



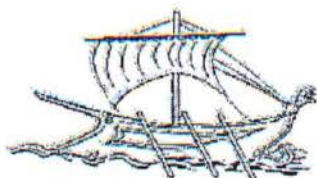
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**
ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ
Επιβλέπων: ΠΕΤΡΟΣ Γ. ΒΕΡΝΑΛΟΣ, Καθηγητής

H/Γ
610

**ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΥΠΕΡΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ**

Πτυχιακή Εργασία:
Σταύρου Μ. Λυήρου (Α.Μ. 6812)

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2011



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**
ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ
Επιβλέπων: ΠΕΤΡΟΣ Γ. ΒΕΡΝΑΔΟΣ, Καθηγητής

**ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΥΠΕΡΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ**

Πτυχιακή Εργασία:
Σταύρου Μ. Λυπήρου (Α.Μ. 6812)

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2011

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	2
Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ	4
1.1 Ηλεκτρομαγνητικά και Ηλεκτροστατικά Πεδία	4
1.2 Η Ηλεκτρική Δομή της Ατμόσφαιρας	5
1.3 Μηχανισμοί Φορτίσεως	8
1.4 Ηλεκτρικό Πεδίο Κακοκαιρίας και τα Φαινόμενά του.....	12
1.5 Μεταβαλλόμενα Ηλεκτρικά Πεδία.....	14
Κεφάλαιο 2: ΚΕΡΑΥΝΟΙ.....	18
2.1 Θεωρίες - Ορισμός.....	18
2.2 Χαρακτηριστικά Ηλεκτρικών Εκκενώσεων	19
2.3 Ορισμοί κατά Berger	24
2.3.1 Πολικότητα κεραυνού.....	24
2.3.2 Κατεύθυνση οχετού προεκκένωσης και κεραυνού.....	25
2.3.3 Πολικότητα του ηλεκτρικού πεδίου.....	25
2.4 Βασικές Παράμετροι ενός Κεραυνού	25
2.4.1 Εύρος και μορφή του κύματος του ρεύματος κεραυνού	25
2.5 Ενεργειακό Ισοζύγιο Κεραυνών	26
2.6 Ρεύματα Κεραυνών.....	28
2.7 Η Εκφόρτιση του Κεραυνού.....	29
2.8 Συνέπειες της Πτώσεως των Κεραυνών	32
Κεφάλαιο 3: ΕΙΔΗ ΚΕΡΑΥΝΩΝ	35
Γενικά.....	35
3.1 Κεραυνός Νέφους - Εδάφους	35
3.2 Κεραυνός Σύννεφου, Σύννεφου - Αέρα.....	36
3.3 Κεραυνός εν Αιθρία.....	37
3.4 Κεραυνός Κόκκινης Κουκίδας	37
3.5 Ταινιωτός Κεραυνός	37
3.6 Σφαιρικός Κεραυνός	38
3.7 Περιδεραιοειδής Κεραυνός.....	38
3.8 Εκκένωση “Corona”	38
3.9 Κεραυνός των Σεισμών - Ηφαιστειών.....	39
3.10 Τεχνητός Κεραυνός της Υδρογονοβόμβας.....	39

Κεφάλαιο 4: ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	41
Γενικά - Παράγοντες Προστασίας.....	41
4.1 Βασικές Αρχές Αντικεραυνικής Προστασίας.....	42
4.2 Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) & ΕΛΟΤ 1412/98.....	43
4.3 Χαρακτηριστικά Αλεξικέραυνων.....	47
4.4 Ταξινόμηση Αντικεραυνικών Συστημάτων.....	50
4.5 Δυναμικά Συστήματα Προστασίας (Antim pact Lightning Refellers).....	65
4.6 Εκλογή της Ονομαστικής Τάσης του Αλεξικέραυνου.....	67
4.7 Έλεγχος Αλεξικέραυνων.....	67
4.8 Συνεργασία Μονώσεων στα Δίκτυα Μ.Τ.....	69
4.9 Έλεγχος των Περιθωρίων Προστασίας για τα Αλεξικέραυνα και τις Ακίδες.....	69
4.10 Γειώσεις Μέσων Προστασίας.....	71
4.11 Σχέδια - Σχήματα.....	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES	75

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εκπονήθηκε στους χώρους του Τμήματος Ηλεκτρολόγων του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, στα πλαίσια της προσπάθειας ενημέρωσης, ανάπτυξης, και εφαρμογής της προστασίας και ασφάλειας από τα κεραυνικά φαινόμενα.

Όπως περιγράφεται και αναλύεται στα επόμενα κεφάλαια, ο ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός και κυρίως ο στατικός ηλεκτρισμός, άρχισε να ενδιαφέρει τους επιστήμονες μετά τον 16^ο αιώνα.

Παρόλη την εξέλιξη που ακολούθησε στα επόμενα χρόνια, έχουμε φτάσει στην εποχή μας, με την τόσο υψηλά αναπτυγμένη τεχνολογία και τεχνογνωσία στην ηλεκτρονική και διαστημική επιστήμη, να μην μπορούμε ακόμη να καθορίσουμε τι προκαλεί τα σύννεφα να φορτιστούν.

Έτσι θα δώσουμε μια γενική ερμηνεία του ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού και των μηχανισμών φορτίσεως, γενικώς, του φαινομένου των κεραυνών και των χαρακτηριστικών του, αλλά κυρίως θα αποδώσουμε τον ρόλο της προστασίας από τους κεραυνούς ο οποίος είναι πολύ σημαντικά απαραίτητος και αναγκαίος λόγω του ότι σε μια χώρα όπως η Ελλάδα, όπου το ορεινό μέρος αποτελεί το 70% του εδάφους της, τα κεραυνικά φαινόμενα είναι πολυσύχναστα και με καταστροφικά αποτελέσματα, τόσο σε άψυχο όσο και σε έμψυχο υλικό.

Όπως θα φανεί και στα επόμενα κεφάλαια, ο ρόλος της προστασίας είναι πολύ σημαντικός καθώς επιτρέπει κατά 99% τη διατήρηση και σωτηρία της κτηριακής κατασκευής.

Όλες οι παρακάτω διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα μέσω των ισοδυναμικών συνδέσεων και εγκαταστάσεων αποτελούν τμήμα του εσωτερικού Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας που αναφέρεται και αναλύεται στο πρότυπο 1197 του ΕΛΟΤ, που είναι αντίστοιχο του Ευρωπαϊκού EN 61024.

Για μια πιο σωστή μελέτη και σχεδιασμό μιας κατασκευής θα πρέπει να παραπεμφθούμε στους αντίστοιχους κανονισμούς Ε.Η.Ε. και σε βοηθήματα των Γερμανικών Κανονισμών VDE 0190, VDE 0107, VDE 0100.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν άμεσα ή έμμεσα στην πραγματοποίηση της πτυχιακής αυτής, όπως Δημόσιους και Ιδιωτικούς φορείς και Οργανισμούς.

Αιγάλεω, Νοέμβριος 2011

Λυπήρος Σταύρος

ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Μια ηλεκτρική καταιγίδα είναι ένα από τα πιο θαυματικά φυσικά φαινόμενα και η εκδήλωσή της, μέσα από βροντές και αστραπές, γοήτευε και τρόμαζε τον άνθρωπο διαχρονικά. Λόγω της μεγάλης καταστροφικής της ικανότητας, στην αρχαιότητα θεοποιήθηκε και επηρέασε το θρησκευτικό συναίσθημα πολλών λαών σε όλα τα μήκη του κόσμου.

Από τους βόρειους Νορβηγούς (θεός Thor με το σφυρί Mjollner) έως τους Αφρικανούς της Ροδεσίας και από τους Ινδιάνους της Βόρειας Αμερικής (πουλί Umpundulo) έως τους Ιάπωνες Βουδιστές.

Στην ελληνική αρχαιότητα, η αστραπή και ο κεραυνός ήταν σημάδι της δυσαρέσκειας του πατέρα των θεών Δία: έτσι πολύ συχνά χρησιμοποιούνταν απ' αυτόν για να τιμωρήσει τους θνητούς με θάνατο ή με καταστροφή των περιουσιών τους.

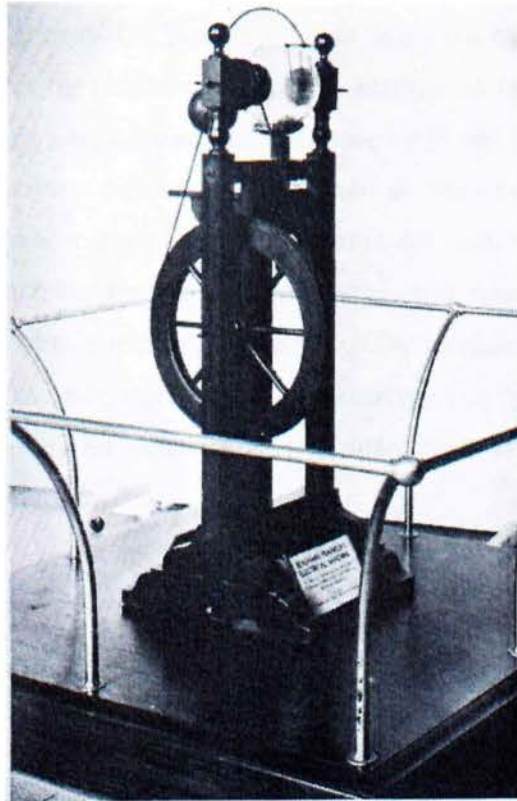
Ο ναός του Σολομώντα λέγεται ότι είχε 25 μακριές σιδερένιες βέργες κατά μήκος της χρυσής οροφής του, συνδεδεμένες με μεταλλικούς αγωγούς που κατέληγαν σε δεξαμενές. Ποτέ δεν χτυπήθηκε από κεραυνό.

Το θερινό Περσικό παλάτι στα Εκβάτανα είχε σκεπή με ασημένια κεραμίδια και τρούλο με ακίδα.

Με την εμφάνιση της Αναγεννήσεως έχουμε και την είσοδο των Θετικών επιστημών. Έτσι το έτος 1600 ο Άγγλος William Gilbert, φυσικός της βασίλισσας Elizabeth I, έκανε την πρώτη επιστημονική μελέτη του ηλεκτρισμού. Για περισσότερο από 100 χρόνια έχουμε σχεδόν μια πολύ αργή ανάπτυξη ιδεών και λίγες θεωρίες φιλοσόφων όπως και εκείνη του Sir Isaac Newton, έως το 1708 όπου ο Άγγλος D. William Wall ήταν ο πρώτος άνθρωπος που επίσημα συσχέτισε τον ηλεκτρισμό με τον κεραυνό. Κατά τη διάρκεια ενός πειράματός του παρατήρησε μια ομοιότητα μεταξύ των κεραυνών και των σπινθήρων που παράγονται από την τριβή του κεχριμπαριού. Έτσι, ο S. Gray (1735) και ο A.G. Rosenberg (1745) υποστηρίζουν την παραπάνω ομοιότητα των κεραυνικών φαινομένων και της ηλεκτρικής φωτιάς που παράγονται εργαστηριακά από ηλεκτρικές μηχανές.

Πολλοί επιστήμονες γοητεύονται από τη νέα επιστήμη και προσπαθούν να απαντήσουν στα ερωτήματα που τους δημιουργούνται. Μέσα σ' αυτούς και ένας επιτυχημένος εκδότης και τυπογράφος, κάτοικος της Φιλαδέλφειας των ΗΠΑ, ο

Benjamin Franklin που το 1746, με τη συνεργασία του φίλου του Dr. John Mitchel, εφευρίσκει τον μονωμένο κλωβό και την αρχή της αντικεραυνικής ράβδου. Δυστυχώς όμως, η ιδέα του πειράματός του δεν πραγματοποιείται απ' αυτόν αλλά από τον Γάλλο D' Alibard στα 1751, στο Marly. Το πείραμα της Φιλαδέλφειας γίνεται από τον Φραγκλίνου τον Ιούνιο του 1752 (Φωτ. 1). Ακολουθούν τα πειράματα του Γάλλου Abbé Nollet, του Ρώσου καθηγητή Richmann, του Ιταλού επιστήμονα Beccaria και του Lord Kelvin.



Φωτ. 1: Ηλεκτρική μηχανή Φραγκλίνου.

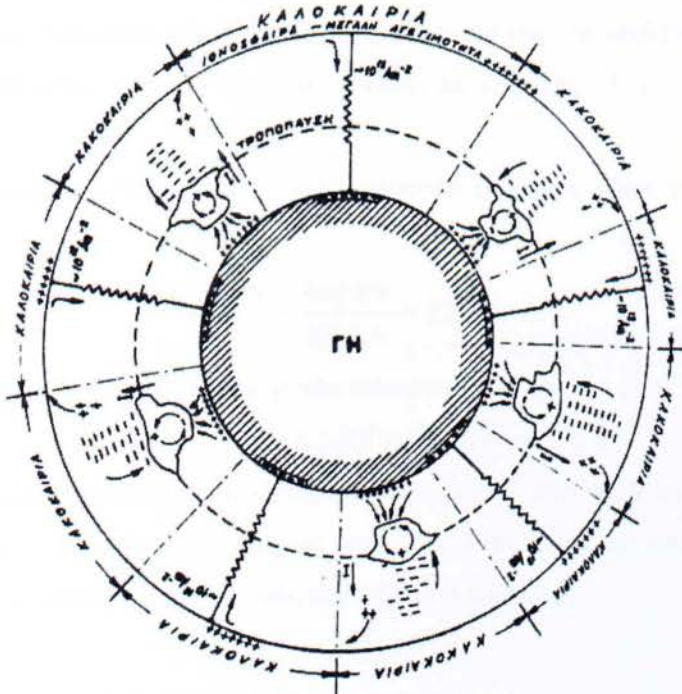
Οι πρώτες διαπιστώσεις για τις διαδικασίες των κεραυνών έγιναν μόλις μετά το 1925 και 1926 με την ανάπτυξη και χρήση του καθοδικού παλμογράφου από τον Norinder (1925) και με την κατασκευή της περιστροφικής κάμερας από τον Sir Charles V. Boys (1926). Κατά το πέρασμα του Αιώνα, διεξάγονται πολλά πειράματα από φυσικούς, αλλά τόσο τα τεκμηριωμένα αποτελέσματά τους όσο και οι θεωρίες του Φραγκλίνου δεν θα εφαρμοζόντουσαν αν δεν υπήρχε η βοήθεια της φωτογραφικής μηχανής για την καταγραφή των γρήγορων εναλλαγών των ηλεκτροφόρων αστραπών.

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ

1.1 Ηλεκτρομαγνητικά και Ηλεκτροστατικά Πεδία

Ο πλανήτης Γη περικλείεται από ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Η προέλευση του μαγνητικού πεδίου της Γης είναι η θεωρία του «αυτοδιεγερόμενου δυναμό». Αναλύεται ως εξής: η Γη, περιστρεφόμενη μέσα στο ίδιο της το μαγνητικό πεδίο, επάγει ρεύματα που συντηρούν το αρχικό της μαγνητικό πεδίο χωρίς σχετική κίνηση (διότι ο ρότορας και ο στάτορας είναι ένα και το αυτό) και παράγεται ενέργεια από το μηδέν, που συντηρεί την ενέργεια JOULE των επαγόμενων ρευμάτων.

Έτσι η Γη είναι ένας σχετικά καλός αγωγός λόγω των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του με αρνητικά φορτία. Αλλά η υπεράνω ατμόσφαιρά της, το Σύμπαν, είναι ένας σχετικά κακός αγωγός, εφόσον η υγρασία δεν είναι υψηλή, μέχρι το ύψος της Ιονόσφαιρας, θετικά φορτισμένος. Η Ιονόσφαιρα είναι όμως καλός αγωγός λόγω του ιονισμού της και κατά συνέπεια λόγω των ελεύθερων ηλεκτρικών φορέων. Έτσι σχηματίζονται οι πλάκες ενός τεράστιου φυσικού πυκνωτή με ενδιάμεσο διηλεκτρικό τον αέρα, χωρητικότητας 1,8 F ανάμεσα δύο αγωγίμων επιφανειών (Σχ. 1.1)



Σχήμα 1.1: Ο φυσικός πυκνωτής που σχηματίζεται μεταξύ της αγωγίμης επιφάνειας της γης και του αγωγίμου στρώματος της ιονόσφαιρας. Οι περιοχές καλοκαιρίας εκφορτίζουν τον πυκνωτή ενώ οι περιοχές κακοκαιρίας, με τα κεραυνικά φαινόμενα φορτίζουν τον πυκνωτή.

Μετρήσεις κατά τη διάρκεια ηλιοφάνειας και κακοκαιρίας σε επίπεδο έδαφος, ο πυκνωτής μας ήταν φορτισμένος μ' ένα κατακόρυφο ηλεκτρικό πεδίο της τάξεως των 130 V/m. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ένας άνθρωπος διατρέχεται συνεχώς από ένα ρεύμα διαφοράς δυναμικού μεταξύ 170 και 220 Volts εάν είναι όρθιος, ενώ εάν ξαπλώσει το ηλεκτρικό πεδίο μεταβάλλεται σημαντικά και όλα τα σημεία του σώματός του υποβάλλονται σε μια χαμηλής τάσης διέγερση.

Το ηλεκτρικό δυναμικό της ατμόσφαιρας αυξάνεται ανάλογα με το υψόμετρο και μειώνεται αν υπάρχει υγρασία στον αέρα. Φτάνουμε στο μέγιστο σημείο του το καλοκαίρι και ειδικότερα στις 8 το βράδυ οπότε αυξάνεται και η αρτηριακή πίεση του ανθρώπου. Μειώνεται δε σταδιακά φτάνοντας στο χαμηλότερο σημείο του στις 4 το πρωί, στην περίοδο του βαθέως ύπνου, οπότε και μειώνεται η αρτηριακή μας πίεση. Το ηλεκτρικό δυναμικό πεδίο ισοδυναμεί με μια διαφορά δυναμικού των πλακών, του μεγέθους 360 KV. Κατά τη διάρκεια ακραίων καταιγίδων το πεδίο αυξάνεται ανοδικά.

Η επιφάνεια της Γης φέρει αρνητικά φορτία με πυκνότητα $-1,1 \text{ E}^{-9} \text{ cb/m}^2$.

Η διηλεκτρική διαρροή του φυσικού πυκνωτή έχει πυκνότητα ρεύματος $2,7 \text{ E}^{-12} \text{ A/m}^2$. Η διαρροή αυτή οφείλεται στην ύπαρξη λιγοστών ελευθέρων φορτίων στον αέρα. Η συνολική διαρροή γύρω απ' όλη την επιφάνεια της Γης υπολογίζεται από την πυκνότητα ρεύματος και την συνολική επιφάνεια της Γης ($5 \text{ E}^{14} \text{ m}^2$) ότι είναι $I=1350\text{A}$.

Απ' αυτά τα μεγέθη, η συνολική αντίσταση του αέρα μέχρι την ιονόσφαιρα υπολογίζεται:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{300 \text{ KV}}{1350 \text{ A}} = 222 \text{ } \Omega.$$

Η σταθερά χρόνου εκφόρτισης του πυκνωτή είναι

$$T = R \cdot C = 222 \text{ } \Omega \times 1,8 \text{ F} = 400 \text{ sec} = 6,6 \text{ min}$$

Ο πυκνωτής όμως δεν εκφορτίζεται μέσα σε 6-7 min διότι επαναφορτίζεται ταυτόχρονα και το πεδίο καλοκαιρίας των 130 V/m είναι το αποτέλεσμα του ισοζυγίου της φόρτισης και εκφόρτισης του φυσικού πυκνωτή.

1.2 Η Ηλεκτρική Δομή της Ατμόσφαιρας

Η ύπαρξη των ιόντων στην ατμόσφαιρα είναι η βασική αιτία δημιουργίας του ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού. Αν υπήρχε απώλεια ιόντων δεν θα είχαμε κανένα ηλεκτρικό πεδίο στην ατμόσφαιρα και κυριολεκτικά ούτε καταιγίδες ή κεραυνούς.

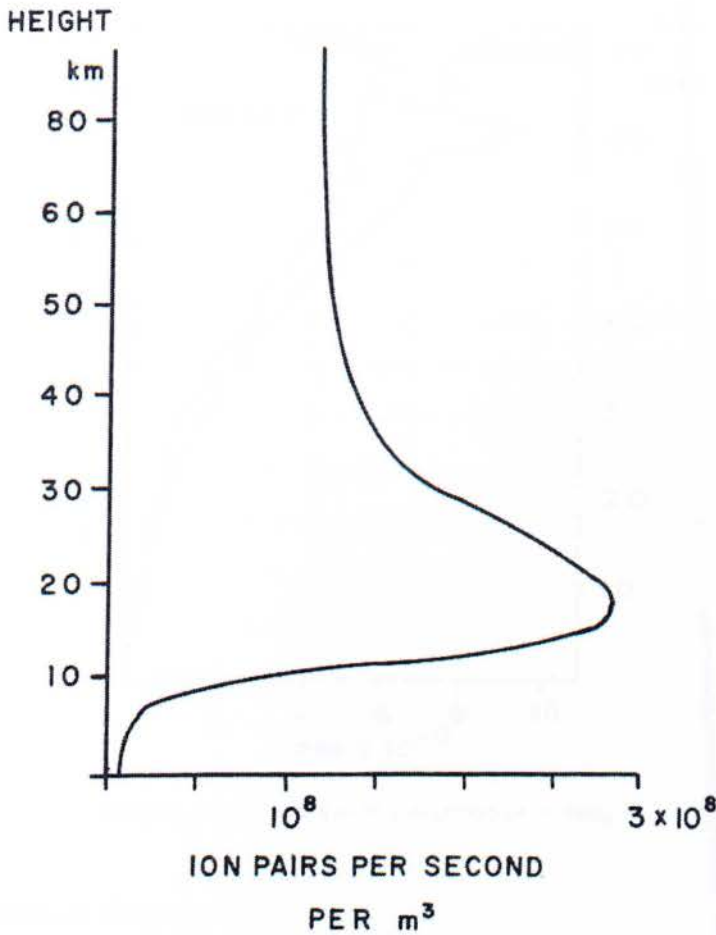
Υπάρχουν τρεις κυρίως τάξεις των ιόντων ανάλογα με το μέγεθός τους: τα μικρού μεγέθους ιόντα, τα μεσαία και τα μεγάλα. Πιο σπουδαίας αξίας θεωρούνται τα μικρά ιόντα εξαιτίας της υψηλής τους κινητικότητας που τους επιτρέπει να πάρουν ένα πιο ενεργό μέρος στην μεταφορά των φορτίων διαμέσω της ατμόσφαιρας. Η κινητικότητα των ιόντων μπορεί να μετρηθεί σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/sec) ή μέτρα ανά Βολτ (m/V), η οποία υποδηλώνει την ταχύτητα που μπορεί να φτάσει ένα ιόν όταν εισέρθει σε ηλεκτρικό πεδίο του 1 Volt ανά μέτρο. Για τα μικρά ιόντα, η κινητικότητα είναι της τάξεως του 0,0001 με μια μικρή ακμή αρνητικού ιόντος υπεράνω του αντίστοιχου θετικού. Στην πραγματικότητα η αρνητική προς την θετική ακτίνα κινήσεως των μικρών ιόντων είναι γύρω στο 1,25 (Wahlin, 1985) το οποίο είναι παράδοξο αφού τα αρνητικά ιόντα πιστεύεται ότι είναι περισσότερο βαριά και ογκώδη από ότι τα θετικά ιόντα.

Μια εξήγηση που δίνεται από τη Θεωρία του Paroukar (1965) είναι ότι για ένα διάστημα της ζωής του, ένα αρνητικό ιόν είναι πράγματι ένα ηλεκτρόνιο που μετακινείται από μόριο σε μόριο. Η αληθινή μοριακή δομή τους και μάζα δεν είναι αρκετά γνωστή διότι είναι δύσκολο να κάνουμε σπεκτροσκοπική (φασματογραφική) ανάλυση της μάζας των μικρών ιόντων στην χαμηλότερη ατμόσφαιρα. Το πρόβλημα είναι σχετικό με την πολύ μικρή διάρκεια ζωής τους (γύρω στα 100 δευτερόλεπτα) η οποία είναι πολύ μικρότερη από τον απαιτούμενο χρόνο μετάδοσης για μόρια ή ιόντα ώστε να φτάσουν στην πηγή ενός αναλυτή μάζας.

Η ιονιοποίηση στη χαμηλή ατμόσφαιρα προκαλείται κυρίως από τις κοσμικές ακτίνες και την φυσική ραδιοακτινοβολία. Ιόντα επίσης παράγονται στα κοντινά σύννεφα από τους κεραυνούς και από την διαδικασία της «κορώνας». Οι κοσμικές ακτινοβολίες προέρχονται από τον διαστημικό χώρο και συνήθως αποτελούνται από υψηλής ταχύτητας άτομα.

Υπάρχουν επίσης ηλεκτρόνια παρόντα στο χώρο που ταξιδεύουν σχεδόν με ταχύτητα φωτός αλλά τέτοια μέρη συνήθως απορροφούνται στα μεγάλα υψόμετρα της γήινης ατμόσφαιρας. Πάντως, δυνατές κοσμικές ακτίνες συχνά χτυπούν την ατμόσφαιρα, αλλά σπάνια φτάνουν στην επιφάνεια της Γης.

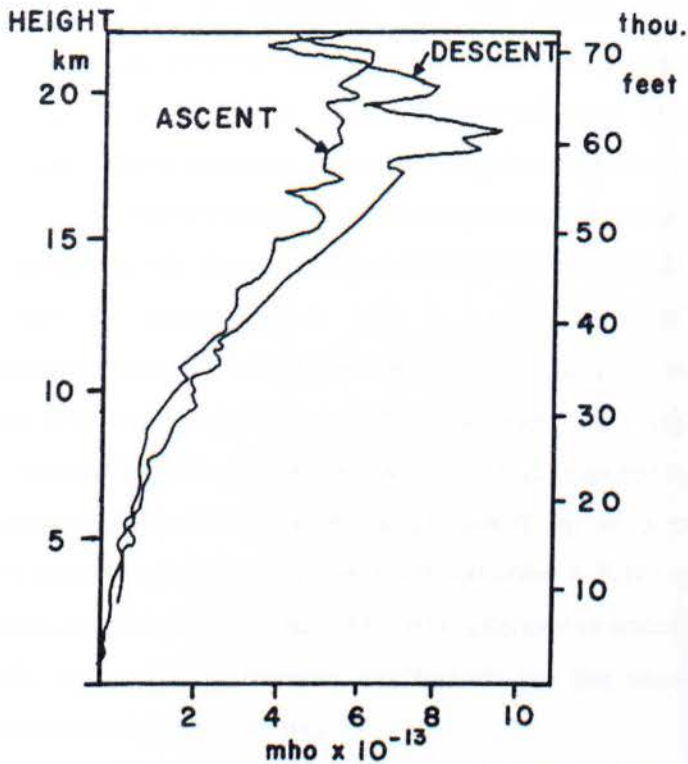
Κυρίως όμως πολυάριθμα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια παράγονται κατά μήκος της ατμόσφαιρας. Τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια μπορούν να ιονίσουν ένα μεγάλο ποσοστό του εαυτού τους πριν αυτά έρθουν σε επαφή με ατμοσφαιρικά μόρια και να σχηματίσουν αρνητικά ιόντα. Στο ακόλουθο σχήμα (Σχ. 1.2) βλέπουμε το βαθμό της παραγωγής ιόντων από κοσμικές ακτίνες με παράγωγο του ύψους.



Σχήμα 1.2

Η κατά μέσον όρο παραγωγή σε επίπεδο ύψους θαλάσσης, είναι γύρω στα δέκα εκατομμύρια ζευγάρια ιόντων ανά κυβικό μέτρο ανά δευτερόλεπτο. Πάντως ο μέσος όρος ύπαρξης ιόντων σε δεδομένο χρόνο είναι σχεδόν εκατό φορές περισσότερος δεδομένου ότι ο μέσος όρος ζωής ενός μικρού ιόντος είναι γύρω στα 100 δευτερόλεπτα. Αν όλα τα ιόντα του χαμηλού ορίου της ατμόσφαιρας ήταν ορατά, θα παρήγαγαν μια ομίχλη διότι ο μέσος χώρος μεταξύ του κάθε ιόντος είναι περίπου 1 mm. Έτσι συνεπάγεται ότι αυτόματα θα έχουμε και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αναλόγως του ύψους (Σχ. 1.3).

Το αποτέλεσμα είναι ότι ένα πολύ μικρό μέρος της κοσμικής ακτινοβολίας μπορεί να είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία για περισσότερο από ένα δισεκατομμύριο ζευγάρια ιόντων.



Σχήμα 1.3: Αγωγιμότητα σε συνάρτηση με το ύψος.

1.3 Μηχανισμοί Φορτίσεως

Υπάρχουν αρκετές κύριες διαδικασίες φορτίσεως που με έναν απλό ή σύνθετο τρόπο μπορούν να συμβάλουν στην δημιουργία των ατμοσφαιρικών ηλεκτρικών φαινομένων. Οι πιο σπουδαίες είναι: η στατική ηλεκτρίση, η ηλεκτροχημική φόρτιση, η διάχυση φορτίσεως και οι μηχανισμοί κατάψυξης.

Σε μια θερμή και ηλιόλουστη μέρα, η ζέστη απορροφάται από την επιφάνεια του εδάφους προκαλώντας εξάτμιση νερού και ζεστού αέρα, ο οποίος ανεβαίνει σε υψηλά ατμοσφαιρικά επίπεδα. Τόσο ο ζεστός αέρας όσο και η εξάτμιση του νερού πρέπει να βρίσκονται ένα στάδιο πριν τον κορεσμό.

Το μυστικό δημιουργίας ενός σύννεφου καταιγίδας και της ξεσπώμενης ισχύος εμπεριέχεται στην ποσότητα του ατμού που διατηρείται. Η κρυμμένη ενέργεια του ατμώδους νερού είναι ο παράγοντας κλειδί για τον σχηματισμό του σύννεφου καταιγίδας και της ηλεκτρισής του.

Για παράδειγμα, στην παραλία πολλοί από εμάς έχουμε την εμπειρία της αίσθησης του κρύου βγαίνοντας από το νερό. Η εξήγηση βρίσκεται στο ότι το νερό απομακρύνει την ζέστη από την επιφάνεια του σώματος σε μια βαθμίδα γύρω στα

540 calories ή 2.250 Joules ανά γραμμάριο, όταν αυτό εξατμίζεται. Όταν το νερό συμπυκνώνεται σε σχηματισμένες σταγόνες, το ίδιο ποσό ενέργειας με τον σχηματισμό ζέστης απελευθερώνεται. Έτσι, όταν ένα σύννεφο σχηματίζεται από ζεστό και υγρό αέρα, φθάνει ψηλότερα και σε πιο ψυχρά επίπεδα και η συμπύκνωση θα δημιουργήσει μικρές σταγόνες μεταξύ 5-10 εκατομμυριοστών του μέτρου (μm).

Κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης απελευθερώνεται κρυμμένη θερμότητα, ζεσταίνοντας έτσι τον περιστοιχίζοντα αέρα ο οποίος θα υψωθεί ψηλότερα (φαινόμενο θερμού μπαλονιού) σε σημαντικά ύψη τραβώντας περισσότερο υγρό αέρα επάνω από κάτω που παίρνει τη θέση του. Μια αλυσιδωτή αντίδραση αρχίζει όταν υγρός αέρας τροφοδοτείται από κάτωθεν αντλώντας όλο και περισσότερο καθώς και περισσότερη ενέργεια μέσα στο σύννεφο με τη μορφή της θερμότητας και της μεταφοράς. Ένα σύννεφο μπορεί να αυξηθεί σε 60.000 πόδια ή 20.000 m σε ύψος σε πολύ περιορισμένα στενές στήλες. Οι ταχύτητές τους μπορούν να φτάσουν εύκολα τα 30 m/s. Η κάθε στήλη-κολώνα καλείται «στοιχείον» και ένα νέφος καταιγίδας συνήθως αποτελείται από αρκετά στοιχεία.

Κάθε στοιχείο έχει ένα μέσο όρο ζωής των 30 λεπτών. Όταν ένα στοιχείο φτάσει στο μέγιστο υψόμετρό του τότε βρίσκεται στο πλήρως αναπτυγμένο πεδίο που σ' εκείνη την ώρα το πάνω μέρος του σύννεφου ισοπεδώνεται (απλώνεται) για να πάρει το συνηθισμένο σχήμα του, συχνά σχετιζόμενο με βροντές. Η επίπεδη πια εξομαλυμένη κορυφή πιστεύεται ότι έχει γίνει έτσι λόγω επαφής της με την στρατόσφαιρα ή έχει φτάσει στο όριο της ατμόσφαιρας, όπου η θερμοκρασία του αέρα αρχίζει να αυξάνει με σημαντικό ύψος το οποίο θα προκαλέσει το σύννεφο να ατμοποιηθεί πάλι.

Στο στάδιο ανάπτυξης ενός σύννεφου, οι σταγόνες μεγαλώνουν σε μέγεθος καθώς αυτές φθάνουν σε υψηλότερα επίπεδα και τελικώς γίνονται αρκετά βαριές για να επιβάλλουν τις προσχεδιασμένες ταχύτητες της μεταφοράς. Σ' αυτό το σημείο, βροχή ή χαλάζι αρχίζει να πέφτει προς το έδαφος και το στοιχείο (μέρος του σύννεφου) έχει φθάσει στο σημείο διάλυσής του.

Σε περιοχές μεγαλύτερου γεωγραφικού πλάτους, το χαλάζι, όταν πέφτει, φθάνει χωρίς εξαίρεση σε θερμοκρασίες κάτω της ψύξης. Αλλά τις περισσότερες φορές, όπως και το χιονόνερο, είναι κρυσταλλωμένα φθάνοντας στο έδαφος χωρίς να έχουν λιώσει.

Το κρύο χαλάζι θα ψύξει τον αέρα στο σύννεφο, ο οποίος θα γίνει βαρύτερος και θα αρχίσει να κινείται για τα καλά προς τα κάτω.

Όταν παρουσιαστούν όμβρος νερού και καθοδικό ρεύμα αέρα, η στήλη είναι σ' ένα καθεστώς διάλυσης και παρόλο που έχουμε μια κεραυνική δραστηριότητα, η ζωή του είναι σχεδόν μικρή.

Σειρές από καταιγίδες κεραυνών σχηματίζονται όταν ένα κρύο μπροστινό μέρος σφηνωθεί από κάτω σε θερμή υγρή αέρια μάζα κατά μήκος ενός θερμού μέρους και σειρές από μπόρες μπορούν να εκτείνονται για αρκετές εκατοντάδες μίλια.

Η πηγή ενέργειας είναι η ίδια, ονομάζεται **συμπύκνωση του νερού** και απελευθερώνει αδρανή ενέργεια. Καταιγίδες με κεραυνούς κατά μήκος με μια σειρά από μπόρες συχνά φαίνονται αδύναμες και ακίνδυνες, γιατί ο βαρύτερος και ψυχρότερος αέρας σφηνώνει και εισχωρεί στην κάτω πλευρά του ζεστού μέρους. Παρόλο που υπάρχει μια αξιόλογη ρευστότητα του αέρα μέσω των ακριανών πλευρών, η κυρίως ενέργεια παράγεται από τα καθοδικά ρεύματα αέρος της συμπύκνωσης και της μεταφοράς.

Η ενέργεια ενός νέφους καταιγίδας καθορίζεται από το ποσό της εξάτμισης του νερού. Τυπικά, ένα πολύ απλό στοιχείο-στήλη περιέχει 8×10^3 Kg νερού (Israel, 1973), το οποίο μετατρέπεται σε βροχή και θερμότητα σε ποσοστό γύρω στο 60%. Η ολική εκλυόμενη ενέργεια ενός στοιχείου-στήλη είναι γύρω στα $1,4 \times 10^{14}$ Joules για κάθε στήλη.

Αν ο μέσος χρόνος ζωής ενός στοιχείου είναι 30 λεπτά, τότε η μέση ισχύς κάθε στοιχείου ισοδυναμεί με $7,8 \times 10^{10}$ Watts. Εκτιμάμε ότι περίπου 20.000 καταιγίδες με κεραυνούς είναι ενεργές ταυτόχρονα σ' όλη τη Γη. Συμπεραίνουμε λοιπόν, βάσει των παραπάνω, ότι η ολική εκλυόμενη ενέργεια πρέπει να είναι ίση με $1,6 \times 10^{14}$ Watts, το οποίο ισοδυναμεί με 0,1% της ενέργειας που υποδέχεται η επιφάνεια της Γης από τον ήλιο.

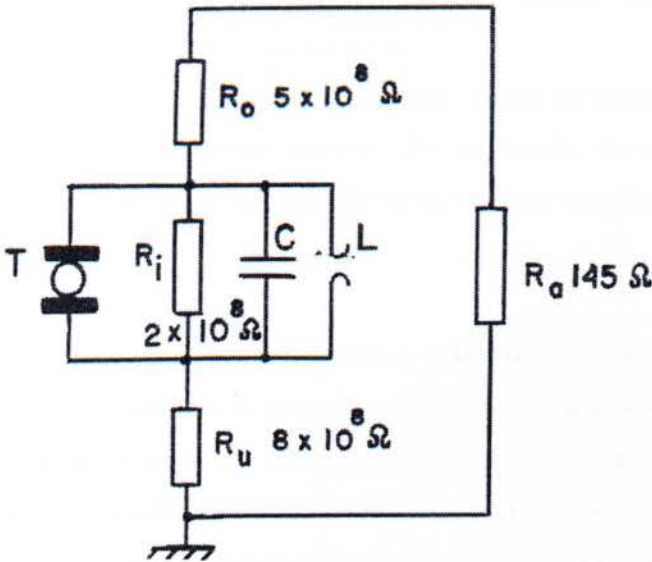
Η ηλεκτρική ενέργεια μιας καταιγίδας κεραυνών μπορεί να καθοριστεί με αρκετούς τρόπους.

Ο Schonland (1953) υπολόγισε τη διαφορά δυναμικού που εμπεριέχεται σε μια τυπική αστραπή κεραυνού που είναι από 10^8 - 10^9 Volts ενώ το μέσο φορτίο που μεταδίδεται είναι 20 cb.

Το συνολικό ποσό του εκλυόμενου φορτίου που διαχωρίζεται σ' ένα σύννεφο είναι γύρω στα 1.400 cb, σύμφωνα με τη Θεωρία του Wormell (1953).

Από την παραπάνω πληροφορία μπορούμε να καθορίσουμε την συνολική ηλεκτρική ενέργεια που συνεπάγεται να είναι της τάξης των $\frac{1}{2} VQ = 7 \times 10^{11}$ Joules.

Μια πιο ρεαλιστική μέθοδος, που παρουσιάζεται από τον Israel (1973) αποδίδει μια μεγαλύτερη τιμή των $1,7 \times 10^{13}$ Joules. Στην προσέγγιση του Israel, η μέση στήλη καταιγίδας κεραυνού αντιπαραβάλλεται με το διάγραμμα ενός ηλεκτρικού κυκλώματος (Kasemir, 1965) που αναπαρίσταται παρακάτω (Σχ. 1.4).



Σχήμα 1.4: Διάγραμμα ηλεκτρικού κυκλώματος μιας καταιγίδας.

Σύμφωνα με τη Θεωρία του Wait (1950), διαφορετική από την προηγούμενη, μια στήλη-στοιχείο καταιγίδας κεραυνών παράγει κατά μέσο όρο 2,5 A ρεύμα και διαμέσω ενός από τους νόμους του Ohm βρίσκουμε ότι η συνολική ισχύς εξόδου είναι $R I^2 = 9,4 \times 10^9$ W, η οποία όταν ολοκληρώνεται με τη χρονική διάρκεια ύπαρξης μιας στήλης (δηλαδή 30 min) μας δίνει $1,7 \times 10^{13}$ Joules.

Μια παρατήρηση που χρειάζεται να επισημάνουμε είναι σχετικά με την εσωτερική αντίσταση. Η αγωγιμότητα της αντίστασης εξαρτάται από τον αριθμό των διαθέσιμων ιόντων στο σύννεφο. Τα ιόντα είναι οι φορείς φόρτισης και οι αποκλειστικά υπεύθυνοι για την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η παραγωγή ενός συνηθισμένου ιόντος στην ατμόσφαιρα είναι περίπου (10) δέκα ζευγάρια ιόντων ή $1,6 \times 10^{-18}$ Cb για κάθε cm^3/sec και ένα μέσο σε αναλογία νέφος καταιγίδων εκτείνεται σε 50 Km^3 σε ένταση, τότε η συνολική παραγωγή φορτίου εσωτερικά του στοιχείου είναι μόνο 0,08 Cb ανά δευτερόλεπτο, το οποίο μεταφράζεται σε ισχύο κεκορεσμένο ρεύμα των 80 mA.

Εάν το ρεύμα φόρτισης στα νέφη καταιγίδων είναι μη-ωμικό, η μόνη άλλη εναλλακτική λύση είναι μια μηχανική μεταφορά φορτίων από καθοδικά ρεύματα αέρος ή από την διαδικασία της βαρύτητας όπου το κάθε φορτίο μεταφέρεται από μέρη βροχής που πέφτουν.

Μια ενδιαφέρουσα σκέψη είναι ότι εάν μπορούσαμε να δαμάσουμε έναν κεραυνό θα είχαμε 100 KWh διαθέσιμης ενέργειας, αρκετή για να κρατήσει αναμμένο έναν λαμπτήρα φωτισμού για 1,5 μήνα.

Υπάρχουν περίπου 50.000 ενεργές καταιγίδες σ' όλο τον κόσμο στη διάρκεια μιας ημέρας και αν κάθε καταιγίδα παράγει 100 κεραυνούς, θα έχουμε περίπου 20.000 mega-Watts, ενέργεια δηλαδή αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες μιας πόλης σαν τη Νέα Υόρκη.

1.4 Ηλεκτρικό Πεδίο Κακοκαιρίας και τα Φαινόμενά του

Γενικά είναι αποδεκτό ότι τα συμβαίνοντα κατά την κακοκαιρία είναι η αιτία της επαναφόρτισης και συντήρησης του πεδίου καλοκαιρίας. Το πεδίο κακοκαιρίας διαφέρει από εκείνο της καλοκαιρίας ως προς την ένταση. Ενώ το δεύτερο είναι περίπου +0,13 KV/m, το πρώτο κυμαίνεται από ± 2 KV/m έως ± 400 KV/m. Επίσης, στο πεδίο κακοκαιρίας, η συχνότητα μεταβολής κυμαίνεται από 0,001 Hz μέχρι εκατοντάδες GHz. Δηλαδή χαρακτηρίζεται από α) μεταβαλλόμενο ηλεκτροστατικό πεδίο με πάροδο μερικών λεπτών β) για χαμηλής συχνότητας μεταβαλλόμενα πεδία (ELF) από μερικά Hz μέχρι 300 Hz γ) για πολύ χαμηλής συχνότητας πεδία (VLF) από 0,3 KHz μέχρι 100 KHz δ) για χαμηλής συχνότητας πεδία (LF) από 100 KHz μέχρι λίγο πριν από 10 MHz.

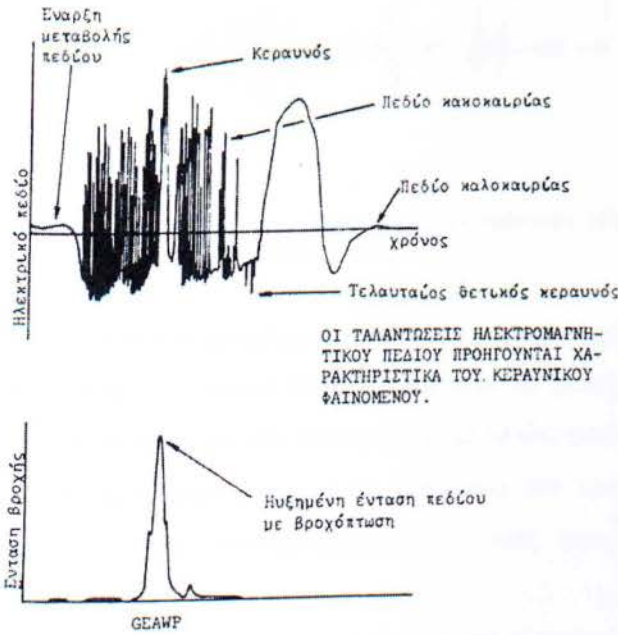
Κάθε περιοχή συχνοτήτων παίζει ιδιαίτερο ρόλο, από τον συντονισμό και τον ιονισμό μιας περιοχής της ατμόσφαιρας, μέχρι την ενεργειακή πυροδότηση του κεραυνού.

Το πεδίο καλοκαιρίας των +0,13 KV/m ξαφνικά αναστρέφεται και αυξάνει εκθετικά κατά απόλυτο τιμή. Σε χρόνο περίπου 2 λεπτών λαμβάνει μια απόλυτη αύξηση κατά 63%. Δηλαδή γίνεται -0,212 KV/m. Η μεταβολή αυτή αυξάνει στα -1,5 με -2 KV/m και τελικά σε 8 λεπτά της ώρας αυξάνει στα -3 KV/m.

Έτσι έχουμε την εμφάνιση του λεγόμενου «κεραυνοφόρου νέφους», το οποίο έχει αρνητικά φορτία στη βάση του και θετικά φορτία στην κορυφή του. Είναι δηλαδή διπολικά φορτισμένο. Έτσι όταν πεδίο φθάσει το 1,5-2 KV/m, τότε

σωματίδια με μικρή ακτίνα αρχίζουν ν' απελευθερώνουν φορτία. Όταν το πεδίο λάβει την τιμή των 3 KV/m αρχίζουν να ξεσπούν εσωτερικοί κεραυνοί στα νέφη. Ένα δυνατό ξέσπασμα βροχής ή χαλαζόπτωσης ακολουθεί. Όταν ο κυρίως όγκος της βροχής φθάνει κοντά στο έδαφος, το πεδίο ακριβώς από κάτω συχνά κάνει μια ομαλή αλλαγή στην πολικότητα καλοκαιρίας, αλλά ταυτόχρονα λαμβάνει την μεγαλύτερη τιμή της έντασής του, της τάξεως των 10 KV/m ή και περισσότερο. Τα φορτία που φθάνουν στη γη με τη βροχή επίσης αλλάζουν πολικότητα από θετική σε αρνητική. Η αλλαγή του πεδίου προς την πολικότητα της καλοκαιρίας έχει σχεδόν ολοκληρωθεί πριν η καταρρακτώδης βροχή φθάσει στο έδαφος. Εάν τα αρνητικά φορτία της βροχής διαμορφώνουν την ένταση του πεδίου τότε αναμένουμε το πεδίο ν' αυξάνει την ένταση που είχε με την πολικότητα της κακοκαιρίας και όχι να την αντιστρέφει (φαινόμενο GEAWP).

Έτσι όταν η καταρρακτώδης βροχή εξασθενεί, το πεδίο επιφανείας επιστρέφει στην πολικότητα του πεδίου κακοκαιρίας με τιμές 12 με 15 KV/m. Όταν η καταγίδα αυξάνει, συχνοί κεραυνοί και περισσότερη βροχή πέφτουν στο έδαφος. Στο τέλος ένα κεραυνός κατ' εξαίρεση φέρνει στο έδαφος θετικά φορτία αντί των αρνητικών που φέρνουν όλοι οι προηγούμενοι.



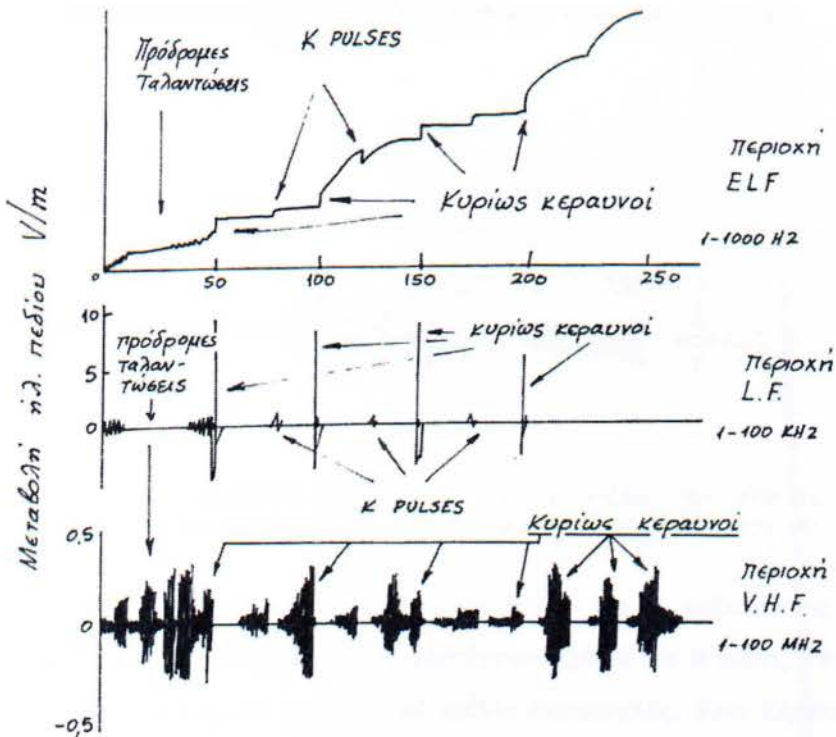
Σχήμα 1.5

Συμπεραίνουμε ότι οι βροχές δεν είναι η αιτία των αλλαγών του ηλεκτρικού πεδίου αλλά το αντίθετο. Η ένταση των 1, 2 ή 5 ή 12 ή 15 KV/m του ηλεκτροστατικού πεδίου είναι ανεπαρκείς για ηλεκτρικές εκκενώσεις από τους πουρήνες υδρατμών που χρειάζονται για να δημιουργηθούν εντάσεις πεδίων της τάξεως των 400 KV/m (Σχ. 1.5)

1.5 Μεταβαλλόμενα Ηλεκτρικά Πεδία

Τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία προηγούνται των ηλεκτρικών εκκενώσεων της ατμόσφαιρας και παρέχουν στιγμιαία την απαιτούμενη υψηλή ενέργεια για το ξέσπασμα του κεραυνού.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 1.6) παρουσιάζεται η ένταση των ατμοσφαιρικών πεδίων σε απόσταση 50 Km σε 3 διαγράμματα.

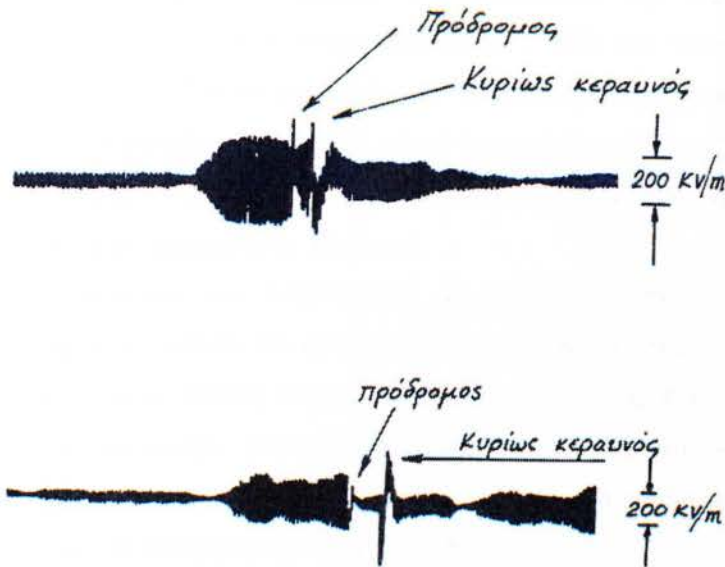


Σχήμα 1.6: Καταγραφές ηλεκτρικού πεδίου σε απόσταση 50Km κατά τη διάρκεια κακοκαιρίας σε τρεις περιοχές συχνοτήτων.

Το πρώτο διάγραμμα αντιστοιχεί στην περιοχή 1-1000 Hz (ELF/LF). Το πεδίο έχει αρχίσει να ταλαντεύεται 50 ms πριν το ξέσπασμα του αρχικού κεραυνού. Ο αρχικός κύριος κεραυνός διακόπτεται και το ίδιο φαινόμενο επαναλαμβάνεται ανά 50 ms. Το πεδίο φορτίζεται με το ξέσπασμα του πρώτου κεραυνού και αυξάνει σε ένταση. Το ίδιο πραγματοποιείται με τους επαναλαμβανόμενους κλάδους του κεραυνού.

Στο δεύτερο διάγραμμα αντιστοιχεί η περιοχή συχνοτήτων 1-100 KHz στην περιοχή LF. Πάλι και σ' αυτή την περιοχή το πεδίο ταλαντεύεται πριν τον κυρίως

κεραυνό. Οι ταλαντώσεις που προηγούνται είναι πιο χαρακτηριστικές στο Σχήμα 1.7 που δείχνει ένα διάγραμμα μετρήσεων κοντά στο φαινόμενο.



Σχήμα 1.7: Καταγραφές μεταβολών ηλεκτρικού πεδίου της τάξεως των 400KV/m, μέσης συχνότητας, πλησίον του φαινομένου. Οι μεταβολές προηγούνται των κεραυνών.

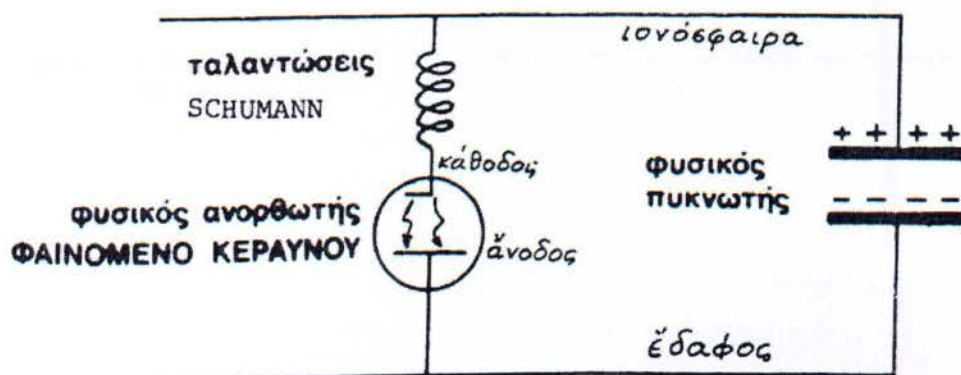
Οι εντάσεις είναι της τάξεως των 400 KV/m και οι ταλαντώσεις έχουν ξεκινήσει πολύ πριν τον κύριο κεραυνό (πρόδρομο σχετό). Οι εντάσεις αυτές, σ' αντίθεση με τις εντάσεις του ημιστατικού πεδίου κακοκαιρίας, είναι περίπου 100 φορές πιο μεγάλες, πλησίον του σχετικού ορίου που δημιουργεί το φαινόμενο των ηλεκτρικών εκκενώσεων.

Στο τρίτο διάγραμμα αντιστοιχεί η περιοχή συχνοτήτων μέχρι 100 MHz στην περιοχή VHF. Παρατηρούμε ότι και πάλι οι ταλαντώσεις προηγούνται των φαινομένων των κεραυνών και επαναλαμβάνονται κατά δέσμες πριν από κάθε επόμενο κλάδο κεραυνού. Πάνω από τις συχνότητες των 100 MHz, το φάσμα εξασθενεί σημαντικά.

Συμπεραίνουμε ότι τα μεταβαλλόμενα ατμοσφαιρικά πεδία είναι η αιτία των κεραυνών και αυτό ενισχύεται από την χρονική σχέση των ταλαντώσεων και των εκκενώσεων των κεραυνών και ιδιαίτερα από τη διακεκομμένη φύση των κλάδων του κεραυνού ανά 50 ms.

Συγκεκριμένα, η διακεκομμένη φύση του κεραυνού μπορεί να εξηγηθεί με τη Θεωρία του «Φυσικού Ημιανορθωτού». Αναλύεται ως εξής: ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο ταλαντεύεται πλησίον της φυσικής συχνότητας της κοιλότητας του φυσικού πυκνωτή «έδαφος-ιονόσφαιρα». Οι ταλαντώσεις της κοιλότητας του φυσικού πυκνωτή λέγονται ταλαντώσεις Schumann (1952) και έχουν θεμελιακή συχνότητα από 10,6 έως 7,9 Hz αναλογώντας της πραγματικής αγωγιμότητας των δύο παρατάξεων. Η περίοδος της βασικής συχνότητας είναι της τάξεως των 100 ms και για την πρώτη αρμονική 50 ms όση είναι κατά μέσο όρο η χρονική διάρκεια μεταξύ των διαδοχικών κλάδων ενός κεραυνού.

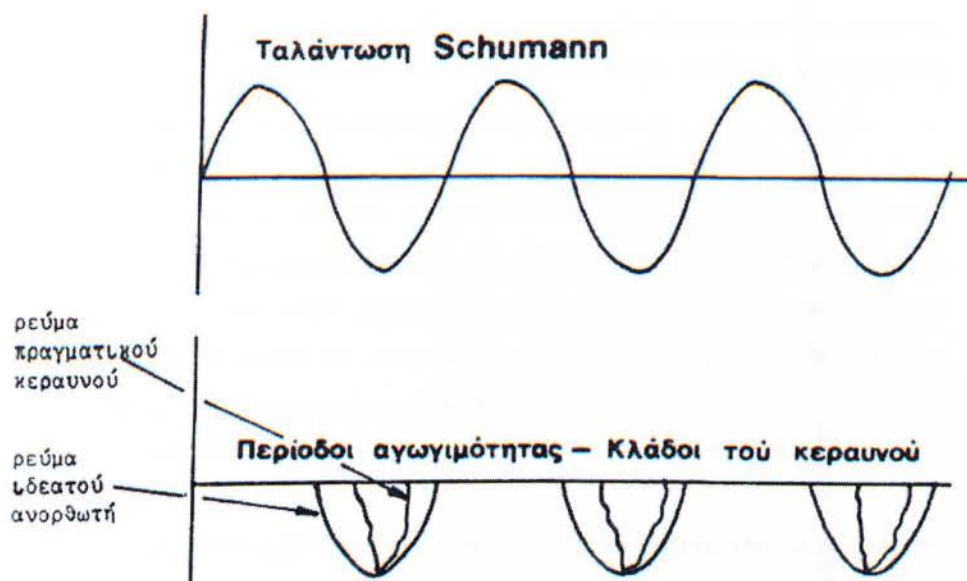
Αν παραστήσουμε την ατμόσφαιρα με μια μεγάλη δίοδο ανορθωτική ηλεκτρονική λυχνία με κάθοδο την ιονόσφαιρα (επειδή έχει ελεύθερα και ευκίνητα ηλεκτρόνια) και άνοδο το έδαφος, το οποίο είναι μια αγωγήμη ψυχρή πλάκα χωρίς να απελευθερώνει εύκολα φορτία, τότε καταλαβαίνουμε ότι σε κάθε αρνητική φάση των ταλαντώσεων Schumann θα προωθούνται αρνητικά φορτία από την ιονόσφαιρα προς τα κάτω, με ενδιάμεσο σταθμό τα σύννεφα (Σχ. 1.8).



Σχήμα 1.8: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του φαινομένου του κεραυνού.

Αντίστροφα, σε κάθε θετική φάση των ταλαντώσεων, δεν έχουμε μεταφορά ηλεκτρονίων από το ψυχρό έδαφος λόγω της ενέργειας συνδέσεως των φορέων αυτών με την αγωγήμη επιφάνεια. Τελικώς τα σύννεφα θα συγκεντρώνουν σε κάθε περίοδο αρνητικό φορτίο προς τα κάτω και θετικό προς τα πάνω, που προωθούνται προς το έδαφος με την μορφή των κεραυνικών φαινομένων. Προφανώς το φαινόμενο αυτό πρέπει να ανακόπτεται σε κάθε θετική περίοδο των ταλαντώσεων Schumann, όπως και παρατηρείται. Ταυτοχρόνως, ο φυσικός πυκνωτής θα πρέπει να φορτίζεται αρνητικά σε κάθε αγωγήμη φάση, όπως φορτίζεται ένας πυκνωτής συνδεδεμένος στην

άνοδο μιας ανορθωτικής λυχνίας μιας ημιανορθωτικής διάταξης (Σχ. 1.9), όπου ο κεραυνός είναι διακεκομμένο φαινόμενο φόρτισης του φυσικού πυκνωτή (γη-ιονόσφαιρα) όπως η φόρτιση του πυκνωτή εξομάλυνσης στις ανορθωτικές διατάξεις.



Σχήμα 1.9: Η περίοδος των κλάδων του κεραυνού συμπίπτει με την περίοδο των ταλαντώσεων Schumann.

Κεφάλαιο 2: ΚΕΡΑΥΝΟΙ

2.1 Θεωρίες - Ορισμός

Οι απόψεις για την δημιουργία του κεραυνού ακόμα και σήμερα δεν είναι ξεκάθαρες. Ένας ερευνητής, τόσο στο χώρο της μετεωρολογίας όσο και της φυσικής, συναντά ένα ευρύ φάσμα άγνοιας και αντιφάσεων γύρω από τις λεπτομέρειες παραγωγής του ατμοσφαιρικού ηλεκτρισμού και κεραυνού.

Πολλοί επιστήμονες όπως οι: Berger, Moore, Singer, Vonnegut, Lathan, Stromberg, Brook, Ogawa, Alibone, Maxwell, Orville, Golde, Pierce, Schumann, Hill, Wait, Colgate, έχουν διατυπώσει αρκετές θεωρίες που πολλές απ' αυτές είναι αντίθετες μεταξύ τους και συχνά γεμάτες παρανοήσεις. Μια προσπάθεια που έγινε από τον Remillard, συνόψισε τις εκτεταμένες ιστορικές απόψεις και θεωρίες της Βροντής, σε **επτά (7) σημεία κοινής αποδοχής**:

1. Κεραυνοί που παράγονται μεταξύ σύννεφου και γης παράγουν εν γένει πιο ισχυρές βροντές.
2. Η βροντή εξασθενεί ακουστικά για αποστάσεις μεγαλύτερες από 10 χιλιόμετρα (Km).
3. Ο χρόνος μεταξύ της αντίληψης της αστραπής και η είσοδος του πρώτου ήχου της βροντής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί η απόσταση του κεραυνού.
4. Οι ατμοσφαιρικές διαταραχές μειώνουν αποτελεσματικά την ακουστικότητα της βροντής.
5. Η ένταση ενός τύπου βροντής σε μια γεωγραφική περιοχή εμφανίζεται διαφορετική από την ένταση του ίδιου τύπου σε μια άλλη περιοχή.
6. Ο τόνος της βροντής βαθαίνει όσο η υπόκωφη βοή επιτείνεται.
7. Συνηθίζεται να έχουμε μια καταρρακτώδη βροχή αμέσως μετά από μια ισχυρή σύντομη βροχή που ακούγεται σαν ένα δυνατό υπόκωφο «κλαπ».

Πάντως το φαινόμενο του κεραυνού αναλύεται με τεκμηριωμένες απόψεις και μελέτες στα επόμενα κεφάλαια, γιατί ο ρόλος της προστασίας από αυτόν είναι πολύ σημαντικός καθώς επιτρέπει κατά 99% τη διατήρηση και σωτηρία της κτηριακής κατασκευής.

Κεραυνός καλείται το φαινόμενο της ισχυρότατης ηλεκτρικής εκκένωσης και της μεταφοράς του ηλεκτρικού φορτίου ενός νέφους στη γη ή αντίστροφα, συνοδευόμενο από τεράστια λάμψη μέσα σ' ελάχιστο χρόνο.

2.2 Χαρακτηριστικά Ηλεκτρικών Εκκενώσεων

Ο μηχανισμός της ηλεκτρικής φόρτισης των νεφών δεν είναι μέχρι σήμερα απόλυτα ξεκαθαρισμένος. Κυρίως οφείλεται στην παρουσία ιονισμένου αέρα, υγρασίας στην ατμόσφαιρα και ανοδικών ρευμάτων αέρα.

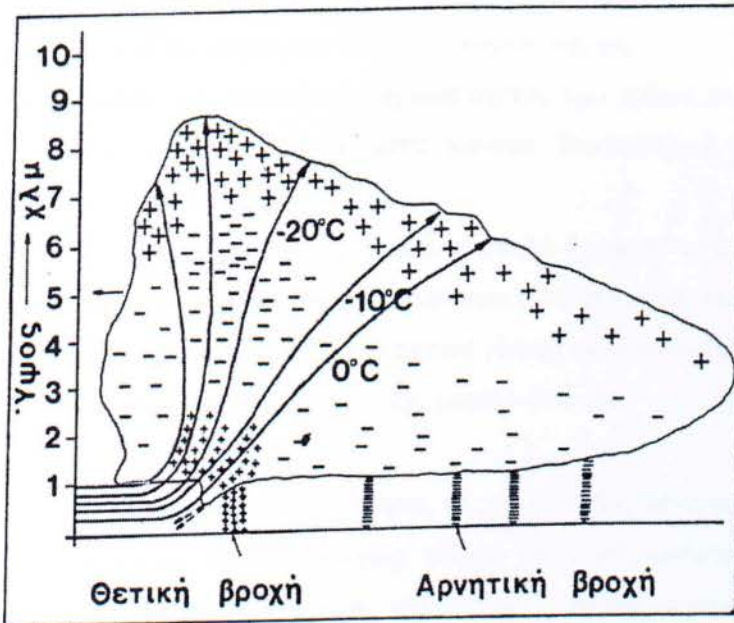
Οι βασικότερες θεωρίες είναι αυτές των Wilson και Simpson.

Το 1920 ο C.T.R. Wilson είπε ότι η φόρτιση γίνεται κατά την πτώση των σταγονιδίων της βροχής σ' ένα χώρο όπου υπάρχουν θετικά και αρνητικά ιόντα και ταυτόχρονα γίνεται πόλωση των φορτισμένων σταγονιδίων από το μόνιμο ηλεκτρικό πεδίο (ιονόσφαιρα).

Οι γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου επεκτείνονται από την κορυφή του σύννεφου έως το υψηλότερο αγωγίμο στρώμα της ατμόσφαιράς μας (50 Km και άνω).

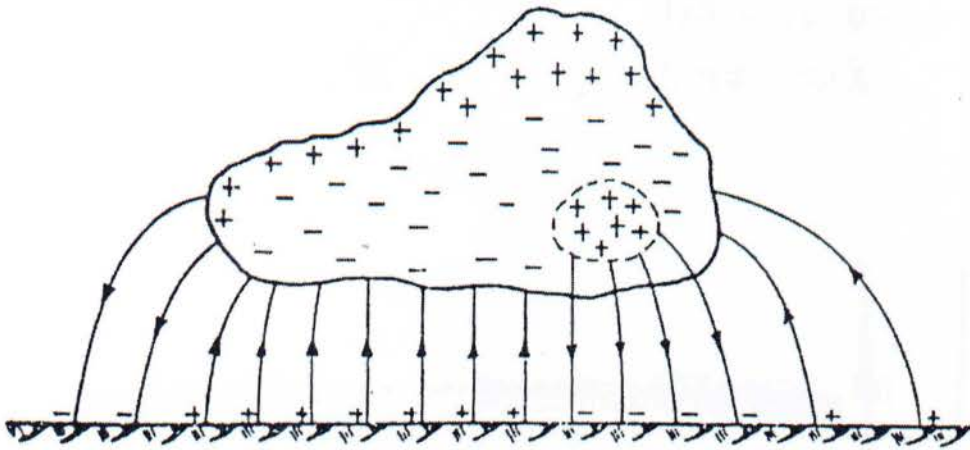
Κατά τον Simpson, η φόρτιση γίνεται κατά τη διάσπαση μεγαλύτερων σταγόνων σε σταγονίδια καθώς αυτές παρασύρονται από ανοδικά ρεύματα αέρα.

Κοινά αποδεκτά συμφωνούν ότι τα φορτία εμφανίζονται συγκεντρωμένα, ανάλογα με την πολικότητά τους, σε χωριστές περιοχές του νέφους και στις περισσότερες περιπτώσεις (90%) τα αρνητικά φορτία συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος του νέφους και τα θετικά στο άνω μέρος. Συχνά, αλλά όχι πάντοτε, στη βάση του νέφους παρουσιάζεται επίσης μικρό φορτίο θετικής πολικότητας (Σχ. 2.1)



Σχήμα 2.1: Σχηματική διανομή ηλεκτρικών φορτίων και θερμοκρασίας πάνω σε νέφος καταγιγίδας.

Από τη φόρτιση των νεφών δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού μεταξύ συγκεντρωμένων φορτίων αντίθετης πολικότητας και συνεπώς μεταξύ νεφών ή μεταξύ νεφών και γης, που είναι μεγαλύτερη στις θέσεις μεγαλύτερης συγκέντρωσης φορτίων. Συγκεκριμένα στο χώρο μεταξύ νεφών και γης αναπτύσσεται ένα ηλεκτρικό πεδίο του οποίου οι δυναμικές γραμμές κλίνουν στη γη, επάνω στο φορτίο αντίθετης πολικότητας με εκείνη των νεφών (Σχ. 2.2).



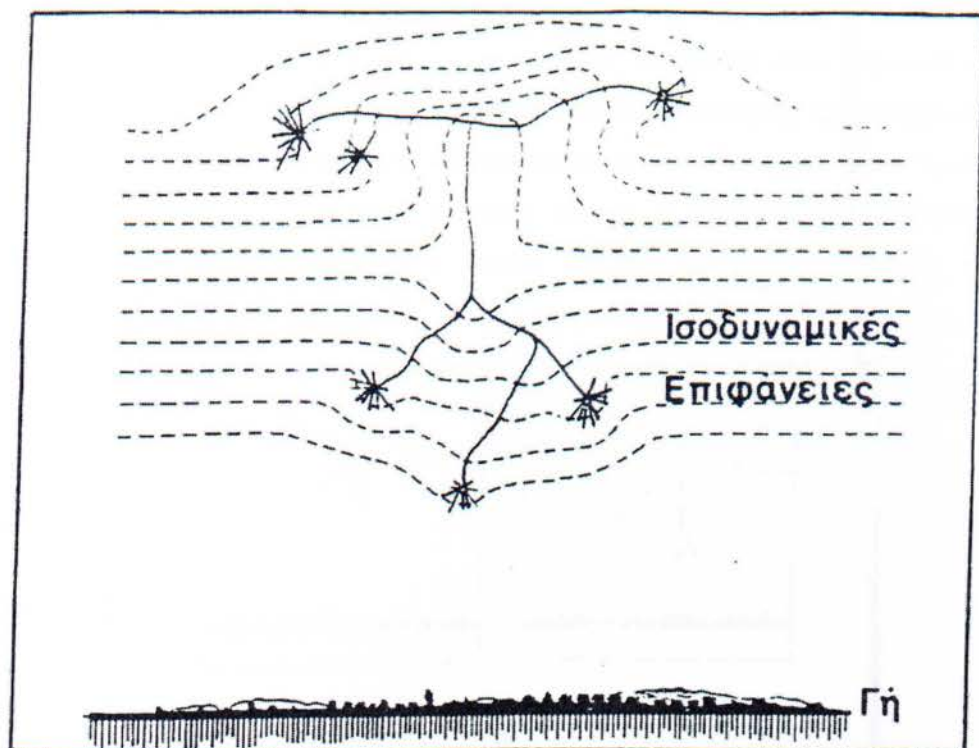
Σχήμα 2.2: Κατανομή του φορτίου εντός του νέφους, ηλεκτρικού πεδίου, νέφους-γης.

Όταν πλησίον του νέφους ή της γης το πεδίο λάβει μια κρίσιμη τιμή, ο αέρας στο κάτω μέρος του σύννεφου, εξαιτίας του έντονου ηλεκτρικού τοπικού πεδίου, ιονίζεται και δημιουργείται ταχέως ένα ιονισμένο κανάλι, οχετός.

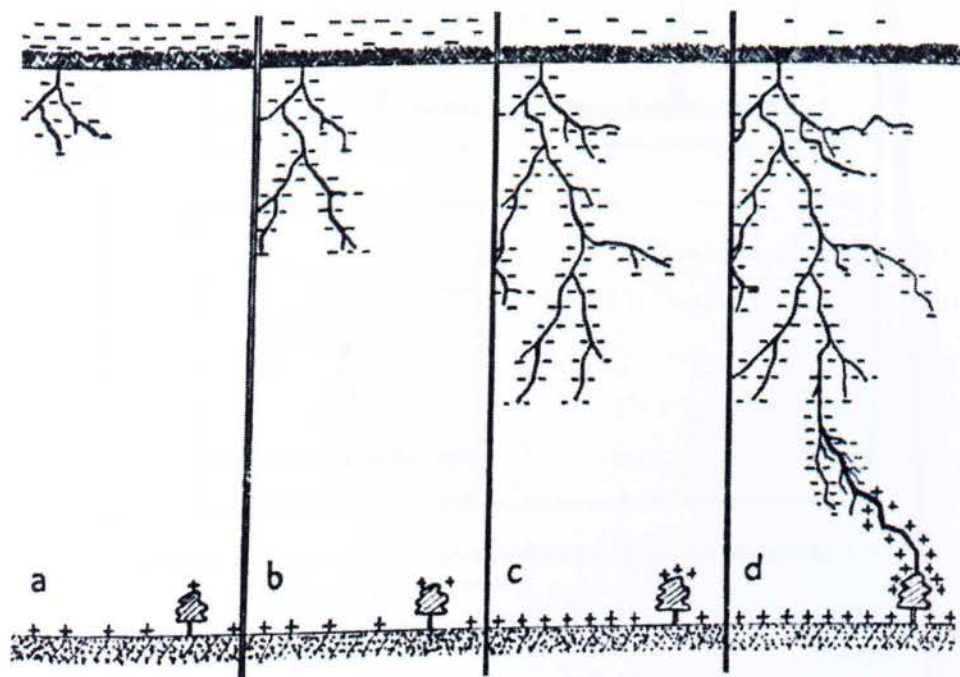
Ο οχετός αυτός που ονομάζεται **αρχικός οχετός** έχει χρώμα ιώδες, κεφαλή λαμπρή με χρώμα κυανόλευκο και κατά κανόνα διακλαδίζεται σε άλλους μικρότερους οχετούς (Σχ. 2.3.α, 2.3.β).

Ακολουθεί ροή φορτίου στον οχετό και το υψηλό δυναμικό μεταφέρεται και διατηρείται στο άκρο του οχετού, που προκαλεί παραπέρα ανάπτυξη της διάσπασης του αέρα και του οχετού. Η προώθηση του οχετού γίνεται κατά διαδοχικές βαθμίδες μήκους μερικών δεκάδων μέτρων και παύσεις, μεταξύ βαθμίδων της τάξεως των 50 μs .

Όταν ο οχετός που κατευθύνεται προς τη γη, ο οποίος λέγεται επίσης και **οδηγός οχετός** ή **οχετός προεκκένωσης**, φθάσει σε μικρή απόσταση από το έδαφος, εξαιτίας της σημαντικής αύξησης της πεδιακής έντασης, αναχωρεί από το έδαφος, κατά προτίμηση από μια φυσική ή τεχνητή έξαρση, ένας άλλος οχετός φορτίου αντίθετου του πρώτου, ο οποίος κατευθύνεται προς συνάντηση του πρώτου.

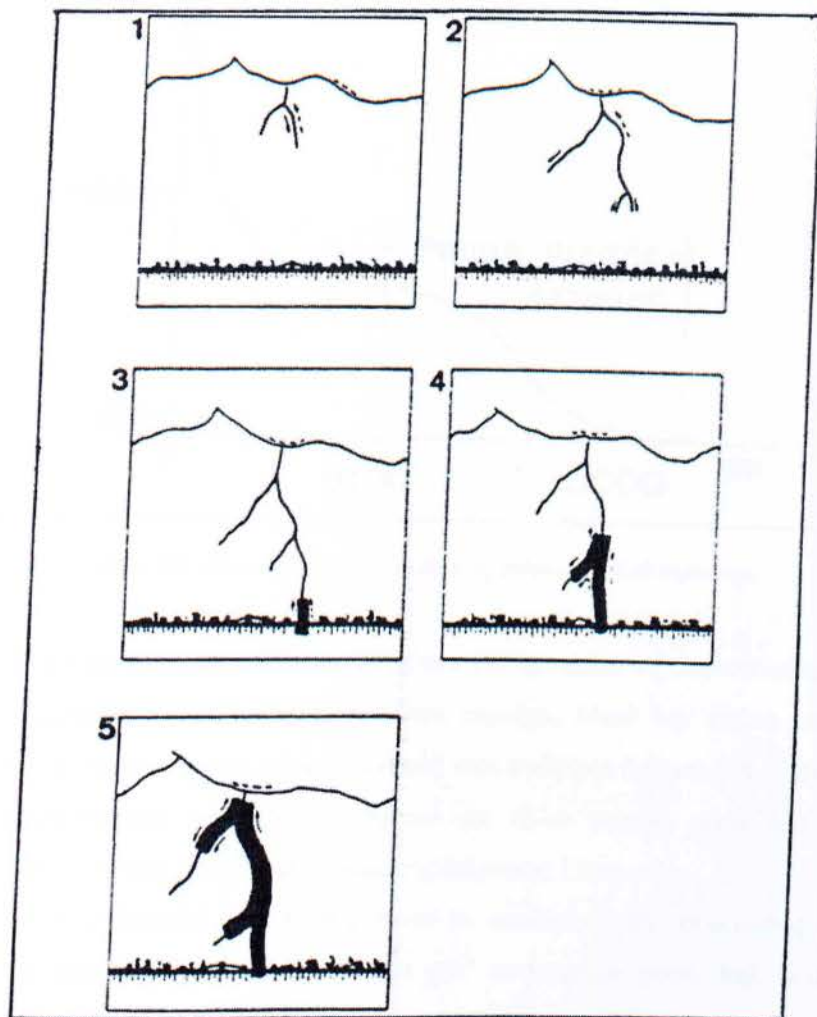


Σχήμα 2.3.α: Σχηματισμός αρχικού οχετού.



Σχήμα 2.3.β: Εκφόρτιση αρχικού οχετού.

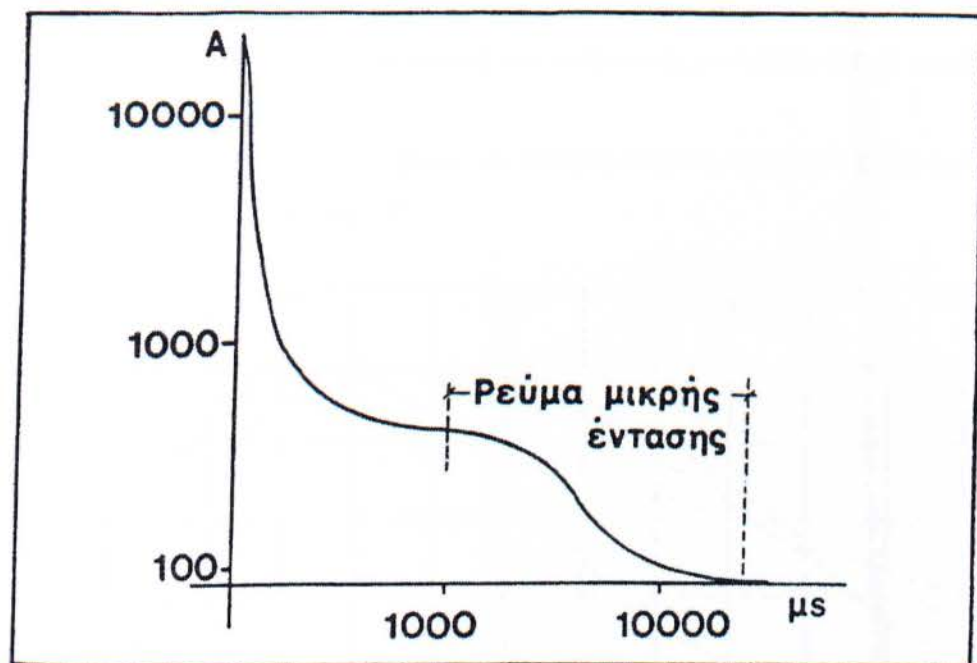
Όταν συναντηθούν οι δυο οχετοί μεταξύ τους τότε ακολουθεί η κύρια εκκένωση κατά την οποία ηλεκτρικό φορτίο από το έδαφος (στις περισσότερες περιπτώσεις θετικό), τείνει να εξουδετερώσει ολόκληρο το φορτίο που αναχώρησε από το νέφος (στις περισσότερες περιπτώσεις αρνητικό). Στη φάση αυτή έχουμε γεφύρωση της απόστασης μεταξύ σύννεφου και γης. Η τελευταία αυτή εκκένωση αποτελεί τον **οχετό επιστροφής** ή κυρίως κεραυνό και το ορατό μέρος του φαινομένου του κεραυνού (Σχ. 2.4).



Σχήμα 2.4: Σχηματισμός του οδηγού οχετού και του οχετού επιστροφής.
 Διεύθυνση προόδου οχετού _____
 Διεύθυνση ρεύματος - - - - -

Η ταχύτητα προόδου του οχετού επιστροφής είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα του οδηγού οχετού και είναι της τάξης των 100.000 Km/sec δηλαδή ίση προς το 1/3 της ταχύτητας του φωτός.

Μέσα από την κύρια εκκένωση, άλλα φορτία που ευρίσκονται μέσα στο νέφος, αλλά σχετικά μακριά από το σημείο της δημιουργίας του αρχικού οχετού, φθάνουν εκεί αργότερα και περνούν από την αγωγίμη οδό της κύριας εκκενώσεως και δημιουργούν έτσι ένα ρεύμα μικρής έντασης και μεγάλης διάρκειας (Σχ. 2.5).



Σχήμα 2.5: Τυπικό παράδειγμα μεταβολής ρεύματος απλού κεραυνού.

Το ρεύμα αυτό είναι το πιο επικίνδυνο και προκαλεί τις περισσότερες υλικές ζημιές, εξαιτίας της μεγάλης ενέργειας που περιέχει. Μετά την πρώτη εκκένωση σχηματίζονται πολλές φορές μέσα στο νέφος νέοι αγωγίμοι δρόμοι που συνδέουν το σημείο σχηματισμού του αρχικού οχετού με άλλα φορτία μέσα στο νέφος. Ακολουθούν έτσι νέες εκκενώσεις συνολικής διάρκειας 1 sec.

Έχουν σημειωθεί περιπτώσεις όπου το φαινόμενο της εκκένωσης μεταξύ νέφους και εδάφους έχει λάβει χώρα και κατ' αντίστροφη φορά, δηλ. ο αρχικός οχετός ξεκινά από το έδαφος και πηγαίνει προς το νέφος.

Το φαινόμενο όμως κατά τα άλλα παραμένει το ίδιο.

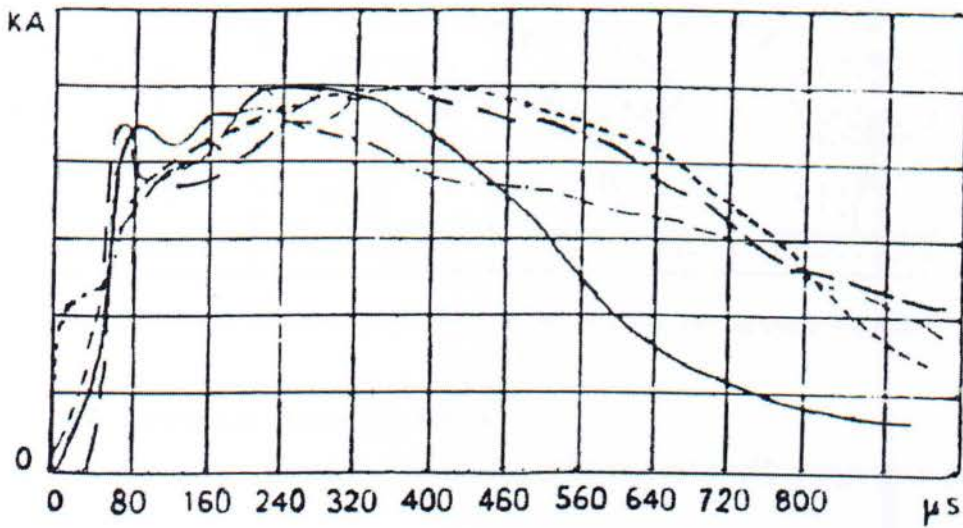
2.3 Ορισμοί κατά Berger

2.3.1 Πολικότητα κεραυνού

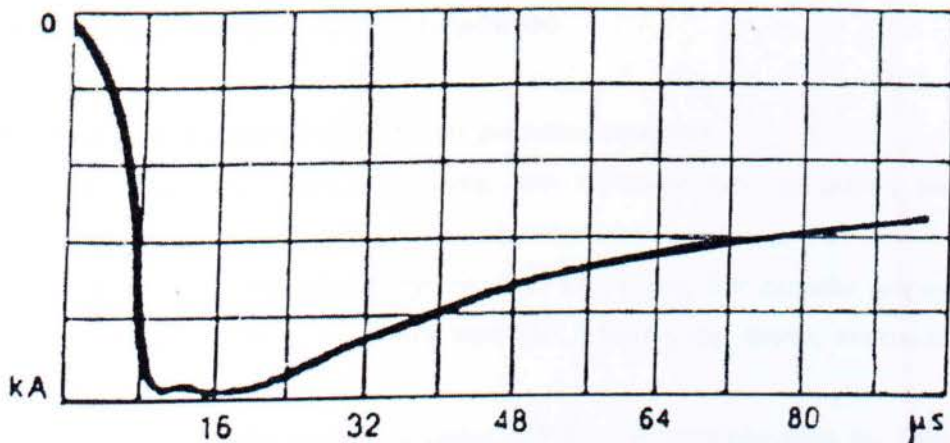
Ο κεραυνός εκείνος που μεταφέρει αρνητικά φορτία στη γη λέγεται «αρνητικός κεραυνός».

Αντιθέτως, στη σπάνια περίπτωση που ο κεραυνός μεταφέρει θετικά φορτία, λέγεται «θετικός».

Παρόμοια ονοματολογία έχουμε και για τους οδηγούς σχετούς ή πρόδρομους σχετούς (Σχ. 2.6α, 2.6β και Σχ. 2.7).



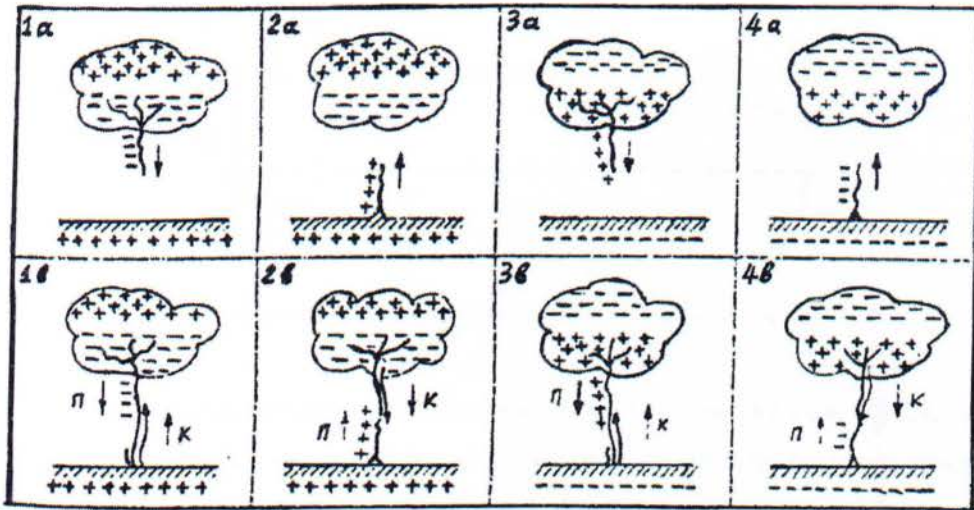
Σχήμα 2.6.α: Κυματομορφές θετικών ατμοσφαιρικών εκκενώσεων.



Σχήμα 2.6.β: Κυματομορφές αρνητικών ατμοσφαιρικών εκκενώσεων.

2.3.2 Κατεύθυνση οχετού προεκκένωσης και κεραυνού

Ο οχετός προεκκένωσης λέγεται κατερχόμενος αν εξελίσσεται από πάνω προς τα κάτω. Αντιθέτως λέγεται ανερχόμενος. Πολλές φορές ένας ανερχόμενος οχετός συναντά έναν κατερχόμενο σε μια ενδιάμεση θέση. Ομοίως χαρακτηρίζονται οι κυρίως κεραυνοί (Σχ. 2.7)



Σχήμα 2.7: Οι οκτώ τύποι βασισμένοι στην διεύθυνση του πρόδρομου και κυρίως κεραυνού.

2.3.3 Πολικότητα του ηλεκτρικού πεδίου

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

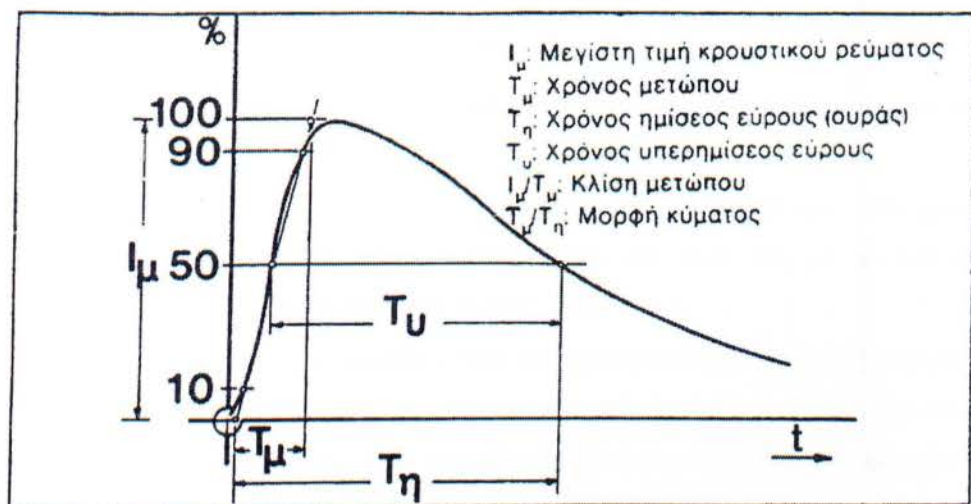
2.4 Βασικές Παράμετροι ενός Κεραυνού

2.4.1 Εύρος και μορφή του κύματος του ρεύματος κεραυνού

Το ρεύμα της κύριας εκκένωσης του κεραυνού έχει τη μορφή μιας απεριοδικής ταλάντωσης, δηλαδή μοιάζει με ένα κρουστικό ρεύμα (Σχ. 2.8).

Ενώ το ρεύμα του οδηγού οχετού είναι της τάξεως των μερικών amperes κυμαίνεται περί τα 100 A, η μέγιστη τιμή του ρεύματος της κύριας εκκένωσης παίρνει μεγάλες τιμές.

Έτσι έχει μετρηθεί ένταση ρεύματος 200 KA και πιθανολογείται ότι έχουν υπάρξει κεραυνοί 500 KA.



Σχήμα 2.8: Τυπική μορφή μεταβολής κρουστικού ρεύματος.

Κατά κανόνα οι εντάσεις ρεύματος των κεραυνών είναι κάτω από 20 ΚΑ. Το 85% των περιπτώσεων παρουσιάζουν ρεύματα κάτω από 60 ΚΑ. Τα δευτερεύοντα ρεύματα διαρκούν μερικά δέκατα του δευτερολέπτου με εντάσεις συνήθως από 20 έως 100 Α.

Η μέγιστη κλίση μετώπου του κεραυνού ρεύματος $(dI_{\mu}/dt)_{\max}$, καθορίζει τις επαγόμενες τάσεις σε βρόγχους κυκλωμάτων.

Επίσης, ανάλογη μορφή, όπως είναι φυσικό, παρουσιάζει και το κύμα της τάσεως του κεραυνού.

Γενικά, ένα κρουστικό κύμα είτε αυτό είναι κρουστικό κύμα ρεύματος είτε τάσεως, χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη τιμή του (κορυφή) και τη μορφή του, δηλαδή από το λόγο T_{μ}/T_{η} π.χ. 150 KV - 1,2/50 μsec , όπου το 1,2 μsec ορίζει το χρόνο που χρειάζεται μέχρις ότου η τάση από το μηδέν φθάσει στο μέγιστό της (κορυφή), αντιστοιχεί δηλαδή στο λεγόμενο μέτωπο του κύματος και το 50 μsec ορίζει το χρόνο που χρειάζεται μέχρις ότου η τάση από το μηδέν και αφού φθάσει στο μέγιστό της (κορυφή), μειωθεί στο μισό του μεγίστου της.

2.5 Ενεργειακό Ισοζύγιο Κεραυνών

Αν ονομάσουμε Q το ηλεκτρικό φορτίο του θύλακα του σύννεφου που ξεκινά ένας κεραυνός και V την τάση του σημείου εκκίνησης ως προς το έδαφος, τότε από τον σχετικό τύπο η ενέργεια της αντίστοιχης εκκένωσης θα ισούται με:

$$W = \frac{1}{2} QU$$

Η τάση του σημείου εκκίνησης εκτιμάται στο διάστημα $V = 20-100 \text{ MV}$.

Έτσι, παίρνοντας έναν ισχυρό κεραυνό $V = 65 \text{ MV}$ και $Q = 70 \text{ C}$, έχουμε σαν αποτέλεσμα $W = 2.275 \text{ MJ} \cong 635 \text{ KWh}$.

Η μέση συνολική ενέργεια που καταναλίσκεται κατά μέσο όρο κάθε χρόνο από κεραυνούς εκτιμάται περίπου σε 10^{12} KWh και είναι ίση με το 1/6 της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας κατά το έτος 1994.

Κάθε προσπάθεια για εκμετάλλευση και χρησιμοποίηση αυτής της ενέργειας στάθηκε αδύνατη και αυτό γιατί: Η ενέργεια αυτή, όπως έχει αναφερθεί, δεν είναι συγκεντρωμένη σ' ένα σημείο αλλά είναι διασκορπισμένη άτακτα σε ολόκληρη την επιφάνεια της γης.

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας ενός κεραυνού όταν συμβεί, διοχετεύεται με τη μορφή θερμότητας, ήχου, ακτινοβολίας, ηλεκτρομαγνητικών και ακουστικών κυμάτων κατά μήκος του οχετού του κεραυνού και μικρό μόνο μέρος της διοχετεύεται στο έδαφος. Πράγματι, αν ο κεραυνός μας όπως προηγουμένως είχε $W = 2275 \text{ MJ}$ διαθέτει ηλεκτρική δράση μέσω του ολοκληρώματος:

$$\int i^2 dt = 2 \text{ MJ}$$

Επίσης, ένα μικρό ποσό ενέργειας θα καταναλωθεί ακόμα στη θέση περάτωσης του κεραυνού προς το έδαφος που έστω συμβαίνει σ' ένα μεταλλικό αντικείμενο όπως τήξη μετάλλων, έναυση εύφλεκτων ατμών ή αερίων. Η ενέργεια που αναπτύσσεται στη θέση του πλήγματος δίδεται από τη σχέση:

$$W = Q_X U_{AK}$$

όπου γνωρίζοντας το $Q = 70 \text{ C}$ το φορτίο του κεραυνού και $U_{AK} = 650 \text{ V}$ άθροισμα της ανοδικής και καθοδικής τάσης προκύπτει:

$$W = 70 \text{ C} \cdot 65 \text{ V} \Rightarrow W = 4,5 \text{ KJ}$$

Αυτή είναι η απαιτούμενη ενέργεια, υπεύθυνη για την τήξη ποσότητας μετάλλων στη θέση του πλήγματος που μπορεί να σπάσει έναν αγωγό ή να προκαλέσει διάτρηση σε ένα έλασμα. Έτσι, σαν συμπέρασμα έχουμε ότι περίπου 99% της ενέργειας του κεραυνού καταναλίσκεται μέσα στον οχετό του και περίπου 1% μόνο στο έδαφος, όπου θα μπορούσε όμως να χρησιμοποιηθεί.

Το ισοζύγιο του ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ των πλακών του φυσικού πυκνωτή αποτελείται από τα εξής ρεύματα:

- α. Την κατακόρυφη συνιστώσα του ρεύματος αγωγιμότητας (ρεύμα διηλεκτρικής διαρροής).
- β. Το ρεύμα μεταφοράς από την μεταφορά των διαφόρων φορτισμένων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.
- γ. Τα ρεύματα ακίδων σε περιοχές με υψηλές εντάσεις πεδίου.
- δ. Ρεύματα των κεραυνών προς το έδαφος.

Αναλύσεις έδειξαν ότι τα ρεύματα των κεραυνών (δ) και τα ρεύματα ακίδων (γ) μεταφέρουν στην πλειοψηφία τους **αρνητικά φορτία** προς το έδαφος, σ' αντίθεση με το ρεύμα διηλεκτρικής διαρροής και το ρεύμα των φορτισμένων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που μεταφέρουν θετικά φορτία στο έδαφος. Έτσι τα (γ) και (δ) θεωρούνται ρεύματα **φορτίσεως** του φυσικού πυκνωτή και όχι **εκφορτίσεως**.

Τα ηλεκτρικά φορτία που λαμβάνονται στο έδαφος ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο επιφανείας επί ένα έτος (Cambridge, 1996):

Ρεύματα αγωγιμότητας = +60 C/km (Ρεύμα εκφόρτισης)

Ρεύματα μεταφοράς = + 20 C/km (Ρεύμα εκφόρτισης)

Κερανοί προς το έδαφος - 20 C/km (Ρεύμα φόρτισης)

Ρεύματα ακίδων / Σιωπηρές εκκενώσεις = -100 C/km (Ρεύμα φόρτισης)

ΣΥΝΟΛΟ = -40 C/km επί 1 έτος ρεύμα φόρτισης

2.6 Ρεύματα Κεραυνών

Είναι αποδεκτό ότι 2.000 περίπου καταιγίδες είναι ενεργές σε μια στιγμή σ' όλο τον κόσμο, με ένα συνολικό αποτέλεσμα των 50.000 καταιγίδων ανά ημέρα. Έτσι ταυτόχρονα προκαλούνται πάνω από 100 πτώσεις κεραυνών ανά δευτερόλεπτο.

Το φορτίο ρεύματος που εισέρχεται στη Γη από έναν κεραυνό είναι περίπου της κλίμακας -340 A.

Ένα κύριο ρεύμα των -340 A αναπαριστά το πλεόνασμα των αρνητικών φορτίων πέραν των θετικών φορτίων που φτάνει στο έδαφος από τον κεραυνό και ότι η αναλογία των αρνητικών στο θετικό έδαφος εκκενώσεων ισοδυναμεί με αναλογία 10 προς 1.

Το κατά μέσον όρο ρεύμα μιας αρνητικής εκκένωσης στο έδαφος είναι γύρω στα 25.000 A (25 KA) ενώ ο μέσος όρος φορτίου είναι μόνο 25 Cb. Όταν

πραγματοποιηθούν θετικές εκκενώσεις, συνήθως μεταφέρουν 10 φορές περισσότερα φορτία και ρεύμα από ότι οι αρνητικές εκκενώσεις, παρόλο που η αναλογία παρουσίας τους είναι 10:1 και ποικίλουν από την τοποθεσία τους. Στα φυσικά χαρακτηριστικά του κεραυνού περιλαμβάνονται στάθμες ρεύματος που μερικές φορές ξεπερνούν τα 400.000 A (400 KA), θερμοκρασίες που φτάνουν τους 30.000 °C και ταχύτητες που πλησιάζουν το ένα τρίτο της ταχύτητας του φωτός.

Η ηλεκτρική εκκένωση διαρκεί δηλαδή 0,0002 μέχρι το ανώτερο 3 sec και το κύριο φορτίο του κεραυνού έχει περάσει μέσα στο πρώτο χιλιοστό του δευτερολέπτου. Έτσι για παράδειγμα: ένα ηλεκτρικό φορτίο 5 Cb όταν μετακινηθεί με μορφή κεραυνού σε χρόνο 0,00003 sec (3×10^{-5} sec) θα προκαλέσει ηλεκτρικό ρεύμα που δίδεται από τη σχέση:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{5}{3 \times 10^{-5}} = \frac{500.000}{3} = 167.000 \text{ A}$$

2.7 Η Εκφόρτιση του Κεραυνού

Υπάρχουν δύο βασικά είδη τύπων εκφόρτισης κεραυνού: η πρώτη ονομάζεται κεραυνός σύννεφου-εδάφους και η δεύτερη ονομάζεται ενδοσυννεφιακός κεραυνός ή εκφόρτιση από σύννεφο σε σύννεφο.

Όπως είναι γνωστό από τις παρατηρήσεις του Φραγκλίνου, το χαμηλότερο μέρος του σύννεφου είναι αρνητικά φορτισμένο ενώ πιο ψηλά είναι θετικά φορτισμένο.

Περιστασιακά, ευρίσκονται μικροί θύλακες θετικών φορτίων στο χαμηλότερο αρνητικά φορτισμένο τομέα του σύννεφου κατά τη διάρκεια του σταδίου διάλυσής τους κοντά στην ακτίνα του όμβρου.

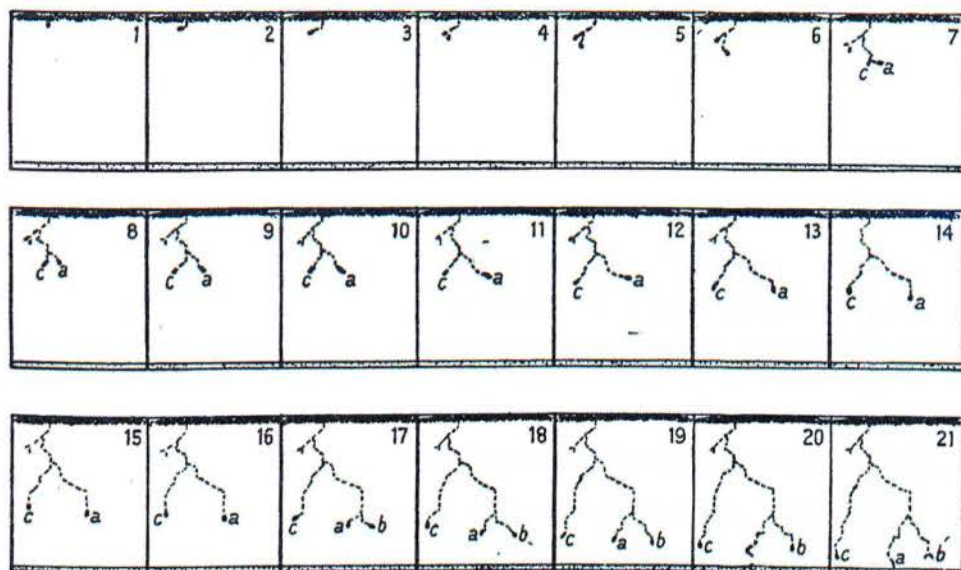
Υπάρχουν τριπλάσιες εκφορτίσεις μεταξύ δύο σύννεφων παρά από σύννεφο στο έδαφος, καθώς και η συχνότητά τους ποικίλει ανάλογα με την περιοχή.

Κανονικά, αρνητικά φορτίο μεταφέρεται στο έδαφος από τον κεραυνό. Έτσι το υπόλοιπο θετικό φορτίο γίνεται πιο κυρίαρχο μέσα στο σύννεφο. Η ανισομερής όμως κατανομή του διπόλου, θα προκαλέσει μια θετική εκφόρτιση, δηλαδή την δημιουργία ενός κεραυνού από το πάνω μέρος του σύννεφου προς τη γη.

Η αναλογία των θετικών προς τις αρνητικές εκκενώσεις είναι 10:1 αλλά είναι έως και 10 φορές ισχυρότερη καθώς μεταφέρει 10 φορές περισσότερα φορτία.

Μια αστραπή όταν πέσει στο έδαφος μπορεί να αποτελείται από πολλά μικρότερα ρεύματα τα οποία επειδή πέφτουν με τόσο μεγάλη ταχύτητα δεν μπορούν

να διακριθούν με γυμνό μάτι, πράγμα που είναι εύκολο με τη βοήθεια της φωτογραφικής μηχανής του Boys (Σχ. 2.9)



Σχήμα 2.9

Διαμέσου της μελέτης των φωτογραφιών μπορέσαμε να καταλάβουμε τον περίπλοκο μηχανισμό της εκφόρτισης. Έτσι αποδεικνύεται ότι ο κεραυνός αποτελεί το έναυσμα προκαταρκτικών, αδύναμων ρευμάτων (Θεωρία του Schonland, 1938) που παρέχουν το αρχικό ιονισμένο μονοπάτι από το σύννεφο στο έδαφος από μια αδύναμη εκφόρτιση τύπου “Corona”.

Το προκαταρκτικό ρεύμα-πλότος (οχετός) συνήθως ακολουθείται από ένα κύριο υπο-ρεύμα το οποίο μπορεί να περιγραφεί σαν ένα μικρό ρεύμα που εφορμά για να προφθάσει τον οχετό σε μικρά βήματα, μήκους 50 μέτρων.

Όπως το κύριο προκαταρκτικό ρεύμα οδεύει προς το έδαφος, φορτίζεται και αποθηκεύει επάνω του από 600 έως 2.600 A, ύστερα από παρατήρηση του Hodges (1954).

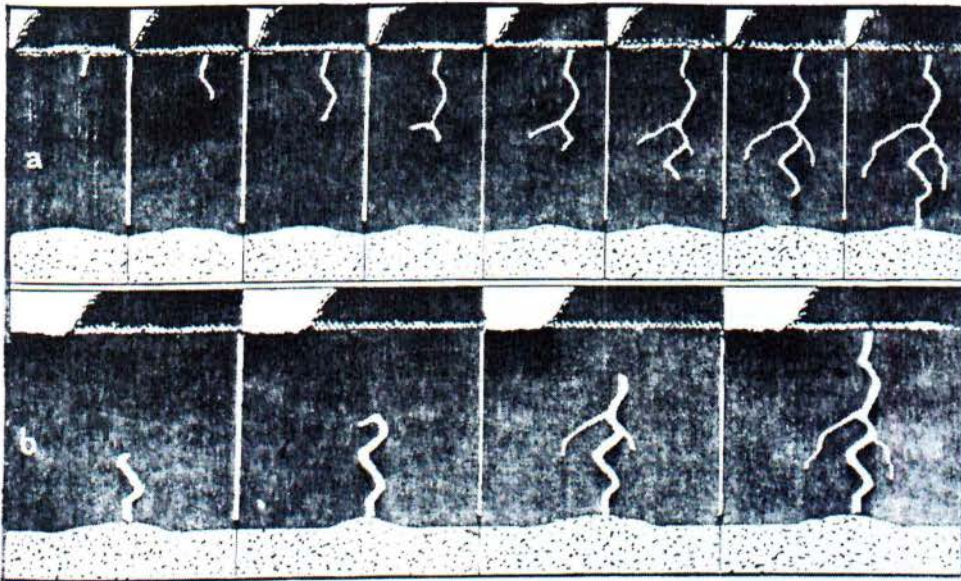
Όταν το ρεύμα-πλότος και το κύριο υπο-ρεύμα φθάσουν στο έδαφος, δημιουργείται ένα αγωγίμο μονοπάτι-διάυλος μεταξύ σύννεφου και γης και η κύρια εκκένωση αρχίζει. Αυτή η κύρια εκκένωση θα μεταφέρει φορτία από την ατμόσφαιρα στη γη σε ένα ποσό των **20.000** έως και, μερικές φορές, **400.000 Amp**.

Μια παράξενη και ιδιόμορφη συμπεριφορά του κυρίου ρεύματος είναι ότι αρχίζει από το σύννεφο και ταξιδεύει προς τα πάνω, που σημαίνει ότι το μεγαλύτερο

ποσοστό του φορτίου μεταφέρεται από την επιφάνεια του εδάφους προς το έδαφος. Έτσι εξηγείται, γιατί συχνά λέμε ότι ο κεραυνός ταξιδεύει περισσότερο προς το σύννεφο από ότι προς τα κάτω. Παρόλο όμως που το κύριο ρεύμα-κεραυνός διαρκεί μόνο ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου, είναι ορατό στο γυμνό μάτι του ανθρώπου καθώς και ο ήχος ή το ακουστικό κύμα που σαφώς ακολουθεί.

Το κύριο ρεύμα-κτύπημα συχνά διαχωρίζεται σε μερικά μεταγενέστερα κτυπήματα, συνήθως 3 ή 4 για κάθε λάμψη αστραπής. Έχουν παρατηρηθεί και αναφερθεί μέχρι και 42 μεταγενέστερα κτυπήματα από μια αστραπή.

Συνήθως δεν υπάρχουν **ρεύματα-πυλώτες** ή κύρια **βαθμιδωτά ρεύματα** που να παρουσιάζουν μεταξύ τους επακόλουθα κτυπήματα σε μια πολύ καθοδική αστραπή από ένα μονοπάτι ιονισμού που έχει επιβληθεί μετά το πρώτο χτύπημα. Ο προ-οχετός κύριος κεραυνός αντικαθίσταται από το επονομαζόμενο **κύριο βέλος** το οποίο δουλεύει καθοδόν από το σύννεφο σε ένα μόνο πήδημα (Σχ. 2.10)



Σχήμα 2.10

Το πρόβλημα της φόρτισης του προ-οχετού κεραυνού από το σύννεφο και πώς το ξέσπασμα του κεραυνού συνδέεται με τις χιλιάδες φορτισμένες σταγόνες και πώς αυτές ολοκληρώνονται σε μια μικρή σχάση σε δευτερόλεπτα, προσπάθησε να εξηγήσει η θεωρία του Kasemir (1950) που υποστηρίζει ότι ο μηχανισμός εμπλοκής και ανάπτυξης είναι εκείνος της επαγωγής.

2.8 Συνέπειες της Πτώσεως των Κεραυνών

Από τον κεραυνό ως ηλεκτρικό φαινόμενο μπορεί να περιμένει κανείς τα ίδια φαινόμενα που παρουσιάζονται με τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από οποιονδήποτε αγωγό, ημιαγωγό ή μονωτήρα. Τα φαινόμενα αυτά είναι τρία (3):

- α. Θερμικά (Ανάπτυξη θερμότητας).
- β. Ηλεκτροδυναμικά (Δημιουργία δυνάμεων).
- γ. Ηλεκτροχημικά (Γαλβανικά φαινόμενα).

Ειδικότερα το τμήμα εκείνο των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων που υποφέρει άμεσα από τις πτώσεις των κεραυνών είναι τα εναέρια ηλεκτρικά δίκτυα και οι υπαίθριες συσκευές όπως μετασχηματιστές, διακόπτες κλπ.

Τόσο από την απευθείας πτώση κεραυνού πάνω σε στοιχεία του ηλεκτρικού δικτύου, αλλά και από τη διέλευση φορτισμένου νέφους πάνω από το δίκτυο δημιουργούνται υπερτάσεις με μορφή κρουστικών κυμάτων, οι οποίες καταπονούν ιδιαίτερα τα υπόλοιπα στοιχεία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Ειδικότερα:

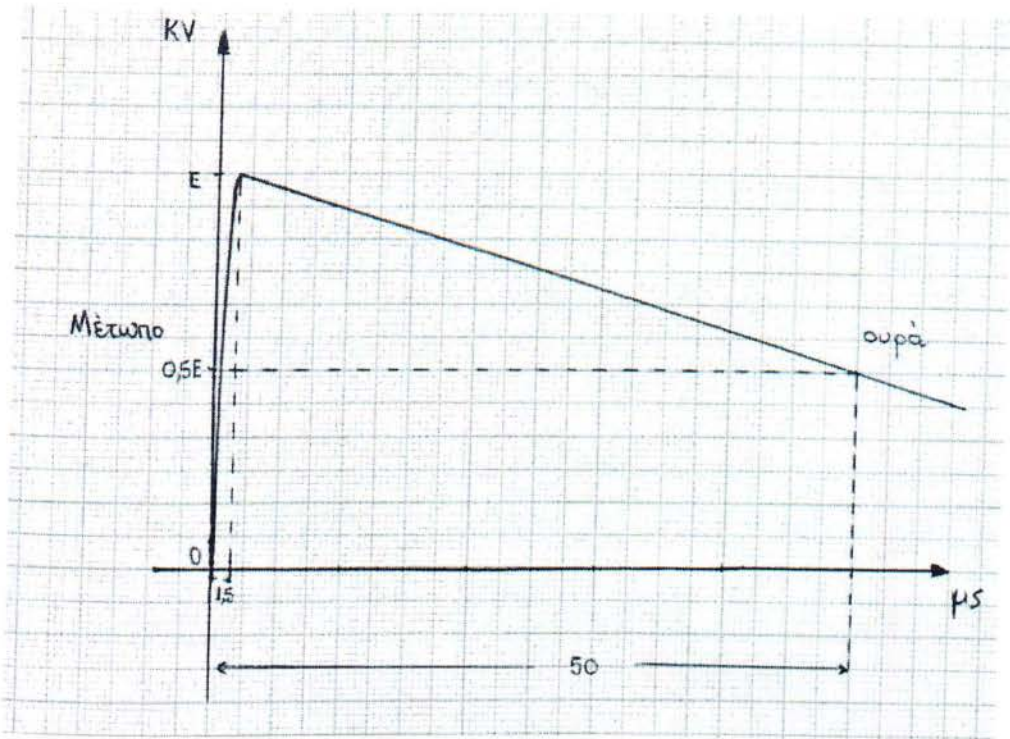
Τα ηλεκτρικά φορτία των νεφών, παρόλο που διοχετεύονται προς τη γη με τον τρόπο που προαναφέραμε, έχουν σαν συνέπεια την παγίδευση φορτίων στις ηλεκτρικές γραμμές, που δημιουργούνται εξ απαγωγής.

Το μέγεθος των φορτίων αυτών εξαρτάται από το δυναμικό του νέφους και από τη θέση του ως προς τις γραμμές. Τα φορτία, που παγιδεύονται στις γραμμές, οδεύουν κατά μήκος των γραμμάτων και κατά τις δύο διευθύνσεις με τη μορφή οδευόντων κυμάτων τάσεως και αντιστοίχου ρεύματος, μέχρις ότου εξαφανιστούν λόγω απόσβεσης ή διαρροής ή διάσπασης της μονωτικής ικανότητας των γραμμών ή λειτουργίας μέσων προστασίας έναντι υπερτάσεων (αλεξικεραυνών, ακίδων, αγωγών γης).

Η τάση μεταξύ αγωγού και γης των κυμάτων συνήθως υπερβαίνει την κρουστική τάση αντοχής των μονώσεων του δικτύου και αν δεν υπάρχει κατάλληλη προστασία της γραμμής, προκαλεί διάσπαση της μόνωσης.

Οι τάσεις αυτές φθάνουν στο μέγιστό τους (κορυφή) σε πολύ μικρό χρόνο και μετά φθίνουν στο μηδέν σε πολύ μεγαλύτερο χρόνο (ουρά).

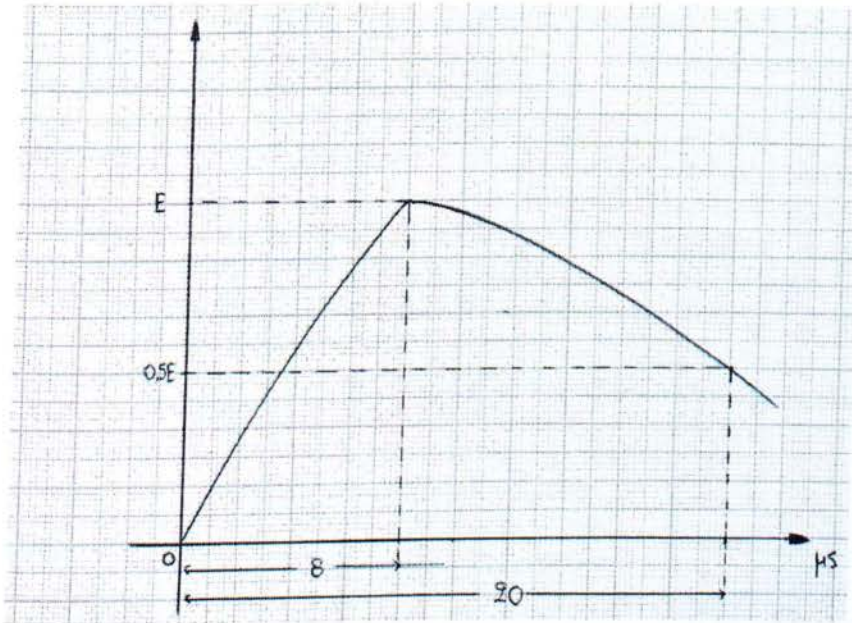
Ο χρόνος μέχρι η τάση να φθάσει στην κορυφή της είναι μερικά μικροδευτερόλεπτα, ενώ για την απόσβεσή της χρειάζονται δεκάδες ή εκατοντάδες μικροδευτερόλεπτα (Σχ. 2.11).



Σχήμα 2.11: Μορφή κύματος τάσεως 1,2/50 msec.

Για πρακτικούς λόγους ελέγχου της αντοχής των μονώσεων έχει καθιερωθεί διεθνώς μια σταθερή μορφή κρουστικού κύματος τάσεως 1,2/50 msec (Σχ. 2.11).

Ως τυπική μορφή του κρουστικού κύματος ρεύματος έχει καθιερωθεί το 8/20 msec (Σχ. 2.12).



Σχήμα 2.12: Μορφή κύματος ρεύματος 8/20 msec.

Ένα κρουστικό κύμα χαρακτηρίζεται, όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, από την μέγιστη τιμή του (κορυφή) και τη μορφή του, π.χ. 150 KV - 1,2/50 μ sec ή 10 KA - 8/20 μ sec, επειδή όμως η μορφή των κυμάτων τάσεως ρεύματος έχει τυποποιηθεί όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μορφή συχνά παραλείπεται και δίνεται μόνο η μέγιστη τιμή.

Κεφάλαιο 3: ΕΙΔΗ ΚΕΡΑΥΝΩΝ

Γενικά

Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις που σχετίζονται με την παρουσία ενός ηλεκτρισμένου νέφους μπορούν να πάρουν διάφορες μορφές. Έτσι διακρίνουμε:

1. Εκκενώσεις ανάμεσα σ' ένα νέφος και το έδαφος - Κεραυνός εδάφους - αέρα.
2. Κεραυνός σύννεφου και σύννεφου - αέρα.
3. Κεραυνός εν αιθρία.
4. Κεραυνός κόκκινης κουκκίδας.
5. Ταινιωτός κεραυνός.
6. Σφαιρικός κεραυνός.
7. Περιδεραιοειδής κεραυνός (ή συσφίξεων).
8. Εκκένωση "Corona".
9. Κεραυνός των σεισμών - ηφαιστειών.
10. Τεχνητός κεραυνός της υδρογονοβόμβας.

3.1 Κεραυνός Νέφους - Εδάφους

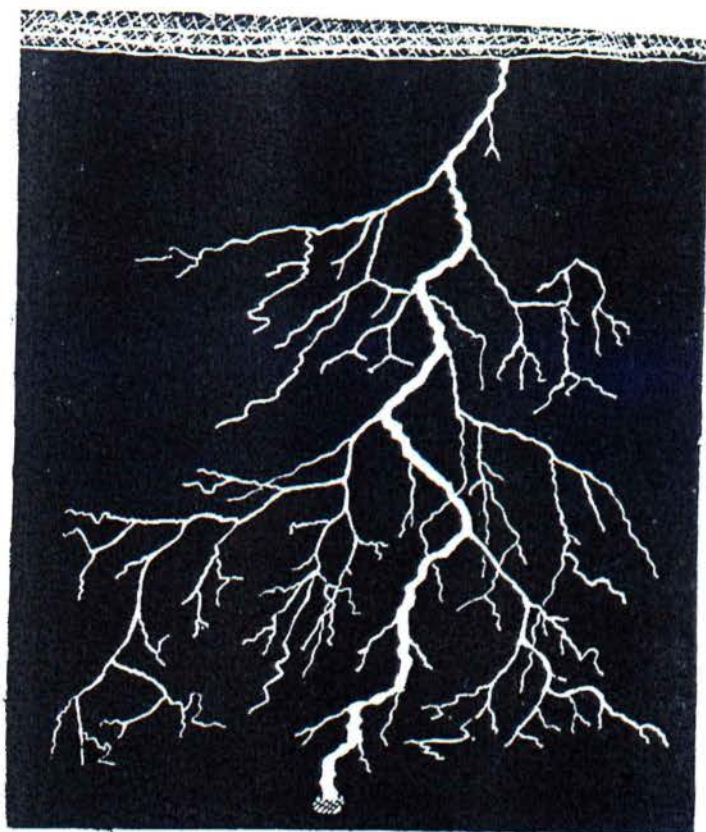
Η πρώτη κατηγορία εκκενώσεων είναι που κυρίως ενοχλεί και δημιουργεί καταστροφές, δηλαδή η εκκένωση ανάμεσα σ' ένα νέφος και το έδαφος την οποία κυρίως χαρακτηρίζουμε σαν «κεραυνό».

Ο πιο συνηθισμένος κεραυνός που πραγματοποιείται μεταξύ νέφους και εδάφους και αποτελεί το 98% των κεραυνικών φαινομένων είναι ο διχαλωτός ή ραβδωτός κεραυνός ο οποίος όταν εκφορτίζεται κάνει κατά μήκος μονοπάτια ζιγκ-ζαγκ με διχάλες και μικρότερους υποκεραυνούς που, σχεδόν όλοι, έχουν κατεύθυνση προς τα κάτω (Σχ. 3.1, 3.2).

Η εκκένωση αυτή ξεκινά συνήθως από ένα θύλακα αρνητικού φορτίου, που βρίσκεται στα κατώτερα στρώματα του νέφους και απολήγει στο έδαφος.

Σε σπανιότερες περιπτώσεις (έως 10%) η εκκένωση ξεκινά από θύλακα θετικού φορτίου.

Πολλές διαδοχικές εκκενώσεις ενός και του ίδιου κεραυνού, μερικές να προέρχονται από θετικό θύλακα και οι υπόλοιπες από αρνητικούς θύλακες. Επίσης, αρκετές φορές η εκκένωση μπορεί να ξεκινήσει όχι από το σύννεφο αλλά από μια αιχμηρή, μεγάλου ύψους προεξοχή του εδάφους. Αυτός ο τύπος εκκένωσης συμβαίνει όταν το ύψος της προεξοχής υπερβαίνει τα 100 έως 150 m και η πιθανότητα να συμβεί αυξάνει με την αύξηση του ύψους της προεξοχής.



Σχήμα 3.1

Το υπόλοιπο 2% των εκκενώσεων είναι σπάνια κεραυνικά φαινόμενα, όπως αυτά περιγράφονται παρακάτω:

3.2 Κεραυνός Σύννεφου, Σύννεφου - Αέρα

Ο κεραυνός σύννεφου, σύννεφου-αέρα είναι εκκενώσεις ανάμεσα σε δύο θύλακες ετερόσημων φορτίων που βρίσκονται, ο μιν πρώτος στο ίδιο νέφος και ο δεύτερος σε δύο γειτονικά νέφη (μέσα στα κύματα αέρος).

Σε χώρες με ξηρό κλίμα παρατηρείται πολλές φορές από το χαμηλότερο σημείο του σύννεφου να εξέρχεται κεραυνός με αρκετούς κλάδους προς τον αέρα χωρίς να έχει επαφή με το έδαφος όμως. Αυτός ο τύπος κεραυνού δεν κατευθύνεται πάντοτε κάθετα προς τα κάτω, αλλά πολλές φορές κάνει μια πολύ μεγάλη οριζόντια προς το έδαφος διαδρομή και τερματίζει τις περισσότερες φορές ξεσπώντας στον αέρα ή σ' ένα άλλο σημείο του σύννεφου -βάσης- 8 έως 15 χιλιάμετρα από το σημείο έναρξης. Η μεγαλύτερη απόσταση που έχει αναφερθεί όμως είναι 48 Km και μετά

ακολούθησε δυνατή βροχή. Αυτός ο τύπος κεραυνού σπάνια αναφέρεται αλλά είναι πιθανόν, όταν συμβαίνει, να προκαλεί μια ζοηρή φωτεινή λάμψη από την κορφή του σύννεφου έως υψηλά στον αέρα.

Η ίδια θεωρητική εξήγηση δίνεται και για τους κεραυνούς εν αιθρία -που αποτελούν μια δεύτερη προέκταση και κατηγορία- των κεραυνών σύννεφου-αέρα.

3.3 Κεραυνός εν Αιθρία

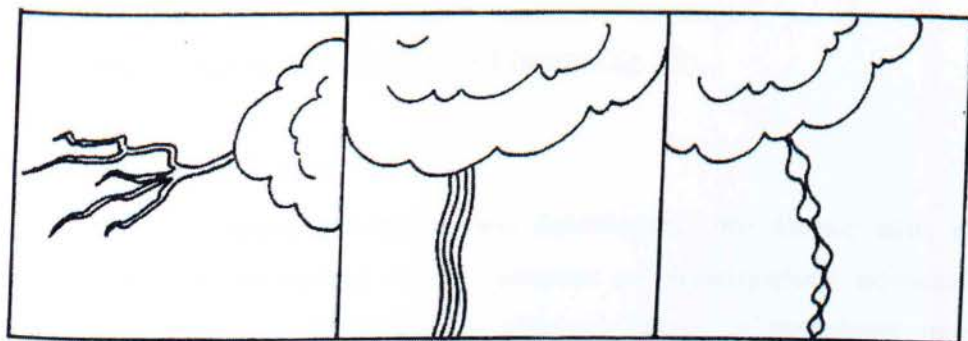
Είναι μία ηλεκτρική εκκένωση που ξεκινά από ένα θύλακα, χωρίς όμως να ολοκληρωθεί κάποια γεφύρωση. Εδώ ο κεραυνός καταλήγει σε θύλακες θετικού φορτίου που βρίσκονται στον αέρα. Όταν το νέφος από το οποίο ξεκινά ο οχετός βρίσκεται έξω από το οπτικό μας πεδίο λέμε ότι έχουμε αστραπή σε «ανέφελο ουρανό».

3.4 Κεραυνός Κόκκινης Κουκίδας

Είναι η ηλεκτρική εκκένωση που πραγματοποιείται μέσα σε δύο γειτονικά νέφη ή ακόμα και στο ίδιο νέφος, χωρίς να διαγράφεται ο οχετός της εκκένωσης παρά μόνο ένα κοκκίνισμα μιας θέσης του ουρανού.

3.5 Ταινιωτός Κεραυνός

Συντελείται όταν κατά τη στιγμή της ηλεκτρικής εκκένωσης επικρατεί δυνατός εγκάρσιος άνεμος, έτσι ώστε ο κύριος οχετός να μετατίθεται και τις διαδοχικές εκκενώσεις και να εμφανιστεί ο κεραυνός στο στερέωμα σαν πολλές ομοιότητες γραμμές (Σχ. 3.2).



Κεραυνός εδάφους - αέρα

Ταινιωτός κεραυνός

Περιδεραιοειδής κεραυνός

Σχήμα 3.2: Σπάνια είδη κεραυνών.

3.6 Σφαιρικός Κεραυνός

Είναι μια αργά μετακινούμενη μάζα. Οι φωτεινοί αθόρυβοι σφαιρικοί κεραυνοί πλέουν ή χορεύουν στον αέρα για μερικά δευτερόλεπτα. Έχουν διάμετρο εκατοστών και όταν εξαφανίζονται συνοδεύονται από μικρή έκρηξη (G.W. Richmann).

Εργαστηριακά το φαινόμενο έχει αποδειχθεί από τον Bernardi. Αυτόνομες φωτεινές σφαίρες τείνουν να παράγονται σε μια ηλεκτρική εκκένωση όταν αυτή ξεσπά επάνω στο όριο της απόστασης μεταξύ δύο ηλεκτροδίων που τείνουν να μην δίνουν εκκενώσεις. Όταν στο όριο αυτό ξεσπάσει μια εκκένωση και μια ποσότητα φορτίου προχωρεί από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο, αν τύχει το αγωγίμο κανάλι να διακοπεί, δηλαδή αυξηθεί η αντίσταση του καναλιού στις κανονικές υψηλές τιμές για τον αέρα και συγχρόνως το πεδίο μηδενισθεί, τότε το καθοδόν φορτίο αποκόπτεται και καθίσταται αυτόνομο και συνεπώς ανεξάρτητο. Δημιουργεί ισχυρή απωστική πίεση από το κέντρο του προς τα έξω, λόγω της άπωσης του ομοπολικού φορτίου που είναι συγκεντρωμένο μέσα στην περιοχή αλλά συγκρατείται και λόγω της υψηλής αντίστασης του περιβάλλοντος. Αν η αντίσταση γύρω από την περιοχή αλλάξει και μειωθεί λόγω κρουστικού ιονισμού, τότε το φορτίο διαχέεται προς τα έξω με τη μορφή σφαίρας και έκρηξης για μικρό χρονικό διάστημα.

3.7 Περιδεραιοειδής Κεραυνός

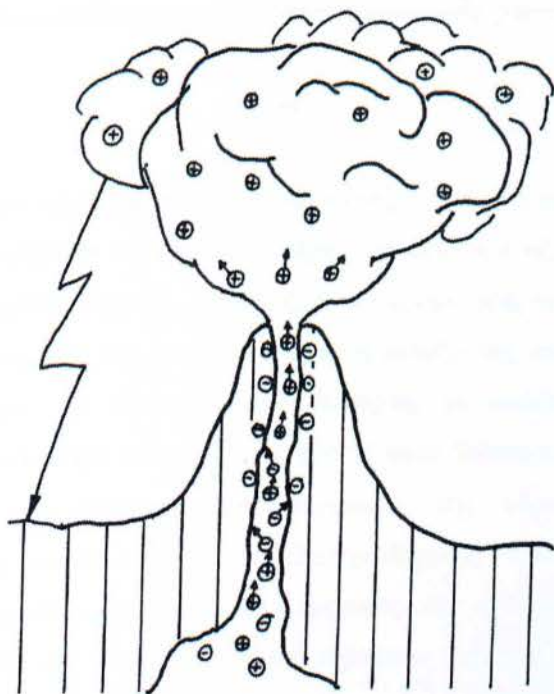
Συντελείται σε μερικές περιπτώσεις, όταν ο οχετός της εκκένωσης συστρέφεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να φαίνεται συντιθέμενος από φωτεινότερα και λιγότερο φωτεινά σημεία σαν τις χάντρες περιδέραιου. Ο κεραυνός με συσφίξεις, όπως αλλιώς λέγεται, έχει σχέση με το φαινόμενο της άπωσης και σύσφιξης της μαγνητοδυναμικής (“Pinch and Kink Effects”) (Σχ. 3.2).

3.8 Εκκένωση “Corona”

Λόγω του ηλεκτρικού πεδίου που αναπτύσσεται στο έδαφος κατά την παρουσία ενός ηλεκτρισμένου νέφους, μπορούν να παρατηρηθούν εκκενώσεις «κορώνα» από υψηλές προεξοχές του εδάφους. Επειδή οι εκκενώσεις αυτές παρατηρούνται συχνά στους ιστούς ιστιοφόρων πλοίων, τους δόθηκε το όνομα του Αγίου Έλμου (προστάτη ναυτικών της εποχής).

3.9 Κεραυνός των Σεισμών - Ηφαιστειών

Οι κεραυνοί των σεισμών ή ακόμα και των ηφαιστειών είναι οι ηλεκτρικές εκκενώσεις που δημιουργούνται από πιεζοηλεκτρικά δυναμικά λόγω των μεταβολών των πιέσεων κατά τους σεισμούς. Διέπονται από ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως ότι οι κεραυνοί των σεισμών δεν παρατηρούνται ακριβώς κατά τη διάρκεια της ταλάντωσης αλλά σ' όλη τη σεισμική περίοδο, πριν το σεισμό, κατά το σεισμό και μετά το σεισμό. Τα πιεζοηλεκτρικά δυναμικά δεν δημιουργούν διαφορές δυναμικού μεταξύ εδάφους και κάποιας περιοχής της ατμόσφαιρας αλλά μεταξύ σημείων επί του εδάφους. Επίσης τα πιεζοηλεκτρικά δυναμικά είναι σχετικά πολύ μικρά για τις τεράστιες διαφορές δυναμικού της ατμόσφαιρας και σε λάθος χώρο και επηρεάζονται από συνθήκες του ηλεκτρομαγνητισμού (Σχ. 3.3).



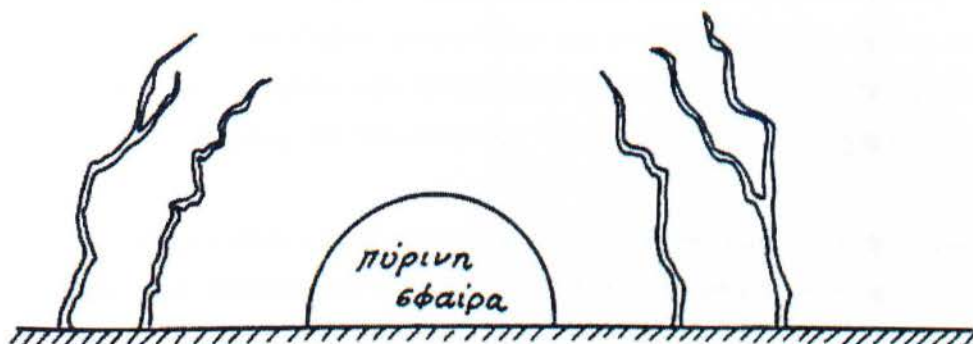
Σχήμα 3.3

3.10 Τεχνητός Κεραυνός της Υδρογονοβόμβας

Οι κεραυνοί της υδρογονοβόμβας είναι ισχυρότεροι από τους φυσικούς κεραυνούς και προκαλούν καθολική καταστροφή των ηλεκτρομηχανικών εγκαταστάσεων και των ηλεκτρονικών συσκευών.

Οι κεραυνοί αυτοί πρωτοπαρατηρήθηκαν στην θερμοπυρηνική έκρηξη ισχύος 10 Μεγατόνων στην ατμόσφαιρα στην Enivetok Atoll το 1952.

Φωτογραφήθηκαν κεραυνοί που διέρχονταν από τη θάλασσα προς τα πάνω. Οι διακλαδώσεις και οι διχάλες τους (Σχ. 3.4) ακολουθούσαν την ίδια ανοδική πορεία. Όταν μεγάλωνε η πύρινη σφαίρα και περνούσε από τις περιοχές που είχαν ξεσπάσει προηγουμένως κεραυνοί, ξαναεμφανίζονταν πάλι από την οπίσθια όψη της αυτή τη φορά.



Σχήμα 3.4

Όταν πραγματοποιείται μια πυρηνική έκρηξη εκλύεται άφθονη ακτινοβολία γάμμα (γ). Η ακτινοβολία (γ) προκαλεί ισχυρό ιονισμό του αέρα που καθίσταται αγωγίμος σε μια μεγάλη περιοχή. Δημιουργούνται λοιπόν νέες αγωγίμες κοιλότητες μεταξύ του εδάφους και του ιονισμένου αέρα ή μεταξύ της ιονόσφαιρας και της ιονισμένης περιοχής. Σε κάποια αρχική διέγερση, οι κοιλότητες τίθενται σε ταλάντωση και συντονισμό, όπως οι ταλαντώσεις κατά Schumann μεταξύ εδάφους και ιονόσφαιρας. Η εξάρτηση των κεραυνών της υδρογονοβόμβας από ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις (Nuclear Electro-Magnetic Pulses) είναι άμεση. Οι παλμοί NEMP παράγουν αναρίθμητους κεραυνούς και η διεγερόμενη ενέργεια φθάνει στην ενέργεια της τάξεως των χιλίων κεραυνών μαζί που εκλύεται σε χρόνο 100 φορές μικρότερο από τον χρόνο ενός συνήθους κεραυνού. Οι επαγόμενες τάσεις στην επιφάνεια της γης είναι από 10.000 έως 50.000 Volts/m² με συχνότητα από 1 Hz έως 100 MHz.

Τελικά, από το συλλογικό φαινόμενο εκλύεται ισχύς μεγαλύτερη κατά 100.000 φορές από έναν συνήθη κεραυνό, με αποτέλεσμα την καταστροφή Δικτύων Διανομής Ρεύματος (στους αγωγούς υψηλής τάσης επάγονται εντάσεις ρευμάτων δεκάδων χιλιάδων Amperes), Μετασχηματιστών, Ηλεκτροκινητήρων, Βενζινοκινητήρων, Μπαταριών, Δικτύων Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων και πολλών άλλων.

Κεφάλαιο 4: ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Γενικά - Παράγοντες Προστασίας

Για να καθορίσουμε τι ανάγκες θέλουμε για την αντικεραυνική προστασία σε εξαιρετικές περιπτώσεις πρέπει να υπολογίζουμε έναν αριθμό παραγόντων, όπως:

Ο πρώτος είναι βέβαια η συχνότητα και η οξύτητα των καταιγίδων στην περιοχή που μας ενδιαφέρει - σε περιοχές όπου οι αστραπές δεν είναι συχνές μόνο κτήρια ειδικής χρήσεως και σπουδαιότητας π.χ. εύφλεκτου υλικού, χρειάζεται να προστατεύονται.

Ο δεύτερος είναι η θέση του κτηρίου. Ένα απομονωμένο σπίτι στην κορυφή ενός λόφου έχει περισσότερες πιθανότητες να κεραυνοβληθεί σε σύγκριση μ' ένα άλλο εγκατεστημένο σε μια πεδιάδα.

Επίσης αν το σπίτι είναι κτισμένο σε πόλεις όπου υπάρχουν πολλά εναέρια καλώδια και υψηλοί ηλεκτρικοί παράγοντες καθώς και ψηλά δένδρα. Ο κίνδυνος μειώνεται όταν το σπίτι είναι εγκατεστημένο σ' ανοικτή περιοχή.

Ένας τρίτος παράγοντας είναι οι κατασκευαστικές δομές των κτηρίων, όπως οι καπνοδόχοι, οι δεξαμενές νερού, οι σοφίτες, οι κεραιές, οι υδραυλικές εγκαταστάσεις.

Έτσι, στην περίπτωση μεγάλων δημοτικών κτηρίων ή μνημείων, η πρόβλεψη των αντικεραυνικών αγωγών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν σχεδιάζονται τα κτήρια έτσι ώστε να μην φθείρουν εξωτερικά την εμφάνιση της κατασκευής.

Ένα πλήρες σύστημα προστασίας το οποίο είναι πολύ ακριβό και μπορεί να δικαιολογηθεί μόνο στην περίπτωση των κτηρίων που περιέχουν εκρηκτικά ή εύφλεκτα χημικά, είναι εκείνα που περιέχουν μια πλήρη μεταλλική συσκευή παντελώς ενσωματωμένη και καλά γειωμένη σ' ένα δίκτυο χάλκινης ταινίας, όπως είναι το δημαρχείο των Βρυξελλών από το 1865 και ο πύργος του Eiffel (τύπου κλωβού Faraday) που όταν κεραυνοβληθεί οι επισκέπτες δεν παθαίνουν τίποτα.

Τα αλεξικέρανα επίσης διαφέρουν ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους και με το σκοπό που εξυπηρετούν. Έτσι τα αλεξικέρανα των κτηριακών εγκαταστάσεων τα διακρίνουμε σε αλεξικέρανα τύπου ακίδων (Franklin ή Faraday) και αλεξικέρανα ιονισμού (ραδιενεργά).

4.1 Βασικές Αρχές Αντικεραυνικής Προστασίας

Όλες οι γνωστές αρχές αντικεραυνικής προστασίας στηρίζονται στη γενική αρχή της εκφόρτισης του νέφους και διοχέτευσής του στη γη.

Πιστεύεται ότι αν διευκολυνθεί η διέλευση του φορτίου μέσα από ένα προκατασκευασμένο αγωγό με γειωμένο κλωβό ή με ιονιστικό μηχανισμό, η εκφόρτιση θα είναι ακίνδυνη.

Στην πράξη συμβαίνει το αντίθετο και η θεωρία ότι ο κεραυνός είναι η ηλεκτροστατική εκφόρτιση του νέφους είναι εν μέρει λανθασμένη. Ο κεραυνός είναι αποτέλεσμα ηλεκτρομαγνητικών ταλαντώσεων, με ισχυρότερη εμφάνιση τους NEMP της υδρογονοβόμβας που εκρήγνυνται σε ορισμένο ύψος μέσα στην ατμόσφαιρα. Ο κεραυνός που πέφτει σ' ένα αλεξικέραυνο μεταφέρει λόγω α ή β αιτίας φορτίο από ή προς το έδαφος. Η αντιμετώπιση της επικινδυνότητας δεν γίνεται με τη διευκόλυνση της διέλευσης του ρεύματος από ή προς το έδαφος με όσο το δυνατό μικρότερη αντίσταση. Η αντιμετώπισή του θα γινόταν αν είχαμε **απορρόφηση** της τεράστιας ενέργειας που μεταφέρει. Μια γραμμή που μεταφέρει μία ταχέως μεταβαλλόμενη τάση-κύμα, η οποία έχει βραχυκυκλωμένη την άκρη με μια μηδενική αντίσταση, δεν απορροφά την ενέργεια, αλλά **ανακλά** την ενέργεια και την τάση εξ' ολοκλήρου πίσω.

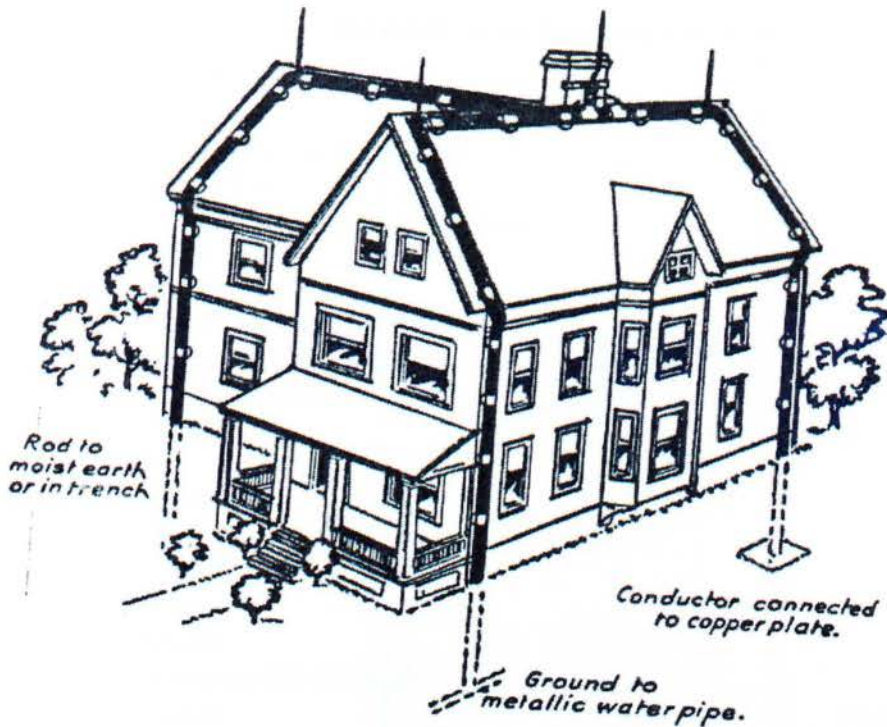
Υποθετικά ένας κεραυνός πέφτει σ' ένα τέλειο αλεξικέραυνο ακίδας με ιονισμό και μεταφέρει μια μέτρια ισχύ 1.000.000 MW. Το αλεξικέραυνο, λόγω της άριστης κατασκευής του, έχει μηδενική ή εξαιρετικά μικρή αντίσταση, καθώς την ίδια αντίσταση έχει και η άριστη γείωση. Το ρεύμα που θα διέλθει από το αλεξικέραυνο και την γείωση, θα χάσει ενέργεια ανάλογα με το γινόμενο I^2R που λόγω του εξαιρετικά μικρού R , η απώλεια της ενέργειας του κεραυνού θα είναι εξαιρετικά μικρή ή μηδενική. Σαν αποτέλεσμα, το άριστο αυτό αλεξικέραυνο δεν θα πάθει τίποτα και η ενέργεια που δεν καταναλώθηκε δεν μπορεί να διοχετευθεί στη γη διότι εκεί η αντίσταση μικραίνει ακόμη περισσότερο, λόγω της τεράστιας αύξησης της διατομής του αγωγού. Ούτε η ενέργεια μπορεί να χαθεί στο μηδέν όπως δεν μπορεί να δημιουργηθεί από το μηδέν. Ας πούμε ότι ο κεραυνός άγει ένα μέτριο ρεύμα 30.000 A που έλαβε την τιμή αυτή στον τυπικό χρόνο των 50 msec. Τότε θα αναπτυχθεί γύρω από τον αγωγό ένα ισχυρότατο **μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο** το οποίο θα επάγει ισχυρότατες τάσεις σε κάθε αγωγό που θα είναι παράλληλος με το αλεξικέραυνο. Δηλαδή ο αγωγός του αλεξικέραυνου θα δράσει σαν πρωτεύον πηνίο

μετασχηματιστού που θα επάγει την τάση σε κάθε άλλο παράλληλο αγωγό, όπως ακριβώς επάγει τάση στο δευτερεύον πηνίο μετασχηματιστού, χωρίς κατ' ανάγκη να υπάρχει ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των αγωγών και του αλεξικέραυνου. Τότε, σε μια ακτίνα όση είναι το μήκος του αλεξικέραυνου μαζί με το μήκος της καθόδου του (ας πούμε ότι είναι 100 m) θα επάγεται τάση σε αγωγούς της τάξεως των 10.000V ανά μέτρο. Τελικά, όλοι οι πλησίον του αλεξικέραυνου αγωγοί, θα δημιουργήσουν ηλεκτρικές εκκενώσεις με καταστρεπτικές συνέπειες, που έχουν παραχθεί όχι από το ρεύμα του κεραυνού αλλά από το μαγνητικό πεδίο που επάγει το ρεύμα αυτό. Σαν αποτέλεσμα, η ενέργεια του κεραυνού θα διαχυθεί στο άμεσο περιβάλλον με τη μορφή ενός μαγνητικού παλμού που θα καταστρέψει τα μαγνητικά αρχεία πληροφοριών και προγραμμάτων των υπολογιστών.

4.2 Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) & ΕΛΟΤ 1412/98

Η βασική και η πιο ουσιαστική μέθοδος προστασίας από τους κεραυνούς είναι το **αλεξικέραυνο**, δηλαδή μια τεχνολογική διάταξη που δίνει δίοδο στο ρεύμα του κεραυνού διαβιβάζοντάς το στο έδαφος, έτσι ώστε να μην μπορεί να πλήξει το κτήριό μας και να προκαλέσει υλικές καταστροφές. Το ΣΑΠ αποτελείται τόσο από εξωτερικά όσο και από εσωτερικά συστήματα προστασίας.

Το εξωτερικό ΣΑΠ περιλαμβάνει τρία τμήματα: 1^ο) Τη ράβδο ανύψωσης ή σύνολο σιδερένιων ράβδων που στο επάνω άκρο της φέρει μια ακίδα από χαλκό ή πλατίνα η οποία τοποθετείται στο υψηλότερο τμήμα της οικοδομής. Αυτό ορίζεται σαν δίκτυο σύλληψης κεραυνού. 2^ο) Τους αγωγούς καθόδου (απαγωγούς), δηλ. ένα σύστημα αγωγών με μικρή ηλεκτρική αντίσταση (μικροτέρα των 10Ω) που αποτελείται από σιδερένιες ράβδους ή συρματόσχοινα από σίδηρο ή χαλκό. Η μικρή αντίσταση απαιτείται για να μην αναπτυχθούν υψηλές τάσεις που δημιουργούν δευτερεύοντες σπινθήρες (Σχ. 4.1). 3^ο) Ένα δίκτυο-σύστημα «γειώσεως» που αποτελείται από μια απλή διακλάδωση των αγωγών μέσα στο έδαφος, ή από έναν σωλήνα εμβαπτισμένο σε μεγάλο βάθος σ' ένα πηγάδι, ή από ένα σύστημα πλακών, θαμμένων μέσα στο χώμα (πάχους τουλάχιστον 1,5mm για χαλκό, 3mm για γαλβανισμένη λαμαρίνα και 5mm για αγαλβάνιστη λαμαρίνα), ή από μια απλή σύνδεση μ' ένα υπόγειο δίκτυο υδρεύσεως, ή -για την περίπτωση των πλοίων- από μια μεταλλική πλάκα βυθισμένη στο νερό.



Σχήμα 4.1

Καθένας από τους παραπάνω τρεις τομείς χρειάζεται και τα αντίστοιχα πολύ συγκεκριμένα εξαρτήματά του. Για να μπορεί ένα σύστημα να λειτουργεί σωστά, πρέπει να έχει διάρκεια ζωής τόσο με τα μηχανικά όσο και με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Πολλές φορές η πληρότητα ενός ΣΑΠ αμφισβητείται από ένα λάθος εξάρτημα, ή χαμηλής ποιότητας υλικά, ή μη σωστής εγκατάστασης. Η επιθεώρηση ενός ΣΑΠ σε περιοδικά χρονικά διαστήματα, π.χ. δύο χρόνων, με έλεγχο και μέτρηση της αντίστασης γειώσεως, εξασφαλίζουν την μελλοντική λειτουργία του. Ο διμεταλλικός σύνδεσμος ελέγχου που τοποθετείται 0,5m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και αποτελεί μέρος του αγωγού καθόδου, διαχωρίζεται με το δίκτυο γείωσης και αποτελεί σημαντική ασφαλιστική δικλείδα. Το ηλεκτρολυτικά επιχαλωμένο χαλύβδινο ηλεκτρόδιο έχει τη μέγιστη αντιδιαβρωτική ικανότητα στο έδαφος και στις μηχανικές καταπονήσεις. Το ιδανικότερο υλικό για γειώσεις είναι ο ωστενιτικός χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, ανοξειδωτος χάλυβας. Οι μούφες σύνδεσης κατασκευάζονται από κράμα αλουμινίου-ορείχαλκου και ο σφιγκτήρας από κράμα αλουμινίου-σιλικόνης-ορείχαλκου με βίδα κράματος φωσφόρου-ορείχαλκου. Όλα τα εξαρτήματα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον ανθεκτικότερο βαθμό διάβρωσης των υλικών μετάλλων, όπως αυτά παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας: Γαλβανική σειρά σε διαβρωτική ατμόσφαιρα

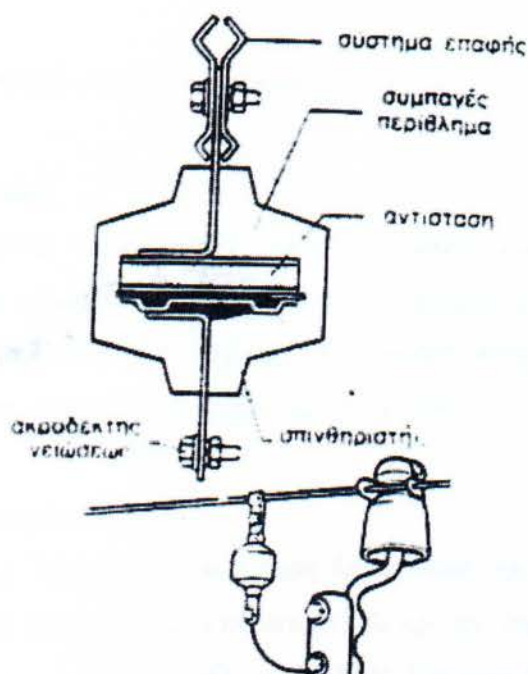
Base	Magnesium	
	Zinc	
	Aluminium (<i>commercial</i>)	
	Cadmium	
	Duralumin (<i>Al with 4 ½ % Cu</i>)	
	Mild Steel	
	Cast Iron	
	Stainless Steel (<i>Type 430; 18% Cr</i>)	ACTIVE
	Stainless Steel (<i>Type 304; 18% Cr, 10% Ni</i>)	ACTIVE
	Lead-tin solders	
	Lead	
	Tin	
	Nickel	
	Brasses	
	Copper	
	Bronze	
	Monel	
	Solder solders (<i>70% Ag, 30% Cu</i>)	
	Nickel	PASSIVE
	Stainless Steel (<i>Type 430</i>)	PASSIVE
	Stainless Steel (<i>Type 304</i>)	PASSIVE
	Silver	
	Titanium	
Graphite (<i>Carbon</i>) (<i>non-metal</i>)		
Gold		
Noble	Platinum	

Το εσωτερικό ΣΑΠ αποτελείται από τις ισοδυναμικές συνδέσεις των αγώγιμων τμημάτων (για μείωση των ηλεκτρομαγνητικών και χωρητικών επιδράσεων του κεραυνού) που συνδέεται με την θεμελιακή γείωση. Η ισοδυναμική προστασία καταφέρνει να μειώσει την τάση επαφής και τις βηματικές τάσεις, σε τιμές ασφαλείας για τον άνθρωπο (μέχρι 50V), κατά την πτώση του κεραυνού μέσω άμεσων γεφυρώσεων ή μέσω σπινθήρων και αλεξικεραύνων υπερτάσεων στη γείωση του ΣΑΠ.

Τα αλεξικέραυνα προστασίας **ηλεκτρικών εγκαταστάσεων** εξασφαλίζουν προστασία από τις τάσεις των ηλεκτρικών γραμμών όταν αυτές υπερβούν κάποιο όριο ασφαλείας. Τα αλεξικέραυνα αυτά τοποθετούνται κατά μήκος των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και στους σταθμούς παραγωγής και στους υποσταθμούς, για να προστατεύουν τις συσκευές που περιέχουν, από υπερτάσεις οι οποίες μεταφέρονται δια των γραμμών μεταφοράς. Τοποθετούνται επίσης κατά μήκος

των τηλεφωνικών δικτύων και σε ακροδέκτες κεραιών τηλεοράσεως πριν από το σημείο εισόδου σε κτήρια.

Τα αλεξικέρανα των **γραμμών μεταφοράς** ηλεκτρικής ενέργειας είναι απλά συστήματα που αποτελούνται συνήθως από έναν σπινθηριστή συνδεδεμένο σε σειρά με μια μη-γραμμική αντίσταση. Το ένα τους άκρο συνδέεται με γραμμή μεταφοράς και το άλλο γειώνεται. Όταν λόγω των επαγωγικών φαινομένων, που ακολουθούν την πτώση ενός κεραυνού, η τάση στην γραμμή μεταφοράς υπερβεί ένα καθορισμένο όριο, ο σπινθηριστής ενεργοποιείται και η υπέρταση διοχετεύεται στο έδαφος. Η μη-γραμμική αντίσταση περιορίζει στη συνέχεια το ηλεκτρικό ρεύμα και έτσι το σύστημα επανέρχεται γρήγορα στην αρχική του κατάσταση (Σχ. 4.2).



Σχήμα 4.2: Αλεξικέρανο προστασίας ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

Ικανοποιητική προστασία από υπερτάσεις εξασφαλίζεται σε ηλεκτρικούς κινητήρες και γεννήτριες με τη βοήθεια κατάλληλα συνδεδεμένων πυκνωτών που μειώνουν τον ρυθμό αυξήσεως της τάσεως.

Συνήθως θεωρείται ότι το αλεξικέρανο προστατεύει τον χώρο που περικλείει ένας κώνος κλίσης 45° με ύψος και ακτίνα βάσεως όσο και το ύψος του αλεξικέρανου. Έτσι για την προστασία των οικοδομικών κατασκευών με τη βοήθεια κλωβού Faraday (Ελβετική μέθοδος) συνιστάται η τοποθέτηση ενός συστήματος ακίδων ύψους 30cm, κατά διαστήματα 10-20 μέτρων, πάνω σ' ένα πλέγμα αγωγών το

οποίο γειώνεται καταλλήλως. Η μέθοδος αυτή προτάθηκε το 1884 από τον Βέλγο φυσικό Louis Melsens.

Το αμφιλεγόμενο για την αποτελεσματικότητά του, αλεξικέραυνο ιονισμού, στηρίζεται στη χρησιμοποίηση αλάτων ραδιενεργών στοιχείων, π.χ. αμερικίου ή ραδίου, τα οποία εκπέμπουν ακτίνες α και ιοντίζουν τον αέρα που περιβάλλει το αλεξικέραυνο.

Με τον τρόπο αυτό υποστηρίζεται ότι ευνοείται η εμφάνιση γύρω από την ακίδα του αλεξικέραυνου της στεμματόμορφης εκκενώσεως που προηγείται της πτώσεως του κεραυνού. Εφευρέθηκε το 1914 από τον ουγγρικής καταγωγής φυσικό Leo Szilard, αλλά πολλοί επιστήμονες απορρίπτουν την αρχή λειτουργίας του, ως στερούμενης επιστημονικής βάσεως.

4.3 Χαρακτηριστικά Αλεξικέραυνων

4.3.1 Ονομαστική τάση

Είναι η μέγιστη τάση (ενδ. τ.) στη συχνότητα λειτουργίας (50Hz) του αλεξικέραυνου, στην οποία το αλεξικέραυνο μπορεί να διακόψει με βεβαιότητα το ακόλουθο ρεύμα. Η τάση αυτή πρέπει, αν μείνει μονίμως στα άκρα του αλεξικέραυνου, να μην επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του.

4.3.2 Κρουστική τάση διασπάσεως

Μετωπική (Σχ. 4.3, 4.4). Είναι η τάση διασπάσεως του αλεξικέραυνου, που συμβαίνει στο μέτωπο του κρουστικού κύματος (δηλ. προ της κορυφής).

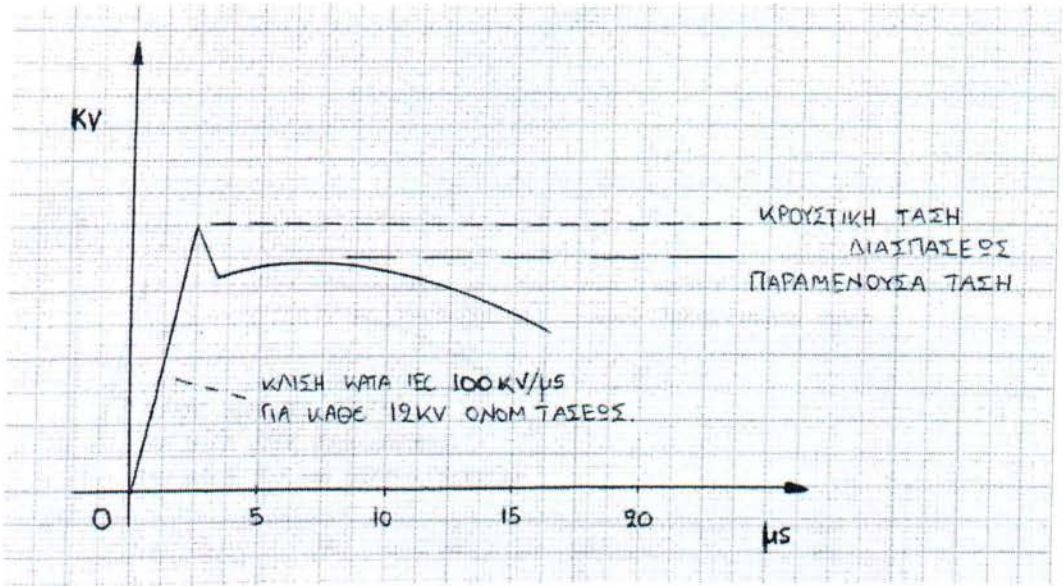
Η κλίση του μετώπου κατά IEC είναι 1000 KV/μsec για κάθε 12 KV της ονομαστικής τάσης του αλεξικέραυνου, αλλά όχι παραπάνω από 1.200 KV/μsec (π.χ. για 21 KV η κλίση είναι $21/12 \cdot 100 = 175$ KV/μsec).

Κρουστική 100%. Είναι η κορυφή της ελάχιστης τάσεως κρουστικού κύματος ορισμένης μορφής (κατά IEC 1,2/50μsec), για την οποία, όσες φορές κι αν επιβληθεί έχουμε διάσπαση του αλεξικέραυνου).

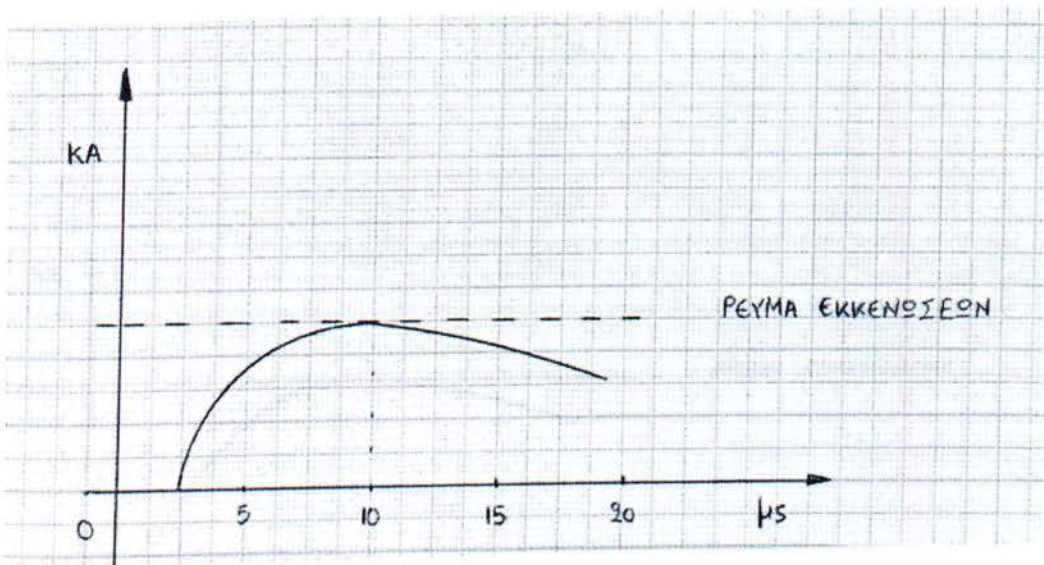
Κρουστική 50% (κρίσιμη). Είναι η κορυφή της τάσεως κρουστικού κύματος (1,2/50μsec) που όταν επιβληθεί επανειλημμένως θα προκαλέσει διάσπαση του αλεξικέραυνου στο 50% των περιπτώσεων.

Στο Σχήμα 4.3 φαίνεται η καμπύλη τάσεως διασπάσεως του αλεξικέρανου-χρόνου.

Για κάθε σημείο της καμπύλης, τετμημένη είναι η διάρκεια από την αρχή της επιβολής της τάσεως μέχρι της διασπάσεως του αλεξικέρανου και τεταγμένη η τάση διασπάσεως προκειμένου για μετωπική διάσπαση ή η κορυφή της τάσεως που επιβάλλεται προκειμένου για διάσπαση στην ουρά του κύματος.



Σχήμα 4.3: Καμπύλη διασπάσεως εκκενώσεως-χρόνου δηλαδή τάσεως στα άκρα αλεξικέρανου πριν και μετά τη διάσπασή του από την αρχή της επιβολής του.



Σχήμα 4.4: Καμπύλη ρεύματος εκκενώσεως αλεξικέρανου.

4.3.3 Τάση εκκενώσεως ή παραμένουσα τάση

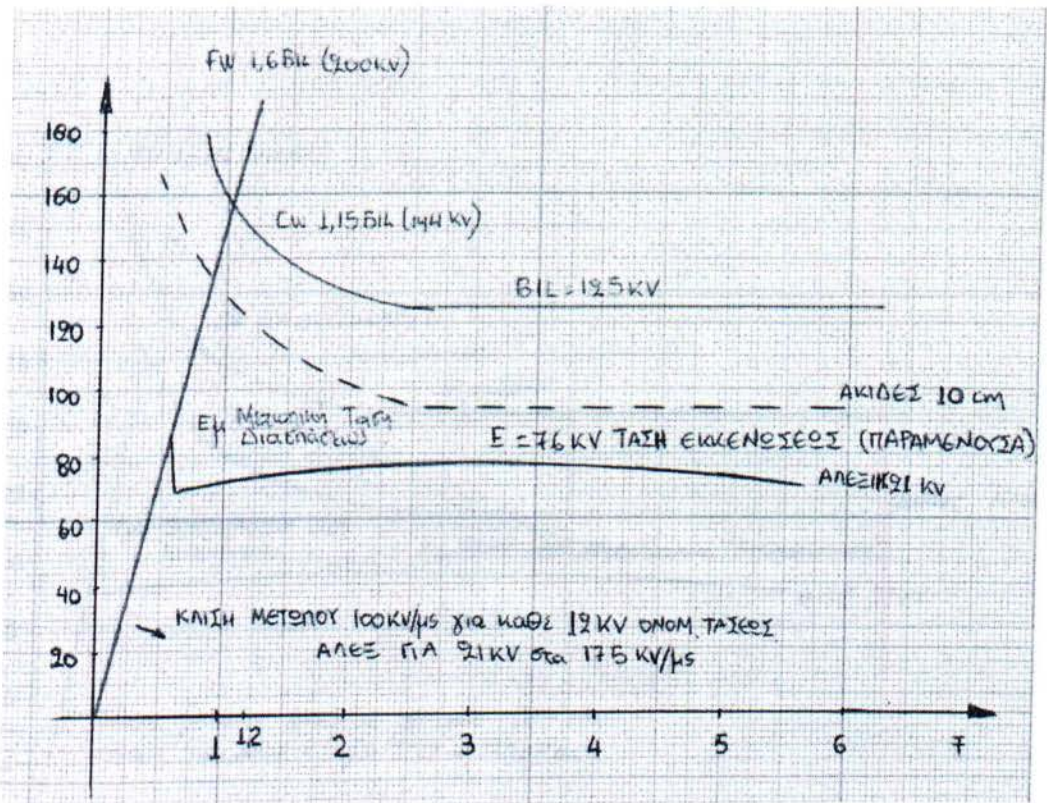
Είναι η τάση (Σχ. 4.3, 4.4) που εμφανίζεται στα άκρα του αλεξικέρανου μετά τη διάσπασή του, κατά τη διάρκεια της εκκενώσεως του ρεύματος (μορφής 8/20 msec).

4.3.4 Τάση διασπάσεως (50 Hz)

Είναι η ενδεδειγμένη τιμή της ελάχιστης τάσεως που προκαλεί διάσπαση του αλεξικέρανου, όταν και όσες φορές κι αν επιβληθεί στα άκρα του.

4.3.5 Ρεύμα εκκενώσεως

Το κρουστικό ρεύμα (Σχ. 4.5) που διέρχεται από το αλεξικέρανο κατά την εκκένωσή του.



Σχήμα 4.5: Καμπύλες τάσεως-χρόνου μονώσεως BIL 125KV ακίδων 10 εκ. διασπάσεως εκκενώσεως-χρόνου αλεξικέρανου 21KV.

4.3.6 Ονομαστικό ρεύμα εκκενώσεως

Το ρεύμα εκκενώσεως ορισμένης μορφής (8x20 μsec), που μπορεί να εκκενώσει το αλεξικέραυνο, χωρίς η τάση στα άκρα του να υπερβαίνει την επιτρεπόμενη τάση εκκενώσεως (παραμένουσα).

Η ένταση αυτή ορίζει την κλάση του αλεξικέραυνου. Το αλεξικέραυνο πρέπει να μπορεί να εκκενώνει το ονομαστικό ρεύμα εκκενώσεως, σε αριθμό (φορές) και συχνότητα, που ορίζονται από την προδιαγραφή του.

4.3.7 Κρουστικό ρεύμα εκκενώσεως

Είναι η μέγιστη τιμή (κορυφή) κρουστικού ρεύματος μορφής 4/10 μsec , που μπορεί να εκκενώνει το αλεξικέραυνο.

4.3.8 Ακόλουθο ρεύμα

Το ρεύμα 50Hz που διέρχεται από το αλεξικέραυνο μετά την εκκένωση του κρουστικού ρεύματος. Στα Σχήματα 4.3, 4.5 φαίνεται η μορφή των καμπυλών της τάσεως στα άκρα του αλεξικέραυνου πριν και μετά τη διάσπασή του και της εντάσεως εκκενώσεως του αλεξικέραυνου από την αρχή της επιβολής του κρουστικού κύματος.

4.4 Ταξινόμηση Αντικεραυνικών Συστημάτων

Ο πιο γνωστός τρόπος ταξινόμησης των αντικεραυνικών συστημάτων γινόταν με βάση ένα γνωστό χαρακτηριστικό της κατασκευής τους, όπως:

- α1) Αλεξικέραυνα ακίδος (Franklin)
- α2) Αλεξικέραυνα πολλαπλών ακίδων.
- β) Αλεξικέραυνα τύπου κλωβού (Faraday)
- γ1) Αλεξικέραυνα με ιονίζουσες ουσίες από ραδιενεργά υλικά.
- γ2) Αλεξικέραυνα με ηλεκτρονικό ιονισμό.
- δ) Αλεξικέραυνα γραμμής.

Επίσης κυκλοφορούν αλεξικέραυνα για ειδικές χρήσεις όπως προστασίας μετασχηματιστών, κινητήρων, αντλιών, κατόπτρων, τηλεοπτικών και δορυφορικών σταθμών.

Αλλά ο σύγχρονος τρόπος σκέψης ορίζει πως τα αλεξικέραυνα θα πρέπει να ταξινομούνται ανάλογα με τη **βασική αρχή λειτουργίας** τους που **προσφέρουν προστασία**, όπως είναι:

A. Ηλεκτροστατικά Συστήματα Προστασίας (πρόκλησης κεραυνού):

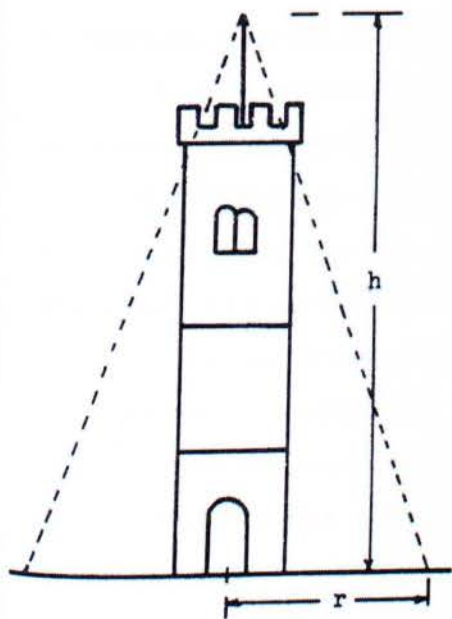
1. Αλεξικέραυνα πρόκλησης κεραυνού.
2. Αλεξικέραυνα πρόκλησης κεραυνού και ηλεκτροστατικής θωράκισης.
3. Αλεξικέραυνα πρόκλησης κορώνας και κεραυνού.
4. Αλεξικέραυνα πρόκλησης κεραυνού με δυνατότητα απορρόφησης της ενέργειάς του.

B. Δυναμικά Συστήματα Προστασίας (χωρίς πρόκληση κεραυνού)

1. Αλεξικέραυνα πρόκλησης κορώνας με σύστημα αποτροπής εξέλιξής της σε κεραυνό.
2. Αλεξικέραυνα πρόκλησης ελεγχόμενης κορώνας και:
 - α) απόθησης κεραυνού
 - β) αποτροπής κεραυνού
 - γ) απόσβεσης κεραυνικών φαινομένων στη γέννησή τους.

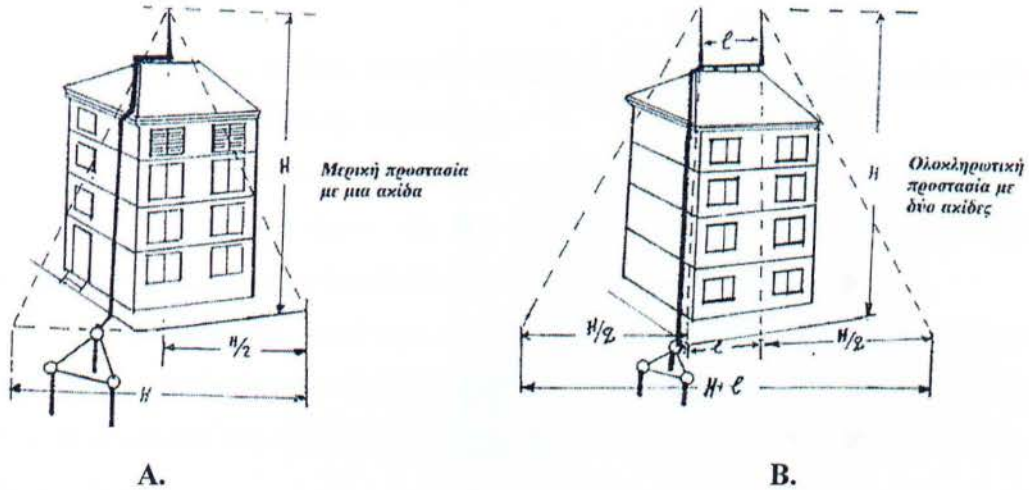
4.4.1 Αλεξικέραυνο ακίδος (Franklin) - Η.Σ.Π.1- Πρόκλησης κεραυνού

Το πιο απλό αλεξικέραυνο για προστασία κτηριακών εγκαταστάσεων με μεγάλο ύψος και μικρό εμβαδό π.χ. καπνοδόχοι εργοστασίων, διυλιστηρίων, υδατόπυργοι, κωδωνοστάσια ναών κλπ. Αποτελείται από μία ή περισσότερες ακίδες που τοποθετούνται συνήθως πάνω σε ειδικό μεταλλικό ικρίωμα ή ιστό, στο υψηλότερο σημείο της οικοδομής σε ύψος τουλάχιστον 0,50m από το υψηλότερο δομικό στοιχείο (Σχ. 4.6).



Σχήμα 4.6: Κτήριο υψηλό για το οποίο είναι κατάλληλο αλεξικέραυνο ακίδος. Οι διακεκομμένες γραμμές καθορίζουν μια κωνική περιοχή την οποία προστατεύει το αλεξικέραυνο.

Η προστασία την οποία προσφέρει μια μεμονωμένη ακίδα που η αιχμή της βρίσκεται σε ύψος (h) αφορά μια κωνική περιοχή με κορυφή την αιχμή της ακίδας και σαν βάση την ακτίνα (r), όπου $r = (0,5)h$, δηλαδή την διάμετρο (d) που ισούται με το ύψος (h) (Σχ. 4.7.A, 4.7.B).



Σχήμα 4.7

Ο αγωγός από την ακίδα μέχρι το σύστημα της «γειώσεως» πρέπει να είναι χάλκινος, διατομής 50mm^2 , ευθύγραμμος, μονοκόμματος (ή με πολύ λίγες συνδέσεις με σωστούς ειδικούς σφιγκτήρες και όχι κολλήσεις).

Η κατασκευή του συστήματος «γειώσεως» (πλάκες ή ράβδοι τοποθετημένες μέσα στο υπέδαφος) πρέπει να έχει την μικρότερη δυνατή αντίσταση διαβάσεως και να παρουσιάζει μέγιστη αντοχή στο χρόνο.

Οι ακίδες αυξάνουν την ένταση του πεδίου και την πυκνότητα του ρεύματος που διαρρέει το άκρο τους.

Η πυκνότητα του ρεύματος είναι αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού της κεφαλής της αιχμής που είναι πολύ μικρό. Αυτό συντελεί στη δημιουργία στενού διαύλου ρεύματος μέσα στην ατμόσφαιρα με μεγάλο ιονισμό που, σε συνδυασμό με τις αρχές της μαγνητοϋδροδυναμικής μέσω των ελκτικών δυνάμεων Laplace ομοπαράλληλων γραμμών ροής του ρεύματος, συντελούν στην συρρίκνωση του ρεύματος και τελικά στην κατάρρευση της αντίστασης του αέρα. Αποτέλεσμα αυτής είναι η δημιουργία ενός ευθέως κατευθυνόμενου προς τα άνω θετικού χειμάρρου φωτός (πρόδρομος κεραυνός), ο οποίος εξαιτίας του μεγάλου μήκους του στην

κοντινή περιοχή μας ενώνεται με το κύριο αρνητικό ρεύμα που εισέρχεται από το σύννεφο (κυρίως κεραυνός).

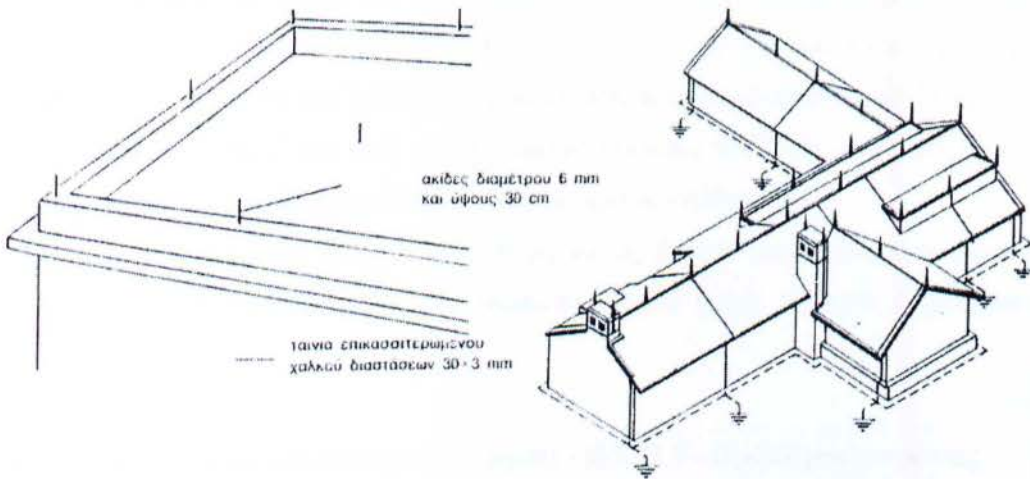
Τα αλεξικέραυνα αυτά δεν έχουν δυνατότητα απορρόφησης της ενέργειας του κεραυνού και κατά κανόνα αυξάνουν την επικινδυνότητα αν δεν έχουν πρόσθετη θωράκιση ώστε να μας προστατεύσουν από τα μαγνητικά πεδία που αναπτύσσονται.

4.4.2 Αλεξικέραυνο ακίδων (κλωβού Faraday) - Η.Σ.Π. 2 - Πρόκλησης κεραυνού και ηλεκτροστατικής θωράκισης

Πιο αποτελεσματικό μπορεί να θεωρηθεί το αλεξικέραυνο κλωβού Faraday. Αυτά τα αλεξικέραυνα έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τα Franklin, αλλά παρέχουν ηλεκτροστατική θωράκιση με μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης.

Αποτελείται από δικτύωμα πολλών καθόδων, πολλών ακίδων και πολλών γειώσεων. Οι ακίδες συνδέονται με τις καθόδους και μεταξύ τους, τοποθετημένες στα ψηλότερα σημεία του κτηρίου με εφαρμογή σε εργοστάσια παραγωγής, αποθήκες, δεξαμενές κλπ.

Η πυκνότητα του πλέγματος είναι μεγάλη στην οροφή ενώ στα τοιχώματα αυξάνονται οι αποστάσεις των αγωγών απαγωγής. Αυτές υπολογίζονται με βάση την παραδοχή ότι το εμβαδό που περικλείεται στην οροφή πρέπει να είναι της τάξεως των 50m^2 ενώ στα κατακόρυφα πλαϊνά τοιχώματα πρέπει να είναι περίπου 150m^2 (Σχ.4.8)



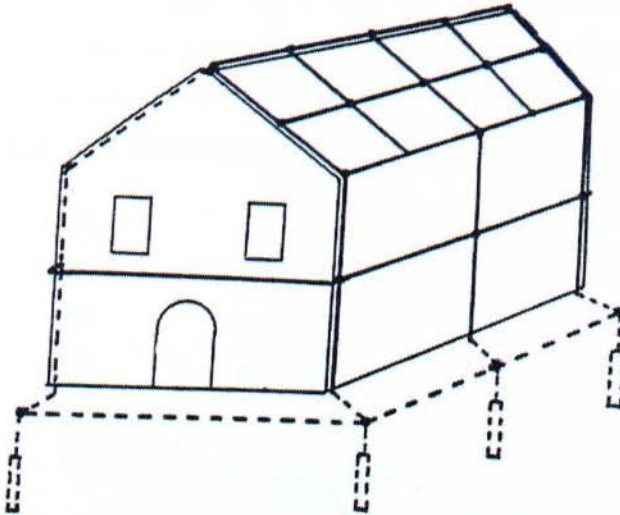
Σχήμα 4.8: Σύστημα προστασίας κτηρίου από κεραυνούς με κλωβό Faraday.

π.χ. Εάν χρησιμοποιηθεί πλέγμα οροφής με «κυψέλες» ορθογωνικής διατομής (Σχήμα 4.8) και πλευρά $(AB) = a = 8\text{ cm}$, προκύπτουν:

$$\alpha \cdot \beta = 50 \text{ m}^2 \Rightarrow \beta = \frac{50}{8} = 6,25 \text{ m}^2$$

Αν χρησιμοποιηθεί για την ίδια περίπτωση πλέγμα τετραγωνικής διατομής, θα προκύψει:

$$(AB) \cdot (AD) = \alpha^2 = 50 \text{ m}^2 \Leftrightarrow \alpha = 7 \text{ m (Σχ. 4.9)}$$



Σχήμα 4.9: Προστασία κτηρίου με αλεξικέρανο τύπου κλωβού. Ένα πλέγμα αγωγών καλύπτει την προστατευόμενη περιοχή. Ακίδες μπορούν να τοποθετηθούν σε κατάλληλα επιλεγμένα σημεία. Σε ειδικές περιπτώσεις, το πλέγμα κατασκευάζεται πυκνό ή μπορεί να χρησιμοποιηθούν ελάσματα καλύψεως της οροφής.

Ο κλωβός τελειώνει στο κάτω μέρος με έναν αγωγό που βρίσκεται μέσα στο έδαφος. Οι αγωγοί του κλωβού κατασκευάζονται από ορθογωνικής διατομής χαλκό, πάχους όχι μικρότερου των 2mm^2 και εμβαδού διατομής μεγαλύτερου των 75mm^2 για την οροφή και 50mm^2 για τους κατακόρυφους αγωγούς καθόδου. Αντί του χαλκού χρησιμοποιούνται συχνά αγωγοί επιψευδαργυρωμένου σιδήρου.

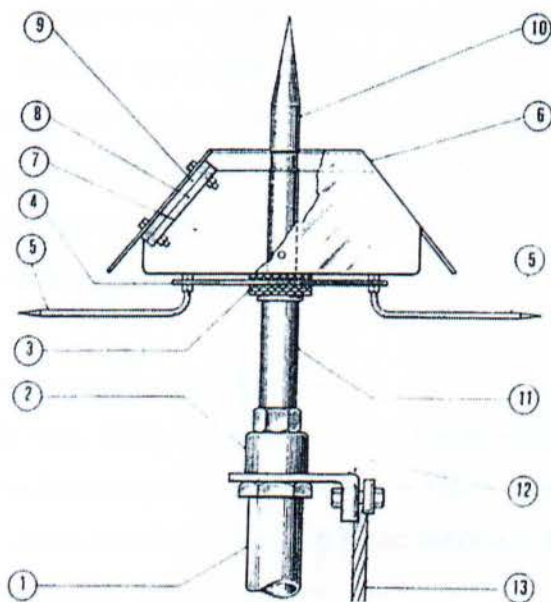
Τα αλεξικέρανα κλωβού παρουσιάζουν ως βασικό μειονέκτημα το μεγάλο κόστος εγκατάστασης αλλά χρησιμοποιούνται συχνά χωρίς σοβαρά προβλήματα συντήρησης.

4.4.3 Αλεξικέρανα ιονισμού (ραδιενεργού) - Η.Σ.Π.3 - Πρόκλησης κορώνας και κεραυνού

Τα αλεξικέρανα ιονισμού χρησιμοποιούνται κυρίως γιατί είναι απλούστερα και φθηνότερα από τα συστήματα ακίδος και κλωβού. Μαζί με την ακίδα, τοποθετείται μια κεφαλή που περιέχει κάποιο ιονιστικό μηχανισμό, δηλαδή

ηλεκτρονικό μηχανισμό διέγερσης και ιονισμού ή κάποιο ραδιενεργό υλικό (συνήθως Αμερίκιο).

Συνήθως αποτελούνται από ένα μεταλλικό στέλεχος κυκλικής διατομής που στο άνω άκρο του καταλήγει σε ακίδα και αποτελεί μια προστατευτική ομπρέλα με κλίση 10° και ακτίνα προστασίας ανάλογη με την ποσότητα πηγών του ραδιενεργού υλικού. Ο δίσκος κατασκευάζεται από ανοξείδωτο χάλυβα και χαλκό και εμπεριέχει Αμερίκιο 241 (Am-241), το οποίο έχει χρόνο ημιζωής 455 χρόνια. Το ραδιενεργό υλικό εκπέμπει ιόντα μέσω ακτίνων (α) και ιονίζει με σωματίδια θετικά φορτισμένα την γύρω ατμόσφαιρα σε ακτίνα περίπου 200m με 4 πηγές (Σχ. 4.10).



Σχήμα 4.10: Κεφαλή ραδιενεργού αλεξικέρανου.

1. Ιστός στήριξης $1 \frac{1}{4}''$ (σωλήνας)
2. Ρακόρ $1 \frac{1}{4}''$ από φωσφορούχο ορείχαλκο.
3. Δακτύλιος μεγάλης μονωτικής αντοχής.
4. Δίσκος από ανοξείδωτο χάλυβα, ο οποίος μονωμένος από τον ιστό στήριξης με το δακτύλιο 3 λειτουργεί σαν επιταχυντής ιόντων (διεγέρτης δυναμικού) και λαμβάνει το ηλεκτρικό δυναμικό του ατμοσφαιρικού στρώματος στο οποίο βρίσκεται. Επ' αυτού ανανακλώνονται τα παραγόμενα ιόντα από τη ραδιενεργό πηγή και κατευθύνονται προς τα νέφη.
5. Ακίδες, οι οποίες διευκολύνουν το διεγέρτη στη λήψη του ηλεκτρικού δυναμικού.
6. Ιονιστής. Αποτελείται από ελλειπή τετραγωνική πυραμίδα από ανοξείδωτο χάλυβα, χωρίς τις δύο βάσεις. Η έλλειψη των δύο βάσεων οφείλεται στην ανάγκη κυκλοφορίας του αέρα ώστε να εξασφαλίζεται η προς τα άνω πορεία των ιόντων που βγαίνουν από τη ραδιενεργό πηγή.
7. Χώρος ιονισμού.
8. Προστατευτικό κάλυμμα από ορείχαλκο το οποίο αφαιρούμενο κατά την εγκατάσταση του αλεξικέρανου, ελευθερώνει τη ραδιενεργό πηγή.
9. Ορειχάλκινος δίσκος, που στο κέντρο φέρει τη ραδιενεργό πηγή. Σα ραδιενεργός πηγή χρησιμοποιείται το Αμερίκιο 241 (AM-241) το οποίο έχει χρόνο ημιζωής (υποδιπλασιασμού) 455 χρόνια.
10. Ακίδα από ανοξείδωτο χάλυβα που συνδέεται με μια καλή γείωση.
11. Κορμός από ανοξείδωτο χάλυβα.
12. Σφικτήρας αγωγού γείωσης από φωσφορούχο ορείχαλκο.
13. Αγωγός γείωσης.

Αυτή η αύξηση της αγωγιμότητας του αέρα έχει σαν αποτέλεσμα την σταδιακή εξουδετέρωση των αρνητικών φορτίων του νέφους και τη δημιουργία ορισμένης διόδου για την πτώση του κεραυνού. Αφού όμως ένα μέρος από το φορτίο του νέφους εξουδετερώθηκε από τα ιόντα της κεφαλής, ο κεραυνός θα είναι μικρότερης έντασης από εκείνον που θα είχαμε σ' ένα αλεξικέραυνο ακίδων.

Οι 4 υποδοχές στην κεφαλή (μια από κάθε πλευρά της πυραμίδας) για την τοποθέτηση των ραδιενεργών πηγών, μας δίνουν την συνολική καλυπτόμενη επιφάνεια όπου με 1 πηγή τα 50m έως με 4 πηγές τα 200m. Επίσης το ελάχιστο ύψος τοποθέτησης του αλεξικέραυνου είναι 15m από το έδαφος και 3-4m από το υψηλότερο σημείο των κτηριακών εγκαταστάσεων.

Σαν αγωγός καθόδου χρησιμοποιείται χάλκινος αγωγός 50mm² που περνάει από σειρά μονωτήρων μέχρι να φθάσει στο σύστημα γειώσεως.

Για την γείωση κατασκευάζεται τρίγωνο από γαλβανισμένους σιδηροσωλήνες 2'' και 2,5m μακριά από τη γείωση εγκατάστασης του κτιρίου. Η αντίσταση της γείωσης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3ΩM.

4.4.4 Αλεξικέραυνα γραμμής - Αποζευκτικά

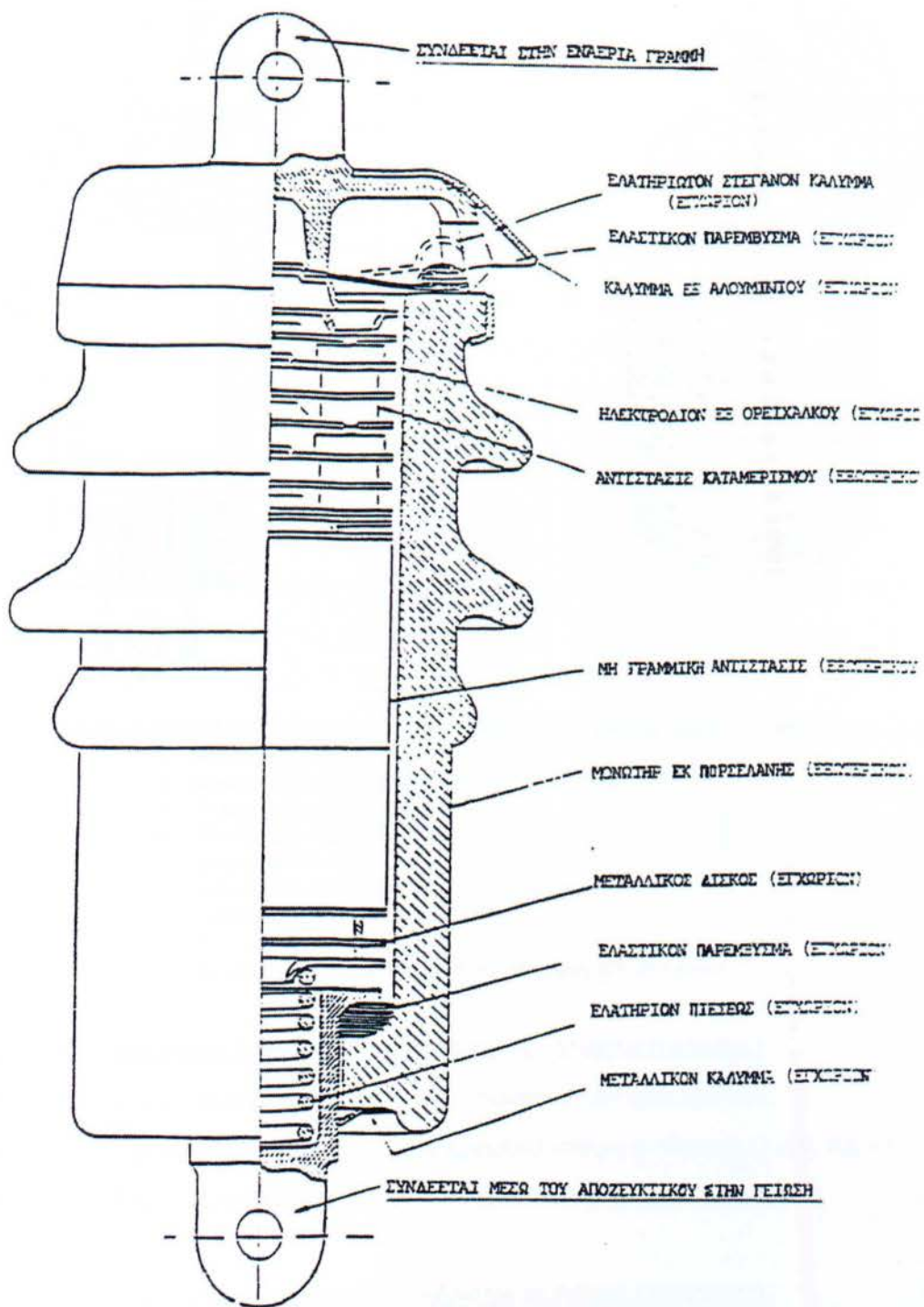
Η λειτουργία τους βασίζεται στην ειδική κατασκευή τους που σε γενικές γραμμές περιλαμβάνει δύο στοιχεία, το στοιχείο κενού και το στοιχείο βαλβίδας.

Το στοιχείο κενού αποτελείται από μια σειρά διάκενων που διασπώνται στις υπερτάσεις όχι όμως και στην τάση του δικτύου.

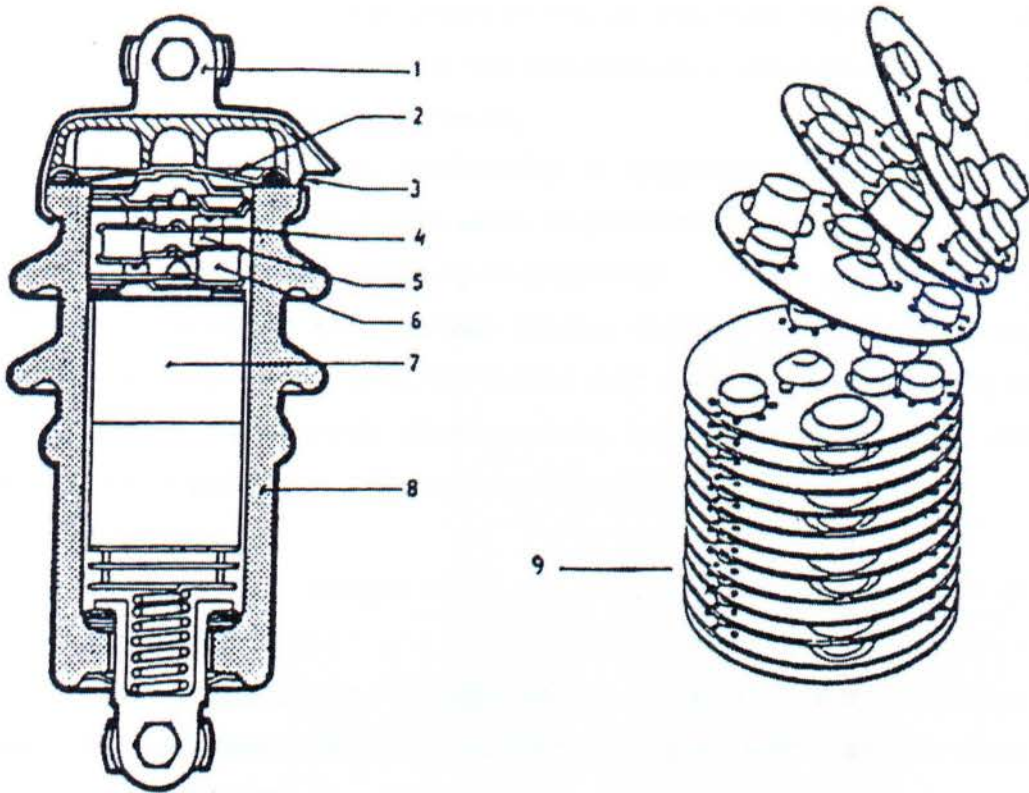
Το στοιχείο της βαλβίδας αποτελείται από σειρά μη γραμμικών αντιστάσεων (πλάκες) από θυρίτη που εμφανίζουν μικρή αντίσταση στις υπερτάσεις και μεγάλη αντίσταση στο ρεύμα 50Hz που ακολουθεί μια διάσπαση του αλεξικέραυνου και το σβήσιμο των τόξων σε διάκενα (Σχ. 4.11).

Ειδικότερα, ένα συγκρότημα με διάκενα (**στοιχείο κενού**) αποτελείται από ηλεκτρόδια εξ' ορειχάλκου, χωριζόμενα με τα τεμάχια στεατίτου ή πορσελάνης και με μη γραμμικές αντιστάσεις καταμερισμού μεταξύ των ηλεκτροδίων (Σχ. 4.12).

Τα τεμάχια ή **διαχωριστικά στεατίτου** μοιάζουν με τη μορφή ασπιρίνης και τοποθετούνται μεταξύ των ηλεκτροδίων, βοηθώντας στη μόνωσή τους και συνεπώς στη δημιουργία διάκενων.



Σχήμα 4.11: Εσωτερική διάταξη αλεξικέρανου ΑΛ21 21KV, 5 KA τύπου βαλβίδας (Γενική προμηθευτική).



Σχήμα 4.12: Μια άλλη μορφή εσωτερικής διάταξης αλεξικέρανου τύπου βαλβίδας.

1. Άνω βραχίονας.
2. Ανακουφιστική διάταξη υπερπίεσεως.
3. Άνοιγμα διαφυγής αερίων.
4. Ηλεκτρόδιο διακένου.
5. Διαχωριστικό στεατίτου.
6. Αντίσταση καταμερισμού.
7. Αντίσταση βαλβίδας.
8. Πορσελάνη.
9. Διάταξη των ηλεκτροδίων και σχηματισμός των διακένων.

Κανονική Λειτουργία Γραμμής (Αλεξικέρανο σε κατάσταση ηρεμίας)

- Δεν υπάρχει ηλεκτρική διάσπαση των διακένων των ηλεκτροδίων.
- Οι μη γραμμικές αντιστάσεις έχουν πρακτικά άπειρη αντίσταση ($I \cong 0, R \cong \infty$).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ: Πρακτικά δεν διαρρέει ρεύμα από την γραμμή προς τη Γη.

Λειτουργία Υπέρτασης Γραμμής (Αλεξικέρανο σε ενεργή κατάσταση)

- Υπάρχει ηλεκτρική διάσπαση των διακένων των ηλεκτροδίων.
- Οι μη γραμμικές αντιστάσεις αποκτούν πρακτικά μηδενική αντίσταση ($I > 0, R \cong 0$).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ: Πρακτικά γειώνεται η γραμμή και έτσι η υπέρταση οδηγείται στη Γη.

Όταν η τάση της γραμμής επανέλθει στα κανονικά όρια, σταματά η διάσπαση των διακένων των ηλεκτροδίων και έτσι απομονώνεται η γραμμή (από τη Γη) και επανέρχεται στην κανονική λειτουργία της.

Εάν για οποιονδήποτε λόγο αποτύχει το αλεξικέραυνο να απομονώσει τη γραμμή, λειτουργεί το αποζευκτικό, οπότε απομονώνεται μόνιμα η γραμμή από τη γείωση και υπάρχει ένδειξη βλάβης του αλεξικέραυνου.

Οι αντιστάσεις καταμερισμού (grading resistors) έχουν ως σκοπό την ομοιόμορφη κατανομή της τάσης του δικτύου κατά μήκος των διακένων χωρίς να επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. σκόνη) για τη λειτουργία του αλεξικέραυνου χωρίς την ύπαρξη ατμοσφαιρικής υπέρτασης.

Ειδικότερα:

Έστω, ότι στο στοιχείο κενού του αλεξικέραυνου ΔΕΝ υπάρχουν οι αντιστάσεις καταμερισμού.

Κατά την τοποθέτηση του αλεξικέραυνου στο δίκτυο, η τάση του δικτύου (π.χ. 20KV) μοιράζεται κατά μήκος όλου του αλεξικέραυνου (από το στοιχείο κενού και το στοιχείο βαλβίδας).

Μετρώντας την τάση στο στοιχείο κενού, κατά μήκος δηλαδή ολόκληρης της σειράς των διακένων, έστω ότι την βρίσκουμε περίπου 16KV. Η τάση αυτή των 16KV είναι ισομοιρασμένη μεταξύ των διακένων, 4KV για κάθε διάκενο, εάν στο συγκεκριμένο αλεξικέραυνο έχουμε τέσσερα διάκενα.

Είναι σαν να έχουμε εφαρμόσει μια τάση της τιμής των 16KV σε μια συστοιχία τεσσάρων πυκνωτών με διηλεκτρικό τον αέρα.

Αν στο εξωτερικό της πορσελάνης επικαθίσει σκόνη ή κάποιο πουλί, μπορεί να επηρεάσει την ισοκατανομή της τάσης στα διάκενα, και σε κάποιο διάκενο να εμφανιστεί τάση 5KV, γεγονός που οδηγεί στη διάσπαση του συγκεκριμένου διακένου, που συνεπάγεται τη διάσπαση και όλων των υπολοίπων με αποτέλεσμα την ενεργή χρήση του αλεξικέραυνου.

Με την προσθήκη των αντιστάσεων καταμερισμού πετυχαίνουμε την ισοκατανομή της τάσεως στα διάκενα, με μειονέκτημα τη δημιουργία ενός μικρού συνεχούς ρεύματος ακολουθίας. Έτσι η τάση στη βιομηχανική συχνότητα και σε υπερτάσεις χειρισμών εξαρτάται κυρίως από τις αντιστάσεις καταμερισμού ενώ η τάση διάσπασης σε ταχέως μεταβαλλόμενες υπερτάσεις ατμοσφαιρικής προελεύσεως εξαρτάται από τη χωρητικότητα των διακένων.

Στο **στοιχείο της βαλβίδας**, οι μη γραμμικές αντιστάσεις (πλάκες από θυρίτη) καθορίζουν την ποσότητα του ρεύματος που θα περάσει προς τη Γη και περιορίζουν το ρεύμα των 50Hz με σβήσιμο των τάξεων των διακένων. Ο εσωτερικός χώρος είναι γεμάτος από άζωτο (υπό πίεση) που βοηθάει στην μη οξείδωση των ηλεκτροδίων και στην γρήγορη απόσβεση των τάξεων. Επίσης, τα περισσότερα αλεξικέραυνα έχουν μια ανακουφιστική διάταξη πίεσεως για την αποφυγή βίαιης καταστροφής τους όταν δεν σφραγίσει.

Επίσης, στις Μεσαίες και Χαμηλές τάσεις υπάρχουν και τα αλεξικέραυνα τύπου εκτονώσεως (expulsion type) όπου η σβέση του τόξου γίνεται εντός θαλάμου με εκτονούμενο αέριο.

Αποζευκτικά

Τα αλεξικέραυνα γραμμής είναι εφοδιασμένα και με αποζευκτικές διατάξεις ή αλλιώς αποζευκτικά που συνδέονται στο κάτω άκρο τους, προ του αγωγού γείωσης.

Σκοπός τους είναι η διακοπή ρεύματος 50Hz προς τη γη, που εμφανίζεται σε περίπτωση βλάβης. Έτσι, κατασκευαστικά εμπεριέχουν ένα φυσίγγιο το οποίο, στην περίπτωση που το αλεξικέραυνο αποτύχει να απομονώσει τη γραμμή μετά το κρουστικό ρεύμα, εκρήγνυται προκαλώντας τον αποχωρισμό του αλεξικέραυνου από τη γείωση.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.12, κατά τη διάρκεια συνήθους λειτουργίας του αλεξικέραυνου, το ρεύμα περνά προς τη γη διαμέσω του κυκλώματος Σ (σπινθηριστής). Όταν το αλεξικέραυνο αποτύχει να απομονώσει τη γραμμή μετά το κρουστικό ρεύμα, το ρεύμα ακολουθίας ρέοντας μέσω του κυκλώματος L, προκαλεί υπερθέρμανση της γραμμικής αντίστασης (10Ω περίπου), έκρηξη του φυσιγγίου και φυσικό αποχωρισμό του αλεξικέραυνου από τη γείωση.

Υπάρχουν επίσης και αποζευκτικά που η κατασκευή τους βασίζεται σ' ένα τηκτό που τήκεται από το ρεύμα 50Hz, σε σειρά με ένα πηνίο ή αντίσταση άνθρακα μη γραμμική, ώστε η αντίσταση του τηκτού στο κρουστικό ρεύμα να είναι μεγάλη.

Παράλληλα, στο σύνολο τηκτού-αντίστασης συνδέεται ένα διάκενο αέρος για την απαγωγή του κρουστικού ρεύματος προς τη γη.

Στη συνέχεια παρατίθενται 4 διαφορετικοί τύποι αλεξικέραυνων με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους καθώς και τον τρόπο στήριξής τους, που πάρθηκαν από Ε.Υ. Διανομής της Δ.Ε.Η. (Σχ. 4.13, 4.14, 4.15, 4.16).

Δ. Ε. Η.
Δ. Ε. Δ. - Τ. Τ. Ε.

ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΟ Μ.Τ. 15 KV
ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑ ΤΥΠΟΥ VDE-15L

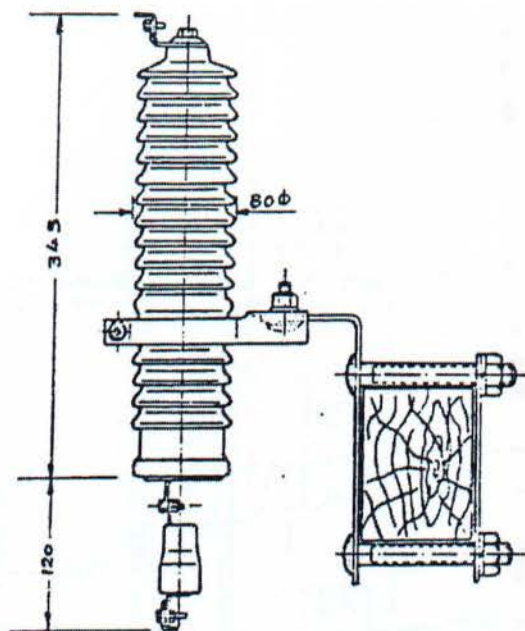
ΑΡΙΘ. ΦΥΛ. I-10
ΟΚΤ. 1978

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ
ΥΛΙΚΩΝ
ΔΙΑΝΟΜΗΣ

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ : GR-94A/0.61

Κ. Α. Υ.

441004651



Αποσκευαστικό ΣΠΙΤΟΝΟ
Κ.Α. 441004643

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Όνομαστική τάση	15	KV
Όνομαστική ένταση έκθορτίσεως 10X20 μς	5	KA
Ένταση έκκενώσεως 4X10 μς (μέγιστη)	65	KA
Κρουστική τάση διασπάσεως 1,5X40 μς	57	KV (μεγ.)
Κρουστική τάση μετωπικής διασπάσεως	66	KV (")
Τάση άποσβέσεως	18	KV (ένδ.τ.)
Μέγιστη τάση έκκενώσεως με ρεύμα έκκενώσεως 10X20 μς		
- για 5000 A	60	KV (μεγ.)
- για 10000 A	70	KV (")
- για 20000 A	80	KV (")
Τάση διασπάσεως 50 HZ	26,5	KV (έλαχ.)
Μέγιστη τάση παρεμβολής ραδιοφωνικής συχνότητας με τάση δοκιμής 9,41 KV	250	μV
Μόνωση		
Κρουστική τάση δοκιμής 1,5X40 μς	110	KV (μεγ.)
Τάση δοκιμής Β.Σ. 60 SEC, έν ξηρῶ	50	KV
Τάση δοκιμής Β.Σ. 10 SEC, έν υγρῶ	45	KV
Μήκος έρπουσμοῦ	30	CM
Υψόμετρο από έπιφάνεια θάλασσης	1000	μ
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-10°	έως +50° C
Βάρος άλεξικεραύνου με πλαστικό	3,5	KGS

Σχήμα 4.13

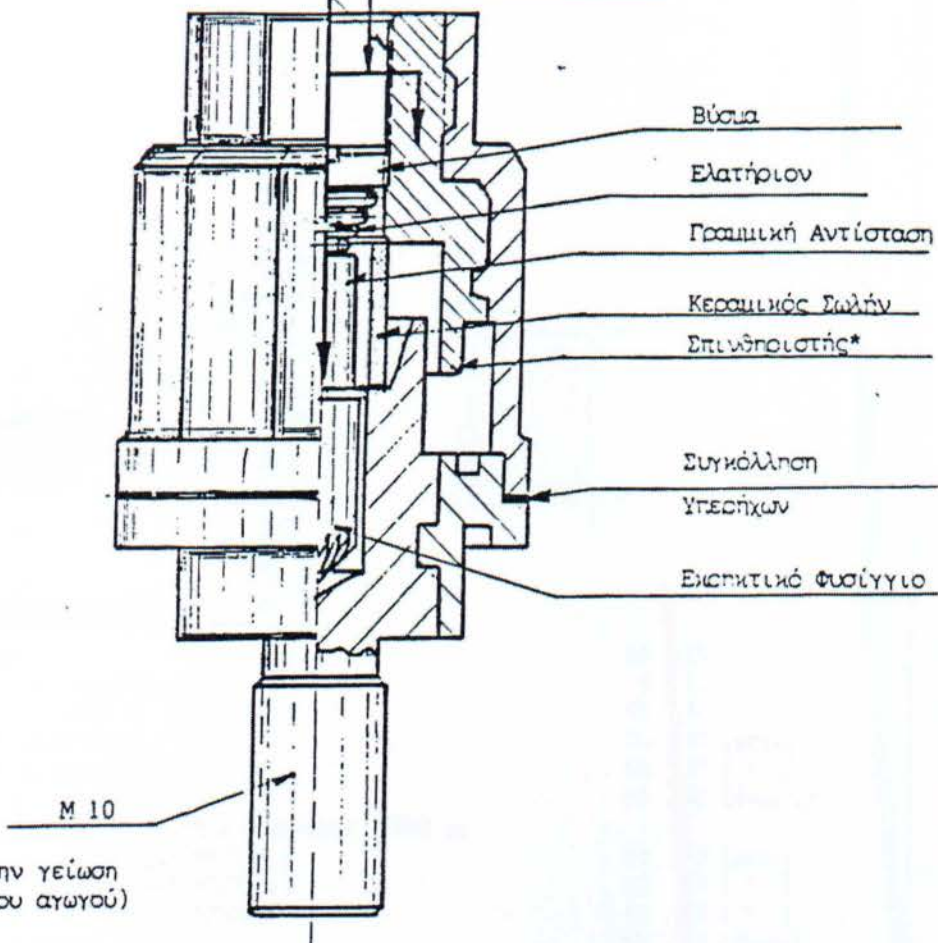
ΑΛ-10719

Επίπεδα Για Κοχλία Μ10Χ10 ΜΜ.

(Συνδέεται στον κάτω
αποδέκτη του αλεξικεραυνού)

ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΠΛΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

1. Το κύκλωμα ρεύματος ακολουθίας είναι ξεχωριστό.
2. Το κύκλωμα διέλευσης κρουστικού ρεύματος εξασφαλίζοντας αξιόπιστη μακρά λειτουργία.



(Συνδέεται στην γείωση
μέσω εύκαμπτου αγωγού)

ΑΝΑΘΕΡΜΗΣΙΣ



ΑΠΟΖΕΥΤΙΚΗ (ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ)
ΕΠΙΩΤΗΤΑΤ - ΓΡΑΜΜΕΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ
ΑΠΟΖΕΥΤΙΚΟΥ ΛΑΔ-1
ΑΛ-10482

2:1
9-7-87
17/9-72
ΑΛ-10719

Σχήμα 4.14

Α. Ε. Π. Α.
ΑΕΛ-ΥΤΕ

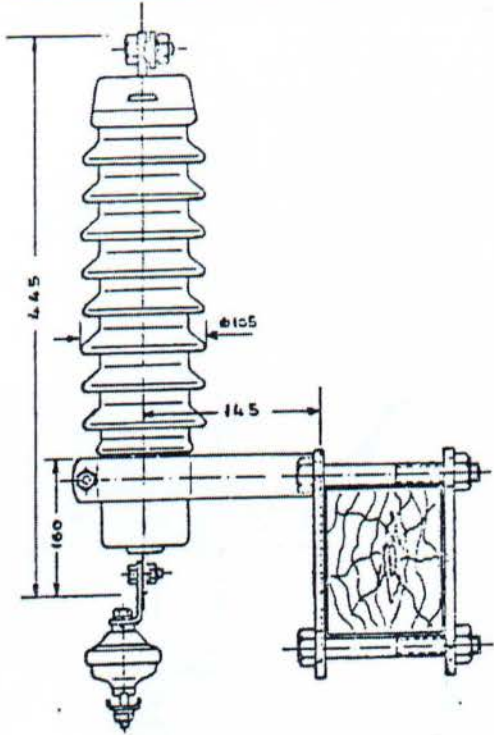
ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΤΩ Μ.Τ. 20 ...
ΑΣΕΑ ΤΥΠΟΥ ΧΑ 20

FIG. 514.1
O.K.T. 1978 I-11

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ
ΥΛΙΚΩΝ
ΔΙΑΝΟΜΗΣ

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ : 02-001/12.67

Κ.Α.Υ.
441002707



Αποσκευαστής ΑΣΕΑ
Κ.Α. 441002707 η
441000250

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Όνομαστική τάση	20	KV
Όνομαστική ένταση έκφυρσίσεως 3X20 μs	5	KA
Ένταση έκφυρσίσεως 4X10 μs (μέγιστη)	65	KA
Ερυστική τάση διασείσεως	76	KV (μεγ.)
Ερυστική τάση μεταπηλής διασείσεως	88	KV (")
Τάση έκφυρσίσεως	20	KV (ένδ.τ.)
Μέγιστη τάση έκφυρσίσεως με ρεύμα έκφυρσίσεως 8X20 μs		
- για 5000 A	66	KV (μεγ.)
- για 10000 A	76	KV (")
- για 20000 A	83	KV (")
Τάση διασείσεως 50 Ηz	32	KV (έλαχ.)
Μέγιστη τάση παρεμβολής ραδιοφ. συχν.	150	μV
με τάση δοκιμής 15,7 KV		
Κόπωση	150	KV
Κροστική τάση δοκιμής	90	KV (ένδ.τ.)
Τάση δοκιμής Β.Σ. 50 ΚHz, εν θερμ	60	KV (")
Τάση δοκιμής Β.Σ. 10 ΚHz, εν θερμ	43	CA
Πήλος έρ υαλοφ	2000	μ.
Υψόμετρο ή ό έπιπέδωνα έλλασους	-20°	ώς 50°
Θερμικότητα περιέλλαντος	6	KGS
Βήρος άλεξικερατόνου μετ με πλασίο περίπου		

Σχήμα 4.15

ΔΕ.Δ - Τ.Τ.Ε.

ΚΩΔΑ ΤΥΠΟΥ ΚΒΑ 15

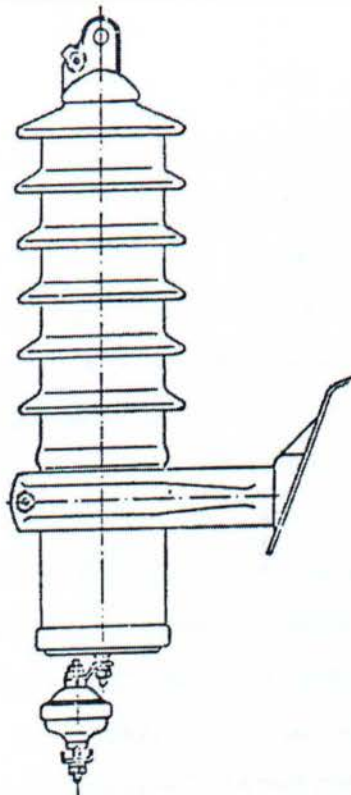
ΑΡΙΘ. ΦΥΛ. ΟΚΤ. 1978

I-4

ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ
ΥΛΙΚΩΝ
ΔΙΑΝΟΜΗΣ

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ : ΣΧΗΜΑ 4.16/10.00

Κ.Α.Υ. 4410001/14



Αποθετήριο ΑΣΑ
Κ.Α. 4410001/14 ή
4410002/10

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Όνομαστική τάση	15 KV
Όνομαστική ένταση έκκρουσης 10X20 μs	5 KA
Ένταση έκκρουσης 5X50 μs (μέγιστη)	100 EA (κρο.)
Έκκρουση τάση διασπίσης 1,5X40 μs	56 KV (μέγ.)
Κρουστική τάση μετωπικής διασπίσης	61 KV (")
Μέγιστη τάση έκκρουσης με ρεύμα έκκρουσης 10X20 μs	
- για 5000 A	55 KV (μέγ.)
- για 10000 A	60 KV (")
- για 20000 A	65 KV (")
Τάση διασπίσης 50 HZ	27,5 KV (ένδ.τ.)
Μέγιστη τάση παρεμφερούς ροδούρ. συνν. με τάση δοκιμής 0,41 KV	250 KV
Τάση λειτουργίας	15 KV
Μέγιστη τάση λειτουργίας	17,25 KV
Μόνωση	
Κρουστική τάση διασπίσης	110 KV (κρο.)
Τάση δοκιμής Ε.Σ. 60 μs, εν 1X40	50 KV
Τάση δοκιμής Ε.Σ. 10 μs, εν 1X40	45 KV

Σχήμα 4.16

4.5 Δυναμικά Συστήματα Προστασίας (Antim pact Lightning Refellers)

Την κατηγορία αυτή ονομάζουμε δυναμική, διότι ο κατασκευαστής τους, εν γνώσει του, εκμεταλλεύεται την πραγματική συμπεριφορά των αλεξικέραυνων αυτών, την οποία καθοδηγεί με δυναμικά στοιχεία L,C και R για να επιτύχει την αντικεραυνική προστασία.

4.5.1 Αλεξικέραυνα πρόκλησης κορώνας με σύστημα αποτροπής εξέλιξής της

Η ιδέα βασίζεται στο ότι μπορεί να προκληθεί σ' έναν εκτεταμένο χώρο το ήπιο και πρόδρομο φαινόμενο του κεραυνού (corona) αν χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη γεωμετρία της κεφαλής του αλεξικέραυνου. Η εκτεταμένη κορώνα σκοπό έχει να απορροφήσει την ενέργεια του κεραυνού σε παρατεταμένο χρόνο, χωρίς να προκαλεί το σύντομο και βίαιο φαινόμενο του κεραυνού. Η αρχή αυτή στηρίζεται στην αποφυγή των ακίδων των αλεξικέραυνων και στην αντικατάστασή τους με λείες και εκτεταμένες σφαιρικές ή ημισφαιρικές επιφάνειες, όπως οι κεφαλές των ηλεκτροστατικών γεννητριών Van der Graaf. Εφευρέτης και βελτιωτής ήταν ο Ιταλός Bernardi. Για την πλήρη εξασφάλιση ότι η κορώνα δεν θα εξελιχθεί σε κεραυνό λόγω μιας τυχαίας στένωσης του διαύλου της μέσα στον αέρα πάνω από το αλεξικέραυνο, χρησιμοποιούν εν σειρά με την κάθοδό του ένα κύκλωμα LCR (τσοκ ραδιοσυχνότητας μεγάλης ισχύος) που παρουσιάζει υψηλή σύνθετη αντίσταση σε μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων.

Ταυτοχρόνως, η κεφαλή σε συνδυασμό με την δική της χωρητικότητα δεν παρουσιάζει αντίσταση στο συνεχές και στις μικρού πλάτους ταλαντώσεις που σχετίζονται με το φαινόμενο της κορώνας. Τα αλεξικέραυνα αυτά με την διπλή προστασία για την αποφυγή του κυρίως κεραυνικού φαινομένου, είναι γνωστά σαν "Dissipative Systems" και είναι Αμερικανικής προέλευσης.

4.5.2 Αλεξικέραυνα πρόκλησης ελεγχόμενης κορώνας και απόθησης κεραυνού

Σ' αυτή την κατηγορία, η σφαιρική κεφαλή μονώνεται από την κάθοδο του αλεξικέραυνου και παρουσιάζει άπειρη αντίσταση (MΩ) στο συνεχές. Κάτω από την σφαιρική επιφάνεια τοποθετούνται κρύσταλλοι χαλαζία διαφόρων μεγεθών. Οι κρύσταλλοι παρουσιάζουν άπειρη αντίσταση στο συνεχές αλλά συντονίζονται στις συχνότητες της κορώνας. Έτσι δημιουργείται συντονισμός του γύρω χώρου με

αποτέλεσμα η ενεργός σφαιρική επιφάνεια του αλεξικέρανου να επεκτείνεται περισσότερο από τη γεωμετρική.

Επίσης έχουν υψηλή αντίσταση στην κεφαλή, με αποτέλεσμα να μην έχουμε μεγάλες ποσότητες ρεύματος και ιονισμού για την κατάργηση της αντίστασης του αέρα και την εκδήλωση του κυρίως κεραυνικού φαινομένου. Τα αλεξικέρανα συμπεριφέρονται σαν να «φράζουν» τον κεραυνό σε μια μεγάλη γεωμετρική περιοχή. Λόγω της υψηλής τους αντίστασης είναι ευνόητο ότι η εν σειρά κάθοδός τους, σ' αντίθεση με τα αλεξικέρανα ακίδων, δεν χρειάζεται να έχει ιδιαίτερα χαμηλή αντίσταση και προδιαγραφές ισχύος.

4.5.3 Αλεξικέρανα πρόκλησης ελεγχόμενης κορώνας και αποτροπής κεραυνού

Ισχύουν τα ίδια χαρακτηριστικά με την πρώτη περίπτωση, με ένα επιπλέον σύστημα πάνω στο αλεξικέρανο που συντονίζει στις πρόδρομες ταλαντώσεις του ατμοσφαιρικού πεδίου, καταναλώνοντας ισχύ από αυτό. Υπάρχει ένα σύστημα απορρόφησης ενέργειας του πεδίου και μετατροπής του σε θερμότητα (dissipation system). Συνοδεύεται με σύστημα ψύξεως και χαρακτηριστικά θερμαίνεται έντονα κατά τη διάρκεια του πεδίου κακοκαιρίας, χωρίς να πλήττεται από κεραυνό. Στο εσωτερικό του έχει χρωματισμό που αλλάζει ανάλογα με τις καταστάσεις της θερμοκρασίας του.

Το μειονέκτημά του είναι ότι το σύστημα απορρόφησης μπορεί να καταστραφεί, αν η κακοκαιρία ξεπεράσει τις προδιαγραφές του. Επίσης, μετά την σπάνια καταστροφή αυτού του τμήματός του, που είναι συνδεδεμένο παράλληλα με την κάθοδο του αλεξικέρανου, εξακολουθεί να παρέχει προστασία με τα υπόλοιπα τμήματά του μέχρι την αποκατάσταση του κατεστραμμένου τμήματος. Στα μεγάλα συστήματα έχουμε μέχρι έξι παράλληλα και ανεξάρτητα συστήματα απορρόφησης ενέργειας. Παρέχουν επίσης τη μέγιστη λειτουργικότητα εξαιτίας α) της θέρμανσης και της καταστροφής των τμημάτων απορρόφησης ενέργειάς των χωρίς πτώση κεραυνού αλλά και β) την απόδειξη άντλησης ενέργειας από τον ατμοσφαιρικό ηλεκτρισμό προς εκμετάλλευση αντί καταστροφής.

4.5.4 Αλεξικέρανα πρόκλησης ελεγχόμενης κορώνας και απόσβεσης στη γέννησή της

Η τελευταία κατηγορία στηρίζεται στην αρχή της διέγερσης του τμήματος της ατμόσφαιρας πάνω από την προστατευόμενη περιοχή, έτσι ώστε να γίνει αλλαγή των

ηλεκτρικών και μαγνητικών ιδιοτήτων των μορίων του αέρα. Αποτέλεσμα αυτής της επίδρασης και αλλαγής στα μόρια του αέρα είναι να μην επέρχεται συντονισμός από τις γειτονικές περιοχές με ηλεκτρομαγνητική έξαρση στην προστατευόμενη περιοχή και κατά συνέπεια να μην έχουμε τοπική έξαρση του πλάτους των μεταβαλλόμενων ατμοσφαιρικών πεδίων που δημιουργούν τους κεραυνούς (Ασπίδα Tesla ή Ιντερφερομετρικής Ομπρέλας Προστασίας).

Η διέγερση της ατμόσφαιρας γίνεται από το φάσμα εκπομπής.

4.6 Εκλογή της Ονομαστικής Τάσης του Αλεξικέρανου

Το αλεξικέρανο αρχίζει να εκκενώνει σε μια κρουστική τάση, την τάση διασπάσεως και κάνει διακοπή της εκκενώσεως σε μια χαμηλότερη τάση, την τάση αποσβέσεως, που αντιστοιχεί στην ονομαστική τάση του αλεξικέρανου.

Η τάση αυτή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την οποιαδήποτε τάση 50Hz που θα μπορούσε να εμφανιστεί στο δίκτυο κατά τη στιγμή λειτουργίας του αλεξικέρανου, γιατί, στην αντίθετη περίπτωση, θα έχουμε εκκένωση ρεύματος 50Hz με αποτέλεσμα την καταστροφή του αλεξικέρανου.

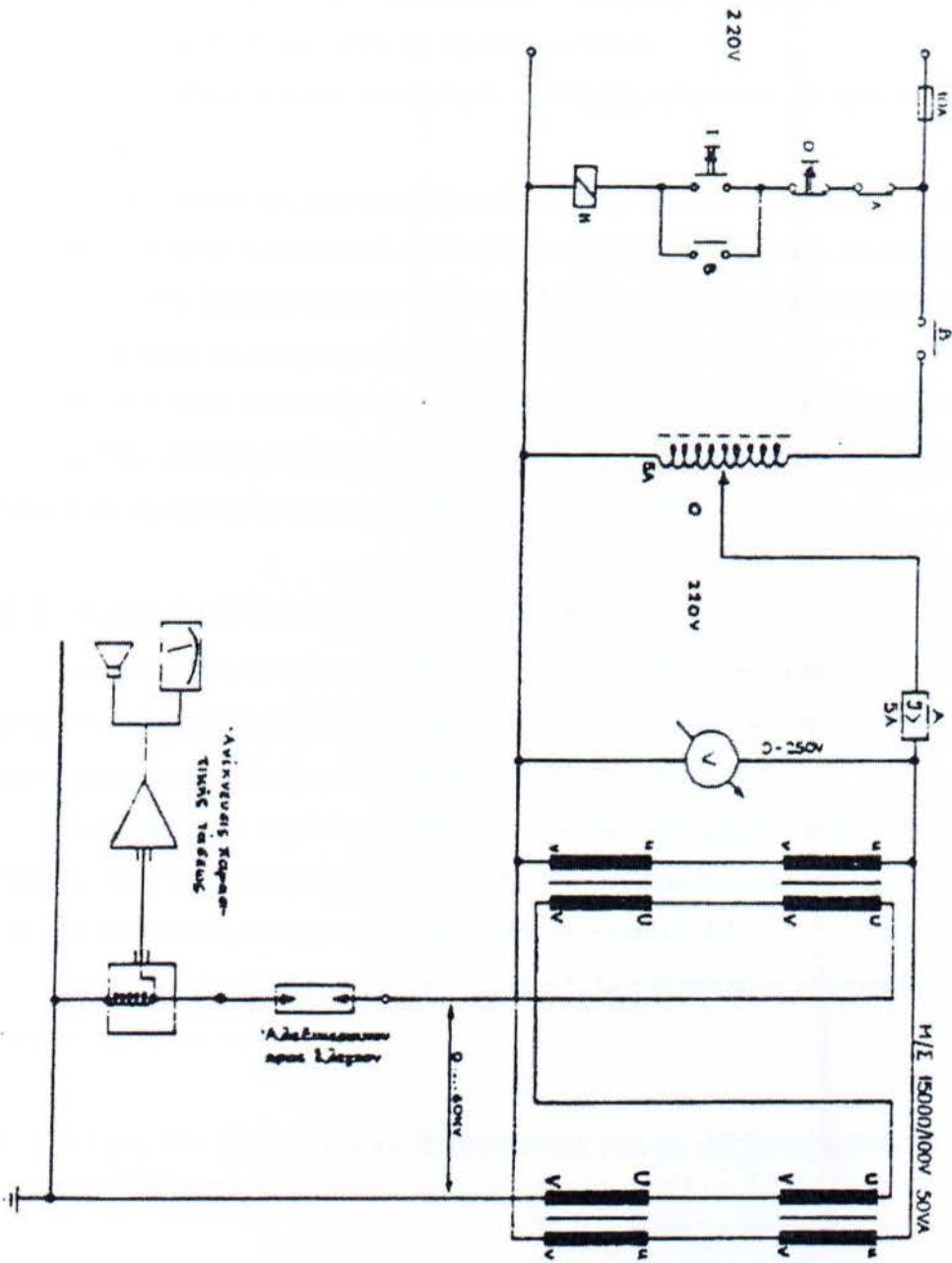
Για το λόγο αυτό η ονομαστική τάση του αλεξικέρανου εκλέγεται έτσι, ώστε να είναι λίγο μεγαλύτερη, συνήθως 5%, από τη μεγαλύτερη τάση 50Hz, που μπορεί να εμφανιστεί στο δίκτυο. Σαν μεγαλύτερη τάση 50Hz λαμβάνεται η τάση, που εμφανίζεται στην περίπτωση του μονοφασικού σφάλματος προς γη. Η τάση αυτή κατά μέγιστο είναι $\sqrt{3} U_{\phi}$ μεγ (U_{ϕ} = φασική τάση), δηλαδή U_{π} μεγ (U_{π} = πολική τάση).

Έτσι η ονομαστική αξία του αλεξικέρανου πρέπει να εκλέγεται ίση προς 1,05 το μέγιστο της πολικής τάσης του δικτύου. Σημειώνουμε ότι η ονομαστική τάση του αλεξικέρανου καθορίζει μαζί με το ονομαστικό ρεύμα εκκενώσεως την κλάση του αλεξικέρανου.

4.7 Έλεγχος Αλεξικέρανων

Στο Σχήμα 4.17 φαίνεται η διάταξη ελέγχου αλεξικέρανων.

Με τη διάταξη αυτή ελέγχεται αν το αλεξικέρανο έχει βλάβη. Αρχικά γίνεται οπτικός έλεγχος του αλεξικέρανου δηλ. έλεγχος πορσελάνης για τυχόν επικαθίσεις, ρωγμές και των παρεμβασμάτων στεγανότητας.



Σχήμα 4.17: Διάταξη ελέγχου αλεξικέραυτου.

Με τη δοκιμή υπερτάσεως Β.Σ. (50Hz) διαπιστώνονται:

- η καλή κατάσταση των διάκενων του αλεξικέραυτου
- η μη λειτουργία του στην τάση του δικτύου
- η ασφαλής λειτουργία του σε υπερτάσεις
- η καλή κατάσταση της μη γραμμικής αντίστασης θυρίτη, σε πρώτη εκτίμηση.

Για αλεξικέραυνα 15KV το κάτω όριο λειτουργίας θα λαμβάνεται 25KV και για αλεξικέραυνα 20KV και 22KV θα λαμβάνεται 30KV.

Αλεξικέραυνα που θα λειτουργούν αντίστοιχα κάτω από τα όρια αυτά θα απορρίπτονται.

Με την ανίχνευση παρασιτικής τάσεως στην περιοχή ραδιοφωνικού δέκτη 1000 KHZ ελέγχεται η εσωτερική κατάσταση του αλεξικέραυνου δηλ. αν υπάρχουν κατεστραμμένα ή βραχυκυκλωμένα διάκενα, είσοδος υγρασίας, κακή επαφή ή γενικά βλάβη των δίσκων της μη γραμμικής αντίστασης θυρίτη.

Με τη δοκιμή μονώσεως ανιχνεύεται τυχόν υγρασία μέσα στο αλεξικέραυνο.

Γίνεται μέτρηση του ρεύματος διαρροής που πρέπει να βρίσκεται κάτω των 100μΑ ή με μεγγωμέτρηση με τιμή μεγαλύτερη των 1000ΜΩ.

4.8 Συνεργασία Μονώσεων στα Δίκτυα Μ.Τ.

Όπως προαναφέραμε, για τον έλεγχο της συνεργασίας μονώσεων θα πρέπει να χαραχθούν οι καμπύλες τάσεως-χρόνου αντοχής της μονώσεως και διασπάσεως του μέσου προστασίας και να γίνει έλεγχος των περιθωρίων προστασίας.

Στο Σχήμα 4.4 έχουν χαραχθεί οι καμπύλες τάσεως-χρόνου αντοχής της μονώσεως για στάθμη μονώσεως (BIL) 125KV, τάσεως-χρόνου διασπάσεως ακίδων 10 εκ. και διασπάσεως εκκενώσεως-χρόνου αλεξικέραυνου 21KV.

Παρακάτω αναπτύσσεται ο τρόπος ελέγχου των περιθωρίων προστασίας για τα αλεξικέραυνα και τις ακίδες.

4.9 Έλεγχος των Περιθωρίων Προστασίας για τα Αλεξικέραυνα και τις Ακίδες

1. Αλεξικέραυνα

Συνήθως ελέγχονται δύο περιθώρια προστασίας:

$$\Pi_1 = \frac{1,15 \text{ BIL} - E_{\tau,\mu}}{E_{\tau,\mu}} \cdot 100\%$$

$$\Pi_2 = \frac{\text{BIL} - E_{\tau\omega}}{E_{\tau\omega}} \cdot 100\%$$

όπου

- $E_{\pi\mu} = \sigma \cdot E_{\mu}$
 $E_{\tau\infty} = \sigma \cdot (E_{\infty} + 1 \cdot L \cdot di/dt)$
 $E_{\tau\mu} =$ τελική τερματική τάση που οφείλεται στη μέγιστη τάση διασπάσεως του αλεξικέρανου.
 $E_{\mu} =$ μέγιστη τάση διασπάσεως του αλεξικέρανου (κατά IEC)
 $E_{\tau\infty} =$ τελική τερματική τάση που οφείλεται στο ρεύμα εκκενώσεως του αλεξικέρανου.
 $E_{\infty} =$ τάση εκκενώσεως του αλεξικέρανου
 $1 \cdot L \cdot di/dt =$ τάση στα άκρα του αγωγού σύνδεσης του αλεξικέρανου, που οφείλεται στη διέλευση του ρεύματος εκκενώσεως, με το μήκος του αγωγού σύνδεσης L , την αυτεπαγωγή του ανά μονάδα μήκους και di/dt το μέγεθος της αύξησης του ρεύματος εκκενώσεως στη μονάδα του χρόνου.

Το σ εξαρτάται από την απόσταση του αλεξικέρανου από τη συσκευή που προστατεύει και κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2. Το 1 αντιστοιχεί σε απόσταση πρακτικά μηδενική και το 2 σε πλήρη ανάκλαση σε τέρμα.

Διαφορετικά μπορούμε να βρούμε τη μέγιστη τάση σαν αποτέλεσμα της πρώτης ανάκλασης στο τέρμα μιας γραμμής, με ή χωρίς M/Σ με προηγούμενο αλεξικέρανο από τον τύπο:

$$E = E_{\infty} + 2 \cdot de/dt \cdot (1 \cdot \sqrt{\kappa} / 300) \quad \text{με μέγιστο το } 2E_{\infty}.$$

- όπου: $E_{\infty} =$ η τάση εκκενώσεως του αλεξικέρανου (KV)
 $de/dt =$ η μεταβολή της τάσεως (KV/ μ sec)
 $l =$ η απόσταση του αλεξικέρανου από το M/Σ (m)
 $\kappa =$ η διηλεκτρική σταθερά (1 για αγωγό, 3-4 για καλώδια)

Παράδειγμα: Για δίκτυο 20KV η στάθμη μονώσεως είναι 125 KV. Τα χρησιμοποιούμενα αλεξικέρανα είναι 21KV. Τα αλεξικέρανα αυτά κατά IEC έχουν $E_{\mu} = 88KV$, $E_{\infty} = 76KV$. Το $L \cdot di/dt$ είναι περίπου 5KV/m και $l=3$ μέτρα. Παίρνοντας πρακτικά $\sigma=1$, βρίσκουμε:

$$\Pi_1 = \frac{1,15 \text{ BIL} - E_{\tau\mu}}{E_{\tau\mu}} \cdot 100\% = \frac{1,15 \cdot 125 - 88}{88} \cdot 100\% = 63,5\%$$

$$\Pi_2 = \frac{\text{BIL} - E_{\tau\infty}}{E_{\tau\infty}} \cdot 100\% = \frac{125 - (76 + 3 \cdot 5)}{75 + 3 \cdot 5} \cdot 100\% = 37,3\%$$

2. Ακίδες

Για τις ακίδες ελέγχουμε επίσης δύο περιθώρια προστασίας, ένα για χρόνο 1,2μsec και ένα για διάσπαση στην ουρά. Εδώ θεωρούμε μηδενική την παραμένουσα τάση καθώς και το μήκος του αγωγού σύνδεσης.

$$\Pi_1 = \frac{1,15BIL - E_{\tau\mu 1}}{E_{\tau\mu 1}} \cdot 100\% \quad E_{\tau\mu 1} = \sigma \cdot E_{\mu 1}$$

$$\Pi_2 = \frac{BIL - E_{\tau\mu 2}}{E_{\tau\mu 2}} \cdot 100\% \quad E_{\tau\mu 2} = \sigma \cdot E_{\mu 2}$$

Παράδειγμα: Για ακίδες 10 εκ. (4in) βρίσκουμε από τα διαγράμματα κατά προσέγγιση: $E_{\mu 1} = 120KV$, $E_{\mu 2} = 95KV$.

Επομένως για σ πρακτικά 1, βρίσκουμε:

$$\Pi_1 = \frac{1,15 \cdot 125 - 120}{120} \cdot 100\% = 20\%$$

$$\Pi_2 = \frac{125 - 95}{95} \cdot 100\% = 31,6\%$$

4.10 Γειώσεις Μέσων Προστασίας

Για να είναι αποτελεσματικότερη η λειτουργία των μέσων προστασίας πρέπει η γείωσή τους να είναι μικρής αντίστασης.

Η σύνδεση των μέσων προστασίας γίνεται όσο το δυνατό πλησιέστερα προς τη συσκευή που προστατεύουν για να εξασφαλίζεται καλύτερη προστασία (τιμή συντελεστή σ).

Η γείωση των αλεξικέραυνων και των μεταλλικών της συσκευής που προστατεύουν είναι κοινή [7]. Η τάση στην οποία θα βρεθεί η συσκευή δεν επηρεάζεται άμεσα από την τιμή της αντιστάσεως γειώσεως, αλλά μεγάλη αντίσταση γειώσεως έχει συνέπεια:

1. αύξηση του δυναμικού των μεταλλικών ως προς τη γη και ως προς τα στοιχεία Χ.Τ. (ουδέτερος, ασφαλειοκιβώτιο) που σύμφωνα με την [7] έχουν ανεξάρτητη γείωση όταν η τιμή αντιστάσεως γειώσεως του ουδετέρου είναι πάνω από 1 ή 2Ω.

2. αύξηση της τάσεως των κυμάτων που οδεύουν στη συνέχεια της γραμμής και προς τα πίσω (ανάκλαση). Η αντίσταση γειώσεως αλεξικέραυνων-μεταλλικών όταν δεν είναι κοινή με τη γείωση του ουδετέρου (σε Y/Σ) δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40Ω [7] για λειτουργία των προτεταγμένων μέσων προστασίας σε περίπτωση βραχυκυκλώσεως των αλεξικέραυνων.

Το ίδιο ισχύει και για τις ακίδες που τυχόν χρησιμοποιούνται για προστασία συσκευών.

Για τον ίδιο λόγο, η αντίσταση γειώσεως αλεξικέραυνων ή ακίδων που τοποθετούνται στις γραμμές για μείωση της κορυφής των οδευόντων κυμάτων πρέπει να είναι κάτω των 40Ω .

Για τον αγωγό γης, η αντίσταση γειώσεως πρέπει να είναι σύμφωνη με τις απαιτήσεις που έχουν προαναφερθεί αλλά πρέπει να ελέγχεται η λειτουργία των προτεταγμένων μέσων προστασίας σε περίπτωση επαφής αγωγού γης με φάση δικτύου (πτώση κλπ.).

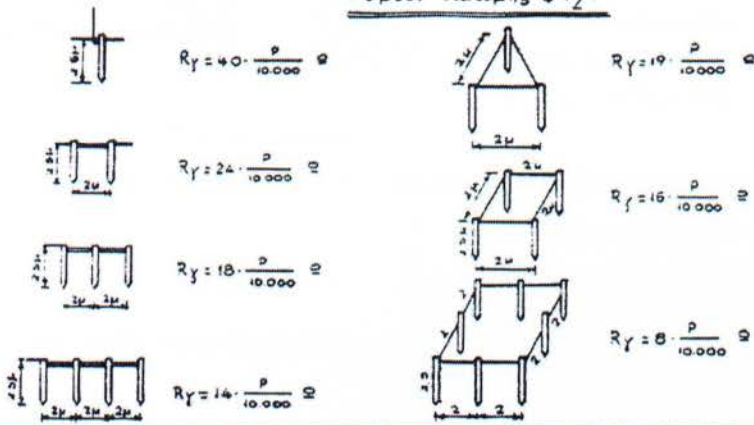
Στα παρακάτω Σχήματα 4.18 και 4.19, φαίνονται τρόποι επίτευξης αντίστασης γειώσεως διαφόρων τιμών με τυποποιημένες ράβδους 2,5 μέτρων ή ταινίες. Περιλαμβάνονται περιπτώσεις που αφορούν σε τρόπους επίτευξης χαμηλής αντίστασης γειώσεως σε εδάφη με μεγάλη ειδική αντίσταση εδάφους (ρ) με αντικατάσταση του άνω στρώματος βάθους 0,6 μέτρων και πλάτους 0,5 μέτρων κατά μήκος της ταινίας γειώσεως, με κανονικό χώμα ($\rho=10.000\Omega$).

Οι ράβδοι και οι ταινίες πρέπει να είναι ανοξείδωτες.

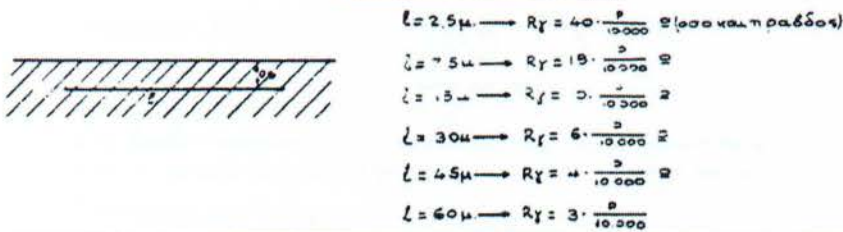
4.11 Σχέδια - Σχήματα

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΓΕΩΣΕΩΣ

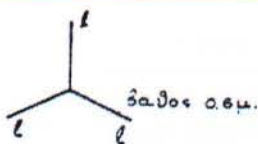
Ράβδοι διατομής $\Phi 1/2"$



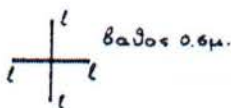
Ταινίες διατομής $\Phi 1/2"$



$L = 7.5\mu \rightarrow R_f = 6 \cdot \frac{p}{30.000} \text{ } \Omega$
 $L = 15\mu \rightarrow R_f = 5 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$
 $L = 30\mu \rightarrow R_f = 3.5 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$
 $L = 45\mu \rightarrow R_f = 2.5 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$
 $L = 60\mu \rightarrow R_f = 2 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$



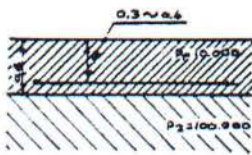
$L = 7.5\mu \rightarrow R_f = 5.5 \cdot \frac{p}{30.000} \text{ } \Omega$
 $L = 15\mu \rightarrow R_f = 4.5 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$
 $L = 30\mu \rightarrow R_f = 2.5 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$
 $L = 45\mu \rightarrow R_f = 2 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$
 $L = 60\mu \rightarrow R_f = 1.5 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$



$L = 7.5\mu \rightarrow R_f = 5 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$
 $L = 15\mu \rightarrow R_f = 3.5 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$
 $L = 30\mu \rightarrow R_f = 2 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$
 $L = 45\mu \rightarrow R_f = 1.5 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$
 $L = 60\mu \rightarrow R_f = 1 \cdot \frac{p}{10.000} \text{ } \Omega$

Σχήμα 4.18

ΠΙΝΑΚΑΣ II (2)
ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΓΕΙΩΣΕΩΣ



- $l = 7.5 \mu \rightarrow R_{\gamma} = 67 \Omega$
- $l = 15 \mu \rightarrow R_{\gamma} = 46 \Omega$
- $l = 30 \mu \rightarrow R_{\gamma} = 30 \Omega$
- $l = 60 \mu \rightarrow R_{\gamma} = 19 \Omega$

Ταινία σε στρώμα κωμάτος



- $l = 7.5 \mu \rightarrow R_{\gamma} = 28 \Omega$
- $l = 15 \mu \rightarrow R_{\gamma} = 19 \Omega$

Ως άνω άλλα ταινία σε σχήμα σταυρού.

Τετράγωνη σκάρα $R_{\gamma} = \frac{\rho}{100\pi} \left(l \eta \frac{2l}{\sqrt{d} \eta} + 1.4 \frac{l}{\sqrt{A}} - 5.6 \right)$

l = ολικό μήκος αγωγών σκάρας σε μ .

d = διάμετρος " " " "

h = βάθος σκάρας από την επιφάνεια του εδάφους σε μ .

A = Η επιφάνεια που καλύπτεται από τη σκάρα σε μ^2 .

Τυποποιημένη σκάρα $R_{\gamma} = 40 \frac{\rho}{10,000}$

Δακτύλιος διαμέτρου 2 μ . διατομή $\Phi' / 2$ "

Στην επιφάνεια $R_{\gamma} = 38 \frac{\rho}{10,000}$

Σε βάθος 0.5 μ . $R_{\gamma} = 24 \frac{\rho}{10,000}$

Στήλος Φ .Σ. με πάκτωση από μπάζα εκσκαφής ως ηλεκτρόδιο γειώσεως.

$R_{\gamma} = 26 \frac{\rho}{10,000}$

Συνδυασμός στήλου Φ .Σ. με ράβδο γειώσεως $R_{\gamma} = 22 \cdot \frac{\rho}{10,000}$

Τύπος εδάφους	Ειδική αντίσταση εδάφους (ρ) Ω .cm
Χώμα κήπου	500 - 5.000
Άργιλλος	800 - 5.000
Μίγμα άμμου, άργιλλου, καθικίων	4.000 - 25.000
Σχιστόλιθος, αμμόπετρας	1.000 - 50.000
Βράχοι κρυστάλλινοι	20.000 - 1.000.000

Κανονικό έδαφος: λαμβάνεται $\rho = 10.000 \Omega$.cm

Σχήμα 4.19

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES

- THE FLIGHT OF THUNDERBOLTS
Sir Basil Schonland OXFORD - 1984
- LIGHTING
Martin A. Uman DOVER - 1994
- ΚΕΡΑΥΝΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ & ΑΡΧΕΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ
ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
Παναγ. Θ. Παππά ΧΡΥΣΗ ΣΕΙΡΑ - 1987
- ΚΕΡΑΥΝΟΙ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ
Χρήστ. Μενεμενλής ΑΘΗΝΑ - 1991
- LIGHTING: Lighting Conductors & Protection
R.H. Golde ACADEMIC PRESS - 1997
- ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΕΩΣ ΑΠΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ
ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ
ΟΔΗΓΙΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΔΕΗ Νο 23 ΑΘΗΝΑ - 1988
- ATMOSPHERIC ELECTROSTATICS
Lars Wahlin RESEARCH STUDIES PRESS - 1986
- ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ: Ισοδυναμική Προστασία & Θεμελιακή Γείωση
Δημήτρ. Κόκκινος Ι,ΙΙ ΕΛΕΜΚΟ - 1992
- ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΩΝ
Β.Η. Σελλούντος Τ.Ε.Ε ΑΘΗΝΑ - 1993
- ΓΕΙΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ
Μιλτιάδ. Κάππου ΑΘΗΝΑ - 1990