η παρατήρηση αυτή ώθησε τους ερευνητές στη μέτρηση με παλμογράφο, συνδεδεμένο με μικρούς αγώγιμους βρόγχους τοποθετημένους στις θέσεις του πιλότου και του παρατηρητού, των επιδράσεων της διείσδυσης του ηλεκτροστατικού πεδίου. Η μέτρηση έδωσε μερικές τιμές δυναμικού, ακίνδυνες μεν, αλλά ικανές να υποδείξουν ένα από τους τρόπους προσέγγισης για την επίλυση του προβλήματος της αντικεραυνικής προστασίας. Το ίδιο αεροσκάφος ήταν εξοπλισμένο για την αυτόματη κατά την πτήση καταγραφή μεγεθών, μορφών και διαρκειών των κτυπημάτων από κεραυνούς.

Ο εξοπλισμός αυτός περιλάμβανε έξι ειδικούς παλμογράφους συνδεδεμένους με παρακαμπτήριους ράβδους, τοποθετημένους στα έξι από τα ακραία σημεία του αεροσκάφους μεταξύ των οποίων είναι η μύτη, η ουρά, τα άκρα των φτερών και οι δυο κάθετοι σταθεροποιητές.

Οι παλμογράφοι χρησιμοποιούσαν δυο σαρώσεις, η πρώτη για την καταγραφή του μετώπου της κυμάτωσης του προκαλούμενου ρεύματος από τον κεραυνό και η δεύτερη για την καταγραφή της πλήρους μορφής της κυμάτωσης.

Από τις 133 καταγραφές που έγιναν, μόνο δυο εκφορτίσεις σημειώθηκαν με ρεύμα κορυφής 7[KA] περίπου. Ο μικρός αυτός αριθμός αν και αναφέρεται σε ζώνες με αυξημένη παρουσία κεραυνών, υποδηλώνει ότι η παρουσία του αεροσκάφους δεν

συμβάλλει στην διέλευση από αυτό της φυσικής εκφόρτισης του κεραυνού, αλλά το ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο οποίο πετά το αεροσκάφος μπορεί να είναι αρκετά ισχυρό, ώστε το αεροσκάφος να διευκολύνει τους οχετούς προεκκένωσης και να προκαλέσει έτσι την απαρχή μιας εκφόρτισης.

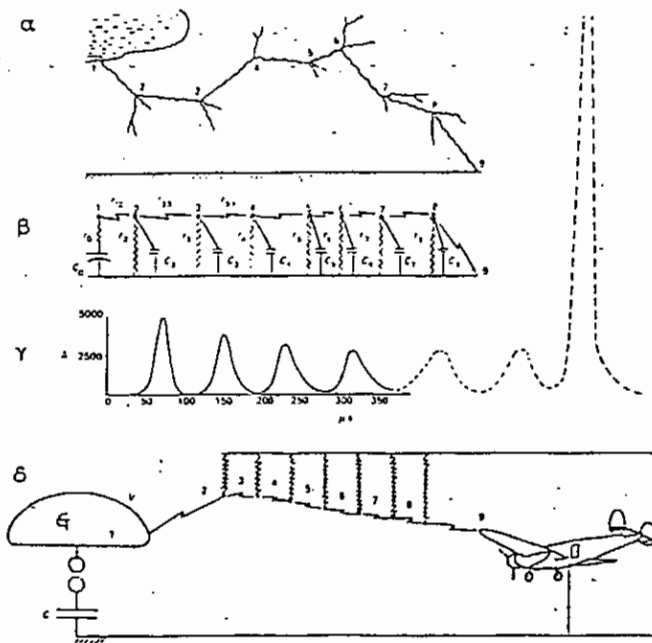
Από τα δεδομένα της έρευνας κατά την πτήση, σχετικά με τα πειράματα απαρχής (triggering) ένα 10% των προσβολών είναι της τάξης των 7[KA] με μέγιστο 22[KA] και με κάποια πιθανότητα το αεροσκάφος να συντελέσει στην απαρχή οχετών προεκκένωσης ή με εκφόρτιση ιδιαίτερα εκεί όπου η δραστηριότητα κεραυνών έχει ελαττωθεί. Η απουσία παλμογραφικής μαρτυρίας για συνιστώσα οπισθοπροσβολή υψηλής στάθμης αποκαλύπτει, ότι η εκφόρτιση δεν ήταν της κατηγορίας νέφους-εδάφους, αλλά η εκφόρτιση νέφους-νέφους.

Θα ήταν δυνατό να αναπαραστήσουμε τον κεραυνό, όπως δείχνει το σχήμα 2.1α και να υποθέσουμε ότι τα τμήματα 1-2, 2-3, 3-4 κ.ο.κ. αποτελούν τους επί μέρους οχετούς βηματισμού της εκφόρτισης των ηλεκτρικών φορτίων μέχρι το έδαφος.

Στις παρατηρήσεις του ο Toerler πάνω στις ολισθαίνουσες εκκένώσεις διαπίστωσε ότι η αντίσταση (R) κάθε οχετού είναι αντίστροφα ανάλογη του φορτίου (Q).

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα εκκένωσης του σχήματος 2.1.β και η κυμάτωση ρεύματος του σχήματος 2.1.γ είναι το

αποτέλεσμα πειράματος των Bryan και Newton με τα μεγέθη και τις αποστάσεις αλληλοδιαδόχων κορυφών ρεύματος που αντιστοιχούν σε προσβολή κεραυνού κατά την πτήση στον έλικα του αεροσκάφους.



Σχήμα 2.1 (α) Προοδευτικά τμήματα εκκένωσης, (β) ισοδύναμο ηλεκτρικά κύκλωμα, (γ) υπολογισμένες μεταβολές του ρεύματος στο τέλος του νέφους μιας εκκένωσης, (δ) Αναπαραγωγή στο εργαστήριο

Ο τελικός παλμός της εκκένωσης που φτάνει στο έδαφος μπορεί να είναι ισχυρότερος των προηγούμενων, γιατί τη στιγμή που ο οχετός συναντά το έδαφος ο ιονισμός στην διαδρομή του οχετού

είναι έντονος και κορεσμένος φορτίων και η τιμή του ρεύματος τη στιγμή αυτή ξεπερνά τα 100[KA], επειδή τα δυναμικά της διαδρομής της εκκένωσης είναι πολύ υψηλά. Τέτοιοι παλμοί μπορούν να εξομοιωθούν στα εργαστήρια με την διάταξη του σχήματος 2.1δ. Η λάμψη είναι τόσο ισχυρή που μπορεί να προκαλέσει προσωρινή τύφλωση στα μέλη του αεροσκάφους.

2.2 Στατιστικά δεδομένα ερευνών κατά την πτήση

Η συλλογή στοιχείων από τις έρευνες κατά την πτήση και η ταυτόχρονη σύγκριση των δεδομένων αυτών με εκείνα των εργαστηριακών ερευνών, έχουν αποτελέσει την βάση για την κατανόηση του προβλήματος της προστασίας των αεροσκαφών από κεραυνούς σε όλη την έκταση.

Από τον πίνακα (I) γίνεται αντιληπτό ότι τα τμήματα που υφίστανται το μεγαλύτερο μέρος των προσβολών είναι τα άκρα του αεροσκάφους.

	Ελικοφόρα	Ελικοστραβιλοκινή- τήρας	Αεριοθού- μενα
Αριθμός προσβολών	808	109	41
Πραγματοποιού- μενες ώρες πτή- σης	2.000.000	415.000	427.000
Προσβολές ανά ώρες πτήσης	1/2.500	1/3.800	1/10.400
Επί τοις εκατό προσβολές στα σημεία			
Κατακόρυφα σταθερά	14	11	17
Ακροπτερύγια	19	29	15
Μύτη	9	10	16
Άτρακτος	2	11	15
Κεραίες	29	18	16
Αναβατήρες	12	12	12
Έλικες	5	1	-
Ουρά	1	1	-
Διάφορα σημεία	9	7	5

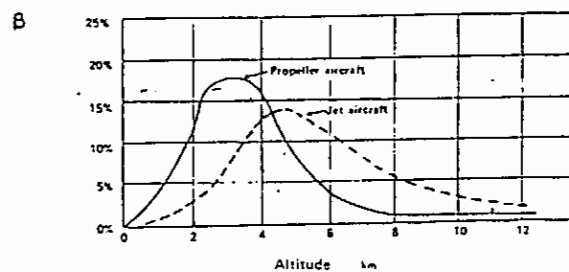
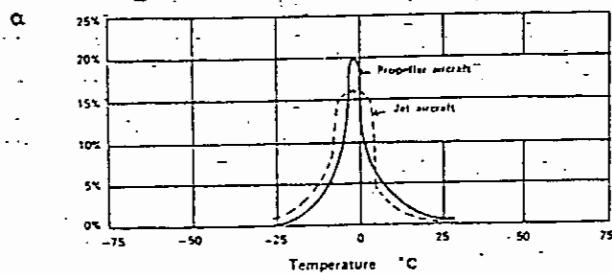
Πίνακας (I): Συχνότητα προσβολών και κατανομή

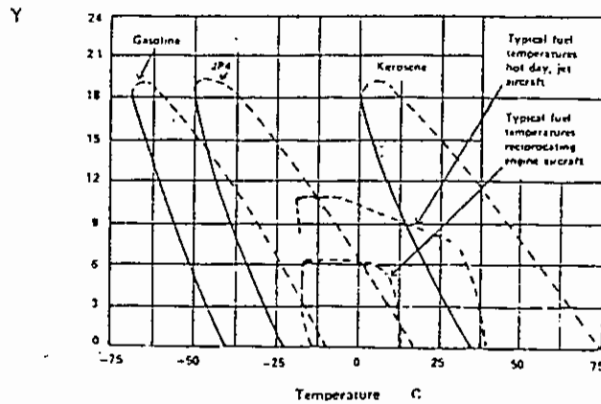
Οι βοηθητικές δεξαμενές καυσίμου δεν αναφέρονται στον πίνακα (I) αλλά θεωρούνται εξ' ίσου ευπρόσβλητες και επικίνδυνες εξ'

αιτίας της πιθανής ανάφλεξης του περιεχόμενου που έχει άλλωστε σημειωθεί με έκρηξη και πλήρη απώλεια της δεξαμενής.

Η καμπύλη του σχήματος 2.2α μας δίνει την κατανομή των προσβολών σε σχέση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος για ελικοφόρα και αεριωθούμενα, ενώ η καμπύλη του σχήματος 2.2β μας δίνει την κατανομή προσβολών σε σχέση με το υψόμετρο.

Η καμπύλη του σχήματος 2.2γ μας δίνει τα όρια έναυσης μέσα στις δεξαμενές και για διάφορους τύπους υγρών καυσίμων σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του καυσίμου.





Σχήμα 2.2: α) Θερμοκρασία και υψόμετρο, β) κατανομή οχρών κεραυνού, γ) Αφορά την εξισορροπιστική εκτόνωση των ορίων μεταξύ των δεξαμενών καυσίμων

Από τα δεδομένα των αεροσκαφών της πολιτικής αεροπορίας φαίνεται ότι οι συχνότεροι τύποι βλαβών είναι οι τρύπες επιφανειών κυρίως στα άκρα εκφυγής, οι βλάβες στον ηλεκτρολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό και η φθορά στα συνθετικά καλύμματα, όπως του ραντάρ όπου έχει αποδειχθεί πειραματικά η μετάθεση ηλεκτρικών φορτίων της τάξης των 500 coulomb μέσω του συστήματος αλεξικεραυνικής προστασίας της κεραίας. Η εργαστηριακή δε ανάλυση βλάβης στο κάλυμμα του ραντάρ με προστασία μεταλλικών πλακών, επιβεβαίωσε την διέλευση ρεύματος της τάξης των 200[KA].

Η εγκατάσταση στα αεροσκάφη μετρητών ηλεκτρικού πεδίου για την έγκαιρη εντόπιση σχηματισμού κυψελών κεραυνού, δεν

απέδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η παρατήρηση ισχυρών θετικών ηλεκτρικών φορτίων στον δεξιό μετρητή και η ταυτόχρονη ένδειξη ισχυρών αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων στον αριστερό μετρητή δεν ήταν δυνατόν να βοηθήσει τον πιλότο στην εκλογή της σωστής κατεύθυνσης που θα έπρεπε να πάρει για να αποφύγει πιθανή προσβολή.

Η τεχνική αυτή βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης και ελπίζεται ότι θα αποδειχθεί πολύ χρήσιμη. Για το λόγο αυτό θα αναφερθεί ένας τρόπος αποφυγής με Radar προς το τέλος της εργασίας.

Όπως φαίνεται από τις καμπύλες του σχ.2.2β η πιθανότητα προσβολής των αεροσκαφών στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας είναι μικρότερη. Τα δεδομένα των αερογραμμών αναφέρουν τον μέσο όρο της μιας προσβολής ανά αεροσκάφος, ανά έτος τόσο για τα αεριωθούμενα, όσο και για τα ελικοφόρα. Το 90% των προσβολών αυτών αναφέρεται σε περιπτώσεις προσβολής των άκρων και κύρια της κεραίας και τα καλύμματα κεραιών ραντάρ, των οποίων η προστασία είναι επαρκής.

Το υπόλοιπο 10 % αφορά τα υπόλοιπα τμήματα του αεροσκάφους και διατυπώνεται η αντίληψη διαφορετικού μηχανισμού προσβολής, όπως η προσβολή σάρωσης ή η προσβολή εισόδου-εξόδου του ηλεκτρικού ρεύματος.

Η προσεκτική σχεδίαση των δεξαμενών καυσίμου και οι επιβεβαιούμενες εργαστηριακές δοκιμές είναι απαραίτητες

προϋποθέσεις για την αποφυγή περιπτώσεων έναυσης του καύσιμου και εκρήξεων που προκαλούνται από σπινθήρες ή τόξα μεταξύ σημείων ηλεκτρικά μονωμένων.

Άλλες δυνατότητες έναυσης και έκρηξης στο εσωτερικό των δεξαμενών μπορεί να υπάρχουν όπως απέδειξαν τα εργαστηριακά πειράματα, η δε προστασία στις περιπτώσεις αυτές είναι μάλλον ανύπαρκτη.

2.3 Κίνδυνοι του αεροσκάφους

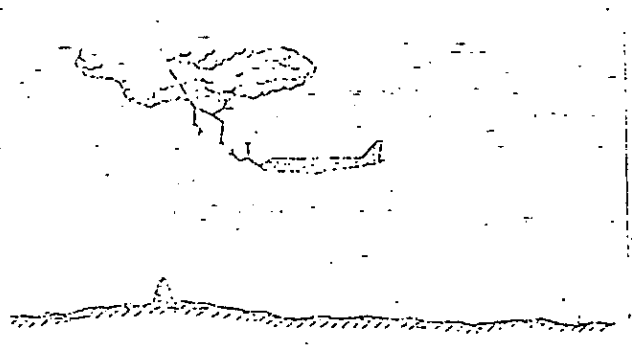
Στατιστικά το αεροσκάφος είναι ένα πολύ ασφαλές μεταφορικό μέσο. Όταν το πλήξει κεραυνός η ζημιά είναι αμελητέα, συνήθως οι μόνες ενδείξεις που παραμένουν είναι μερικά μαύρα σημάδια και ένα ελαφρό «φάγωμα» της μεταλλικής επικάλυψης, μπορεί όμως το κτύπημα να είναι εντυπωσιακό.

Τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα. Στο μέλλον οι πτήσεις των αεροσκαφών είναι πολύ πιθανόν να ελέγχονται από ηλεκτρονικά συστήματα, καθοδηγούμενα από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή τοποθετημένο στο αεροσκάφος και οι παρεμβολές σ' αυτά τα συστήματα πρέπει να αποφεύγονται.

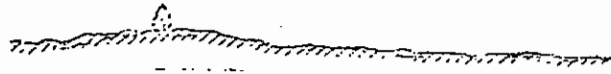
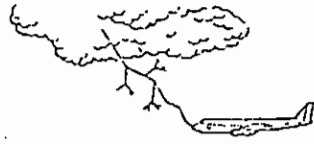
Το πρόβλημα της προστασίας των αεροσκαφών έχει γίνει δυσκολότερο με την παρουσίαση των ελαφρών υλικών που αντικαθιστούν τα κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνταν

μέχρι τώρα. Η μεταλλική επικάλυψη επιτρέπει περισσότερη προστασία από τα σύνθετα υλικά όπως ο υαλοβάμβακας και οι ίνες γραφίτη. Για να γίνουν κατανοητοί οι κίνδυνοι, πρέπει να εξετάσουμε τι συμβαίνει όταν ένα αεροσκάφος πλήττεται από κεραυνό.

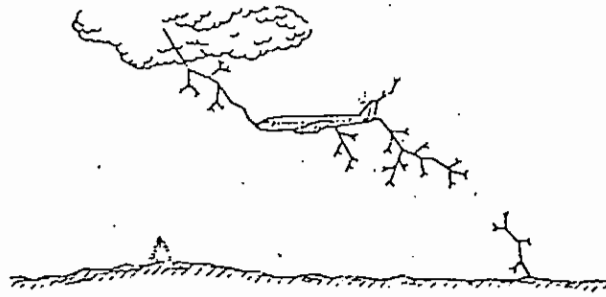
Το σχ.2.3 δείχνει τη βάση ενός νέφους θυέλλης, μια περιοχή υψηλού ηλεκτρικού δυναμικού, όπου υπάρχουν ισχυρά ηλεκτρικά πεδία που δημιουργούνται λόγω ηλεκτρικής φόρτισης στην βάση του νέφους και που είναι συνήθως αρνητική. Όταν το πεδίο είναι αρκετά ισχυρό, δημιουργείται μια ηλεκτρική εκκένωση και ένας λαμπρός σπινθήρας ξεκινά από το νέφος προς το έδαφος ακολουθώντας μια ακανόνιστη πορεία που παρουσιάζει συχνές διακλαδώσεις. Καθώς ο σπινθήρας προχωρεί προς το έδαφος δημιουργείται ένας αγωγίμος οχετός που αποτελείται από αρνητικά φορτία.



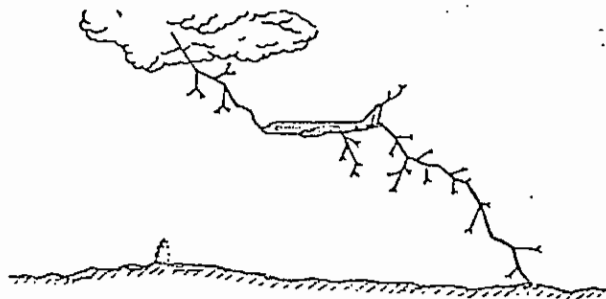
α. Ο οχετός πλησιάζει το αεροσκάφος



β. Ο οχετός αγγίζει το αεροσκάφος



γ. Ο οχετός περνά μέσω του αεροσκάφους

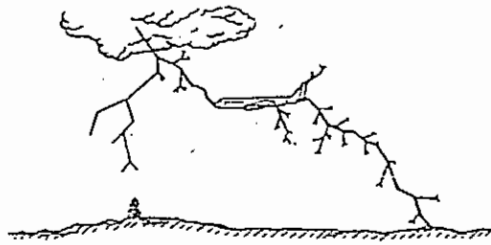


δ. Το ρεύμα επιστροφής γυρίζει στο σύννεφο

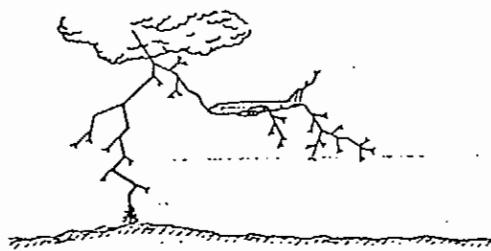
Σχ. 2.3 Πως γίνεται το αεροσκάφος τμήμα του οχετού

Κάθε αεροσκάφος στη περιοχή του νέφους μπορεί να γίνει τμήμα αυτού του οχετού, με συνέπεια να περνούν δια μέσω του αεροσκάφους οι παλμοί του ρεύματος που ρέει καθώς προχωρεί με άλματα ο οχετός. Όταν ο οχετός φθάσει το έδαφος γεφυρώνεται με το νέφος και ένας ισχυρός παλμός ρεύματος ρέει από το έδαφος προς το νέφος ακολουθώντας τον ίδιο οχετό και περνώντας πάλι δια μέσω του αεροσκάφους. Αυτό είναι το πρώτο ρεύμα επιστροφής, έντασης περίπου 30[KA] που θερμαίνει γοργά και έντονα τον οχετό προεκκένωσης, ο οποίος γίνεται πολύ φωτεινός. Επίσης λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας ο αέρας γύρω από τον οχετό διαστέλλεται απότομα με αποτέλεσμα να έχουμε βροντή.

Αν όμως κάποιος άλλος κλάδος του οχετού (αρχικού) πλησιάζει στο έδαφος πριν απ' αυτόν που ενεπλάκει το αεροσκάφος, ο οχετός επιστροφής θα ακολουθήσει την διαδρομή που φαίνεται στο σχήμα 2.3α και όλοι οι άλλοι κλάδοι θα εξασθενήσουν όπως επίσης φαίνεται στο σχήμα 2.3β. Σ' αυτή την περίπτωση το ρεύμα που περνά μέσα στο αεροσκάφος δεν είναι ικανό να προξενήσει σοβαρές ζημιές.

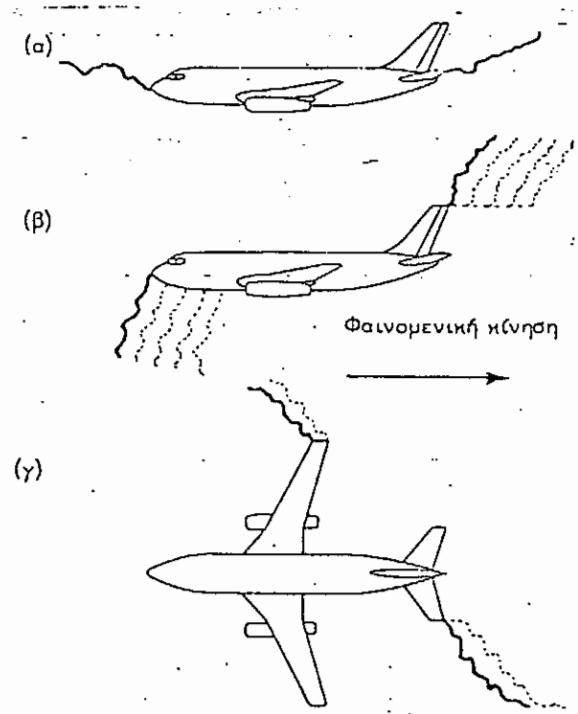


Σχ.2.3α Το ρεύμα επιστροφής γυρίζει στο σύννεφο μέσω του αεροσκάφους



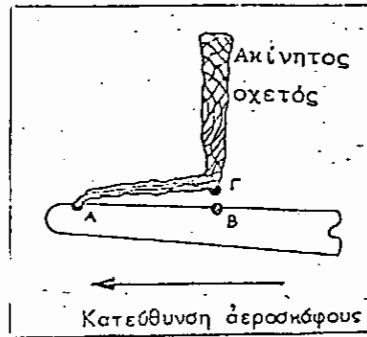
Σχ.2.3.β Το ρεύμα επιστροφής γυρίζει στο σύννεφο από άλλη διαδρομή

Στην διάρκεια μιας προσβολής το αεροσκάφος μετακινείται σε μια κάποια απόσταση σε σχέση με τον οχετό. Όταν ο οχετός επεκτείνεται παράλληλα προς τον διαμήκη άξονα του αεροσκάφους τα σημεία επαφής του με το αεροσκάφος μπορεί να μην αλλάξουν όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4α. Στην περίπτωση όμως που η πορεία του οχετού σχηματίζει γωνία με την μύτη ή τα ακροπτερύγια του αεροσκάφους σχήμα 2.4β και γ τότε τα σημεία επαφής θα κινούνται αντίθετα από την κατεύθυνση του αεροσκάφους. Τα διαδοχικά σημεία επαφής του οχετού παρουσιάζονται στο σχήμα με διακεκομμένες γραμμές. Το οπίσθιο σημείο επαφής φυσικά δεν μπορεί να μετακινηθεί άλλο προς τα πίσω, έτσι αυτό που συμβαίνει εδώ είναι μια μικρή επιμήκυνση του οχετού.



Σχήμα 2.4: Η φαινομενική κίνηση του οχετού του κεραυνού σε σχέση με το αεροσκάφος: (α) Όταν ο οχετός είναι παράλληλος με την κίνηση του αεροσκάφους και τα σημεία επαφής τείνουν να παραμείνουν τα ίδια. (β) Όταν κάθετος οχετός μετατίθεται προς τα πίσω. (γ) Όταν οριζόντιος οχετός μετατίθεται προς τα πίσω.

Το σημείο επαφής δεν γλιστρά προς τα πίσω συνέχεια. Με την μετακίνηση του αεροσκάφους προς τα εμπρός, ο οχετός παίρνει τη μορφή που φαίνεται απλουστευμένη στο σχήμα 2.5



Σχήμα 2.5: Μετά από την αρχική επαφή στο σημείο A, ο οχετός μετατίθεται στο σημείο B, όταν η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων B και Γ είναι αρκετή για να γεφυρωθεί το κενό.

Το τμήμα ΑΓ επιμηκύνεται μέχρι που το δυναμικό ή η διαφορά τάσης κατά μήκος της γίνει τόση που ο οχετός σπάει στο σημείο Γ και ενώνεται με το αεροσκάφος στο σημείο Β. Η απόσταση ΑΒ είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων επαφής. Τα σημεία επαφής των αστραπών που πλήττουν το αεροσκάφος δημιουργούν μια σειρά σημείων κατά μήκος της ατράκτου, ή κάθετα στην πτέρυγα και ακολουθούν περίπου τη ροή του αέρα γύρω από το αεροσκάφος.

Όταν η επιφάνεια του αεροσκάφους είναι βαμμένη οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων επαφής, είναι μεγαλύτερες επειδή η διαφορά της τάσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη για να διαπεράσει το χρώμα που είναι μονωτικό υλικό.

Στο άκρο εκφυγής των πτερύγων και του συγκροτήματος ουράς στο σημείο επαφής του οχετού κολλάει στον αγωγό, που είναι περισσότερο πίσω από τις άλλες αγώγιμες επιφάνειες.

Όλο το υπόλοιπο ρεύμα συγκεντρώνεται σ' αυτό το σημείο και εκεί είναι που συμβαίνει η μεγαλύτερη ζημιά από την εκκένωση. Ο μεγαλύτερος χρόνος επαφής του οχετού σ' αυτό το σημείο, θεωρείται ότι είναι ο χρόνος μεταξύ δύο ρευμάτων επιστροφής. Αυτό συμβαίνει γιατί η γρήγορη αύξηση της έντασης του ρεύματος που περνά από τον οχετό λόγω της διέλευσης του ρεύματος επιστροφής δημιουργεί ισχυρά επαγωγικά δυναμικά πεδία σε κάθε σημείο του οχετού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων σημείων επαφής. Τα σημεία επαφής όπως θα δούμε παρακάτω χωρίζονται σε ζώνες επαφής του οχετού προεκκένωσης του κεραυνού.

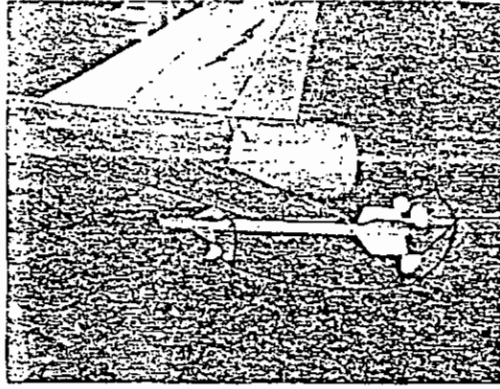
2.4 Δημιουργία στατικών ηλεκτρικών φορτίων και διαδικασίες εκκένωσης

Ένας άλλος τύπος ηλεκτρικής δραστηριότητας της ατμόσφαιρας που πρέπει να συζητηθεί είναι η δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού και οι επακόλουθες διαδικασίες της εκκένωσης. Η δημιουργία στατικού ηλεκτρισμού οφείλεται στην επαφή δυο (2) υλικών και στον μετέπειτα αποχωρισμό τους.

Αποτέλεσμα αυτής της επαφής και του χωρισμού των είναι η διαδικασία διαχωρισμού φορτίων και κατ' αυτόν τον τρόπο τα υλικά αποκτούν αντίθετα φορτία μεταξύ των, γεγονός που πραγματικά συμβαίνει όταν ένα αεροσκάφος έρχεται σε επαφή (πρόσκρουση) με οποιαδήποτε μορφή υγρασίας όπως πάγος ή βροχή κατά την πτήση.

Καθώς η διαδικασία της πρόσκρουσης συνεχίζεται το φορτίο της επιφάνειας του αεροσκάφους αυξάνει, αυξάνοντας έτσι το δυναμικό του αεροσκάφους. Όταν το δυναμικό αυτό σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο του αεροσκάφους υπερβεί το όριο της ατμοσφαιρικής κατάρρευσης, τότε είναι πιθανό να δημιουργηθούν εκκενώσεις, συνήθως στα ακραία σημεία του αεροσκάφους ή στην κεραία. Οι εκκενώσεις αυτές είναι δυνατόν να δημιουργήσουν μια συνεχή υπεριώδη λάμψη που γίνεται ιδιαίτερα ορατή κατά την νύκτα και ονομάζεται η φωτιά του St. Elmo ή Κορώνα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.6. Αυτές οι εκκενώσεις δημιουργούν παρεμβολές στους δέκτες, στη ζώνη υψηλών συχνοτήτων HF.

Επίσης η διοχέτευση των ηλεκτρικών φορτίων σε μη μεταλλικές επιφάνειες και ο σπινθηρισμός σε μονωμένους αγωγούς στο εξωτερικό του αεροσκάφους, μπορούν να προκαλούν ραδιο-παρεμβολές με συχνότητες που φθάνουν και τη ζώνη γιγακύκλων (GHz).



Σχήμα 2.6: Φαινόμενο Κορώνα σε ένα αεροσκάφος

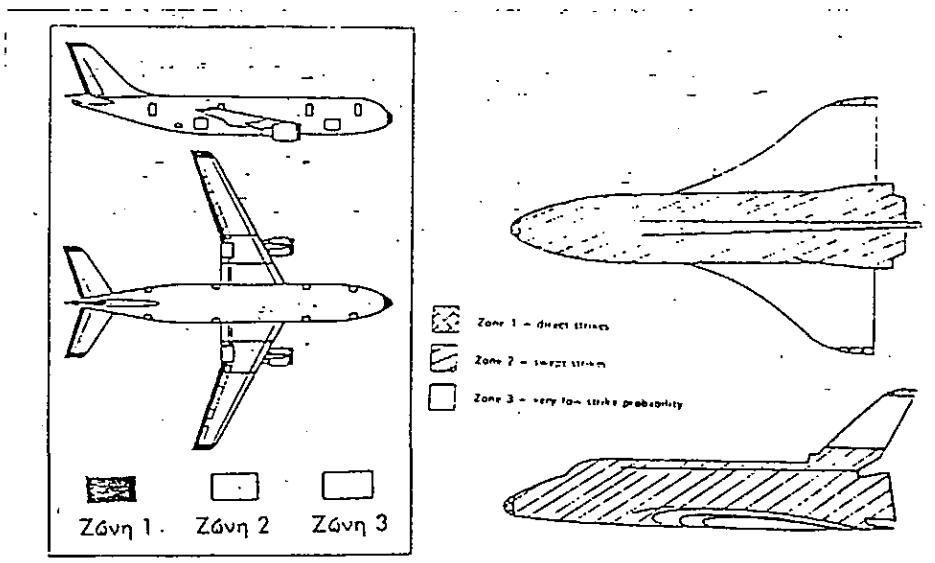
Για τον περιορισμό αυτών των παρεμβολών τα αεροσκάφη είναι εφοδιασμένα με ειδικούς αποζεύκτες στους οποίους θα αναφερθούμε σε παρακάτω κεφάλαια.

2.5 Περιοχές επαφής

Η επιφάνεια του αεροσκάφους, μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις ζώνες, ανάλογα με τη συμπεριφορά των σημείων επαφής σ' αυτές τις περιοχές. Οι πρώτες επαφές γίνονται στη περιοχή, που καλούμε ζώνη 1, σχήμα 2.7 και που αποτελείται από όλα τα αιχμηρά ακραία σημεία του αεροσκάφους. Τη ζώνη 2 αποτελούν περιοχές από τις οποίες περνούν τα σημεία επαφής και βρίσκεται

πίσω από τη ζώνη 1. Οι υπόλοιπες επιφάνειες αποτελούν τη ζώνη 3 και είναι αυτές στις οποίες η πιθανότητα κατ' ευθείαν επαφής του οχετού να είναι μικρή, μπορούν όμως να γίνουν αγωγοί του ρεύματος καθώς ο οχετός προχωρεί μεταξύ των σημείων επαφής.

Βλέπουμε λοιπόν ότι και η ζώνη 3 μπορεί να επηρεαστεί από τη διέλευση του ρεύματος. Το σχήμα 2.7 δείχνει τις τρεις ζώνες ενός τυπικού αεροσκάφους.



Σχ. 2.7 Τυπικές ζώνες επαφής του οχετού προεκκένωσης ενός κεραυνού

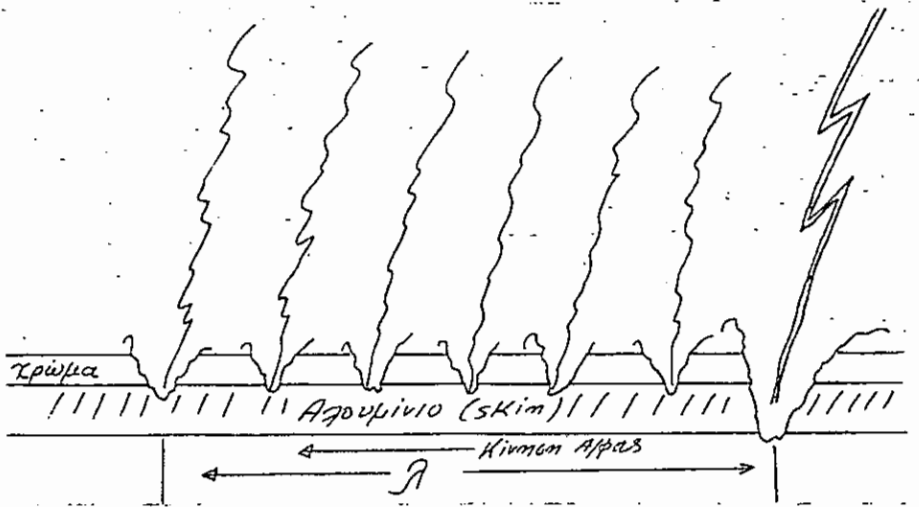
Ιδιαίτερη σημασία έχουν οι προσβολές σάρωσης στο αεροσκάφος καθώς αυτό κινείται και διαπερνά τον σχεδόν ακίνητο οχετό του κεραυνού. Για ένα σύγχρονο αεροσκάφος, μήκους 40[M], που κινείται με ταχύτητα 200[M] ανά δευτερόλεπτο η διάρκεια μιας συμπτωματικής προσβολής των 3000[μs] είναι φυσικό να προκαλέσει χαρακτηριστική φθορά στο μήκος λ της γραμμής επαφής του οχετού, όπως:

$$\lambda = \frac{200[M] \times 3000[\mu s]}{1000000[\mu s]} = 0,6[M]$$

Ο μηχανισμός φθοράς φαίνεται αν αναφερθούμε στο σχήμα 2.8 που επαληθεύει το σχήμα 2.1γ.

Στο σχήμα 2.8 η πτώση τάσης V που προκαλεί το ρεύμα I της εκκένωσης στην διάρκεια της σάρωσης, είναι δυνατό να πάρει τέτοιες τιμές ώστε να προκαλέσει διάτρηση του χρώματος και να προσβάλει την επιφάνεια του αλουμινίου (Skin) με αποτέλεσμα την διάβρωση και διάτρηση του.

$$V = L \frac{di}{dt} + R \frac{di}{dt} \quad (L, R \text{ του στοιχείου})$$



Σχήμα 2.8: Σαρωτικό κτύπημα πτέρυγας με επικάλυψη (χρώμα)

Τέτοιες φθορές έχουν συχνά παρατηρηθεί στις επιφάνειες των φτερών και της ατράκτου. Η διάρκεια της σάρωσης ποικίλει από μερικά ms μέχρι και κλάσματα του δευτερολέπτου.

Για γυμνό αλουμίνιο είναι της τάξης των 2-5[ms] ενώ για αλουμίνιο με παχύ στρώμα χρώματος φθάνει το κλάσμα του δευτερολέπτου. Έτσι γίνεται αντιληπτή η ανάγκη της προστασίας των ζωνών προσβολών σάρωσης ώστε οι επιφάνειες αυτές να ανταποκρίνονται ικανοποιητικά. Οι επιφάνειες των οποίων η φθορά δεν επηρεάζει την λειτουργία του αεροσκάφους και κυρίως την ασφάλεια της πτήσης χαρακτηρίζονται σαν περιοχές

αποδεχτής φθοράς και έχουν ευρεία χρήση στη κατασκευή αεροσκαφών της πολιτικής αεροπορίας.

Ο πίνακας (II) αν και όχι πλήρης αποτελεί την βάση για τον έλεγχο των σημείων εκείνων του αεροσκάφους που είναι δυνατό να έχουν υποστεί φθορά από εκκενώσεις κεραυνών κατά την διάρκεια της πτήσης.

Πίνακας II

Μερικός κατάλογος ελέγχου για πιθανή είσοδο κεραυνού ή σημεία ζημιάς (βλάβης)

1. Αισθητές αέρος

1.1 Σωλήνας πίτοτ και προεκτάσεις (σωλήνα πίτοτ)

1.2 Αισθητές γωνίας προσβολής

1.3 Αισθητές ολικής θερμοκρασίας

2. Κώνοι ραντάρ

3. Καλύπτρες πιλότου

3.1 Πληρώματα πτήσης

3.2 Ηλεκτρονικός εξοπλισμός κάτω από τις καλύπτρες

4. Ανοίγματα (στόμια) δεξαμενής καυσίμων

4.1 Καλύμματα (καψύλλια) γεμίσματος

4.2 Βαλβίδες οχετού (καυσίμων)

4.3 Μετρητές όψεως

4.4 Ανοίγματα (θύρες) προσχώρησης

4.5 Ανοίγματα (οπές αερισμού) καυσίμων

5. Άξονες πτέρυγος και ουράς

6. Φώτα

6.1 Φώτα ναυτιλίας (πορείας)

6.2 Περιστρεφόμενοι φάροι (φανοί)

6.3 Αναβοσβήνοντα φώτα υψηλής έντασης (λευκού χρώματος)

6.4 Φώτα προσγείωσης

7. Εξωτερική ηλεκτρική σύνδεση

7.1 Ηλεκτρική σύνδεση από τη δοκό χείλους εκφυγής

7.2 Εκτεθειμένη ηλεκτρική σύνδεση μέσα στον κώνο ραντάρ

7.3 Ηλεκτρική σύνδεση κάτω από διαφανή καλύπτρα

7.4 Ηλεκτρική σύνδεση από αεροδυναμικές επιφάνειες υαλοίνης
(Φάϊμπεργκλας)

8. Εξωτερικές δεξαμενές

9. Κεραίες

9.1 Τροφοδοτούμενες με υψηλή ηλεκτροκινητική δύναμη (βόλταζ)
- Τροφοδοτούμενες με ρεύμα

9.2 Υψηλής συχνότητας (HF) - Υπέρ υψηλής συχνότητας (UHF)

9.3 Αισθητήρες ραδιογωνιόμετρου (ADF) (Αυτόματος ευρετής
διεύθυνσης)

9.4 Ραντάρ

9.5 Μακρύ καλώδιο

Ο πίνακας αυτός μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο αεροσκάφους την εξέλιξη των αεροσκαφών γενικά και την χρήση νέων υλικών κατασκευής.

Κεφάλαιο 3

Χαρακτηριστικά κεραυνών σε σχέση με την προστασία αεροσκαφών

Η εκκένωση του κεραυνού μπορεί να αναλυθεί προαιρετικά σε συνιστώντα στοιχεία σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές τους επιδράσεις, ανωμαλίες και φθορές με τις οποίες γίνονται αντιληπτά.

3.1 Ανάλυση των συνιστούντων στοιχείων της εκκένωσης κεραυνού

Τα συνιστώντα στοιχεία είναι:

1. Υψηλή τάση: Με χαρακτηριστική διάτρηση των διηλεκτρικών υλικών.
2. Απότομη άνοδος δυναμικού ή ηλεκτρικού πεδίου: Με χαρακτηριστικό την επαγωγή εσωτερικών ηλεκτρικών πεδίων, που μπορούν να προκαλέσουν ανωμαλίες στην λειτουργία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων, ηλεκτρικό Schock, στο πλήρωμα του αεροσκάφους καθώς και διάτρηση στα διηλεκτρικά υλικά.

3. **Ισχυρό ρεύμα:** Με χαρακτηριστικό τις υψηλές μαγνητικές δυνάμεις, τον σπινθηρισμό στα δομικά σημεία σύνδεσης (δρόμου ροής ρεύματος) επαγωγή στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα και κρουστικά κύματα από επιδράσεις ισχυρών ρευμάτων.
4. **Απότομη μεταβολή ρεύματος:** Με χαρακτηριστικό την επαγωγή στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα και την ηλεκτρομαγνητική ζεύξη που μπορεί να προέλθει. α. Από τις πόρτες και τα παράθυρα, β. από διάχυση δια μέσου των επιφανειών και γ. από άμεση επαγωγή ρευμάτων σε ηλεκτρικά αγωγίμα τμήματα δομής στο εσωτερικό του αεροσκάφους.
5. **Ενδιάμεσα ρεύματα:** (Ιδιάζοντα στις εκκενώσεις νέφους- νέφους). Με χαρακτηριστικό την διάτρηση επιφανειών και την βαθμιαία αύξηση των πιέσεων. Τα ρεύματα αυτά προκαλούν τις μεγαλύτερες διατρήσεις με περιορισμένη ενέργεια και μετάθεση ηλεκτρικών φορτίων και έχουν διάρκεια msec και ένταση KA.

Η θεωρητική και πειραματική έρευνα θεωρεί τις επιφάνειες αλουμινίου σαν τις πιο ασφαλείς για δεξαμενές καυσίμου επειδή η πιθανότητα θερμής κηλίδας είναι μάλλον μικρή σε σύγκριση με το τιτάνιο ή τον ανοξείδωτο χάλυβα, υλικά για τα οποία ο κίνδυνος της έναυσης του υγρού καυσίμου θεωρείται πιθανότερο επειδή είναι δυνατή η δημιουργία θερμών κηλίδων υψηλότερων θερμοκρασιών

6. **Με ισχυρά ρεύματα μακράς διάρκειας:** Με χαρακτηριστικό την διάβρωση των μετάλλων. Τα ρεύματα αυτά με διάρκεια κλάσματος του δευτερολέπτου, οφείλονται στην μεγάλη μετατόπιση ηλεκτρικών φορτίων, προκαλούν τις μεγαλύτερες διατρήσεις με διάμετρο μερικών εκατοστών και παρατηρούνται στις επιφάνειες των άκρων εκφυγής των τμημάτων των αεροσκαφών και δεν θεωρούνται ότι απειλούν την ασφάλεια της πτήσης.
7. **Πολλαπλές εκκενώσεις κεραυνού:** Με χαρακτηριστικό την αλληλουχία μέχρι και 30 προσβολών με τα χαρακτηριστικά όλων των προηγούμενων που αναφέρθηκαν.
8. **Σαρωτική προσβολή:** Με χαρακτηριστικό την καταφανή ένδειξη σάρωσης σ' όλα τα προηγούμενα. Ο πιο κάτω πίνακας περιλαμβάνει μερικές χαρακτηριστικές επιδράσεις φθοράς. Η συνηθισμένη περίπτωση ένα ή δύο από τα συνιστώμενα στοιχεία να είναι σημαντικότερη σε μια δεδομένη περίπτωση φθοράς σε συσχετισμό με την πιθανότητα προσβολής.

Πίνακας III

Επίδραση	Υψηλή τάση V	Ταχεία Μεταβολή Ηλεκτρικού Πεδίου de/dt	Ισχυρά Ρεύματα I, I ² t	Ταχεία Μεταβολή Ρεύματος di/dt	Ενδιάμεσο Ρεύμα I, I ² t	Συνεχιζόμενο Ρεύμα I
Διηλεκτρική διάτρηση	X	X				
Παροδικά ηλεκτρονικά συστήματα	X	X	X	X		
Μαγνητικές δυνάμεις			X			
Σπινθήρας συνδέσεως			X			
Κρουστικά κύματα			X	X		
Βραδεία άνοδος πιέσεων					X	
διάτρηση μετάλλων					X	
Διάβρωση μετάλλων						X

3.2 Προσδιορισμός ασθενών σημείων προσβολής του αεροσκάφους

Το πρώτο βήμα στην προσέγγιση του προβλήματος της αντικεραυνικής προστασίας οποιουδήποτε συστήματος του αεροσκάφους είναι ο προσδιορισμός των πιθανών σημείων προσβολής των επί μέρους τμημάτων των συστημάτων και κυρίως εκεί όπου η φθορά μπορεί να είναι κρίσιμη για την ασφάλεια της πτήσης. Οι πιο κρίσιμες βλάβες και φθορές

προκαλούνται με την προσβολή ασθενών σημείων που στη συνέχεια επιτρέπουν την είσοδο μεγάλης ποσότητας ενέργειας στο εσωτερικό του αεροσκάφους, που συνήθως είναι λιγότερο προστατευμένο, όπως είναι φυσικό. Σαν παράδειγμα ένας καταστρεμένος φάρος πτέρυγας επιτρέπει την άμεση επαφή του κεραυνού με το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο εκτίθεται έτσι σε κίνδυνο βλάβης ή φθοράς. Μια βλάβη ή καταστροφή κεραίων αφαιρεί την δυνατότητα επικοινωνίας του αεροσκάφους το οποίο σε περίπτωση κακής ορατότητας διατρέχει μεγάλους κινδύνους.

Η χρήση ειδικών μοντέλων έχει επιτρέψει τον προσδιορισμό της κατανομής των προσβολών στα διάφορα σημεία του αεροσκάφους.

Η περαιτέρω ανάλυση και οι δοκιμές μπορούν στη συνέχεια να καθορίσουν το κατά πόσο τα διάφορα αυτά σημεία μπορούν να διευκολύνουν την είσοδο της ενέργειας του κεραυνού και να προκληθούν σοβαρές βλάβες ή φθορές.

Η χρήση μεταλλικού μοντέλου εκτεθειμένου σε εκκενώσεις τεχνικών κεραυνών καθορίζει τις κατευθύνσεις των προσβολών που διαφορετικά θα ήταν αδύνατο να καθοριστούν.

Με την αποκτημένη αυτή πείρα είναι δυνατό να προσδιορισθεί και ο οικονομικός παράγων της προστασίας έναντι της συντήρησης και επισκευής, παράγων που πρέπει πάντοτε να λαμβάνεται υπόψη.

Οι έρευνες μας δίνουν σε έκταση λεπτομέρειες των δοκιμών που έγιναν για το συσχετισμό των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δεδομένων με την εμπειρία που αποκτήθηκε με τις πτήσεις.

Οι δοκιμές αυτές αναφέρονται στην χρήση διαφόρων κριτηρίων που θεσπίστηκαν για την αξιολόγηση της προστασίας σε σχέση με το κόστος, τον προσδιορισμό και την ανάλυση των σημείων προσβολής με τη μικρότερη πιθανότητα.

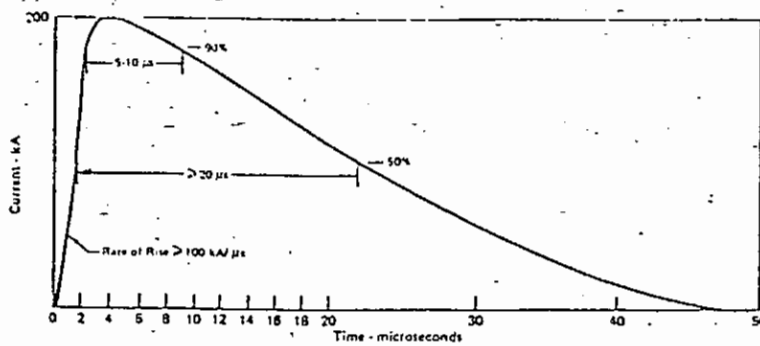
Επειδή το θέμα των εργαστηριακών ερευνών είναι πολύ σοβαρό για την εξαγωγή συμπερασμάτων θεωρούμε σκόπιμο να πούμε λίγα λόγια που αφορούν την εξομοίωση των κεραυνών σ' αυτά.

3.3 Εργαστηριακά κριτήρια προσδιορισμού συμπεριφοράς κεραυνών για συστήματα πλοήγησης αεροσκαφών

Τα κριτήρια αυτά έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια σε σχέση με διάφορες κυματομορφές ρευμάτων και τάσεων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε δοκιμές εξομοίωσης κεραυνών.

Οι κυματομορφές αυτές είναι βασισμένες σε στατιστικές παρατηρήσεις και μετρήσεις που έγιναν κατά καιρούς στο φυσικό περιβάλλον των κεραυνών. Στη προσπάθεια των βιομηχανιών να αναπτύξουν όλο και καλύτερες μεθόδους, εξομοίωσης κεραυνών

και να θεσπίσουν όλο και ακριβέστερα κριτήρια οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι το ρεύμα κορυφής είναι ο μόνος παράγοντας που συντελεί στην φυσική καταστροφή των σημείων που προσπίπτει ο κεραυνός. Η ενέργεια που επίσης είναι σημαντικός παράγοντας και υπολογίζεται από το ολοκλήρωμα $\int I^2 dt$ το οποίο αντιπροσωπεύει την ενέργεια του παλμικού ρεύματος. Επίσης άλλες περιπτώσεις ροής του ρεύματος εκκένωσης κεραυνού, όπως το συνεχόμενο ρεύμα και τα ενδιάμεσα ρεύματος έδειξαν ότι είναι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό της προστασίας.

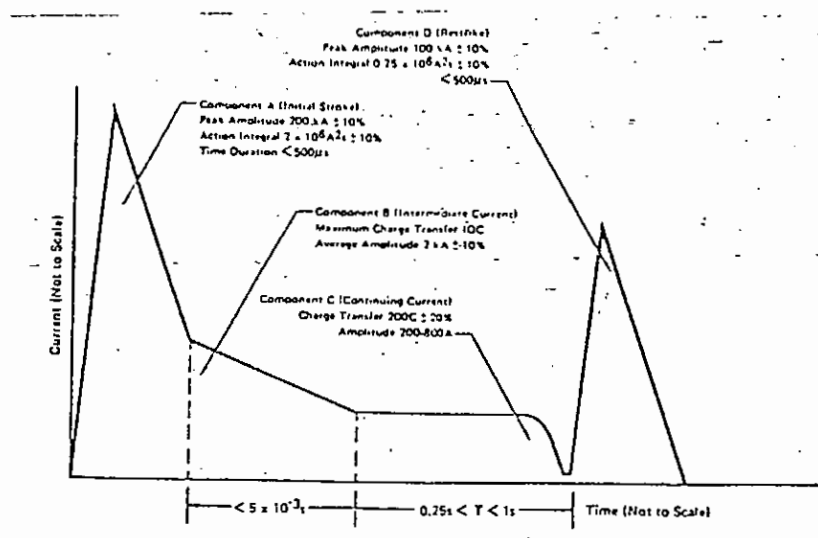


Σχήμα 3.1: Κυματομορφή υψηλού ρεύματος

Η κυματομορφή του παραπάνω σχήματος 3.1 που προσδιορίστηκε αρχικά, δεν έγινε αποδεκτή λόγω του ότι η απότομη αύξηση μετώπου προς την κορυφή τις κυματομορφής

συνδυασμένη με την αργή πτώση, και την ομοιοπολική μορφή της, ήταν πολύ δύσκολο να εξομοιωθεί στο εργαστήριο.

Αν δεχτούμε ότι η κυματομορφή του σχήματος 3.1 αντιπροσωπεύει με ακρίβεια την πηγή της εκκένωσης των κεραυνών για τα συστήματα πλοήγησης των αεροσκαφών, τότε είναι απαραίτητο, να προσδιορισθεί μια ισοδύναμη (κατά το δυνατό) κυματομορφή που να περιλαμβάνει τα κυριότερα καταστροφικά χαρακτηριστικά μιας φυσικής εκκένωσης κεραυνού, τα οποία θα είναι δυνατό να παραχθούν στο εργαστήριο για τις απαιτούμενες δοκιμές.

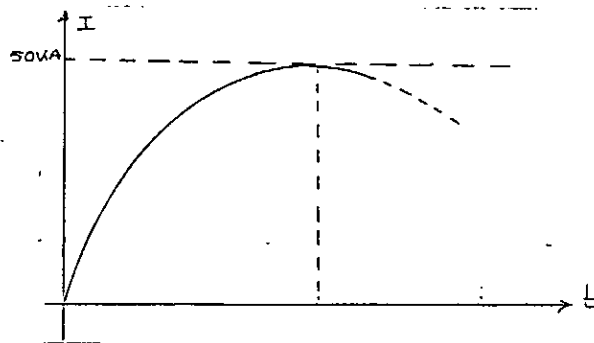


Σχήμα 3.2: Ιδανική κυματομορφή ρεύματος για δοκιμές στα εργαστήρια

Η κυματομορφή (ιδανική) μοντέλο του σχήματος 3.2 έχει θεωρηθεί σαν η πιο κατάλληλη και ικανή για τις δοκιμές στα εργαστήρια και μπορεί να δώσει τα άμεσα καταστροφικά αποτελέσματα, ισοδύναμα με αυτά που μπορεί να προκαλέσει μια σοβαρή φυσική εκκένωση κεραυνού.

3.3.1. Κριτήρια δοκιμής για τις έμμεσες επιδράσεις

Για τις επιδράσεις της μαγνητικής σύζευξης που είναι ανάλογες με την ταχύτητα μεταβολής του ρεύματος, έχει ορισθεί ένα επιπρόσθετο κριτήριο δοκιμής με $di/dt=100[\text{KA/msec}]$. Η κυματομορφή του σχήματος 3.3 είναι πραγματική και εφαρμόζεται για δοκιμές στα εργαστήρια για τον προσδιορισμό των αποτελεσμάτων μαγνητικής σύζευξης στο εσωτερικό του αεροσκάφους.

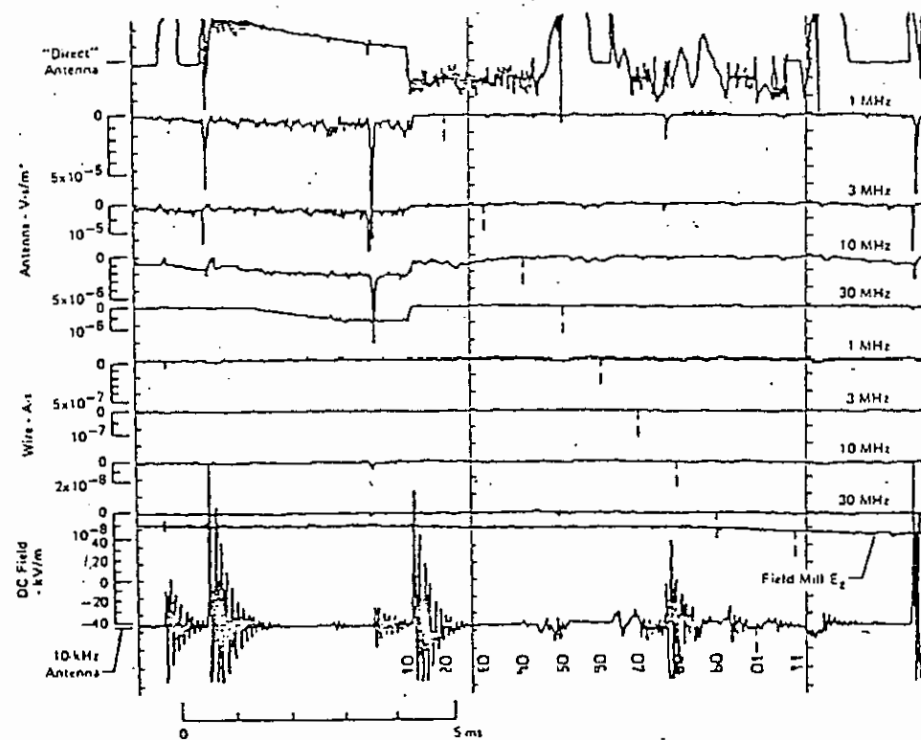


Σχήμα 3.3 Κυματομορφή ρεύματος

Το μέγεθος των 50[KA] έχει διαλεχτεί γιατί αυτό είναι μέσα στις δυνατότητες των περισσότερων εργαστηρίων που ερευνούν για την προστασία αεροσκαφών όταν δοκιμάζουν μικρά ηλεκτρικά-ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

3.4 Αλληλοεπίδραση εκκενώσεων κεραυνού με αεροσκάφος

Κατά την πτήση αεροσκάφους μέσα σε περιβάλλον καταιγίδας το αεροσκάφος θα υποστεί τις συνέπειες των ξαφνικών και γρήγορων μεταβολών των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων, τα οποία όμως δεν είναι ακόμα εντελώς ορισμένα. Τα σχήματα 3.4, 3.5 δείχνουν την πολυπλοκότητα και την μεγάλη διάρκεια αυτών των δραστηριοτήτων οι οποίες μετρήθηκαν κατά την πτήση ενός Lear Jet, το 1977 στην Φλόριδα της Αμερικής από τον J.E.Nanevicz. Για την μελέτη αυτών των πεδίων έχουν γίνει εκτεταμένες μετρήσεις από το έδαφος, αλλά αυτές δεν αντανακλούν την πραγματική εικόνα των πεδίων σε υψόμετρα που πετούν τα αεροσκάφη.

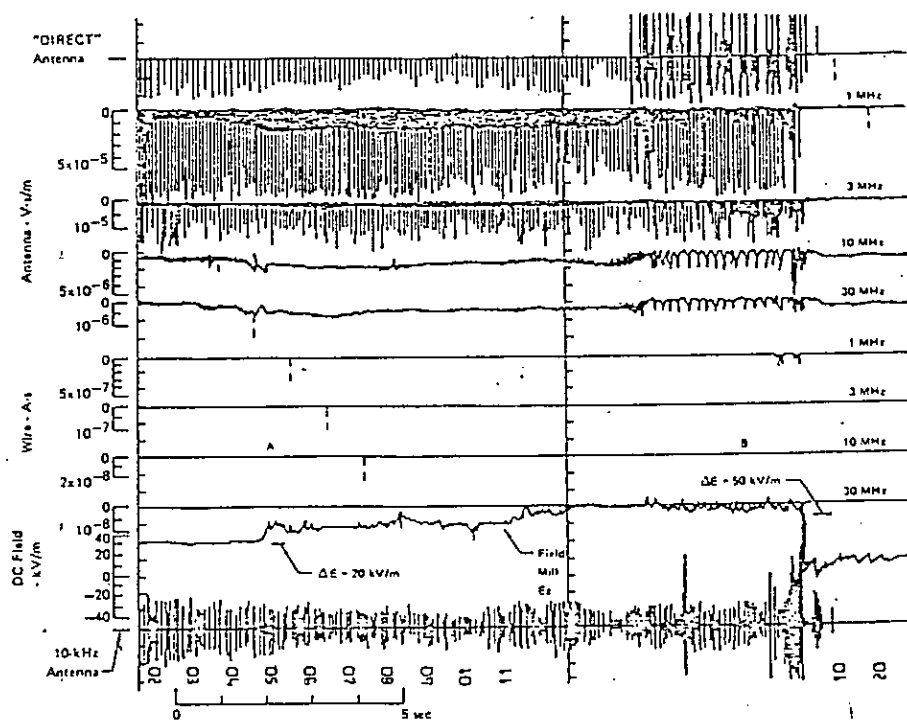


Σχήμα 3.4 Γειτνιάζουσες εκκενώσεις κεραυνών

Όταν ένα αεροσκάφος πετά μέσα σε περιβάλλον ηλεκτρομαγνητικών πεδίων συμπεριφέρεται σαν μια μεγάλη κεραία και έτσι δημιουργούνται ρεύματα μετατόπισης στην επιφάνειά του με αποτέλεσμα την επαγωγή μεταβατικών ηλεκτρικών φαινομένων στην εσωτερική καλωδίωση του.

Μέχρι στιγμής δεν έχουν αναφερθεί σοβαρά προβλήματα στα ηλεκτρονικά συστήματα των αεροσκαφών που να οφείλονται στις

προαναφερθέντες μεταβατικές επαγωγές, είναι όμως απαραίτητο και υπάρχει το ενδιαφέρον ώστε τα μελλοντικά αεροσκάφη να είναι εφοδιασμένα με συστήματα που θα εξασφαλίσουν την ασφάλεια πτήσεων. Το ενδιαφέρον αυτό ενισχύεται με την ανάπτυξη των νέων υλικών κατασκευής των αεροσκαφών που όπως προαναφέραμε μειώνουν την ηλεκτρομαγνητική προστασία των.



Σχήμα 3.5 Αρχικοί οχetőι ακολουθούμενοι από παρατηρημένες αστραπές

3.5 Είδη ζημιών

Οι ζημιές που συνδέονται άμεσα με τη διέλευση του ρεύματος περιλαμβάνουν την τήξη, εξάτμιση και διάβρωση των μετάλλων την παραμόρφωση δομικών στοιχείων από μαγνητικές δυνάμεις και κύματα κρούσεως και επίσης την παραγωγή σπινθήρων.

Η ανάφλεξη των αναθυμιάσεων των καυσίμων στους εξαεριστήρες των δεξαμενών απαιτεί πολύ λίγη ενέργεια. Ευτυχώς είναι κάπως σπάνιο να υπάρχει η απαιτούμενη αναλογία αέρος-καυσίμου κατάλληλη για ανάφλεξη, παρόλα αυτά οι εξαεριστήρες των δεξαμενών καυσίμου στα μοντέρνα αεροσκάφη πάντοτε τοποθετούνται στη ζώνη 3. Οι αλληλεπιδράσεις αεροσκάφους-ηλεκτρισμού της ατμόσφαιρας είναι δυνατό να έχουν σαν αποτέλεσμα ένα ευρύ φάσμα ζημιών. Στην περίπτωση του κεραυνού, ο οχετός θα επικαθήσει σε ένα ακραίο σημείο του αεροσκάφους και κατόπιν διοχετεύεται το ρεύμα μέσω της επιφάνειας του αεροσκάφους και είναι δυνατό να έχει σαν συνέπεια δυο βασικούς τύπους ζημιών. Ο πλέον εμφανής τύπος είναι εκείνος της φυσικής ζημιάς που προκαλείται από άμεση προσέγγιση, τα χαρακτηριστικά της οποίας αναφέρθηκαν παραπάνω.

Αφού η προσέγγιση συμβαίνει στα ακραία σημεία του αεροσκάφους, παρατηρούνται, άμεσες ζημιές στις καλύτερες ραντάρ, εξογκώματα pitot, εξωτερικές κεραίες και φώτα των

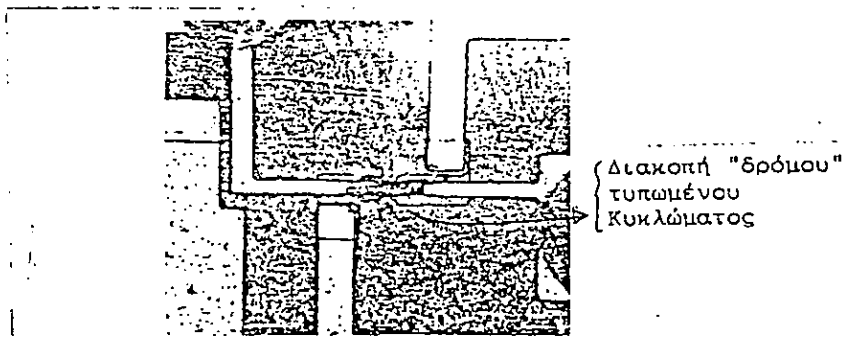
φτερών. Σε σπάνιες περιπτώσεις τα ρεύματα διαπερνούν την επιφάνεια μέσω ενός συνδεδεμένου εκεί εσωτερικού ηλεκτρικού καλωδίου. Γενικά η άμεσα φυσική ζημιά δεν δημιουργεί πρόβλημα ασφάλειας πτήσης αν και αποτελεί μέριμνα στη συντήρηση.

Η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί αρκετά και είναι καθιερωμένη πλέον στον σχεδιασμό των αεροσκαφών.

Τα έμμεσα αποτελέσματα των κτυπημάτων από κεραυνούς είναι δυο ειδών. Το πρώτο εμφανίζεται όταν ο παλμός του ρεύματος ρέει σ' ένα συνεχή μεταλλικό αγωγό όπως ένα μεταλλικό αεροσκάφος χωρίς παράθυρα ή οπές στην επικάλυψη. Τα αυξανόμενα ρεύματα ρέουν αρχικά μόνο στην εξωτερική επιφάνεια. Το ρεύμα διαδίδεται στο εσωτερικό της ατράκτου σχετικά αργά και μετά από λίγο εμφανίζεται μια διαφορά, τάσεως με την εσωτερική επιφάνεια. Το μέγεθος της εξαρτάται από το πάχος της επικάλυψης, το σχήμα του αεροσκάφους και τον τύπο του παλμού ρεύματος. Στη συνέχεια αυτή η τάση μεταδίδεται στα ηλεκτρικά κυκλώματα που είναι συνδεδεμένα στο εσωτερικό της επικάλυψης του αεροσκάφους. Η τάση είναι μικρή όταν η επικάλυψη είναι μεταλλική αλλά, είναι μεγαλύτερη όταν η επικάλυψη είναι κατασκευασμένη από σύνθετα υλικά. Με το πέρασμα ηλεκτρικού ρεύματος σημαντικού μεγέθους μέσω της επιφάνειας του αεροσκάφους και λόγω του κατά τόπους ηλεκτρικού τόξου ή ηλεκτρικών οχετών, δημιουργούνται

μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Τα πεδία αυτά είναι δυνατό να συζεύξουν μεταβατικές υπερτάσεις μέσα στην εσωτερική καλωδίωση του αεροσκάφους και μετά στα συστήματα επικοινωνίας του αεροσκάφους. Τα επίπεδα αυτών των μεταβατικών υπερτάσεων ίσως επαρκούν για να δημιουργήσουν ζημιά ή και να αχρηστεύσουν τα συστήματα επικοινωνίας.

Ο τύπος της ζημιάς του μπορεί να γίνει λόγω των μεταβατικών υπερτάσεων στα μικροηλεκτρονικά εξαρτήματα δείχνεται στο σχήμα 3.6. Στατικές εκκενώσεις όπως προαναφέραμε μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα μεταβατικών υπερτάσεων όπως και στην περίπτωση του κεραυνού. Ο τύπος των έμμεσων ζημιών είναι εκείνος που αποτελεί την πιο σοβαρή απειλή για τα συστήματα επικοινωνίας.



Σχήμα 3.6: Έμμεσες ζημιές στα μικροηλεκτρονικά εξαρτήματα

Οι συγκεκριμένοι τύποι ζημιών του αεροσκάφους, οι αιτίες που συντελούν γι' αυτές και ο προσδιορισμός του πόσο κρίσιμες είναι για το αεροσκάφος, μπορεί να είναι εκείνες που δείχνονται στον πίνακα IV.

Πίνακας IV: Επιπτώσεις του ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού στο αεροσκάφος

Κίνδυνος	Αιτία	Κρισιμότητα του κινδύνου
Δυσλειτουργία/βλάβη των συστημάτων ηλεκτρονικού ελέγχου	Μικρή ανοχή στις επιδράσεις ηλεκτρικών μεταβατικών μεγεθών οφειλόμενες στις άμεσες ή έμμεσες συνέπειες ηλεκτροποίησης λόγω κεραυνού ή στατικού ηλεκτρισμού μπορεί να επηρεάσει συγχρόνως παράλληλα τα εφεδρικά συστήματα	Δευτερεύουσα μέχρι καταστροφική
Ανάφλεξη ή έκρηξη της δεξαμενής καυσίμου	Ανάφλεξη εξαερόμενου καυσίμου λόγω παρουσίας στατικού ηλεκτρισμού ή πτώσης κεραυνού	Δευτερεύοντα μέχρι καταστροφικά

Πτώση ισχύος κινητήρα	Πιθανή ακουστική δόνηση κεραυνού στο στόμιο του κινητήρα ή επιδράσεις ηλεκτρικών μεταβατικών μεγεθών επί των μηχανισμών ελέγχου του κινητήρα.	Δευτερεύοντα μέχρι καταστροφικά
Ακούσια αποδέσμευση/ενεργοποίηση εξωτερικών φορτίων (δεξαμενές, οπλισμός)	Πρόωρη ενεργοποίηση οφειλόμενη στην επίδραση κεραυνού ή στατικής ηλεκτροδότησης	Σοβαρή μέχρι κατάστροφική
Ζημιά στην καλύπτρα του ραντάρ του χειριστηρίου και στον ανεμοθώρακα	Άμεση πτώση κεραυνού εκκένωση τόξου λόγω συσσώρευσης στατικού ηλεκτρισμού.	Δευτερεύουσα μέχρι σοβαρή
Προβλήματα οργάνων/παρεμβολή συστήματος επικοινωνίας, πλοήγησης και προσγείωσης	Επιδράσεις μεταβατικών φαινομένων λόγω συσσώρευσης στατικού ηλεκτρισμού και άμεσα ή πλησίον πτώσεως κεραυνού	Δευτερεύουσα μέχρι καταστροφική
Δομική ζημιά	Άμεση πτώση κεραυνού επί του αεροσκάφους	Δευτερεύουσα μέχρι σοβαρή
Ψυχολογική επίδραση του πληρώματος	Τύφλωση από λάμψη και εκτροπή προσοχής ή ηλεκτρική εκκένωση καθιστά ανικανότητα λόγω αμέσου ή πλησίον πτώσεως κεραυνού	Δευτερεύουσα μέχρι καταστροφική

Άλλα έμμεσα αποτελέσματα εμφανίζονται επειδή η επικάλυψη δεν είναι συνεχής. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται λόγω της διέλευσης του ρεύματος εισέρχεται σε ανοίγματα και σχισμές της επικάλυψης που καλύπτονται από μονωτικό υλικό, όπως γυαλί, perspex ή κάποιο σύνθετο πλαστικό, δημιουργώντας επαγωγικές τάσεις σε κυκλώματα που βρίσκονται πίσω από τις οπές. Το μέγεθος των τάσεων εξαρτάται από το βαθμό αύξησης του ρεύματος και την θέση των κυκλωμάτων.

Η προσεκτική σχεδίαση επιτρέπει στις επαγωγικές τάσεις να είναι τόσο χαμηλές ώστε να είναι αβλαβείς, είναι δυνατόν όμως να έχουν επικίνδυνο μέγεθος, όταν ορισμένα ηλεκτρικά συστήματα είναι κακώς τοποθετημένα.

Σε ορισμένα νέα αεροσκάφη, τμήματα της μεταλλικής επικάλυψης έχουν αντικατασταθεί από σύνθετα υλικά που περιέχουν ίνες γραφίτη. Τα υλικά αυτά είναι ελαφρά και μεγάλης αντοχής, η ηλεκτρική τους αντίσταση όμως είναι περίπου χίλιες φορές μεγαλύτερη αυτής των μετάλλων.

Γι' αυτό τον λόγο η άμεση ζημιά που προκαλείται όταν ο οχετός του κεραυνού έλθει σε επαφή με την επιφάνεια είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από ότι θα ήταν στην περίπτωση της μεταλλικής επικάλυψης.

Όταν η επιφάνεια είναι φτιαγμένη από σύνθετα υλικά με βάση τον υαλοβάμβακα, που είναι μονωτικό υλικό, δεν παρατηρείται άμεση ζημιά από το χτύπημα του κεραυνού.

Υπάρχει όμως η πιθανότητα διάτρησης μιας τέτοιας επιφάνειας τη στιγμή του κτυπήματος. Όσον αφορά τα αποτελέσματα της ροής του ρεύματος στα κυκλώματα που βρίσκονται πίσω από επιφάνειες με σύνθετα υλικά είναι τα ίδια σαν να μην υπήρχε η επιφάνεια.

Η διείσδυση του μαγνητικού πεδίου γίνεται σχεδόν τόσο γρήγορα όσο θα γινόταν αν το σημείο αυτό ήταν ανοικτό. Στιγμιαία εμφανίζονται πολύ υψηλές τάσεις στις σύνθετες επιφάνειες, αλλά σύντομα το ρεύμα διοχετεύεται στα γειτονικά μέταλλα. Οι τάσεις μέσα σε ένα αεροσκάφος κατασκευασμένο από σύνθετα υλικά μπορεί να είναι πολύ υψηλότερες από αυτές μέσα σε ένα μεταλλικό αεροσκάφος. Πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στην σχεδίαση αεροσκαφών όταν χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά για την προστασία των ηλεκτρονικών συσκευών, ιδιαίτερα των ψηφιακών.

Κεφάλαιο 4

Αντικεραυνική προστασία αεροσκαφών

Στο κεφάλαιο αυτό θα συζητηθούν οι τρόποι με τους οποίους προστατεύονται τα αεροσκάφη, από τα άμεσα και έμμεσα κτυπήματα των κεραυνών, καθώς επίσης θα συζητηθεί ο τρόπος εξουδετέρωσης των ραδιοπαρεμβολών, λόγω στατικής φόρτισης του αεροσκάφους. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά το στάδιο του σχεδιασμού και πριν παρθεί η τελική απόφαση για την ~~μέθοδο και τα μέσα προστασίας που θα χρησιμοποιηθούν,~~ λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω σοβαρά βασικά κριτήρια:

1. Η ασφάλεια της πτήσης
2. Ο βαθμός αξιοπιστίας μεθόδου και μέσων
3. Περιοριστικοί παράγοντες (βάρος, αντοχή, ακαμψία)
4. Κόστος εφαρμογής
5. Κόστος συντήρησης

Τα κριτήρια αυτά θα πρέπει να κυριαρχούν σε όλες τις φάσεις σχεδίασης και εφαρμογής της αντικεραυνικής προστασίας των ηλεκτρικών και δομικών στοιχείων του αεροσκάφους με ιδιαίτερη φροντίδα σε επιμέρους τμήματα, συστήματα, υποσυστήματα και

μονάδες (παρελκούμενα) όπως καλώδια, δεξαμενές καυσίμου, κεραίες κλπ. που χρησιμοποιούνται στο αεροσκάφος.

4.1 Προστασία ηλεκτρικών κυκλωμάτων

Η προσβολή κεραυνού σε σύγχρονο αεροσκάφος μπορεί να προκαλέσει στιγμιαία διακοπή της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι όμως ελάχιστες οι περιπτώσεις που αναφέρονται σε πλήρη απώλεια ισχύος.

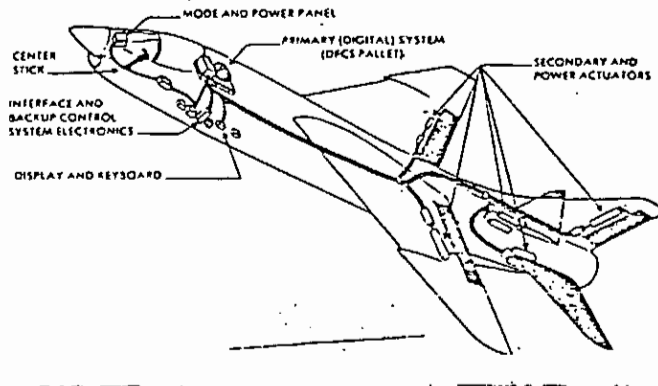
Αυτό οφείλεται στις έντονες προσπάθειες των κατασκευαστών για την αντιμετώπιση του προβλήματος με προσεχτικό σχεδιασμό και λήψη μέτρων, όπως η εκτεταμένη χρήση ανασχαιτών-αλεξικέραυνα, παρακαμπτήριες ζεύξεις, θωρακίσεις κλπ. Η προστασία γίνεται δυσκολότερη όσο τα ηλεκτρονικά κυκλώματα του αεροσκάφους γίνονται πιο πολύπλοκα. Ένας από τους σοβαρότερους λόγους είναι η ισχυρή επαγωγή και η δύναμη επιρροής στα σύγχρονα ψηφιακά ημιαγωγά κυκλώματα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσεων ικανών για την καταστροφή των ηλεκτρονικών στοιχείων (συνηθισμένη βλάβη) ή της βραχυκύκλωσης των φορέων παροχής ισχύος. Λόγω της σοβαρότητας του κινδύνου που διατρέχει το αεροσκάφος από τις επαγώμενες τάσεις των εκκενώσεων κεραυνών, θα αφιερώσουμε ένα μεγάλο μέρος στο κεφάλαιο αυτό για το θέμα της θωράκισης αναπτύσσοντας το σε βάθος.

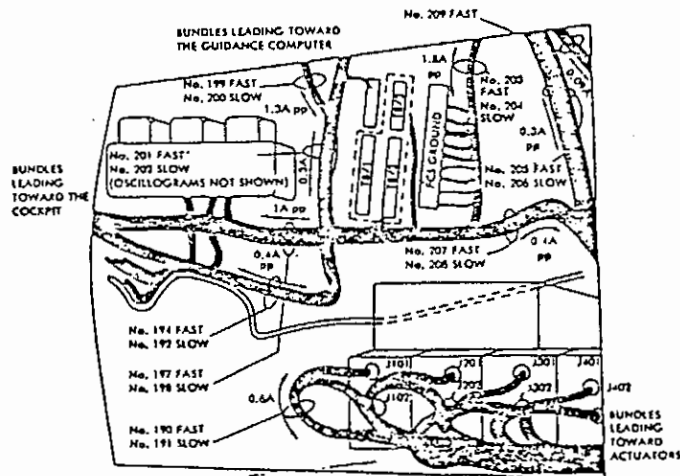
4.1.1 Προστασία Συστημάτων Αεροπλοΐας από έμμεσες επιδράσεις

Έχοντας εκτιμήσει, σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία, το κατά πόσο ευπρόσβλητα είναι τα εξαρτήματα αεροπλοΐας από τις επαγόμενες τάσεις των εκκενώσεων κεραυνών, θα είναι δυνατόν να αναγνωρισθούν τα συστήματα και εξαρτήματα, που έχουν ανάγκη προστασίας. Γενικά η προστασία επιταχύνεται ή με τον σχεδιασμό της καλωδίωσης του αεροσκάφους με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτή να είναι λιγότερο επιρρεπής στις επιδράσεις των κεραυνών, ή με την τοποθέτηση συσκευών προστασίας που θα περιορίζουν τις μεταβατικές τάσεις σε ανεκτά επίπεδα. Σε μερικές περιπτώσεις όταν είναι απαραίτητο γίνεται συνδυασμός και των δυο τρόπων. Παρακάτω θα περιγράψουμε τον τρόπο υπολογισμού των μεγεθών των τάσεων και ρευμάτων που προκαλούνται σε θωρακισμένες και όχι θωρακισμένες καλωδιώσεις, καθώς επίσης τον τρόπο που αυτές οι θωρακίσεις πρέπει να χρησιμοποιούνται, για τον περιορισμό των επιδράσεων στα ευαίσθητα κυκλώματα. Θα γίνει ανασκόπηση της πρακτικής σχεδιασμού κυκλωμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ελαχιστοποίηση των επαγωγικών επιδράσεων, καθώς επίσης τους διαφορετικούς τύπους συσκευών συμπίεσης αιχμών που είναι διαθέσιμες, καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μιας.

4.1.2 Υπολογισμός Τάσεων και Ρευμάτων που επάγονται στα κυκλώματα χωρίς προστασία

Το πρώτο βήμα στο σχεδιασμό συστήματος προστασίας για τα εξαρτήματα αεροπλοίας είναι ο υπολογισμός του μεγέθους των επιδράσεων που επάγονται. Θεωρητικά οι από επαγωγή τάσεις και ρεύματα που εμφανίζονται στη καλωδίωση του αεροσκάφους μπορούν να υπολογισθούν από την γεωμετρία της και από τη γνώση της ισχύος και του προσανατολισμού των εσωτερικών και μαγνητικών πεδίων.



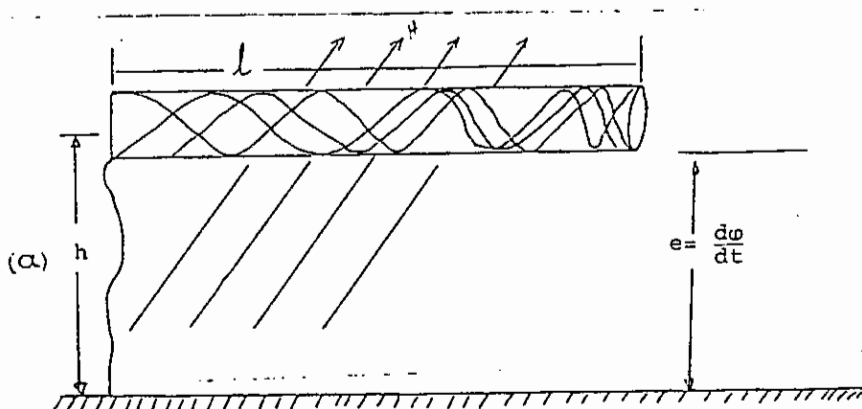


Σχήμα 4.1 Δεσμίδες (Bundles) καλωδίων στο εσωτερικό του αεροσκάφους

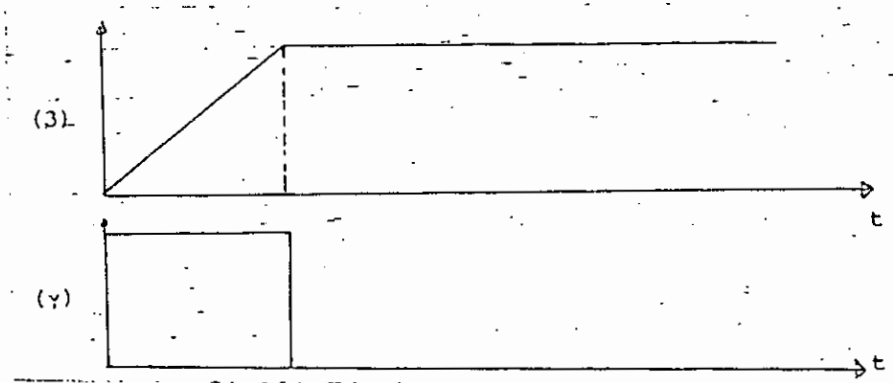
Ο υπολογισμός των τάσεων και των ρευμάτων των καλωδιώσεων του αεροσκάφους μπορεί να είναι πρακτικά ανέφικτος λόγω της μηχανικής πολυπλοκότητας των περισσότερων καλωδιακών διακλαδώσεων. Από το σχήμα 4.1 μπορεί κανείς να αντιληφθεί την πολυπλοκότητα των καλωδιώσεων στο εσωτερικό του αεροσκάφους.

Οι υπολογισμοί όμως μπορεί να εκτελεσθούν για απλουστευμένα γεωμετρικά σχήματα, να διευκρινίσουν την έκταση του προβλήματος και να υποδείξουν τρόπους για την ελαχιστοποίηση των τάσεων και ρευμάτων με αποτέλεσμα να μειώνονται οι κίνδυνοι καταστροφής.

Το πιο απλό γεωμετρικό σχήμα που μπορεί να εξετασθεί είναι η περίπτωση αγωγού ή ομάδων αγωγών, τοποθετημένων δίπλα σε μια μεταλλική επιφάνεια που είναι εκτεθειμένη σ' ένα ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο προσανατολισμένο έτσι που να δημιουργείται μια μέγιστη τάση στην καλωδίωση. Μια τέτοια διάταξη φαίνεται στο σχήμα 4.2



Σχήμα 4.2 Απλό γεωμετρικό σχήμα καλωδίου



Σχήμα 4.2 Απόκριση στο μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο (α) γεωμετρία (β)
 Κυματομορφή μαγνητικού πεδίου (γ) Κυματομορφή τάσης

Η τάση που επάγεται στον αγωγό είναι:

$$e = \frac{d\phi}{dt} = \mu_0 A \frac{dH}{dt} \quad (1)$$

Όπου:

A= περιοχή του βρόγχου σε m².

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$, [H/m].

H = Ένταση μαγνητικού πεδίου, [A/m].

t= seconds

e= Volts

$$e=8,11 \times 10^{-10} \cdot lh \cdot \frac{dH}{dt} \text{ [inches]} \quad (2)$$

όπου: l = μήκος της ομάδας αγωγών (cable bundle), inches

h = ύψος πάνω στο έδαφος, inches.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η τάση που υπολογίζεται είναι αυτή που υπάρχει μεταξύ ολόκληρης της ομάδας των αγωγών (που αποτελούν το καλώδιο) και τον σκελετό του αεροσκάφους.

Για την ανάλυση της χειρότερης περίπτωσης, θεωρούμε το ένα άκρο του καλωδίου γειωμένο και το άλλο ανοικτό (open circuit) οπότε όλη η τάση θα εμφανισθεί στα άκρα του ανοικτού κυκλώματος. Οι τάσεις line-to-line θα είναι μικρότερες των τάσεων κοινής μορφής λόγω του ότι οι γειωμένοι αγωγοί βρίσκονται, κοντά μεταξύ τους και είναι συνήθως περιπλεγμένοι με αποτέλεσμα την μείωση της συνολικής περιοχής (A). Το μέγιστο ρεύμα του καλωδίου είναι εκείνο που διέρχεται όταν τα δύο άκρα του είναι συνδεδεμένα στο σκελετό του οχήματος μέσω μιας χαμηλής ή μηδενικής σύνθετης αντίστασης, η οποία μπορεί να είναι το σύνολο μιας θωράκισης γειωμένης στο κάθε άκρο (ή μπορεί να είναι μια ομάδα από κυκλώματα ημιαγωγών, που το καθένα χαρακτηρίζεται από μια χαμηλή σύνθετη αντίσταση).

Στη πρώτη περίπτωση το ρεύμα θα περάσει σ' ολόκληρη την θωράκιση, ενώ το ρεύμα στην είσοδο κυκλωμάτων θα

προσδιορίζεται από τις προστατευτικές ιδιότητες της θωράκισης. Στη δεύτερη περίπτωση το ρεύμα θα περάσει κατ' ευθείαν μέσα από τους ημιαγωγούς της εισόδου και των πηγών πόλωσης.

Στο σχήμα 4.3 το βραχυκυκλωμένο ρεύμα μπορεί να προσδιορισθεί από την γνωστή εξίσωση.

$$e = L \frac{di}{dt} \quad (3) \quad \text{όπου} \quad i = \frac{1}{L} \int e dt \quad (4)$$

όπου: I= Ampere

L= Αυτεπαγωγή της καλωδίωσης (H)

e= Τάση που επάγεται στο ανοικτό κύκλωμα (V)

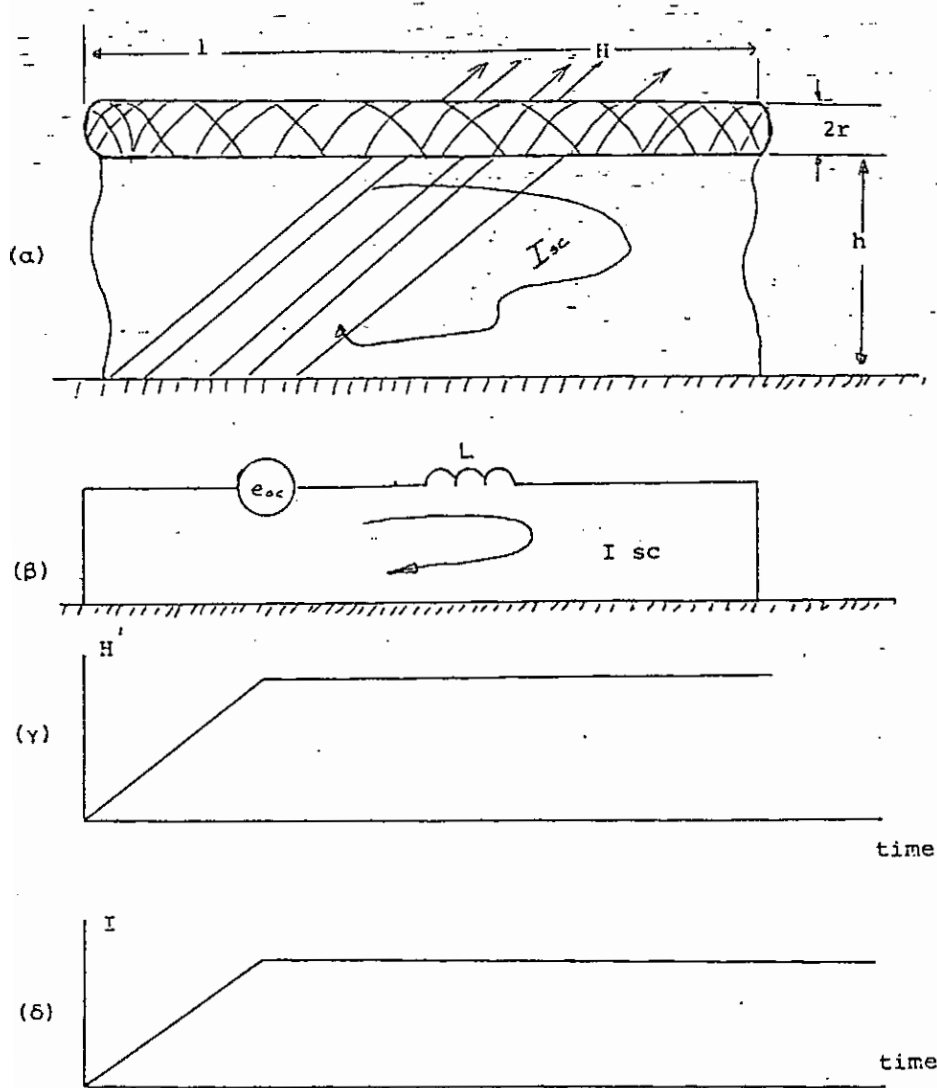
t= second

Η επαγωγή του καλωδίου υπολογίζεται από την έκφραση.

$$L = 2 \times 10^{-7} \log e \frac{4h}{d} \quad [H/m] \quad (5)$$

όπου: h= ύψος πάνω από το έδαφος

d = διάμετρος αγωγού



Σχήμα 4.3 Απόκριση σε μεταβαλλόμενο ΜΓΓ: Ρεύμα βραχυκύκλωσης α) γεωμετρία, β) ισοδύναμο κύκλωμα, γ) κυματομορφή ΜΓΓ, δ) κυματομορφή ρεύματος.

Η τάση (e) που επάγεται και ωθεί το ρεύμα, είναι ανάλογη με το ύψος του καλωδίου (h) αλλά η επαγωγική αντίσταση του καλωδίου που επιδρά στη ροή του ρεύματος είναι ανάλογη με το ύψος του καλωδίου.

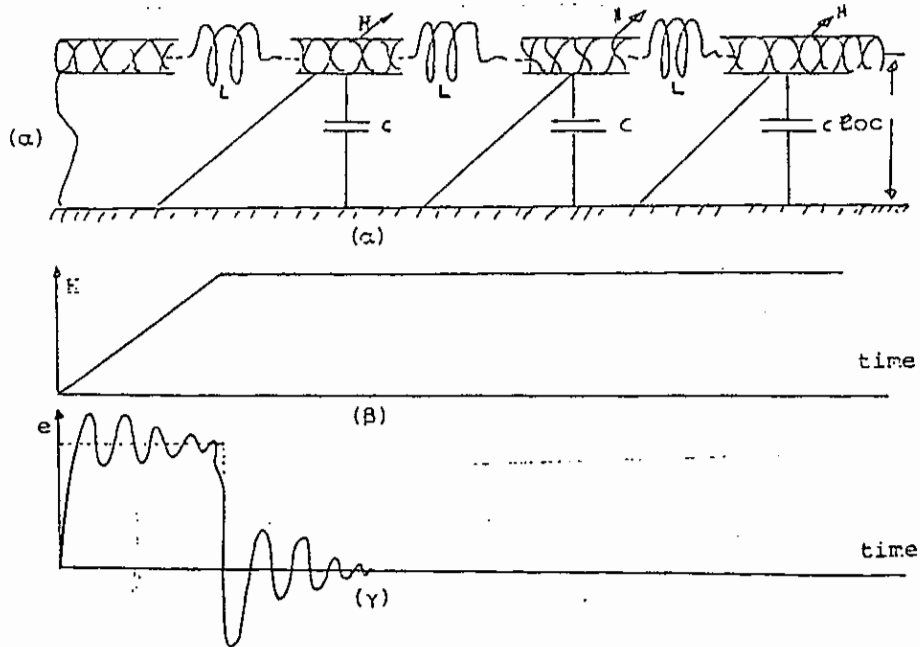
4.1.3. Επιδράσεις των χαρακτηριστικών της γραμμής

Όπως είναι γνωστό οι αγωγοί χαρακτηρίζονται από κάποια κατανομημένη χωρητικότητα και επαγωγή, οι τιμές των οποίων προσδιορίζονται από το μέγεθος των αγωγών και την απόσταση τους από παραπλήσια επίπεδα γείωσης και άλλων αγωγών.

Όταν αυτά ληφθούν υπόψη, επιδρούν στην μεταβολή ενός ΜΠ με αποτέλεσμα την ταλάντωση της τάσης στο ανοικτό κύκλωμα που όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 4.4 υπερτίθενται επί μιας τάσης ανάλογης με την μεταβολή ταχύτητας του ΜΠ.

Όταν το εσωτερικό μαγνητικό πεδίο είναι κύμα πολύπλοκων σχημάτων (όπως είναι συνήθως) και όχι όπως του σχήματος 4.4.γ, η τάση που προκαλείται μπορεί να είναι πάρα πολύ πολύπλοκη. Παρόλο της πολύπλοκης φύσης των υπερτιθέμενων παλμών, το πλάτος της περιβάλλουσας μπορεί να προσεγγισθεί από τις εξισώσεις (1) και (2). Η συχνότητα του υπερτιθέμενου παλμού τείνει να είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους του αγωγού. Θωρακίσεις γειωμένες στο ένα άκρο τείνουν να

ταλαντεύονται σαν δίπολοι $\lambda/4$ όπως π.χ. ένας αγωγός 10[m] μήκους τείνει να ταλαντεύεται στους 7,5 [MHz].



Σχήμα 4.4 Ταλάντωση τάσης οφειλόμενη σε μεταβαλλόμενο Μ.Π. α) γεωμετρία, β) κυματομορφή Μ.Π., γ) κυματομορφή τάσης

Ακόμη και αυτή η απλή περίπτωση είναι δύσκολο να εφαρμοσθεί, επειδή ένας αγωγός σπάνια είναι ανεπηρέαστος από τις επιδράσεις των αγωγών που βρίσκονται κοντά του. Η καλωδίωση των αεροσκαφών όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1 είναι ομαδοποιημένη σε «wiring bundles» που περιέχουν (Bundles)

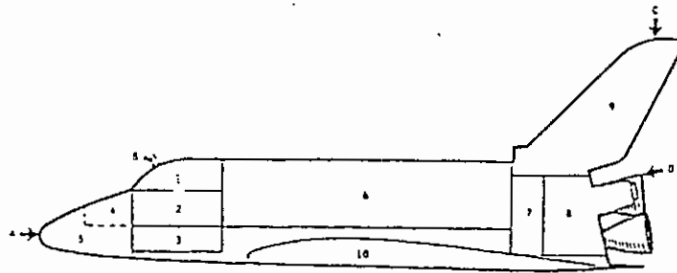
μακρείς και κοντούς αγωγούς, τα οποία ακόμα και αν εκτεθούν με μαγνητικό πεδίο απλής κυματομορφής, θα ταλαντευθούν κατά πολύπλοκο τρόπο. Σε γενικές γραμμές, θα υπάρχει μια υπερισχύουσα συχνότητα με μερικές άλλες συχνότητες συνήθως ψηλότερες οι οποίες υπερτίθενται σ' αυτή. Κάθε μια από αυτές τις συχνότητες θα έχει την δική της χαρακτηριστική απώλεια. Η μόνη αξιόπιστη γενίκευση είναι ότι τα καλώδια που έχουν σχέση με μεγάλα αεροσκάφη θα είναι μακρύτερα εκείνων που έχουν σχέση με μικρά αεροσκάφη και θα ταλαντεύονται σε χαμηλότερες συχνότητες. Μετρήσεις επαγωγικών τάσεων που έγιναν σε μαχητικά αεροσκάφη έδειξαν ότι οι συχνότητες αυτές βρίσκονται στην περιοχή 1-10 [MHz]. Τα ρεύματα που μετρήθηκαν στα «wire bundles» ήταν σχεδόν παλμικά (το ίδιο και οι τάσεις). Αυτό συμβαίνει γιατί οι δέσμες αγωγών (wire bundles) είναι μέρος μιας ομάδας καλωδίωσης που έχει και μοναδικό σημείο γείωσης.

Αν οι αγωγοί αποτελούν μέρος μιας ομάδας καλωδίωσης που έχει πολλά σημεία γείωσης τα ρεύματα των αγωγών δεν τείνουν να ταλαντεύονται, αλλά ακολουθούν την μορφή του εσωτερικού μαγνητικού πεδίου.

4.4.1. Ζώνες μαγνητικών πεδίων

Από τα προηγούμενα συμπεραίνουμε ότι προκειμένου να προσδιορίσουμε τα μεγέθη των επαγωγμένων ρευμάτων ή τάσεων θα πρέπει να γνωρίζουμε τα Μ.Π. στο εσωτερικό του

αεροσκάφους. Αυτό όμως είναι πάρα πολύ δύσκολο να γίνει. Μια πιθανή λύση του προβλήματος είναι η διαίρεση του αεροσκάφους σε σχετικά μικρές ζώνες: Δηλαδή να προσδιορισθεί η ένταση του Μ.Π. σ' αυτές τις ζώνες και να καθιερωθούν πίνακες με τα χαρακτηριστικά των πιθανών μεταβατικών επαγωγών στις καλωδιώσεις που έχουν ορισμένο μήκος. Η ιδέα αυτή χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο πρόγραμμα και δείχνεται στο παρακάτω σχήμα 4.5



Σχήμα 4.5 Ζώνες θωράκισης του Διαστημικού Λεωφορείου 1. 1. Κονσόλα πλοήγησης, 2. Κεντρικός χώρος συσκευών, 3. Χαμηλότερος χώρος συσκευών, 4. Έμπροσθεν άνω τμήμα, 5. Έμπροσθεν κεντρικό τμήμα, 6. Χώρος αποθήκευσης φορτίου, 7. Χώρος διαφόρων συσκευών αεροσκαφών.

4.1.5. Βοηθήματα για τον υπολογισμό των εκτιμώμενων τάσεων και ρευμάτων

Τα Μ.Π. που θεσπίστηκαν για κάθε ζώνη μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό των κατά προσέγγιση τάσεων και ρευμάτων που θα επηρεάσουν τους αγωγούς ή τις θωρακίσεις ενός αεροσκάφους. Για τον σκοπό αυτό έγιναν οι παρακάτω υποθέσεις.

1. Ο αγωγός (ή θωράκιση) έχει μήκος (l), διάμετρος (d) και απέχει ένα ύψος (h) πάνω από το επίπεδο γείωσης που είναι η επιφάνεια του αεροσκάφους ή το πάτωμα.
2. Το Μ.Π. προσανατολίζεται για να δημιουργηθεί η V_{max} στον αγωγό
3. Το ένα άκρο του αγωγού είναι γειωμένο.
4. Η μορφή των Μ.Π. είναι το σχήμα 4.6. Μετά από αυτές τις υποθέσεις:

$$I_{oc} = K_1 \cdot l \cdot h \cdot H$$

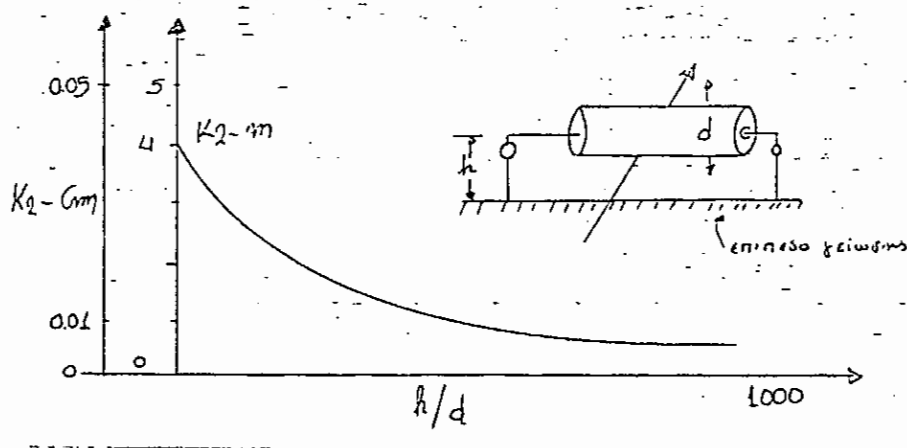
όπου $K_1 = 0.63$

Η μορφή I_{oc} θα είναι ανάλογη προς την παράγωγο του πεδίου (H A/m), άρα ταλαντεύεται.

Αν θεωρήσουμε ότι ο αγωγός είναι γειωμένος και στα δυο άκρα τότε:

$$I_{sc} = K_2 \cdot I \cdot h \cdot H$$

Το K_2 δίνεται από την χαρακτηριστική του σχήματος 4.6



Σχήμα 4.6 Υπολογισμός της τιμής του K_2

Η κυματομορφή του I_{sc} τείνει να ομοιάσει με αυτή του Μ.Π. το μήκος του αγωγού δεν επηρεάζει I_{sc} .

Το ύψος h , μιας δέσμης καλωδίων πάνω από το επίπεδο γείωσης είναι δύσκολο να προβλεφτεί γιατί το επίπεδο γείωσης σπάνια είναι καθαρά επίπεδη επιφάνεια και επιπλέον γιατί η δέσμη καλωδίων είναι συχνά συνδεδεμένη κατευθείαν σε κάποιο δομικό στήριγμα του σκελετού του αεροσκάφους. Για λόγους ανάλυσης όμως θεωρούμε ότι:

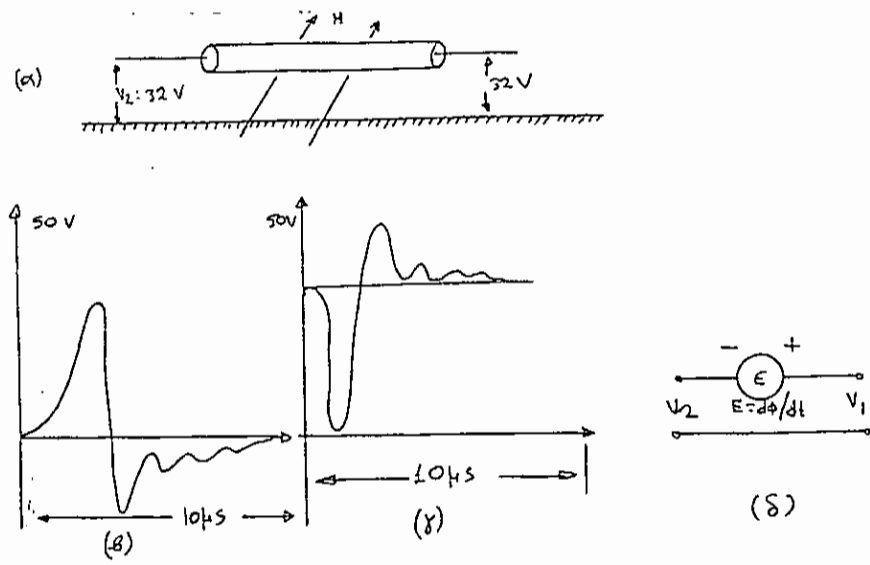
1. Το ύψος (h) μετράται προς το κοντινότερο μεταλλικό εξάρτημα του σκελετού.
2. Αν η δέσμη καλωδίων βρίσκεται ακριβώς πάνω στο εξάρτημα (h) είναι ίσο με το $1/2d$
3. Αν η δέσμη αιωρείται πάνω από το μεταλλικό εξάρτημα, το ύψος (h) είναι ίσο με την απόσταση από το εξάρτημα συν $1/2d$ (Αν το ύψος μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο τότε παίρνουμε το μέσο όρο του (h)).

4.2 Αποτελεσματικότητα της θωράκισης

4.2.1 Γείωση της θωράκισης

Μια θωράκιση είναι αποτελεσματική κατά του Μ.Π. όταν είναι γειωμένη στο σκελετό του αεροσκάφους στα δυο άκρα της, οπότε το I_{sc} που υπολογίστηκε στον πίνακα (VI) θα περάσει μέσα στη θωράκιση δημιουργώντας έτσι μια μαγνητική ροή που θα τείνει να εξουδετερώσει την αρχική ροή. Αν όμως το άκρο της θωράκισης παραμείνει αγείωτο η επαγωγική τάση θα εμφανισθεί μεταξύ του αγείωτου άκρου της θωράκισης και του σκελετού, με αποτέλεσμα να μη κυκλοφορήσει ρεύμα ή να μην εμφανισθεί η ροή εξουδετέρωσης. Προκειμένου να δώσουμε μια εικόνα των επιδράσεων αυτών θα εξετάσουμε ένα πείραμα που έγινε σ' ένα ομοαξονικό καλώδιο μήκους 5 μέτρων. Το καλώδιο αυτό

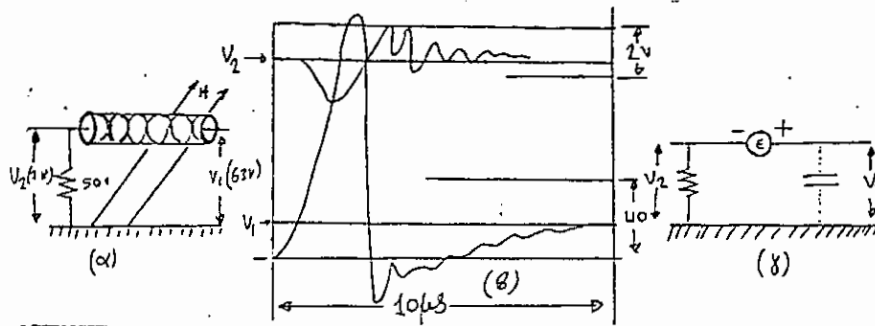
τοποθετήθηκε κοντά σε μια μεταλλική επίπεδο γείωση και μεταξύ αυτής και του καλωδίου πέρασε Μ.Π. Η πρώτη σειρά των αποτελεσμάτων δείχνεται στο παρακάτω σχήμα 4.7.



Σχήμα 4.7 Αγείωτα και τα δύο άκρα της θωράκισης

Παρατηρούμε ότι οι τάσεις και τα δύο άκρα είναι ίσες και αντίθετες, (με σύνθετες αντιστάσεις των φορτίων ισορροπημένες), δηλαδή μπορούμε να πούμε ότι ο αγωγός συμπεριφέρεται σαν μια γεννήτρια με ισοδύναμη τάση στο κέντρο αυτού (σχήμα 4.7γ). Αν οι σύνθετες αντιστάσεις στα δυο άκρα δεν είναι ισορροπημένες προσθέτουμε μια $R=50[\Omega]$ στο ένα άκρο οπότε η συνολική τάση του βρόγχου που επάγεται παραμένει αμετάβλητη

σχήμα 4.8 αλλά το μεγαλύτερο ποσοστό της τάσης εμφανίζεται στο άκρο με την μεγαλύτερη σύνθετη αντίσταση.

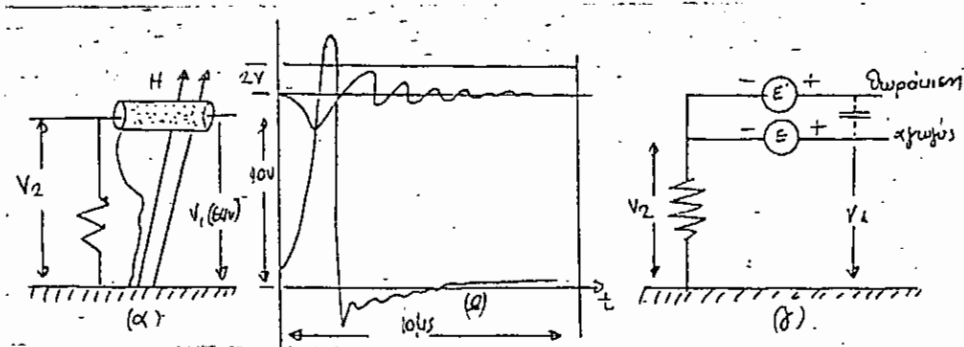


Σχήμα 4.8 Unequal load Impedance

(a) Test conditions, (b) Volt

Το γεγονός ότι εμφανίζεται κάποια τάση V_2 (όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8β,γ σημαίνει ότι υπάρχει κάποια χωρητική φόρτιση καθώς επίσης η επιθυμητή αντίσταση φορτίου.

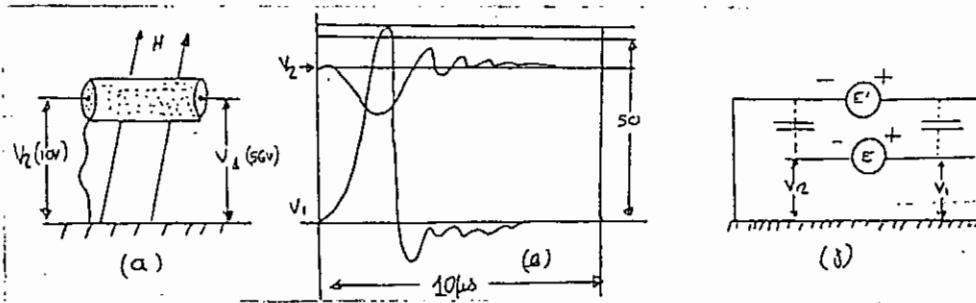
Η γείωση της θωράκισης που φαίνεται στο σχήμα 4.9 δεν επηρεάζει σημαντικά την συνηθισμένη μορφή της τάσης στο άλλο άκρο.



Σχήμα 4.9 Γείωση θωράκισης στο ένα άκρο. α) Συνθήκες δοκιμής, β) τάσεις, γ) ισodύναμα κυκλώματα

Το μεταβαλλόμενο Μ.Π. θα επάγει τόση μεταξύ του ανοικτού άκρου της θωράκισης και της γείωσης. Ο αγωγός βρίσκεται μέσα στο ίδιο πεδίο και έτσι η τάση που δημιουργείται μεταξύ των άκρων των αγωγών είναι η ίδια με της θωράκισης.

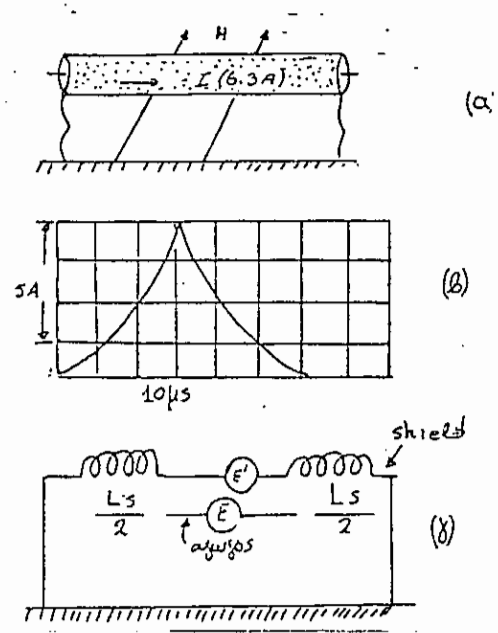
Λόγω των όχι ισοροπημένων σύνθετων αντιστάσεων, ολόκληρη η τάση αυτή πρέπει να εμφανίζεται μεταξύ του αγωγού-γείωσης. Αν αγνοήσουμε τις περιπτώσεις άνισης σύνθετης αντίστασης η θωράκιση μπορεί να μειώσει την τάση στο ένα άκρο, μόνο αν την αυξήσει στο άλλο. Το φαινόμενο αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 4.10.



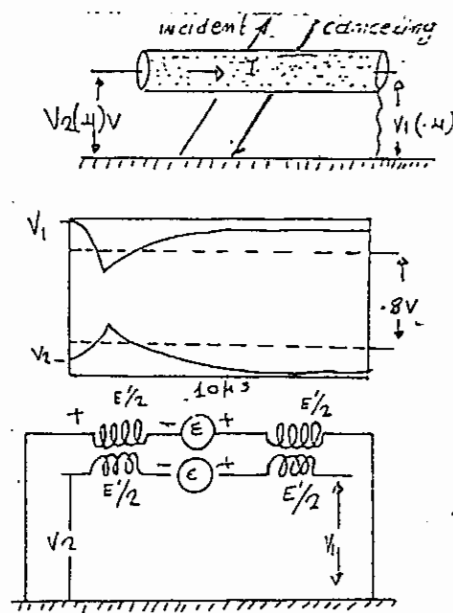
Σχήμα 4.10 Γείωση θωράκισης στο ένα άκρο

Η αιτία που η θωράκιση μειώνει την τάση είναι ότι η χωρητικότητα μεταξύ θωράκισης και αγωγού στα χωρίς γείωση άκρα φορτώνει τον αγωγό ακριβώς όπως έκανε η $R=50[\Omega]$ στο σχήμα 4.8.

Αν γειωθούν και τα δυο (2) άκρα όπως στο σχήμα 4.11 παρατηρούμε μια τελείως διαφορετική συμπεριφορά. Η τάση που επάγεται λόγω του μεταβαλλόμενου Μ.Π. στη θωράκιση δημιουργεί την ροή ρεύματος, μειώνει τη τάση που επάγεται όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.12.



Σχήμα 11: Γείωση και στα δυο άκρα της θωράκισης



Σχήμα 12: Γείωση των δυο της θωράκισης

Η μείωση των τάσεων μπορεί να εξετασθεί εξίσου καλά από δύο (2) διαφορετικές σκοπιές.

1. Το ρεύμα της θωράκισης δημιουργεί ένα Μ.Π. που τείνει να εξουδετερώσει το προσβάλλον Μ.Π. Με βάση την σκοπιά αυτή οι τάσεις μεταξύ αγωγού-γης, αντιστοιχούν μόνο στη διαφορά μεταξύ προσβαλλόντων πεδίων και του πεδίου εξουδετέρωσης.
2. Η μείωση της τάσης μπορεί να θεωρηθεί σαν η επίδραση της αμοιβαίας επαγωγής μεταξύ της θωράκισης και του αγωγού.

Αυτό μπορεί να εξηγηθεί αναφερόμενοι στο σχήμα 12γ.

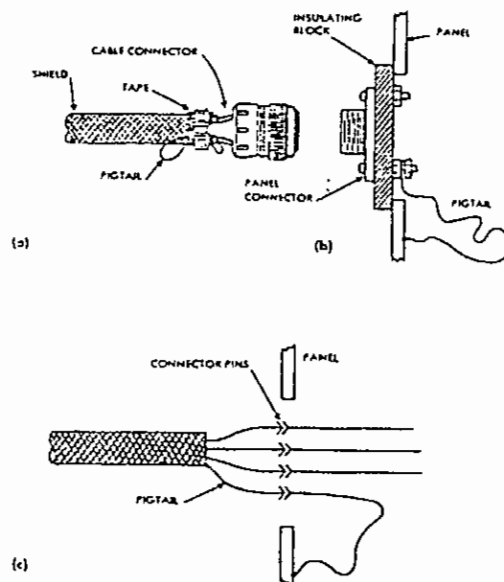
Η τάση μεταξύ των δύο άκρων του αγωγού είναι το άθροισμα της τάσης (E) που επάγεται στον αγωγό και αυτής που οφείλεται στην σύζευξη (λόγω αμοιβαίας επαγωγής) μεταξύ της θωράκισης και του αγωγού. Αφού η θωράκιση είναι γειωμένη και στα δύο άκρα, οπότε μπορεί να φέρει ρεύμα, η τάση που εμφανίζεται στο πρωτεύον (ισοδύναμο μετασχηματιστή) είναι ίση με την E που επάγεται μεταξύ των (2) άκρων της θωράκισης λόγω του προσβάλλοντος πεδίου. Αφού η αμοιβαία σύζευξη μεταξύ θωράκισης-αγωγού είναι σχεδόν (1) η τάση που επάγεται στο δευτερεύον (ή τον αγωγό) είναι περίπου ίση με την αρχική επαχθείσα τάση στην θωράκιση.

Αντίστοιχα οι τάσεις που εμφανίζονται, στα άκρα τον αγωγού είναι σημαντικά κατώτερες απ' ό,τι θα ήταν αν μέσω της θωράκισης δεν μπορούσε να διαρρεύσει ρεύμα.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν οι θωρακίσεις για τις οποίες αναφερόμαστε ήταν «τέλειες», η ροή του ρεύματος δεν θα δημιουργούσε καμιά διαφορά δυναμικού μεταξύ θωράκισης-αγωγού. Υπάρχουν όμως παράγοντες όπως, η ωμική αντίσταση που δεν επιτρέπει τις θωρακίσεις των καλωδίων να είναι τέλειες. Παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη της τάσης που μπορεί να εμφανισθεί μεταξύ αγωγού-θωράκισης είναι πόσο (βαθμό) η θωράκιση επιτρέπει διαρροή Μ.Π. και ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του καλωδίου. Αυτό εξαρτάται από τη μορφή (δικτυωτές, συμπαγείς, κυλινδρικές θωρακίσεις) που τους δίνει ο εκάστοτε κατασκευαστής.

4.2.2 Παράγοντες γείωσης των θωρακίσεων

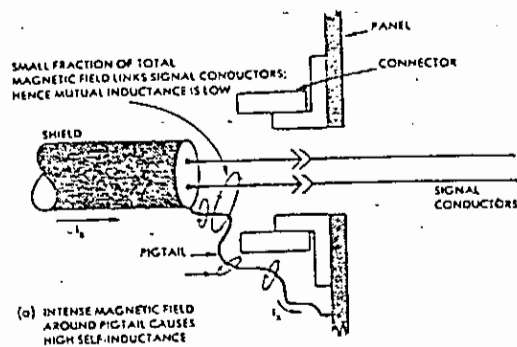
Ο τρόπος που είναι γειωμένη μια θωράκιση καλωδίου στο σκελετό του αεροσκάφους μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στο επίπεδο της τάσης που επάγεται στους θωρακισμένους αγωγούς. Ένας κοινός τρόπος μεταχείρισης των θωρακίσεων φαίνεται στο σχήμα 4.13 στο οποίο η θωράκιση έχει καλυφθεί με μονωτική ταινία και συνδεθεί μέσω ενός ειδικού αγωγού που έχει την ονομασία πλεξίδα στο πίσω κέλυφος.



Σχήμα 4.13

Παρόμοια πρακτική είναι η χρησιμοποίηση ενός πλακιδίου μόνωσης για την απομόνωση του panel connector του σχήματος 4.13.β από το κυρίως panel και να γειωθεί το panel connector, είτε πάνω στο κυρίως panel μέσω του ειδικού αγωγού γείωσης «Pigtail» (πλεξίδα), ή όπως συνήθως γίνεται να γειωθεί σε κάποιο εσωτερικό κεντρικό φορέα γειώσεων. Στο σχήμα 4.13.γ δείχνεται ακόμα ένας κοινός τρόπος γείωσης της θωράκισης μέσω αυτού του ειδικού αγωγού (πλεξίδας). Οι μέθοδοι γείωσης με «Pigtail», όμως παρουσιάζουν δυο βασικά μειονεκτήματα.

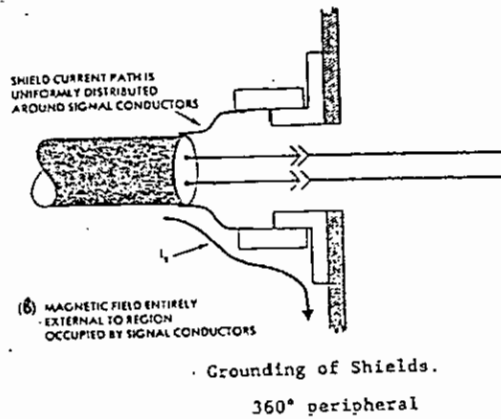
Στο σχήμα 4.14 το ρεύμα θωράκισης αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια μικρή διάμετρο με αποτέλεσμα την δημιουργία Μ.Π. στην επιφάνεια του αγωγού πολύ πιο έντονου απ' ότι θα δημιουργούσε αν πέρναγε από αγωγό μεγαλύτερης διαμέτρου.



Σχήμα 4.14 Γείωση της θωράκισης μέσω «Pigtail»

Αν το ρεύμα της θωράκισης μεταφερθεί στο έδαφος με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα 4.15 η τάση που θα επαχθεί στον αγωγό θα είναι πολύ μικρότερη για τους εξής λόγους:

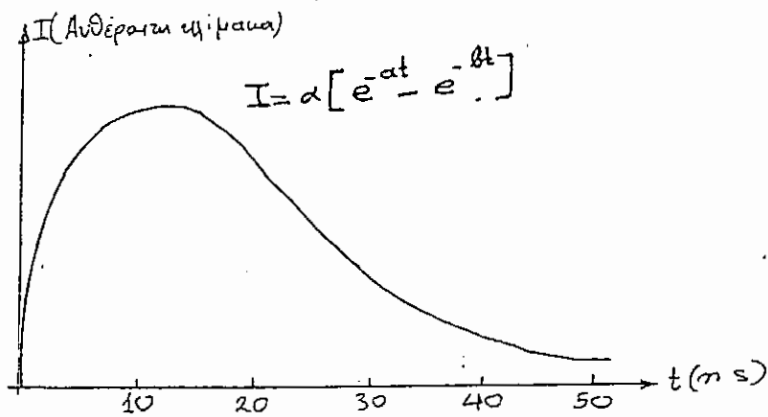
1. Το μήκος του αγωγού (1) που θα περάσει το ρεύμα της θωράκισης μικρότερο.
2. Η ένταση του Μ.Π. (εξωτερικά της θωράκισης) θα ελαττωθεί χάρις στην μεγαλύτερη διάμετρο του δρόμου που θα ακολουθήσει η ροή του ρεύματος της θωράκισης,
3. Η ένταση του πεδίου μέσα στη θωράκιση είναι πολύ χαμηλή (σχεδόν μηδέν).



Σχήμα 4.15: Γείωση και θωράκιση περιφερειακά

4.3 Προστασία από ραδιοπαρεμβολές

Η σοβαρότερη πηγή των ραδιοπαρεμβολών στους δέκτες και στα συστήματα πλοήγησης των αεροσκαφών είναι η δημιουργία του φαινομένου Corona. Για να αντιληφθούμε την έκταση των ραδιοπαρεμβολών στα παρακάτω σχήματα 4.16 δείχνεται ένας τυπικός παλμός Corona και το φάσμα των συχνοτήτων που καλύπτει.



Σχήμα 4.16 α) τυπικός παλμός Corona

4.3.1 Μέσα εξουδετέρωσης ραδιοπαρεμβολών

Αυτά τοποθετούνται στα αεροσκάφη για να μειώνουν τις παρεμβολές στους δέκτες, οι οποίες δημιουργούνται όπως

είπαμε σε προηγούμενα κεφάλαια από εκκενώσεις CoGoPa και εκπέμπονται από τις επιφάνειες του αεροσκάφους σαν αποτέλεσμα συσσώρευσης ηλεκτρικών φορτίων προκαλουμένων από την σύγκρουση του αεροσκάφους με σωματίδια αέρος και υδρατμών ή από την φόρτιση του κινητήρα. Έτσι οι στατικές εκφορτίσεις γίνονται στα ακραία σημεία των φτερών και της ουράς με αποτέλεσμα την σύζευξη των στις κεραίες των δεκτών.

Οι στατικοί εκφορτιστές έχουν σχεδιαστεί για να εκφορτίζουν τα στατικά φορτία σε σημεία που παρατηρείται λίγη ή καθόλου σύζευξη με τις κεραίες των δεκτών και τοποθετούνται κατά μήκος των χειλών διαφυγής των επιφανειών των φτερών και της ουράς. Αυτά θεωρούνται σαν φίλτρα απόζευξης RC και αποτελούνται από μια ράβδο υψηλής αντίστασης που καταλήγει σε ακίδα από μεταλλικό ή μη μεταλλικό υλικό. Η εκκένωση φορτίων είναι δυνατόν να ελεγχθεί γεωμετρικά, με ειδικά σχεδιασμένες ακίδες ώστε να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή ραδιο-παρεμβολή. Ο αριθμός των ακίδων είναι από 3 έως 6 για κάθε άκρο η δε ένταση του ρεύματος φθάνει τα 3[mA] για μεγάλα αεριωθούμενα. Άλλη μέθοδος για την ελάττωση της διάζευξης των ηλεκτρικών φορτίων είναι η χρήση αγωγών επιχρισμάτων με αντίσταση κάτω των 100[MΩ/m²] που επικαλύπτουν τις μπροστινές πλαστικές επιφάνειες. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ιδιαίτερα στην περίπτωση που επιβάλλεται η χρήση υψηλών συχνοτήτων για επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων.

Γενικότερα το πρόβλημα της εξουδετέρωσης των ηλεκτρικών στατικών φορτίων, στα σύγχρονα αεροσκάφη γίνεται συνεχώς πιο πολύπλοκο και η προσπάθεια των σχεδιαστών και κατασκευαστών συνεχίζεται για την καλύτερευση των μέσων και των μεθόδων αποτελεσματικότερης προστασίας.

4.4 Σχεδιασμός συστημάτων για προστασία έμμεσων επιδράσεων

Στόχοι

Ο σχεδιασμός συστημάτων για ελάττωση έμμεσων επιδράσεων πρέπει να στοχεύει στην εκπλήρωση των παρακάτω στόχων:

1. Σχεδιασμός που περιλαμβάνει (εμποδίζει) τα έμμεσα αποτελέσματα από το να προξενήσουν αμετάτρεπτη υλική ζημιά.
2. Εξάλειψη της παρεμβολής η οποία προβλέπει ένα επικείμενο κίνδυνο στην ασφάλεια του οχήματος ή του πληρώματος και ο οποίος είναι μια σοβαρή αιτία που εμποδίζει την αποπεράτωση της αποστολής του αεροσκάφους π.χ. έμμεσα αποτελέσματα που προξενούν την εμφάνιση των προειδοποιητικών φανών μπορεί να είναι αποδεκτά, ενώ έμμεσα αποτελέσματα που οδηγούν σε διακοπή των αυτομάτων κυκλωματικών διακοπών δεν θα ήταν αποδεκτά

ακόμα και αν ήταν δυνατόν να επαναλειτουργήσουν (οι αυτόματοι διακόπτες).

Αμέσως μετά την λάμψη ενός κεραυνού (αστραπής) ο χειριστής του αεροσκάφους ίσως έχει αρκετά πράγματα να κάνει, για να επέμβει και στην επαναλειτουργία των αυτομάτων ηλεκτρονικών διακοπών. Επίσης παρεμβολή που οδηγεί στο ανακάτεμα ενός καναλιού ενός ψηφιακού συστήματος ελέγχου είναι ίσως αποδεκτό, αλλά παρεμβολή που προξενεί το «κλείσιμο» όλων των ηλεκτρονικών υπολογιστών δεν είναι αποδεκτή, ιδιαίτερα εάν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές «κλείνονται» ατάκτως με αποτέλεσμα το «ανακάτεμα» των εσωτερικών αποθηκευμένων προγραμμάτων.

3. Σχεδιασμό εξοπλισμού αεροπορικών ηλεκτρονικών τα οποία μπορούν να δεχθούν μεταβατικά σήματα στα άκρα των εισόδων και των εξόδων των κυκλωμάτων αντί να βασίζονται σε προγράμματα μετατροπής για προστασία των ήδη υπάρχοντων συστημάτων.
4. Σχεδιασμό συστημάτων αεροπορικών ηλεκτρονικών γύρω από δυνατότητες υπάρχοντων και δοκιμασμένων προστατευτικών μηχανημάτων ή τεχνοτροπιών.
5. Διεύθυνση ανταλλαγών μεταξύ του κόστους εφοδιασμού ηλεκτρονικού εξοπλισμού που μπορούν να αντιστέκονται στις μεταβατικές επαγωγές και του κόστους μόνωσης ηλεκτρικών

συνδέσεων από τις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις των εκκενώσεων.

6. Εκμετάλλευση όσο το δυνατόν περισσότερο της υπάρχουσας μόνωσης που οι κατασκευές αεροσκαφών είναι δυνατόν να προσφέρουν και αποφεύγοντας την τοποθέτηση καλωδιώσεων σε θέσεις που είναι πιο πολύ εκτεθειμένες στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που παράγονται από κεραυνούς.

Τρόποι για εκπλήρωση μερικών από αυτούς τους στόχους αναφέρονται στις παραγράφους που ακολουθούν:

4.4.1 Προστασία συσκευών δια επιλογής χώρου

Αν και ο σχεδιαστής ίσως να μην έχει πολλές επιλογές, συχνά είναι δυνατόν να ελαττωθούν τα έμμεσα αποτελέσματα εντοπίζοντας τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό σε ζώνες όπου τα πεδία παραγόμενα από ρεύμα κεραυνού, είναι χαμηλότερα π.χ. αφού ο πιο σπουδαίος τύπος σύζευξης από το εξωτερικό ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον στο εσωτερικό του αεροσκάφους είναι μέσω ανοιγμάτων, εννοείται ότι ο εξοπλισμός θα πρέπει να είναι τοποθετημένος όσο το δυνατόν πιο μακριά από τα «μεγάλα ανοίγματα». Αυτό σημαίνει ότι ο εξοπλισμός θα πρέπει να είναι τοποθετημένος όσο το δυνατόν πιο μακριά από τις θυρίδες πρόσβασης, αφού αυτές οι θυρίδες με τα μη αγωγίμα (συνθετικά) καλύμματα, είναι μια σοβαρή πηγή ηλεκτρομαγνητικής διαρροής.

Όμως στην πράξη μπορεί να φαίνεται εύκολο να το λείει (κανείς) παρά να το κάνει γιατί συχνά ο σκοπός των θυρίδων πρόσβασης είναι να παρέχουν εύκολη παρέμβαση στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό:

4.4.2 Προστασία καλωδίων δια επιλογή χώρου

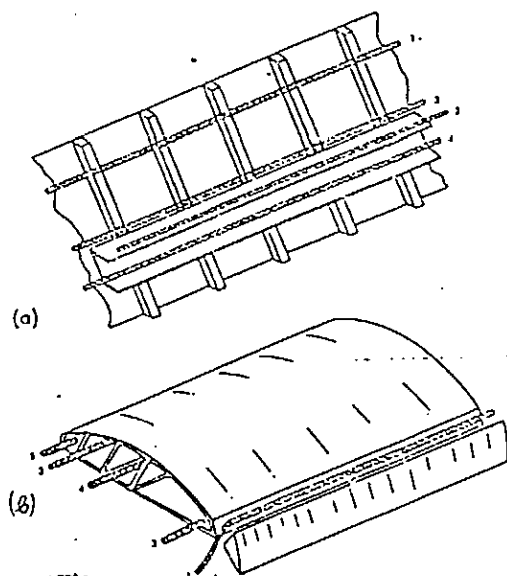
Ο σχεδιαστής ίσως έχει λίγο περισσότερο έλεγχο σχετικά με την διαδρομή της καλωδίωσης που χρησιμεύει στην διασύνδεση αεροπορικών ηλεκτρονικών από όσο έλεγχο έχει στην τοποθεσία αυτού του εξοπλισμού. Η καλωδίωση επίσης θα έπρεπε να είναι τοποθετημένη μακριά από «ανοίγματα» και περιοχές όπου η ακτίνα της καμπυλότητας δομικών μελών ή της εξωτερικής επιφάνειας είναι μικρότερη. Επίσης η καλωδίωση πρέπει να είναι τοποθετημένη όσο το δυνατόν πιο κοντά σε ένα επίπεδο γείωσης ή δομικό μέλος. Εάν ένα δομικό μέλος είναι σχεδιασμένο ή μπορεί να σχεδιαστεί να προσφέρει αυλάκωση ή κοίλωμα, θα προσφέρει περισσότερη θωράκιση από αυτή που θα είχε αν η καλωδίωση τοποθετείτο στην άκρη ενός μέλους. Μερικά παραδείγματα τυπικών δομικών μελών και οι καλύτερες θέσεις για τις καλωδιώσεις φαίνονται στο σχήμα 4.17

Σε κάθε περίπτωση το δομικό μέλος υποτίθεται πως μεταφέρει ρεύμα δια μήκους του άξονος του.

Μερικές βασικές αρχές που πρέπει να ακολουθηθούν είναι:

1. Όσο κοντύτερα τοποθετείται ένας αγωγός σε ένα μεταλλικό επίπεδο γείωσης τόσο λιγότερη θα είναι η ροή που θα περάσει μεταξύ του αγωγού και του επιπέδου γείωσης.
2. Τα μαγνητικά πεδία συγκεντρώνονται γύρω από προεξέχοντα δομικά μέλη και αποκλίνουν σε εσωτερικές γωνίες. Άρα αγωγοί που τοποθετούνται πάνω από προεξέχοντα μέλη θα «κόψουν» περισσότερες γραμμές από αγωγούς που τοποθετούνται σε γωνίες, όπου η ένταση του πεδίου είναι ασθενέστερη.
3. Πεδία στο εσωτερικό ενός μέλους με μορφή «U» θα είναι ασθενέστερα, από ότι θα ήταν στην άκρη αυτού του μέλους.
4. Ένταση του πεδίου ενός κλειστού μέλους θα είναι το πλέον ασθενέστερο.

Μερικά παραδείγματα διαδρομής καλωδίου φαίνονται στο σχήμα 4.18.



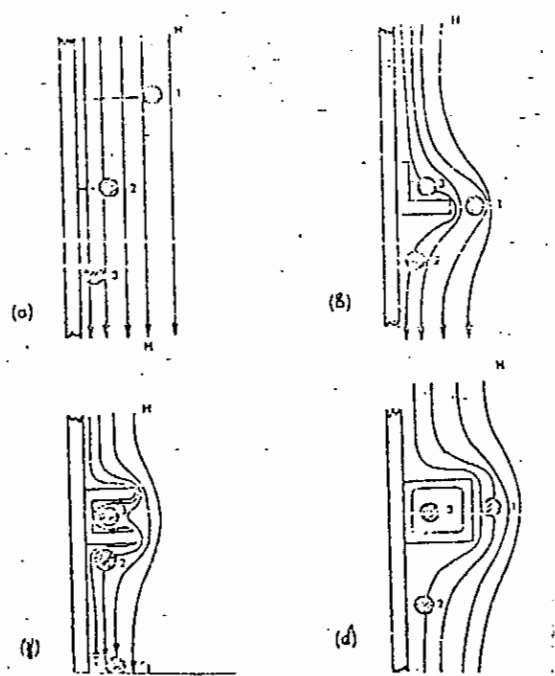
Σχήμα 4.17: Μαγνητική ροή έναντι θέσης αγωγού

α) Αγωγοί σε ένα επίπεδο, β) Αγωγοί κοντά σε γωνία, γ) Αγωγοί κοντά σε «αυλάκι», δ) Αγωγοί κοντά σε κιβώτιο

Αγωγός 1: Μεγαλύτερη ζεύξη μαγνητικής ροής→Χειρότερη περίπτωση

Αγωγός 2: Ενδιάμεση ζεύξη ροής→Λίγο χειρότερη περίπτωση

Αγωγός 3: Χαμηλότερη ζεύξη ροής→Καλύτερη περίπτωση



Σχήμα 4.18: Διαδρομή αγωγού α) δομή ατράκτου, β) δομή πτέρυγας

Αγωγός 1: Μεγαλύτερη ζεύξη μαγνητικής ροής→ Χειρότερη

Αγωγός 2: χαμηλότερη ζεύξη μαγνητικής ροής→Καλύτερη

Ένα καλώδιο συσφιγμένο στα ενισχυτικά ελάσματα, όπως στη θέση 1, του σχήματος 4.18, θα είναι τοποθετημένα αποτελεσματικά μακριά από την μεταλλική επιφάνεια από το ύψος των ενισχυτικών ελασμάτων. Ένας αγωγός κατά μήκος του εξωτερικού χείλους του μέλους με την μορφή «U» όπως φαίνεται από τον αγωγό 2 στο σχήμα 4.18α μπορεί ή δεν μπορεί να είναι τοποθετημένος καλύτερα από τον αγωγό 1. Η αποτελεσματικότητα εξαρτάται στο πόσο κοντά ο αγωγός είναι

προσδεμένος στην πλευρά του μέλους με μορφή «U». Ο αγωγός 3, τοποθετημένος κατά μήκος του χείλους όπου το μέλος με μορφή «U» είναι προσδεμένο στα ενισχυτικά ελάσματα ίσως θα είναι σε χαμηλότερο περιβάλλον πεδίου από αυτό που θα ήταν ο αγωγός 1 ή ο αγωγός 2. Ο αγωγός 4, τοποθετημένος στο εσωτερικό του αυλακιού με μορφή «U» θα ήταν στη χαμηλότερη περιοχή έντασης πεδίου και άρα στην πιο αποτελεσματική θέση.

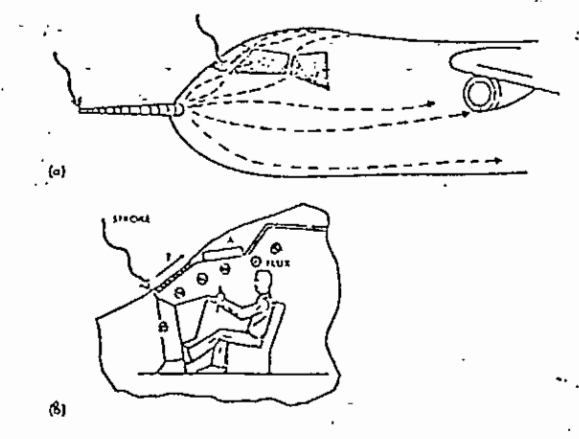
Παρόμοιες πρακτικές έχουν εφαρμογή σε αγωγούς που είναι τοποθετημένοι σε κατασκευές όπως τα φτερά και τα πηδάλια.

Ένας αγωγός τοποθετημένος κατά μήκος του εξωτερικού χείλους προσφυγής του φτερού, όπως φαίνεται δια του αγωγού 1 στο σχήμα 4.18.β, θα τέμνει πολύ περισσότερες μαγνητικές γραμμές από όσο θα έτεμνε ένας αγωγός τοποθετημένος στο εσωτερικό.

Άρα ο αγωγός 2, τοποθετημένος στο εσωτερικό του χείλους εκφυγής θα ήταν καλύτερα τοποθετημένος. Οι αγωγοί 3 και 4, με αυτή τη σειρά, θα ήταν στις περιοχές μικρότερης μαγνητικής ροής. Ένας αγωγός με διαδρομή μέσα σε ένα μεγάλο δομικό μέλος, όπως φαίνεται δια του αγωγού 4, θα είναι εκτεθειμένος σε ελάχιστο ποσό μαγνητικής ροής. Ο αγωγός 5, τοποθετημένος στο μπροστινό χείλος της φτερού, θα ήταν σε μια καλά προστατευμένη περιοχή αν το μπροστινό χείλος του φτερού ήταν μεταλλικό, αλλά θα ήταν σε μια περιοχή υψηλού πεδίου και ως εκ τούτου τρωτό αν το μπροστινό χείλος ήταν μη-μεταλλικό κάλυμμα.

Εν τούτοις, αν και το κάλυμμα ήταν μεταλλικό, ο αγωγός 5 δεν θα ήταν σε μια τόσο προστατευμένη περιοχή, όπως αυτή των αγωγών 3 ή 4.

Στύλοι ανεμοθραύστοι που δείχνονται στο σχήμα 4.19 τείνουν στο να συγκεντρώνουν την ροή του ρεύματος στην εξωτερική επιφάνεια του οχήματος, ιδιαίτερα αν μια λάμψη οπισθοκλίνει αγγίζοντας τον στύλο του ανεμοθραύστη άμεσα ή την περιοχή των φρυδιών πάνω από τον ανεμοθραύστη.



Σχήμα 4.19 Ροή ρεύματος δια μήκους των στύλων του ανεμοθραύστη α) Εξωτερική ροή ρεύματος, β) Εσωτερικά μαγνητικά πεδία

Καθώς το ρεύμα είναι συγκεντρωμένο, η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του θαλάμου πληρώματος τείνει να είναι πολύ υψηλή. Η κατάσταση επιδεινώνεται από το γεγονός ότι οι ανεμοθραύστες σε αντίθεση με άλλες περιοχές όπου το πεδίο

μπορεί να διαχυθεί μέσω μεταλλικής επιφάνειας, ενεργούν σαν μεγάλα ανοίγματα και έτσι αφήνουν την εσωτερική μαγνητική ροή να αναπυχθεί στις κορυφαίες του τιμές πολύ γρήγορα.

Έτσι τα όργανα και οι ηλεκτρικές συνδέσεις στους πίνακες ελέγχου ευρίσκονται σε μία περιοχή που υπάρχει μαγνητικό πεδίο μεγάλης έκτασης. Αγωγοί που η διαδρομή τους περνά από τους επάνω πίνακες ελέγχου (θέση A) προς άλλα όργανα (θέση B) συχνά περνούν μέσω των κεντρικών στύλων του ανεμοθραύστη. Άρα, είναι σε μία περιοχή των πιο συγκεντρωμένων μαγνητικών πεδίων που προφανώς θα μπορούσαν να βρεθούν σε ένα αεροσκάφος και επομένως μπορούν να επάγουν μέσα σ' αυτό πολύ υψηλές τάσεις.

4.4.3 Προστασία μέσω σχεδιασμού κυκλωμάτων

Ο έλεγχος των παρεμβολών που σχετίζονται με κεραυνούς μέσω κατάλληλου σχεδιασμού κυκλωμάτων βασίζεται στην θεμελιώδη παρατήρηση ότι ένα σύστημα ευρείας ζώνης συχνοτήτων μπορεί να αποκόψει περισσότερη ενέργεια θορύβου από όσο μπορεί ένα σύστημα στενής ζώνης συχνοτήτων.

Ο θόρυβος που παράγεται από κεραυνό έχει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Λαμβάνοντας υπόψη μόνο το φάσμα του ρεύματος της εκκένωσης κεραυνού συχνά παρατηρείται ότι η περισσότερη ενέργεια περιέχεται στην περιοχή χαμηλών συχνοτήτων, κάτω

των 10 ή 20 [KHz]. Πριν προκύψει οποιαδήποτε αίσθηση ασφάλειας από αυτή την παρατήρηση θα πρέπει να υπενθυμίζεται ότι οι συσκευές παθαίνουν ζημιά (ή δεν λειτουργούν σωστά) ανάλογα με το ολικό ποσό της ενέργειας που παρεμποδίστηκε.

Κατά την διάρκεια μιας εκκένωσης μπορεί να υπάρχει αρκετή ενέργεια στην περιοχή και να προξενήσει παρεμβολή. Η ενέργεια που είναι διαθέσιμη για ζημιά, ή παρεμβολή, μπορεί να είναι συγκεντρωμένη σε ορισμένες ζώνες συχνοτήτων από την χαρακτηριστική αντίδραση του αεροσκάφους ή των καλωδιώσεων μέσα στο αεροσκάφος.

Εν τούτοις άσχετα με την οποιαδήποτε συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων το φάσμα ενέργειας της παρεμβολής (προερχόμενη από κεραυνό) σε καλωδιώσεις μέσα στο αεροσκάφος θα εξακολουθήσει να είναι ευρύ φάσμα. Ένας δέκτης με ευρεία ζωνική διέλευση, θα συλλέγει περισσότερη ενέργεια από όση ένας δέκτης με στενή, ζωνική διέλευση.

Όσο στενότερη είναι η ζωνική διέλευση, τόσο το καλύτερο. Με αυτή την έννοια τα αναλογικά κυκλώματα πλεονεκτούν σε σύγκριση με τα ψηφιακά κυκλώματα. Εάν είναι δυνατόν τα κυκλώματα δεν πρέπει να έχουν ζώνη διέλευσης που να συμπεριλαμβάνει DC, διότι όταν αποκλείεται το DC, τα κυκλώματα θα είναι σε θέση να αποβάλλουν περισσότερη από την ενέργεια που σχετίζεται με την ροπή του ρεύματος μέσω της

αντίστασης δομής του αεροσκάφους. Οι μελέτες των τύπων παρεμβολής που παράγονται μέσα στο αεροσκάφος λόγω του I_L έχουν δείξει ότι η ενέργεια του κεραυνού δημιουργεί ταλαντώσεις στις καλωδιώσεις του αεροσκάφους ιδιαίτερα αν η καλωδίωση γειώνεται μόνο στο ένα άκρο. Αυτές οι χαρακτηριστικές συχνότητες τείνουν να είναι στην περιοχή μερικών εκατοντάδων ΚHz μέχρι μερικά MHz. Εφόσον είναι δυνατόν, οι ζώνες διέλευσης ηλεκτρονικού εξοπλισμού πρέπει να μην συμπεριλαμβάνουν αυτές τις συχνότητες όπως η υποθετική ζώνη διέλευσης. Ψηλότερες ή χαμηλότερες ζώνες συχνοτήτων θα είναι προφανώς καλλίτερες. Σαν ακραίο παράδειγμα η μετάδοση σήματος οπτικού υαλονήματος που λειτουργεί στην περιοχή υπερύθρων αποφεύγει σχεδόν τελείως το φάσμα συχνοτήτων που είναι σχετικό με την παρεμβολή που παράγεται από τον κεραυνό. Ορισμένα βασικά σημεία πρέπει να ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό κυκλωμάτων για μετάδοση σήματος.

Θα πρέπει πάντα να αποφεύγεται η χρήση της δομής του αεροσκάφους σαν αγωγό επιστροφής. Αν η δομή του αεροσκάφους χρησιμοποιηθεί σαν αγωγός επιστροφής του ρεύματος η πτώση τάσης που θα δημιουργηθεί από το I_L θα παρεμβληθεί στην διαδρομή του σήματος με απρόσμενα αποτελέσματα. Από την άλλη μεριά η μεταφορά σήματος με καλώδιο περιπλεγμένου τύπου (έχοντας την γραμμή γείωσης

απομονωμένη από την δομή του αεροσκάφους) τείνει να συζεύξει χαμηλότερες τάσεις στην γραμμή που μεταφέρει το σήμα.

Δεν θα πρέπει όμως να ξεχνάμε ότι η χρήση καλωδίου περιπλεγμένου τύπου δεν εξουδετερώνει τις τάσεις που δημιουργούνται από τις αλληλεπιδράσεις, που επιδρούν στα ηλεκτρονικά συστήματα, αυτές οι τάσεις αν εφαρμοστούν σε κυκλώματα, μπορούν να προκαλέσουν (μερικές φορές) τάσεις που μπορεί να φτάσουν και αυτό το ύψος των τάσεων:

Οι διαφορικές συσκευές εκπομπής και λήψης, μπορούν να βελτιώσουν κατά πολύ την ικανότητα απόρριψης των τάσεων αλληλεπιδράσεων.

Κατά γενική προτίμηση, οι καλωδιώσεις που αλληλοσυνδέουν διαφορετικούς εξοπλισμούς, δεν θα πρέπει να συνδέονται κατευθείαν στους ημιαγωγούς, αλλά μέσω μιας αντίστασης (έστω και μικρής τιμής), βελτιώνοντας έτσι αρκετά την δυνατότητα των ημιαγωγών να αντιστέκονται στις μεταβατικές τάσεις και ρεύματα.

Τέλος η μεταφορά σημάτων μέσω ισορροπημένων γραμμών εκπομπής και μετασχηματιστών, με προστασία εισόδου για ημιαγωγούς, ίσως προσφέρει την καλλίτερη προστασία έναντι των μεταβατικών επαγωγών στις καλωδιώσεις ελέγχου.

4.4.4 Προστασία με χρήση συστημάτων συμπίεσης αιχμών

Τα συστήματα συμπίεσης αιχμών μπορούν μερικές φορές να χρησιμοποιηθούν για να περιορίσουν το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που ένα καλώδιο μπορεί να επάγει μέσα σε μία ηλεκτρονική συσκευή. Ενώ σπάνια μπορεί να εξαλειφθεί η παρεμβολή με την χρήση προστατευτικών συστημάτων, οι συμπιεστές μπορούν να εξαλείφουν μια φυσική ζημιά στις ηλεκτρονικές συσκευές. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι τέτοιων συστημάτων προστασίας: εκείνοι που με την αίσθηση μιας υπέρτασης, μεταπίπτουν σε κατάσταση πολύ χαμηλής σύνθετης αντίστασης με αποτέλεσμα η τάση κατά μήκος αυτών των συστημάτων να πέφτει σε χαμηλή τιμή, και εκείνοι οι οποίοι λόγω της μη-γραμμικής χαρακτηριστικής συμπιέζουν την τάση σε κάποιο επίπεδο ασφαλείας χωρίς να την μηδενίζουν.

Παραδείγματα του πρώτου τύπου είναι τα σπινθηριστικά διάκενα και του δεύτερου τύπου είναι οι δίοδοι Zener και (δίοδοι μεταβλητής αντίστασης) Varistors.

Υπάρχουν επίσης συστήματα που με την αίσθηση μιας υπέρτασης, διακόπτουν την ροή ισχύος στα φορτία. Αν αυτή η διακοπή όμως γίνει με ηλεκτρομηχανικά μέσα, δεν μπορούν να θεωρηθούν σαν συστήματα προστασίας μεταβατικών φαινομένων γιατί η αντίδραση τους είναι πολύ αργή. Εκτός από τους τύπους των spark gaps, δίοδων zener, varistors υπάρχουν και οι τύποι

των «διηλεκτρικών» τα οποία όμως ακόμη βρίσκονται υπό ανάπτυξη ενώ τα υπόλοιπα μπορούν να βρεθούν εύκολα στο εμπόριο.

Κάθε τύπος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, μερικά από τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

Spark gaps

Πλεονεκτήματα

1. Απλά σε κατασκευή και αξιόπιστα.
2. Πολύ μικρή πτώσης τάσης κατά περίοδο αγωγιμότητας.
3. Δυνατότητα να αντέχουν σε μεγάλες ισχύς.
4. Μεγάλη σύνθετη αντίσταση και μικρή χωρητικότητα (ελαχιστοποίηση προβλημάτων σε συσκευές που λειτουργούν σε συχνότητες κάτω του 1[GHz]).
5. Έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας σε οποιαδήποτε πολικότητα.

Μειονεκτήματα

1. Σχετικά μεγάλη Spark over τάση.
2. Τα απλά διάκενα δεν προκαλούν την σβέση του ρεύματος (Αυτό είναι το πιο σπουδαίο σημείο όταν αυτά πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε κύκλωμα ισχύος). Ο σπινθήρας πρέπει να σβήσει απομακρύνοντας την τάση με κάποιο διακόπτη ή

ασφάλεια ή εισάγοντας μία αντίσταση αυτόματα (μέσα στο κύκλωμα) τύπου Zing oxide varistor ή silicon carbide. Με κατάλληλο σχεδιασμό, τα διάκενα μπορούν να είναι αυτό-αποσβενήμενα σε τάσεις πάνω των 100[Volts].

3. Επειδή τα spark gaps αντανακλούν περισσότερη ενέργεια απ' ότι απορροφούν μπορεί να δημιουργήσουν ταλαντώσεις.

Δίοδοι Zener

Πλεονεκτήματα

1. Μικρό μέγεθος.
2. Εύκολη τοποθέτηση.
3. Μικρή τάση διέγερσης.
4. Μικρή δυναμική σύνθετη αντίσταση όταν άγουν.
5. Είναι αυτο-αποσβενήμενα

Μειονεκτήματα

1. Είναι ακριβή η τιμή τους.
2. Δεν είναι αμφίπλευρης αγωγιμότητας.
3. Σχετικά μεγάλη χωρητικότητα «επαφής» (απώλεια σήματος σε συχνότητες λειτουργίας πάνω από 1[MHz]. Με ειδικά συστήματα διόδων μπορεί να επεκταθεί η χρήσιμη συχνότητα περίπου στους 50[MHz]). Η τάση κατά μήκος της διόδου δεν

πέφτει σε κάποια χαμηλή τάση αλλά παραμένει στην τάση Zener.

4. Δικτυώματα διόδων Zener δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολύ μεγάλα μεταβατικά ρεύματα.
5. Δεν είναι διαθέσιμες για τάσεις κάτω των 5[Volts].
6. Δεν είναι διαθέσιμες για τάσεις πάνω από μερικές εκατοντάδες Volts.

Μη γραμμικές αντιστάσεις

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις Varistors που χαρακτηρίζονται από την σχέση

$$I = KV^N$$

K,N: σταθερές που εξαρτώνται από το υλικό που είναι κατασκευασμένο τα Varistor.

Οι Varistors κατασκευάζονται από silicon carbide, selenium, ή metal oxide. Εδώ θα αναφερθούμε στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των metal oxide varistors μόνο.

Πλεονεκτήματα

1. Έχουν αμφίπλευρη αγωγιμότητα.
2. Έχουν μικρό μέγεθος.
3. Τοποθετούνται εύκολα.

4. Είναι αυτό-αποσβενήμενα. (Όταν εφαρμοσθεί τάση μικρότερη από αυτή των προδιαγραφών, άγουν πολύ μικρό ρεύμα).
5. Έχουν πολύ γρήγορη απόκριση.
6. Δυνατότητα χειρισμού σε μεγάλες ισχύς.

Μειονεκτήματα

1. Έχουν μικρή σύνθετη αντίσταση και μεγάλη χωρητικότητα.
2. Δεν λειτουργούν σωστά σε τάσεις κάτω των 30[Volts]. (Η τάση λειτουργίας τους είναι ανάλογη με το πάχος του μετάλλου. Καλή προστασία των κυκλωμάτων χαμηλής τάσης απαιτεί υλικό πολύ λεπτού πάχους που είναι σχεδόν αδύνατο στην πράξη να κατασκευαστεί).

4.5 Προστασία δομικών υλικών

Από χιλιάδες αναφορές περιστατικών οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα αναφέρονται σε ελάχιστες περιπτώσεις μικρής βλάβης (παραμόρφωση) από τα σύνδρομα κρουστικά κύματα των κεραυνών. Οι παραμορφώσεις αυτές φαίνεται ότι είναι πιθανότερες σε επιφάνειες μικρού πάχους και χωρίς υποστήριγμα.

Κατά συνέπεια ο παράγων «κρουστικό κύμα» έχει πάψει να απασχολεί τους ερευνητές. Αντίθετα όμως ο παράγων «διείσδυση

ρεύματος» είναι εκείνος στον οποίο αποδίδονται όλες οι βλάβες και φθορές.

Η διείσδυση ρεύματος από τις εξωτερικές επιφάνειες μπορεί να προκαλέσει ποικιλία ανωμαλιών και φθορών, γι' αυτό και η προστασία επιδιώκει την ελάττωση των πιθανοτήτων διείσδυσης στο μέγιστο βαθμό. Η εξάτμιση υλικών όπως μέταλλα, πλαστικά, ρητίνες ρευστά και καύσιμα μπορεί να δημιουργήσει εσωτερικές πιέσεις με αποτέλεσμα πολλαπλές ανωμαλίες στην λειτουργία του συστήματος που προσβάλλεται, ή ακόμη και την καταστροφή του.

Εκρήξεις μπορούν να προκληθούν στα σημεία αρμού μεταλλικών και μη μεταλλικών μελών μιας δομής με την διέλευση ισχυρών ρευμάτων, γι' αυτό οι αρμοί αυτοί πρέπει να σχεδιάζονται γεωμετρικά έτσι ώστε να εξασφαλίζουν μέγιστη κλίση και ελάχιστο δυναμικό εκκένωσης για όλα τα υψόμετρα. Η απαίτηση αυτή γίνεται ιδιαίτερα επιτακτικότερη στην περίπτωση του καλύμματος του ραντάρ για το οποίο η εξασφάλιση εξωτερικών πηγών ρεύματος για την εκτροπή του προσεγγίζοντος κεραυνού και την διοχέτευση του ρεύματος στις εξωτερικές επιφάνειες του αεροσκάφους αποτελεί θεμελιώδη αρχή στην σύλληψη και σχεδιασμό της προστασίας του. Τυχόν παράλειψη θα είχε ολέθριες συνέπειες.

Στις δομές όπου το πάχος των μεταλλικών επιφανειών είναι λιγότερο από δυο χιλιοστά ο κίνδυνος δεισδυσσης είναι μεγαλύτερος. Σε ατράκτους των οποίων οι επιφάνειες έχουν πάχος ενός χιλιοστού έχουν παρατηρηθεί διατρήσεις χωρίς όμως σοβαρές ανωμαλίες στο σύστημα πίεσης καμπίνας.

Η δεισδυσση αποτελεί πραγματική απειλή πλήρους καταστροφής για τις μη μεταλλικές δομές, γι' αυτό η προστασία είναι απαραίτητη. Η χρήση μεταλλικών επιχρίσεων και χρωμάτων αποτελεί την βασική μέθοδο προστασίας. Η πλήρη κάλυψη ή σε δικτυωτή (με κενά) επικάλυψη έχει αποδεχθεί πολύ ικανοποιητική. Μερικά από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι: μεταλλικά λεπτά φύλλα, λεπτό συρμάτινο πλέγμα, μεταλλοψεκασμός και άλλα. Κάθε κατασκευαστής εκλέγει την μέθοδο και το υλικό που θεωρεί καταλληλότερο λαμβάνοντας υπόψη την αγωγιμότητα, την οξειδωση, την διάβρωση και την φθορά από τριβές.

4.5.1 Συστήματα υγρού καυσίμου

Στα συστήματα υγρού καυσίμου, όπως είναι φυσικό, η αντικεραυνική προστασία είναι επιβεβλημένη και αυστηρή.

Όλες οι δοκιμές στα συστήματα αυτά γίνονται με εκκενώσεις της τάξεως των 200[KA] όπως προέκυψε από τα στατιστικά στοιχεία που προαναφέραμε στην παράγραφο 2.2.

Μερικά από τα συστήματα αυτά είναι οι δεξαμενές που είναι ενσωματωμένες και εξωτερικές, οι αρμοί των δεξαμενών, οι κρουνοί εκκένωσης, οι θυρίδες πρόσβασης, οι αντλίες μεταφοράς, οι αντλίες ενίσχυσης οι μετρητές ποσότητας και άλλα.

Για να γίνει αντιληπτή η ύπαρξη σπινθήρων που προκαλούν την έναυση και την έκρηξη με καταστροφικές συνέπειες, φωτογραφίζεται το εσωτερικό των δεξαμενών με φιλμ μεγάλης ταχύτητας 300[ASA]. Ο κίνδυνος διείσδυσης του ρεύματος είναι μεγάλος για τις δεξαμενές καυσίμου που έχουν κατασκευαστεί με πάχος μικρότερο των δυο χιλιοστών, όπως είναι αυτές που τοποθετούνται στις περιοχές των ακρο-πτερυγίων.

Βασισμένοι στα αποτελέσματα των δοκιμών και παρατηρήσεων οι κατασκευαστές προτείνουν την επικάλυψη των δεξαμενών με φύλλα αλουμινίου πάχους δυο χιλιοστών και ενδιάμεση μόνωση ίσου πάχους ινών υάλου. Η προστασία αυτή ισοδυναμεί, με τετραπλασιασμό του πάχους του τοιχώματος της δεξαμενής γεγονός που είχε θετικά αποτελέσματα.

Μια άλλη μέθοδος προστασίας είναι και η χρήση αγώγιμου πλέγματος με ενδιάμεση μόνωση, που είναι εξίσου ικανοποιητική.

Το θέμα προστασίας συστημάτων υγρών καυσίμων είναι εξαιρετικά δύσκολο και όπως προαναφέραμε δεν έχουν γίνει σημαντικοί πρόοδοι, παρόλα αυτά όμως οι προσπάθειες συνεχίζονται γι' αυτό το ευαίσθητο τμήμα του αεροσκάφους.

4.6 Προστασία των επιφανειών από (CFRP) πλαστικό ενισχυμένο με ίνες άνθρακα σε μεταλλικά αεροσκάφη

Όπως προαναφέραμε, η χρησιμοποίηση νέων συνθετικών υλικών στην κατασκευή των συγχρόνων αεροσκαφών δημιουργεί προβλήματα στον σχεδιασμό της αντικεραυνικής προστασίας των. Πριν όμως μιλήσουμε για την προστασία θεωρούμε χρήσιμο να αναφερθούμε λίγο στην συμπεριφορά των CFRP (Carbon Fibre Reinforced Plastic) που είναι μέρος της κατασκευής των επιφανειών των μεταλλικών συγχρόνων αεροσκαφών, κατά την διάρκεια πτώσης κεραυνού.

4.6.1 Συμπεριφορά πλαισίων CFRP κατά την πτώση κεραυνού (στο εργαστήριο)

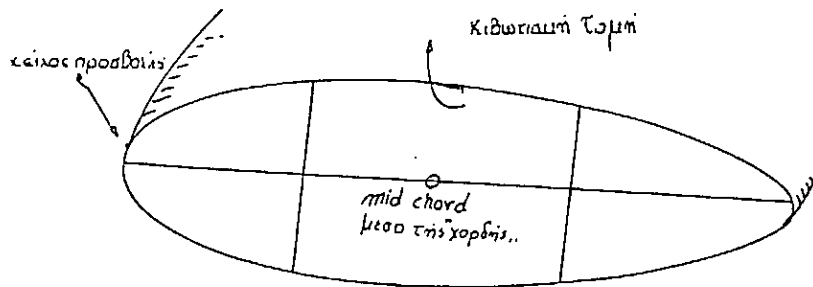
Η εκκένωση κεραυνού αποτελεί ένα ειδικό τύπο ηλεκτρογενούς κινδύνου για τα αεροσκάφη που χρησιμοποιούν συνθετικά ινών άνθρακα για υλικά επιφανειών, γιατί υπάρχει πιθανότητα κατ' ευθείαν πτώσης κεραυνού στο CFRP πλαίσιο, ή πιο συχνά, ενός παλμικού ρεύματος υψηλής έντασης.

Από την άποψη των δομικών μηχανικών τα CFRP προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα όσον αφορά την αντοχή, βάρος και ακαμψία, εν' τούτοις οι ηλεκτρικές ιδιότητες των ινών από

άνθρακα είναι τέτοιας φύσεως ώστε απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή των CFRP επί των δομικών στοιχείων του αεροσκάφους ώστε να αποφεύγονται προβλήματα που προκύπτουν από τους κεραυνούς.

4.6.2 Σύγκριση κατασκευών από μέταλλο και ίνες άνθρακα

Για την επιφάνεια μιας όλο μεταλλικής ατράκτου συμβατικής κατασκευής χρησιμοποιείται κράμα αλουμινίου με ελάχιστο πάχος 1[mm] και συνήθως 2[mm] και πάνω. Το αλουμίνιο είναι ένας από τους καλύτερους αγωγούς ηλεκτρισμού που εξασφαλίζει το αεροσκάφος με μια πολύ αποδοτική αυτοπροστασία στα ρεύματα κεραυνού, γιατί οι μεγάλοι πλάτους και με απότομο μέτωπο παλμοί ρεύματος, ρέουν μόνο στο εξωτερικό της επιφάνειας και ούτε η μαγνητική εκροή ούτε το ρεύμα διαχέονται στο εσωτερικό της επιφάνειας. Η διανομή του ρεύματος γύρω από την άτρακτο δεν ελέγχεται από την αντίσταση του μετάλλου αλλά επαγωγικά και εξαρτάται από την κατανομή της ατράκτου ή των πτερυγίων, (π.χ.) η πτέρυγα του σχήματος 4.20 παρουσιάζει ρεύμα επιφάνειας μεγαλύτερης πυκνότητας στο χείλος προσβολής, από εκείνο στη θέση του μέσου της «χορδής» της πτέρυγας με ένα συντελεστή περίπου 4, ενώ το μεγίστου πάχους μέταλλο (και κατά συνέπεια μικρότερη αντίσταση), βρίσκεται στην κεντρική κιβωτιακή τομή.



Σχήμα 4.20: Τυπική πτέρυγα για την κατανόηση του παραδείγματος

Αν η ροή του ρεύματος ελεγχόταν με αντιστάσεις, η κιβωτιακή τομή θα διαρρεόταν από το μέγιστο ρεύμα, όμως τα συνθετικά από ίνες άνθρακα έχουν ειδική αντίσταση μεγαλύτερου μεγέθους από εκείνη του αλουμινίου και το επιδερμικό φαινόμενο δεν γίνεται αισθητό σε τιμές συχνότητας κατώτερες των 10[MHz] (ο χρόνος διάχυσης στην εσωτερική επιφάνεια ενός 2[mm] πλαισίου CFRP είναι μόνο μερικά nsec).

Σε μια CFRP κατασκευή δημιουργούνται σημαντικές τάσεις, λόγω ειδικής αντίστασης, μέχρι 1000[V/m].

Η εκροή διάχυσης συζεύγνεται με τα κυκλώματα εντός του αεροσκάφους κοντά στην επιφάνεια δημιουργώντας τάσεις της ίδιας τάξης στην καλωδίωση.

4.6.3 Κυψέλη Αλουμινίου/Πλαίσια Ινών Άνθρακα

Λόγω του ότι τα πλαίσια αλουμινίου μιας κυψέλης έχουν επιφάνειες από ίνες άνθρακα, παρουσιάζουν μεγάλο τεχνικό ενδιαφέρον εξ' αιτίας του μεγάλου αριθμού μεταβλητών:

1. Φύλλο επίστρωσης, πάχος επιφάνειας και προσανατολισμός των μεταλλικών φύλλων στο εσωτερικό της επιφάνειας.
2. Ιδιότητες οιοδήποτε μονωτικού στρώματος μεταξύ του εξωτερικού της επιφάνειας και του αλουμινίου.
3. Πάχος, πυκνότητα και ταινιοειδής προσανατολισμός των κυψελών.
4. Ιδιότητες οιοδήποτε μονωτικού στρώματος μεταξύ του αλουμινίου και του δεύτερου φύλλου.
5. Φύλλο επίστρωσης του εσωτερικού της επιφάνειας.
6. Σχεδιασμός των επικαλύψεων.
7. Μέθοδοι στερεώσεως.
8. Μέθοδοι διαπλάσεως.

Ενώ τα φύλλα από ίνες άνθρακα είναι στο εσωτερικό τους γραμμικά περισσότερο από την τάξη του πέμπτου βαθμού της πυκνότητας ρεύματος, οι συνδετικές επιφάνειες CFRP αλουμινίου δίνουν σημαντική μη γραμμικότητα στην χαρακτηριστική V/I $V_{oc}I^{0.85}$ οπότε δοκιμή στο εργαστήριο με ΣΡ θα δώσει

παραπλανητικά αποτελέσματα δεδομένου ότι οι πυκνότητες ρεύματος θα πρέπει να είναι χαμηλές για να αποφευχθεί η θέρμανση.

Πιο πρόσφατες δοκιμές μας δείχνουν ότι ο ταινιοειδής προσανατολισμός (δηλαδή παράλληλα ή κάθετα προς την ροπή του ρεύματος) και ο βαθμός κατά τον οποίο οι ταινίες έρχονται, σε επαφή με τους στερεωτές προσδιορίζει την όλη απόδοση ως προστατευτικού πλέγματος κατά του κεραυνού. Η μη γραμμικότητα αυτού και άλλων συνθετικών υλικών έχει σπουδαίες συνέπειες όσον αφορά στην δομική μεγάλων κατασκευών, οι οποίες χρειάζονται μεγάλους παλμούς ρεύματος για ρεαλιστικά αποτελέσματα.

4.6.4 Άμεσες ζημιές στα CFRP και CFRP/Πλαίσια Κυψελών

1. Ζημιά από επαφή βολταϊκού τόξου.
2. Θέρμανση λόγω της ωμικής αντίστασης.
3. Σπινθήρες στις γραμμές συγκόλλησης ή άλλα όρια μόνωσης τόσο στο ίδιο το CFRP όσο και στα μεταλλικά τμήματα μέσα σ' αυτό.

4.6.5 Ζημιά εξ' επαφής βολταϊκού Τόξου

Όπως και στις μεταλλικές επιφάνειες η κατ' ευθείαν επαφή βολταϊκού τόξου σε μια επιφάνεια CFRP δημιουργεί ζημιές λόγω έντονης τοπικής θέρμανσης από το βολταϊκό τόξο και της υψηλής πυκνότητας του τοπικού ρεύματος. Εν' τούτοις η κατασκευή από φύλλα του CFRP βοηθά ώστε να ελαχιστοποιείται η διαμπερής πυράκτωση του τόξου λόγω της μεταξύ των στρωμάτων ηλεκτρικής και θερμικής μόνωσης. Συνήθως δεν καίγονται πλήρως περισσότερα από τρία φύλλα και η υφιστάμενη ζημιά περιορίζεται σχεδόν πλήρως στην επιφάνεια.

Η ρυτίνη καίγεται πλήρως και οι ίνες του άνθρακα σπάζουν, τα λεπτά πλαίσια είναι δυνατόν να υποστούν διάτρηση ή ρωγμές από ακουστικές και μαγνητικές πιέσεις που δημιουργούνται από υψηλά παλμικά ρεύματα.

Η ζημιά αυτή διαφέρει από εκείνη που περιγράψαμε πιο πάνω στο ότι η ρυτίνη δεν εκάει πλήρως και το συνθετικό έχασε την από φύλλα συστατικότητα του, υπέστη ρωγμές και έγινε θραύσματα αλλά τα θραύσματα παραμένουν διακεχωρισμένα τεμάχια συνθετικού με αυτούσια την ρυτίνη τους, σε περίπτωση που μετά από ένα παλμικό ρεύμα ακολουθήσει ένα συνεχές, τα θραύσματα του συνθετικού θα υποστούν ζημιά. από το τόξο όπως και κάθε υλικό που βρίσκεται πίσω από το πλαίσιο.

4.6.6 Ωμική θέρμανση

Ο νόμος του Ohm τηρείται στα CFRP τόσο στα συνεχή ρεύματα όσο και στα ρεύματα υψηλών παλμών μικρής διάρκειας όπου η αύξηση της θερμοκρασίας είναι μικρή. Αυτό είναι σωστό για μια πολύ εκτεταμένη περιοχή πυκνοτήτων ρεύματος. Εν τούτοις έχει παρατηρηθεί ότι ο συντελεστής θερμοκρασίας της θερμότητας των ινών γίνεται αρνητικός πάνω από 65[°C] και ότι το μέγεθος αντίστασης των γινόταν μη γραμμικό κατά την μεταβατική θερμοκρασία του χρησιμοποιούμενου συστήματος ρυθίνης (110[°C]). Αφού τα CFRP στρώματα έχουν ενεργό μέγεθος αντίστασης περίπου 3000 έως 3750x10⁻⁸[Ω] θα παρατηρηθεί μεγαλύτερη αύξηση θερμοκρασίας σε σύγκριση με ένα μέταλλο.

Οι αυξήσεις της θερμοκρασίας πρέπει να παραμένουν κάτω των 65[°C].

4.6.7 Σπινθήρηση στις γραμμές συγκόλλησης και κοινών επιφανειών

Πολύ συχνά οι κοινές επιφάνειες διασταύρωσης ρευμάτων εντός των συνθετικών ή στους αρμούς μετάλλων/συνθετικών υποχρεούνται να ακολουθήσουν μια μειονεκτική διαδρομή δια μέσω του CFRP π.χ. να διασχίσουν ενδοστρωματικά όρια, συνεπώς υπάρχει πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα κινδύνου σε

τέτοιου είδους κοινές επιφάνειες παρά σε εκείνες μετάλλου/μετάλλου.

Ειδική φροντίδα χρειάζεται σε συγκολλημένες κοινές επιφάνειες όπου υπάρχει πιθανότητα να διασχίσει το ρεύμα την γραμμή συγκόλλησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις το ρεύμα τείνει να συγκεντρώνεται στα κενά των γραμμών και να προκαλεί εκρηκτική διαστολή του αέρα στο κενό και την κατάρρευση της γραμμής συγκόλλησης. Κατά παρόμοιο τρόπο η κυψέλη από πλαίσια αλουμινίου στα CFRP είναι δυνατόν να προκαλέσει εκρηκτική στρωμάτωση του πλαισίου όταν το ρεύμα μέσα στην κυψέλη διασχίσει τις μεταξύ των μεταλλικών φύλλων γραμμές συγκόλλησης. Οι κυψέλες από αλουμίνιο είναι πολύ ευαίσθητες σε αυτού του είδους την βλάβη και γι' αυτό πρέπει να διενεργείται λεπτομερής διερεύνηση των κινδύνων από τους κεραυνούς εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στα αεροσκάφη.

4.6.8 Προστασία των επιφανειών CFRP με μεταλλικά στρώματα

Η προστασία είναι δυνατόν να επιτευχθεί με την προσθήκη λίγου βάρους, δηλαδή με την χρησιμοποίηση πολύ λεπτών στρωμάτων επιφάνειας από αλουμίνιο. Το εν λόγω στρώμα είναι δυνατόν να χρωματισθεί και ενεργεί σαν ένα «θυσιαζόμενο» στρώμα σε περίπτωση πτώσεως κεραυνού και κατά προτίμηση εξατμίζεται

από το τόξο λόγω του ότι έχει μικρότερο βολταϊκό τόξο σε σύγκριση με τον άνθρακα που είναι πλούσιος σε τόξα.

Αυτού του είδους το στρώμα προσφέρει προστασία τόσο στο τόξο όσο και στην βλάβη ωμικής θέρμανσης.

Από τα προαναφερθέντα φαίνεται ότι τα CFRP προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε ότι αφορά την αντοχή, βάρος και ακαμψία, όμως οι ηλεκτρικές ιδιότητες των από άνθρακα ινών είναι τέτοιας φύσης ώστε απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή των CFRP στα δομικά στοιχεία των αεροσκαφών ώστε να αποφεύγονται προβλήματα που δημιουργούν οι κεραυνοί και οι ηλεκτρομαγνητικές συζεύξεις.

4.7 Προστασία κεραιών

Η μέθοδος προστασίας μη μεταλλικών καλυμμάτων των κεραιών παρουσιάζει σοβαρές δυσκολίες, γι' αυτό γίνεται αρνητικός παράγοντας στην απόδοση των. Όλα τα υλικά και οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν πιο πάνω συντελούν στην εξασθένηση των οχημάτων εκπομπής και λήψης και φυσικά δεν είναι αποδεκτά.

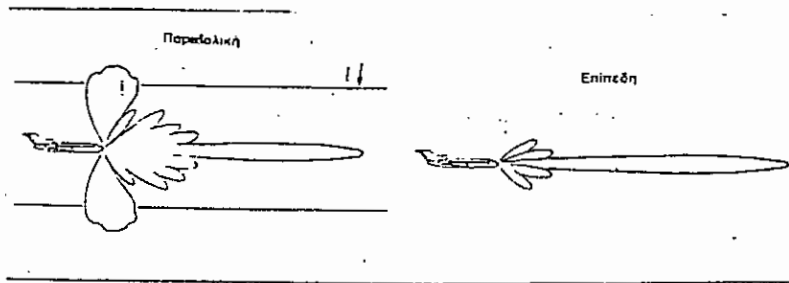
Μια καλύτερη λύση είναι τα μεταλλικά ελάσματα μήκους 1-2 μέτρων και πάχους από 1 έως 2 χιλιοστών που τοποθετούνται στο μπροστινό διάφραγμα έτσι ώστε να προεκτείνονται υπερκαλύπτοντας την κεραία του ραντάρ. Και αυτά όμως έχουν

παρουσιάσει ελαττώματα και υψηλό κόστος επισκευής και αντικαταστάθηκαν από ισχυρότερα με διατομή 0,3x1 χιλιοστά.

Η απόσταση μεταξύ τους είναι ζήτημα συμβιβασμού μεταξύ θωράκισης και ελαχιστοποίησης της παρεμβολής (εξασθένηση του σήματος εκπομπής-λήψης), αποτελεί δε και το κριτήριο της ικανότητας της θωράκισης να διοχετεύει τα ρεύματα στις εξωτερικές επιφάνειες έναντι των διατρήσεων. Η απόσταση αυτή πρέπει να τείνει προς στο εγγύτερο ώστε η πιθανότητα διαρροής/εκκένωσης στο τοίχωμα του καλύμματος να είναι μικρότερη της διαρροής/εκκένωσης μεταξύ των ελασμάτων.

4.8 Αποφυγή καταιγίδων με χρήση ραντάρ

Η παράγραφος αυτή προστέθηκε σαν ένα ειδικό θέμα που φυσικά μπορεί να μην συνδέεται άμεσα με την όλη ανάπτυξη που έγινε σε αυτή την εργασία για την προστασία των αεροσκαφών από τους κεραυνούς. Περιέχει όμως μερικές παρατηρήσεις που είναι απαραίτητες για την ολοκληρωμένη εκμετάλλευση του ραντάρ στα πολιτικά αεροπλάνα, προκειμένου να αποφεύγονται οι άσχημες καιρικές συνθήκες. Ένα ιδανικό ραντάρ πρέπει να εκπέμπει μια κωνική δέσμη μικροκυματικής ακτινοβολίας. Επειδή όμως υπάρχουν οι σχετικές ατέλειες σε πολλές κεραίες εκπέμπονται δευτερεύοντα «πλαστικά» σήματα που ονομάζονται πλευρικοί λοβοί.

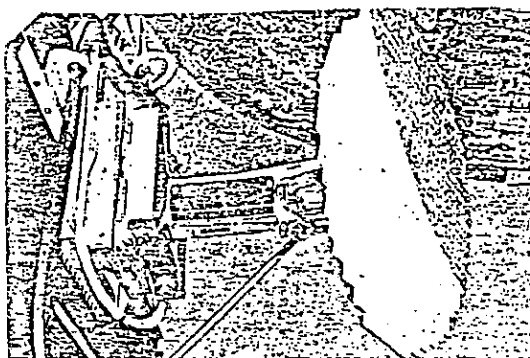


Σχήμα 4.21

Τα παλαιότερα ραντάρ που χρησιμοποιούσαν παραβολικές κεραίες είχαν σαν χαρακτηριστικό στην εκπομπή τους αυτούς τους λοβούς, ενώ τα νεώτερα με τις επίπεδες κεραίες αυτό το φαινόμενο τείνει να εκλείψει, όπως μας δείχνει το σχήμα 4.21. Το αποτέλεσμα αυτών των λοβών όταν ανακλώνται από το έδαφος ήταν η δημιουργία πολλές φορές περιέργων ανακλάσεων μέσα στην οθόνη του ραντάρ. Πολλοί κυβερνήτες για να μειώσουν αυτές τις άτακτες ανακλάσεις χρησιμοποιούσαν το χειριστήριο περιστροφής της κεραίας και πετούσαν με την κεραία ανασηκωμένη προς τα πάνω. Με αυτόν τον τρόπο βέβαια ανυψωνόταν οι κεραίες από το έδαφος, μειωνόταν όμως η εμβέλεια ανίχνευσης των καιρικών συνθηκών. Όταν άρχισαν τα ραντάρ να χρησιμοποιούν επίπεδες κεραίες, πολλοί κυβερνήτες συνέχιζαν λόγω συνήθειας να πετάνε με την κεραία ανυψωμένη και να παραπονούνται για μικρή εμβέλεια των νέων ραντάρ. Ο λόγος ήταν ότι όταν χρησιμοποιούσαν την παραβολική κεραία

στραμμένη προς τα πάνω μπορούσαν να εντοπίσουν τους στόχους αν όχι με την κύρια δέσμη πολλές φορές με τους πλευρικούς λοβούς, ενώ με την επίπεδη κεραία δεν υπήρχαν λοβοί, και αν μάλιστα η κεραία ανυψωθεί, η δέσμη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μπορεί να χάσει τελείως την περιοχή του άσχημου καιρού.

Μια επίπεδη κεραία φαίνεται στο σχήμα 4.22 διακρίνονται οι κατακόρυφες σειρές των κυματοδηγών με τις σχισμές που εκπέμπουν την ακτινοβολία, έτσι ώστε όλες να βρίσκονται σε φάση. Μεταβάλλοντας τον αριθμό και το πλάτος των σχισμών αυτών, η δέσμη μπορεί να διαμορφωθεί με ακρίβεια δημιουργώντας το κυριότερο πλεονέκτημα των επίπεδων κεραιών, την κατάργηση των πλευρικών λοβών.



Σχήμα 4.22

Αν ένα αεροσκάφος (με κεραία που εκπέμπει με δέσμη πλάτους 4°) πετάει στα 35000 πόδια έχοντας μηδενική ανύψωση στην κεραία του, τότε τα 100 μίλια απόσταση μπροστά από το αεροσκάφος βρίσκονται στα 14000 πόδια χαμηλότερο ύψος.

Αν η κεραία ανυψωθεί κατά 1° , τότε το κάτω μέρος της δέσμης (τα 100 μίλια) βρίσκονται στα 24500 πόδια ενώ αν ανυψωθεί κατά 2° , τότε το ύψος γίνεται 35000 πόδια και η κεραία δεν ανιχνεύει πιο κάτω.

Αν σημειωθεί ότι η υγραποίηση συνήθως συμβαίνει κάτω από τα 32000 πόδια, τότε η ικανότητα του ραντάρ να προειδοποιεί για τις άσχημες καιρικές συνθήκες έχει σοβαρά μειωθεί. Για την καλύτερη χρησιμοποίηση του ραντάρ θα πρέπει να γίνεται σωστή χρησιμοποίηση της ανύψωσης της κεραίας.

Η διαδικασία που συνιστάται είναι να επιλέγεται η εμβέλεια στον ενδείκτη, να ανυψώνεται η κεραία μέχρις ότου η δέσμη της ακτινοβολίας απομακρυνθεί από το έδαφος και μετά να ξαναχαμηλώνει έως ότου ξαναφανούν αμυδρά οι διάφοροι στόχοι στο έδαφος.

Με αυτόν τον τρόπο θα εξασφαλισθεί κατάλληλη κάλυψη των υψών στα οποία συμβαίνει υγραποίηση και άμεση εμφάνιση του άσχημου καιρού, επειδή λείπουν παντελώς οι «άτακτες» ανακλάσεις.

Όταν χρησιμοποιούν ραντάρ με επίπεδη κεραία για πρώτη φορά μερικοί πιλότοι εκφράζουν τις επιφυλάξεις τους για την αποτελεσματικότητά τους, ισχυριζόμενοι ότι βλέπουν σύννεφα που στο ραντάρ δεν φαίνονται. Η διαφορά όμως είναι ένα ραντάρ δεν δείχνει στην οθόνη του τα σύννεφα, εκτός αν παρουσιάζουν μεγάλη συγκέντρωση υγρασίας.

Ο λόγος είναι ότι τα σύννεφα με την χαμηλή συγκέντρωση υγρασίας δεν έχουν ανακλαστικότητα στις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες.

Η παρεξήγηση αυτή τελικά έχει διαλευκανθεί με την χρησιμοποίηση των επίπεδων κεραιών ραντάρ, οι οποίες δεν δημιουργούν ανακλάσεις άτακτης μορφής, ενώ οι παραβολικές κεραιές που δημιουργούσαν ανακλάσεις από το έδαφος έδιναν την εντύπωση ότι οι ανακλάσεις αυτές προερχόντουσαν από καιρικές ανωμαλίες. Αυτός είναι και ο λόγος που οι πιλότοι συμπεραίνουν για την μικρή εμβέλεια των νέων ραντάρ που έχουν επίπεδη κεραία, γιατί δεν απεικονίζουν όλες τις ανακλάσεις όπως και τα παλιά ραντάρ.

Όσο για τον τρόπο μετακίνησης της κεραίας (ανύψωση ή κατάβαση) πρέπει να σημειωθούν ορισμένα πράγματα για να υπάρχουν όσο το δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα.

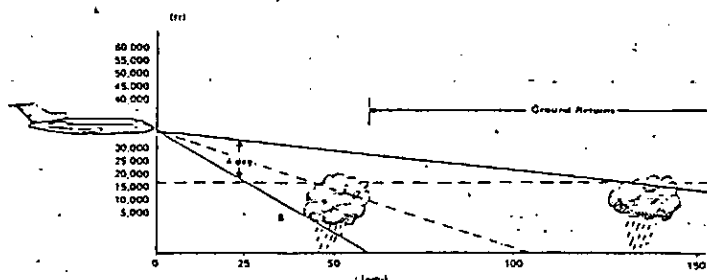
Όταν χρησιμοποιείται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με στενό πλάτος δέσμης, τότε στην οθόνη απεικονίζεται μόνο μια δισδιάστατη τομή της καταιγίδας που τυχόν βρίσκεται μπροστά

από το αεροσκάφος. Για την σωστή ανάλυση του μετώπου αυτή της καταιγίδας ο πιλότος θα πρέπει να ανυψώνει ή να κατεβάζει την κεραία του ραντάρ για να λαμβάνει μια τρισδιάστατη εικόνα αυτού που βρίσκεται στην πορεία της πτήσης του.

Η περιοδική κατάβαση της κεραίας από το πλήρωμα είναι ουσιώδους σημασίας αν θέλουμε να μην συμβαίνει σάρωση πάνω από τους διάφορους στόχους. Όσο το αεροσκάφος πλησιάζει ένα στόχο, είναι φυσιολογικό ο στόχος να φαίνεται εντονότερα (εφόσον η κεραία πάντα ανεβαίνει και κατεβαίνει από το πλήρωμα), γιατί όσο πιο μακριά πηγαίνει ο παλμός τόσο περισσότερη ενέργεια χάνεται. Ένας στόχος κοντινός ανακλά περισσότερη ενέργεια από ένα ίδιο στόχο σε μακρινή απόσταση και συνεπώς φαίνεται εντονότερος.

Αυτή η επίδραση κανονικά μηδενίζεται όταν οι αποστάσεις των στόχων είναι μεταξύ 50 και 100 ναυτικά μίλια με ένα ειδικό κύκλωμα του ραντάρ.

Ο πιλότος θα πρέπει να ανησυχήσει όταν ξαφνικά ένας στόχος φαίνεται ασθενέστερος ή εξαφανίζεται, γιατί τότε θα έχει γίνει σάρωση της δέσμης πάνω από τον στόχο. Τότε η κεραία θα πρέπει να κατέβει και να γίνει σάρωση χαμηλά για να ανιχνευθεί ο στόχος όπως μας δείχνει το σχήμα 4.23.



Σχήμα 4.23

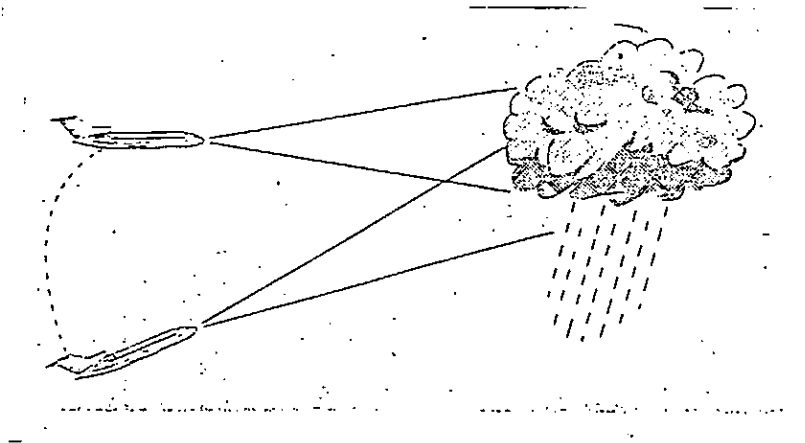
Κάθε φορά που η κεραία του ραντάρ κατεβάζεται οι ανακλάσεις της ακτινοβολίας από το έδαφος εμφανίζονται γι' αυτό και γίνεται επιλογή της κλίμακας με μικρότερη εμβέλεια έτσι ώστε να αποφεύγονται οι συγχύσεις.

Εκτός όμως από όλες αυτές τις επιλογές θα πρέπει να υπάρχει και μια άλλη διαφοροποίηση μεταξύ των ανακλάσεων του εδάφους και των συγκεντρώσεων που παρουσιάζουν τα σύννεφα. Σαν γενικός κανόνας χρησιμοποιείται το ότι οι τοξοειδείς απεικονίσεις στην οθόνη είναι ανακλάσεις του εδάφους όπως και οι σκοτεινές περιοχές χωρίς ανακλάσεις είναι ενδείξεις ότι υψηλές εδαφικές μεταβολές υπερκαλύπτουν χαμηλότερες.

Αντίθετα οι ανακλάσεις λόγω καιρού παρουσιάζονται σε πολύ πιο

εκλεπτυσμένη μορφή με μεγαλύτερες λεπτομέρειες, που όσο πιο εξελιγμένο είναι το ραντάρ τόσο σαφέστερη είναι η διαφορά.

Η κυριότερη περίπτωση ανίχνευσης του καιρού είναι πριν από την απογείωση και κατά την άνοδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.24).



Σχήμα 4.24

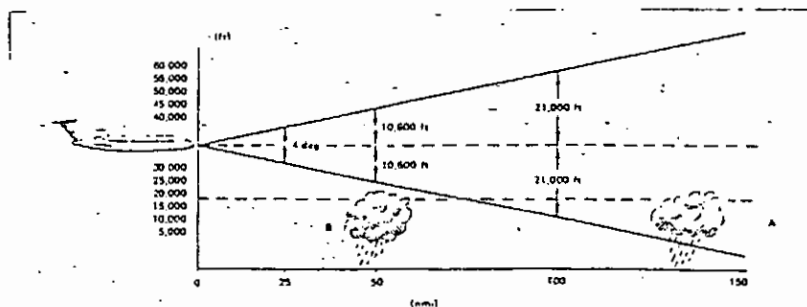
Τότε η κεραία ανυψώνεται και κατεβαίνει σιγά-σιγά όσο το αεροσκάφος πλησιάζει το ύψος ταξιδιού του, για να μην δημιουργηθούν περιπτώσεις υπερδιόπτωσης. Η ίδια ανύψωση της κεραίας γίνεται και όταν το αεροσκάφος κάνει ελιγμούς οπότε το κατακόρυφο γυροσκόπιο δίνει στο ραντάρ το σήμα θέσης του αεροσκάφους και έτσι είναι δυνατή η σωστή διόπτωση του ορίζοντα.

Κατά την διάρκεια παρατεταμένων στροφών, επιταχύνσεων ή επιβραδύνσεων παρουσιάζονται στο γυροσκόπιο σφάλματα μετάπτωσης τα οποία εξαφανίζονται μετά από ολιγόλεπτη σταθερή πτήση.

Κατά την περίοδο αυτή παρουσιάζονται και σφάλματα ευστάθειας της κεραίας. Συγκεκριμένα μετάπτωση του εγκάρσιου άξονα (ανόδου-καθόδου) επηρεάζει την θέση της κεραίας αλλά αυτό ρυθμίζεται με τον επιλογέα ανύψωσης ή κατάβασης της κεραίας. Η μετάπτωση του διαμήκη άξονα (περιστροφής) προκαλεί υψηλή σάρωση της κεραίας από μια πλευρά και χαμηλή από την άλλη, πράγμα που διορθώνεται με την σωστή αλλαγή της θέσης της κεραίας.

Για την καλύτερη χρησιμοποίηση των ραντάρ καιρού με τις επίπεδες κεραίες τονίζονται τα παρακάτω σημεία:

- α. Κάθε στόχος που φωτίζεται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ραντάρ απεικονίζεται ακριβώς στην οθόνη.



Σχήμα 4.25

- β. Για την ανίχνευση των καιρικών ανωμαλιών κανονικά δεν είναι απαραίτητο να είναι στραμμένη η κεραία πάνω ή κάτω. Η σωστή χρήση του επιλογέα ανύψωσης-κατάβασης είναι αναγκαία για την πλήρη κάλυψη, όλων των απαιτήσεων.
- γ. Για την ρύθμιση του επιλογέα ανύψωσης της κεραίας, επιλέγεται η εμβέλεια, ανυψώνεται η κεραία και μετά κατεβάζεται μέχρι να φανούν ελάχιστα οι στόχοι από το έδαφος, πράγμα που βεβαιώνει την κάλυψη των χαμηλών υψών όπως μας δείχνει το σχήμα 4.25. Ο κατακόρυφος διαχωρισμός των καιρικών ανωμαλιών είναι το ίδιο σημαντικός με τον οριζόντιο διαχωρισμό.
- δ. Περιοδικά η κεραία θα κατεβάζεται για να αποφεύγονται οι υπερκαλύψεις στόχων. Αυτό θα γίνεται όταν ένας στόχος εξαφανίζεται ή ασθενεί ξαφνικά σε ένταση ανάκλασης.
- ε. Παρατεταμένη ανύψωση της κεραίας χρησιμοποιείται συνήθως μόνο κατά την απογείωση και την άνοδο ή όταν συμβαίνουν ανάλογα γυροσκοπικά σφάλματα.

Επίλογος- Μια ματιά στο μέλλον

Μεγάλα βήματα έχουν πραγματοποιηθεί από τους τεχνικούς κατά την τελευταία δεκαετία για την αντιμετώπιση του βασικού προβλήματος της ευπάθειας των συστημάτων επικοινωνίας στον κεραυνό και τον κίνδυνο του στατικού ηλεκτρισμού. Πρώτο και κύριο ήταν ο προσδιορισμός των ζωτικών τομέων έρευνας που απαιτούνται για να επιλυθεί το πρόβλημα και να καθιερωθούν οι αλληλοεξαρτήσεις αυτών των τομέων. Ένα τρόπο αντίληψης των τομέων αυτών και της αλληλοεξάρτησής τους, προσπαθήσαμε να εκθέσουμε σ' αυτή την εργασία. Μπορούμε να πούμε ότι το θέμα «Προστασία» βρίσκεται πολύ κοντά στην καθιέρωση των κρίσιμων παραμέτρων και των μετ' αυτών συνδεδεμένων μεγεθών. Τρία κύρια προγράμματα πτητικής φύσης πολλά προγράμματα επίγειων μετρήσεων βρίσκονται σήμερα σε εξέλιξη. Ουσιώδεις για την επιτυχή αποπεράτωση των προσπαθειών αυτών είναι η ενσωμάτωση των υψηλών συχνοτήτων.

Η προσπάθεια για την κατανόηση της ηλεκτρομαγνητικής σύζευξης με την εσωτερική καλωδίωση του αεροσκάφους έγινε κάτω από συνθήκες συνδυασμού θεωρίας και πειράματος. Όσον αφορά στο ζήτημα των δομικών υλικών, πολλές χώρες εξετάζουν μια σειρά προτύπων διαδικασιών δομικής. Τα βασικά στοιχεία των προτύπων αυτών για τις δοκιμές αναπτύχθηκαν κατά την διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Επίσης καταβάλλονται αυτό

τον καιρό προσπάθειες για την καθιέρωση μιας σταθερής επιστημονικής βάσης για πολλές από αυτές τις διαδικασίες δοκιμών.

Η τεχνολογία αύξησης της αυθεντικότητας είναι διαθέσιμη για τα περισσότερα προβλήματα των έμμεσων επιδράσεων, όμως το πρόβλημα είναι το πως θα τελειοποιηθεί η χρήση των διαθέσιμων δυνατοτήτων εκλογής και ταυτόχρονα να εξασφαλισθεί η αρτιότητα της πτήσης των αεροσκαφών προχωρημένης τεχνολογίας.

Η εφαρμογή των τεχνολογιών όπως Fiber optics, θα πρέπει να τύχει ευρείας χρήσης στο μέλλον και να βοηθήσει τις προσπάθειες αύξησης της αυθεντικότητας.

Όπως θα διαπίστωσε ο αναγνώστης η λύση των προβλημάτων που προέκυψαν από αλληλοεπιδράσεις του ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού - Αεροσκαφών χρειάζεται αρμονικό συνδυασμό πολλών διαφορετικών ικανοτήτων για να είναι δυνατή η χρησιμοποίηση των αεροσκαφών σε οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες.

Έχει πολύ μεγάλη σημασία να ενθαρρυνθεί και να υποστηριχθεί η μεγάλη χρήση των υπό εξέλιξη τεχνολογιών της μικροηλεκτρονικής και των προχωρημένων δομικών υλικών που είναι δυνατόν να αυξήσουν σημαντικά τις επιχειρησιακές δυνατότητες των αεροσκαφών, με την προϋπόθεση όμως να μη

γίνει καμία υποχώρηση στο θέμα της ασφάλειας πτήσης, λόγω εφαρμογής των τεχνολογιών αυτών.

Τέλος μια εξίσου αξιοσημείωτη επιδίωξη για την ασφάλεια της πτήσης θα πρέπει να επιτευχθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο αντίκτυπος από τα πλεονεκτήματα που απορροφούν από τις ευκαιρίες της τεχνολογίας αυτής να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.

Βιβλιογραφία

1. Υψηλές Τάσεις: Χ. Μαϊνεμενλής
2. Protection for aircraft: M.M. NEWMAN and J.D. ROBB.
3. The behaviour of CFRP PANELS in metal aircraft during simulated lightning strokes: B.J.C. Burrows and A.W. Hanson
4. Protection of aircraft avionics from lightning indirect effects: J.Anderson Plumer.
5. Transient control levels: F.A. Fisher and F.D. Martzloff.
6. Effects of Changing Magnetic field on shielded Conductors: F.A. Fisher,
7. Control of Electric Field at the surface on P.N, Junctions: R.L.Davies and F.E.Gentry.
8. Lightning: M.A.Uman.
9. The lightning Discharge: C.E.R.Bruce and R.H.Golde.
10. The Effects of altitude of lightning hazards to aircraft: P.F.Little.
11. Lightning test criteria for aircraft avionics systems: D.W.Clifford.
12. A Test Technique for Measurement of Lightning induced Voltage in Aircraft Electrical Circuitry: L.C.Walco.

13. Lightning Phenomena in the Aerospace Environment:
R.B.Anderson and H.Kroninger.
14. The lightning Arrester Connector: J.A.Cooper and L.J. Allen.
15. «Space Shuttle Lightning Protection Criteria Document»
JSC-07636, Revision A, National Aeronautics and Space
Administration, Lyndon B.Johnson Space Center, Houston,
Texas (1975) p. F-7.
16. «Space Shuttle Program Lightning Protection Criteria
Document», Revision A, p. F-6.
17. «Space Shuttle Program Lightning Protection Criteria
Document», Revision A, p. F-8.

