

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ METAL OXIDE
ΑΛΕΞΙΚΕΥΡΑΥΝΩΝ**

ΣΠΑΝΟΣ ΗΛΙΑΣ

ΠΥΡΓΙΩΤΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

ΠΑΤΡΑ - 2014

©2014 – All rights reserved

©2014, Copyright υπό Σπανός Ηλίας

Πρόλογος

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με την μελέτη της εφαρμογής των καθοδικών αλεξικέραυνων σε εγκαταστάσεις υψηλής τάσης. Παρουσιάζονται οι αρχές λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά των Metal-Oxide αλεξικέραυνων στα συστήματα μεταφοράς ενέργειας υψηλής τάσης.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι η μελέτη της εφαρμογής των καθοδικών αλεξικέραυτων σε εγκαταστάσεις υψηλής τάσης. Αναλυτικά:

Στο **πρώτο κεφάλαιο** περιγράφεται το φαινόμενο του κεραυνού και παρουσιάζονται οι κίνδυνοι, οι οποίοι πηγάζουν από αυτόν.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται μια εκτενής παρουσίαση του αλεξικέραυτου ως μέσο προστασίας από υπερτάσεις.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** συνεχίζονται οι παρουσιάσεις των απαραίτητων θεωρητικών γνώσεων για τις αρχές λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά των Metal-Oxide αλεξικέραυτων στα συστήματα μεταφοράς ενέργειας υψηλής τάσης.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** έχουμε παραθέσει τον τρόπο σχεδιασμού ενός MO αλεξικέραυτου.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται ο τρόπος διαμόρφωσης MO αλεξικέραυτων.

Περιεχόμενα	
Πρόλογος	2
Περίληψη	3
Κεφάλαιο 1: Γενικά περί υπερτάσεων	7
1.1 Εξωτερικές υπερτάσεις - Στοιχεία και χαρακτηριστικά κεραυνών.....	7
1.1.1 Γενικά περί κεραυνού	7
1.1.2 Πως δημιουργείται ο κεραυνός.....	9
1.2 Κεραυνικές εκκενώσεις	10
1.2.1 Τύποι κεραυνικών εκκενώσεων	10
1.2.2 Φάσεις κεραυνικών εκκενώσεων	11
1.2.3 Πολικότητα κεραυνικών εκκενώσεων	13
1.2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τον κεραυνό	16
Κεφάλαιο 2: Αντικεραυνική προστασία	17
2.1 Εισαγωγή	17
2.1.1 Είδη αντικεραυνικής προστασίας	18
2.1.2 Αναγκαιότητα κατασκευής ενός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας	20
2.2 Αλεξικέρανα μέσης και υψηλής τάσης.....	21
2.2.1 Είδη αλεξικέρανων.....	22
Κεφάλαιο 3: Αρχές λειτουργίας και χαρακτηριστικά των Metal – Oxide αλεξικέρανων σε σύστημα μεταφοράς ενέργειας υψηλής τάσης.....	31
3.1 UI-χαρακτηριστική	32
3.2 Ρεύμα διαρροής.....	33
3.3 Συνεχής τάση λειτουργίας.....	34
3.4 Ονομαστική τάση λειτουργίας.....	34
3.5 Επίπεδο προστασίας.....	34
3.6 Απορρόφηση ενέργειας.....	39
Κεφάλαιο 4: Σχεδιασμός Metal Oxide Αλεξικέρανων	42
4.1 MO (Metal Oxide) αντιστάσεις	42
4.2 Τοποθέτηση MO αντιστάσεων	43
4.3 Περίβλημα MO αλεξικέρανων.....	44
4.4 Σύστημα σφράγισης.....	45
4.5 Διάφραγμα εκτόνωσης.....	46
4.6 Υψηλής τάσης αλεξικέρανα.....	47
4.7 Ακροδέκτες υψηλής τάσης.....	50
4.8 Μοντέλα MO αλεξικέρανων	50

4.8.1 Αλεξικέραυνα με περίβλημα πορσελάνης	50
4.8.2 Αλεξικέραυνο μεσαίας τάσης με πολυμερές περίβλημα.....	52
4.8.3 Υψηλής τάσης αλεξικέραυνο με πολυμερές περίβλημα	53
Κεφάλαιο 5: Διαμόρφωση Metal Oxide Αλεξικέραυνων	56
5.1 Εισαγωγή	56
5.2 Επιλέγοντας τη Συνεχή Τάση Λειτουργίας και την Ονομαστική Τάση.....	58
5.3 Επιλέγοντας το Ονομαστικό ρεύμα Εκφόρτισης	60
5.4 Επιλογή της κλάσης γραμμής εκκένωσης.....	61
5.5 Επιλογή και Αξιολόγηση των προστατευτικών επίπεδων	64
5.6 Η επιλογή του περιβλήματος	66
5.7 Συνθήκες Λειτουργίας	70
Βιβλιογραφία	72

Εισαγωγή

Στη παρούσα πτυχιακή ασχολείται με το φαινόμενο του κεραυνού και παρουσιάζονται οι κίνδυνοι, οι οποίοι πηγάζουν από αυτόν. Γίνεται εκτενής παρουσίαση του αλεξικέραυνου ως μέσο προστασίας από υπερτάσεις και παρουσιάζονται οι απαραίτητες θεωρητικές γνώσεις για τις αρχές λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά των Metal-Oxide αλεξικέραυνων στα συστήματα μεταφοράς ενέργειας υψηλής τάσης. Τέλος παρατίθεται ο τρόπος σχεδιασμού ενός ΜΟ.

Κεφάλαιο 1: Γενικά περί υπερτάσεων

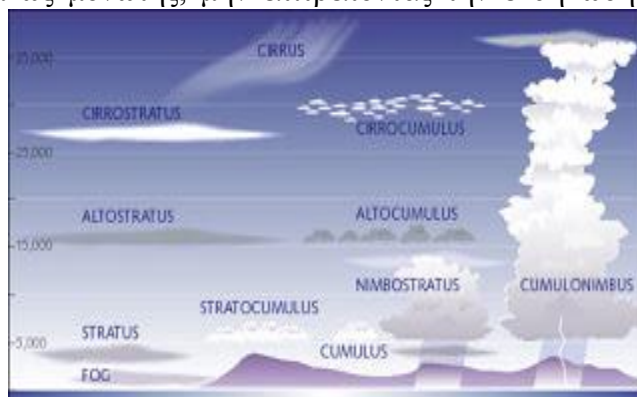
1.1 Εξωτερικές υπερτάσεις - Στοιχεία και χαρακτηριστικά κεραυνών

1.1.1 Γενικά περί κεραυνού

Ανέκαθεν ο κεραυνός ήταν σύμβολο μιας πανίσχυρης δύναμης. Όλοι οι αρχαίοι λαοί τον είχαν θεοποιήσει. Σύμφωνα με την ελληνική μυθολογία, ήταν το κυρίαρχο όπλο του Δία και χάρη σ' αυτό έγινε ο αδιαμφισβήτητος αρχηγός των υπόλοιπων θεών του Ολύμπου. Για τους Βίκινγκ του παγωμένου Βορρά ο κεραυνός ήταν δημιούργημα του θεού Θωρ, ο οποίος χτυπούσε το σφυρί του πάνω σε σιδερένιο αμόνι. Οι ινδικές φυλές στη Βόρεια Αμερική θεωρούσαν ότι η αστραπή οφειλόταν στα φτερά ενός μυστικού πουλιού που αναβόσβηναν και όταν πέταγε χτυπούσαν τα φτερά κάνοντας τον ήχο της βροντής.

Μόλις το 1752 ο κεραυνός αποκαθελώθηκε από το θεικό του βάθρο και πήρε τη θέση του ανάμεσα στα άλλα φυσικά φαινόμενα. Κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας στην Πενσυλβανία των ΗΠΑ, ο Βενιαμίν Φραγκλίνος πέταξε έναν αετό από μεταξωτό ύφασμα. Στο σπάγκο είχε δέσει ένα μεταλλικό κλειδί, το οποίο προσέλκυσε το αντίθετο προς το δικό του φορτίο των νεφών. Έτσι δημιουργήθηκε ο πρώτος τεχνητός κεραυνός στην ιστορία. Με το πείραμα αυτό ο Φραγκλίνος απέδειξε ότι πίσω από τα καταιγιδοφόρα νέφη δεν κρύβεται η μήνις των θεών αλλά κάτι πολύ πιο απλό: ένα ηλεκτρικό φορτίο αντίθετο από εκείνο της Γης.

Η ανακάλυψη του Φραγκλίνου άνοιξε το δρόμο για τη μελέτη των κεραυνών και οδήγησε στην ολοκληρωμένη Θεωρία του Ατμοσφαιρικού Ηλεκτρισμού που διατύπωσε το 1920 ο Αμερικανός φυσικός Τσαρλς Ουίλσον. Σύμφωνα μ' αυτή, η Γη και η ηλεκτόσφαιρα (το κάτω τμήμα της ιονόσφαιρας, σε ύψος 50-60 χιλιομέτρων) είναι οι δύο αντίθετοι πόλοι ενός σφαιρικού πυκνωτή τους οποίους χωρίζει η ατμόσφαιρα. Το σύστημα ισορροπεί καθώς η διηλεκτρική αντοχή του αέρα λειτουργεί ως μονωτής, μην επιτρέποντας την εκδήλωση κεραυνών με αίθριο καιρό. Αν δημιουργηθούν καταιγιδοφόρα νέφη σωρειτομελανίων (cumulonimbus) ή σπανιότερα μελανοστρωμάτων (nimbostratus), η κατάσταση φορτίζεται επικίνδυνα. Οι σωρειτομελανίες είναι κατ' ουσία τεράστιες μηχανές παραγωγής ηλεκτρικού φορτίου στο εσωτερικό των οποίων επικρατούν βίαια ρεύματα που μεταφέρουν φορτισμένες σταγόνες νερού και παγοκρυστάλλους. Μέσα σε ελάχιστο χρόνο η διαφορά δυναμικού μεταξύ της βάσης του νέφους και του εδάφους ή μεταξύ νεφών φτάνει σε εκατομμύρια Volts και ξεπερνά τη διηλεκτρική αντοχή της ατμόσφαιρας. Ακριβώς εκείνη τη στιγμή ξεσπά ο κεραυνός, όπως συμβαίνει με όλες τις ηλεκτρικές εκκενώσεις μεταξύ αντίθετων ηλεκτρικών πεδίων. Η κεραυνική εκκένωση μπορεί να οριστεί ως μια μορφή ηλεκτρικής διάσπασης, χαρακτηριζόμενη από υψηλό ρεύμα, που συμβαίνει σε πολύ μεγάλα διάκενα.



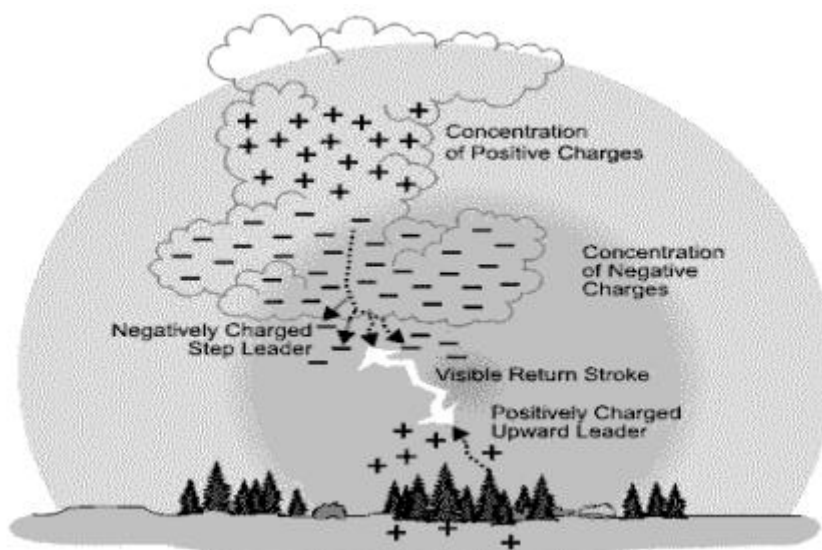
Εικόνα 1: Στρώματα της ατμόσφαιρας

Όπως αναφέραμε παραπάνω, ο κεραυνός εμφανίζεται όταν κάποια περιοχή της ατμόσφαιρας επιτυγχάνει μια ηλεκτρική φόρτιση αρκετά μεγάλη, έτσι ώστε τα ηλεκτρικά πεδία που συνδέονται με τη φόρτιση να προκαλούν την ηλεκτρική διάσπαση του αέρα. Ο κεραυνός αποτελείται από ένα οπτικό φαινόμενο, την αστραπή, που οφείλεται στην πυράκτωση των μορίων του αέρα, και από το καθαρά ηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή τη ροή των ηλεκτρικών φορτίων, που συνοδεύεται από τη βροντή, εξαιτίας της απότομης εκτόνωσης των αερίων της περιοχής.



Εικόνα 2: Το φαινόμενο του κεραυνού

Συνοψίζοντας τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι ο κεραυνός είναι ένα ατμοσφαιρικό ηλεκτρικό φαινόμενο και πιο συγκεκριμένα ένας μεγάλου μήκους ηλεκτρικού σπινθήρα. Ο κεραυνός είναι μια ηλεκτρική εκκένωση ατμοσφαιρικής προέλευσης απλή ή πολλαπλή μεταξύ νέφους και γης. Κεραυνοί είναι δυνατόν να λάβουν χώρα μεταξύ των σύννεφων αλλά και εντός των σύννεφων, ωστόσο αυτοί δεν αποτελούν άμεσο κίνδυνο για μια περιοχή και κατ' επέκταση δε λαμβάνονται υπόψη για την αντικεραυνική προστασία. Οι κεραυνοί προκαλούνται από την ύπαρξη ηλεκτρικών φορτίων που εμφανίζονται μέσα στα σύννεφα κατά τη διάρκεια καταιγίδων.



Εικόνα 3: Δημιουργία κεραυνών στην ατμόσφαιρα

1.1.2 Πως δημιουργείται ο κεραυνός

Όταν υπάρχουν οι συνθήκες που δημιουργούν καταιγίδα, όπως υγρασία στην ατμόσφαιρα πολλή θερμότητα κλπ ο αέρας που στροβιλίζεται παρασύρει ιόντα από τα σύννεφα και από την επιφάνεια της γης ή της θάλασσας και έτσι δημιουργείται συσσώρευση ηλεκτρικών φορτίων στα σύννεφα και φυσικά διαφορά δυναμικού μεταξύ των σύννεφων (συνήθως αρνητικά φορτισμένων) και της ξηράς ή της θάλασσας (θετικά φορτισμένης).

Στην ουσία έχουμε φόρτιση με επαγωγή. Ο αέρας που υπάρχει μεταξύ του σύννεφου και της θάλασσας είναι όπως γνωρίζουμε κακός αγωγός του ηλεκτρισμού και έτσι τα φορτία δεν μπορούν να κυκλοφορήσουν ώστε να εξουδετερωθούν, κατ' αυτόν τον τρόπο η διαφορά δυναμικού συνεχώς αυξάνεται και παίρνει τιμές πάρα πολύ υψηλές, από ογδόντα εκατομμύρια έως και ένα δισεκατομμύριο volt. Όταν λοιπόν η διαφορά δυναμικού λάβει τόσο υψηλές τιμές γίνεται διάτρηση του αέρα και δημιουργείται ηλεκτρικός σπινθήρας.

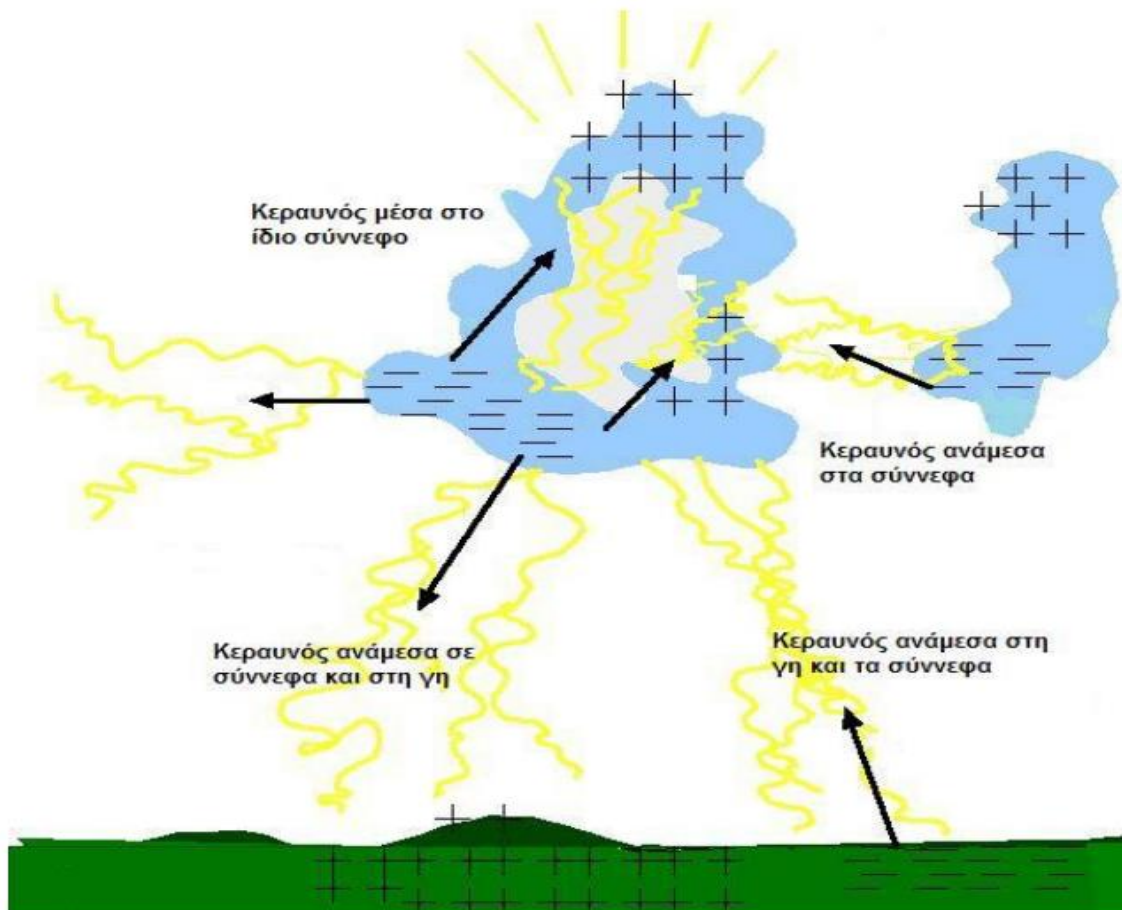
Κεραυνοί μπορεί να ξεσπάσουν ανάμεσα σε διαφορετικά νέφη, μέσα στο ίδιο νέφος, ανάμεσα σε ένα νέφος και στον αέρα ή από ένα νέφος προς το έδαφος. Η διαφορά δυναμικού κατά την έκρηξη ενός κεραυνού είναι πολλά εκατομμύρια volt και η ένταση του ρεύματος δεκάδες χιλιάδες ampere.

Η διάρκεια που κρατά ο κεραυνός είναι μικρότερη από ένα δευτερόλεπτο, ενώ η θερμοκρασία που αναπτύσσεται είναι 10.000 βαθμοί Κελσίου. Δημιουργεί έντονο ιονισμό των αερίων του αέρα, τα οποία εκπέμπουν φως κατά τη διάρκεια της εκκένωσης (το φαινόμενο της αστραπής). Η υπερβολική θέρμανση του αέρα και η εκτόνωση του δημιουργεί τον δυνατό κρότο που ονομάζουμε βροντή.

1.2 Κεραυνικές εκκενώσεις

1.2.1 Τύποι κεραυνικών εκκενώσεων

Οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 4: Είδη κεραυνικών εκκενώσεων

- **Κεραυνοί μεταξύ σύννεφου και γης ή και αντίστροφα**

Οι κεραυνοί αυτοί παρατηρούνται όταν το ηλεκτρικό πεδίο πάρει την κρίσιμη τιμή πλησίον του νέφους, οπότε έχουμε εκκένωση κατερχόμενη, ή πλησίον της γης, που έχουμε εκκένωση ανερχόμενη. Σαν πολικότητα της εκκένωσης μεταξύ σύννεφου και γης λαμβάνεται εκείνη του



Εικόνα 5: Κεραυνοί μεταξύ σύννεφου και γης ή αντίστροφα

φορτίου του κάτω μέρους του νέφους, που την προκάλεσε. Οι κεραυνοί μεταξύ νέφους και γης είναι η πιο καταστροφική και παράλληλα επικίνδυνη μορφή κεραυνού. Οι περισσότεροι κεραυνοί εκδηλώνονται κοντά στην αρνητική περιοχή του νέφους. Όμως, μια σημαντική μειονότητα από κεραυνούς μεταφέρει θετικό φορτίο στην γη. Αυτοί οι θετικοί κεραυνοί συχνά συμβαίνουν κατά την διάρκεια της καταιγίδας. Οι θετικοί κεραυνοί είναι επίσης περισσότερο γνωστοί σαν ποσοστό προσκρούσεων στο έδαφος κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών.

- **Κεραυνοί μέσα στα νέφη**

Οι κεραυνοί μέσα στα νέφη είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος εκφορτίσεως. Στην περίπτωση αυτή, η εκκένωση λαμβάνει χώρα ανάμεσα στο ανώτερο θετικό και κατώτερο αρνητικό κέντρο του χωρικού φορτίου. Η διάρκεια της εκκένωσης είναι μεγάλη και το ρεύμα της έχει τιμές από μερικές εκατοντάδες έως 1000 Amperes. Η διαδικασία συμβαίνει μέσα στο νέφος και έξω από το νέφος φαίνεται σαν διαχέουσα λαμπρότητα που τρεμοσβήνει.



Εικόνα 6: Κεραυνοί μέσα στα σύννεφα

- **Κεραυνοί μεταξύ των σύννεφων**

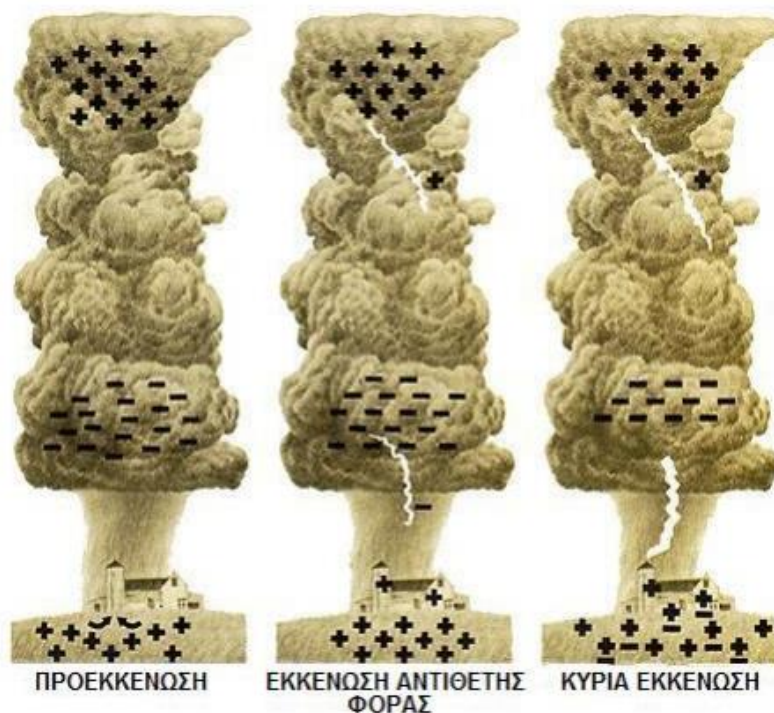
Κεραυνοί αυτού του τύπου εκδηλώνονται σε ύψος μεγαλύτερο του 1 km και μικρότερο των 12 km. Οι κεραυνοί αυτοί έχουν μεγάλο μήκος κεραυνικού τόξου, έως και 40 km.



Εικόνα 7: Κεραυνοί μεταξύ των σύννεφων

1.2.2 Φάσεις κεραυνικών εκκενώσεων

Κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας διακρίνουμε τις ακόλουθες τρεις φάσεις κεραυνικής εκκένωσης:



Εικόνα 8: Τρεις φάσεις της κεραυνικής εκκένωσης

1. Προεκκένωση

Το ηλεκτρισμένο νέφος λίγο πριν από μια κεραυνική εκκένωση εμφανίζεται μακροσκοπικά σαν ένα ηλεκτρικό δίπολο, εξαιτίας του οποίου επάγονται στο έδαφος πεδία με ένταση πάνω από 5 kV/m . Στις παρυφές περιοχών του νέφους με μεγάλη πυκνότητα φορτίου, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να πάρει αρκετά μεγάλες τιμές. Οι υψηλές αυτές εντάσεις, συνδυαζόμενες με τη μικρή πυκνότητα του αέρα και μερικούς άλλους παράγοντες που προκαλούν πρόσθετη τοπική ενίσχυση του ηλεκτρικού πεδίου, μπορούν να προκαλέσουν έναρξη ιονισμού των μορίων του αέρα από κρούσεις ηλεκτρονίων. Ο ιονισμός αυτός αποτελεί το πρώτο βήμα για την έναρξη μιας ηλεκτρικής εκκένωσης.

Το επόμενο βήμα είναι ο σχηματισμός ενός οχετού, ο οποίος ακολουθεί τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου. Ο οχετός ακολουθεί την κατεύθυνση που θα προκαλέσει την ηλεκτρική σύνδεση και αλληλεξουδετέρωση των δύο ετεροσήμων φορτίων. Αν οι γραμμές μέγιστης πεδιακής έντασης κατευθύνονται προς το έδαφος, ο οχετός θα κατευθυνθεί προς αυτό.

Η προεκκένωση ξεκινάει από κάποια περιοχή του σύννεφου όπου το ηλεκτρικό πεδίο θα αποκτήσει πολύ μεγάλες τιμές, της τάξεως των μερικών εκατοντάδων V/m . Δημιουργείται έτσι ένας αγωγίμος δρόμος (οχετός), ο οποίος τροφοδοτείται συνέχεια με φορείς ηλεκτρικού φορτίου από το σύννεφο. Έχουμε, κατά συνέπεια, τη δημιουργία υψηλού ηλεκτρικού πεδίου που σε μια διαδικασία ανακύκλωσης συμβάλλει στην προώθησή του προς τη γη. Έτσι, η προεκκένωση, αφού ξεκινήσει, αναπτύσσεται από μόνη της στο χώρο του ηλεκτρικού πεδίου, εφόσον τροφοδοτείται από την πλευρά του σύννεφου με μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου. (Ενδέχεται να υπάρχουν και διακλαδώσεις του αγωγίμου οχετού, οι οποίες, όμως, δεν απολήγουν σε γεφύρωσή του προς τη γη, λόγω του ότι δεν υπάρχει

διαθεσιμότητα μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών φορέων).

2. Εκκένωση αντίθετης φοράς

Η διαμήκης πτώση τάσεως κατά μήκος του οχετού προεκκένωσης διαφέρει στις διάφορες θέσεις του. Έτσι, ο οχετός προεκκένωσης εμφανίζεται σαν μια μεταλλική προεξοχή που επεκτείνεται από το σύννεφο προς το έδαφος. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από τον οχετό προεκκένωσης και ιδίως στο άκρο του προς το έδαφος, είναι πολύ μεγάλη και υπερβαίνει κατά πολύ την πεδιακή ένταση που απαιτείται για τον ιονισμό του αέρα από κρούσεις (γύρω στα 30kV/cm).

Για αυτό το λόγο, ο οχετός περιβάλλεται διαρκώς από ένα μανδύα Corona (στεμματοειδούς εκκενώσεως), που εκτείνεται μερικά μέτρα γύρω από αυτόν. Το πάχος του μανδύα αυτού είναι μεγαλύτερο στο προς το έδαφος άκρο του οχετού και αυξάνει όσο η κεφαλή του οχετού πλησιάζει προς το έδαφος. Καθώς τώρα ο οχετός κατέρχεται στη γη, αυξάνει το ηλεκτρικό πεδίο της γης. Έτσι, είναι δυνατό να δημιουργήσει ένα φαινόμενο τύπου Corona, το οποίο καταλήγει σε μια ανερχόμενη εκκένωση, η οποία τείνει να συναντήσει τον κατερχόμενο οχετό, οπότε και έχουμε πλήρη γεφύρωση του διακένου αέρα, δηλαδή κεραυνικό πλήγμα.

Η απόσταση που θα πρέπει να φτάσει η κεφαλή του κατερχόμενου οχετού για να ξεκινήσει από τη γη η εκκένωση αντίθετης φοράς χαρακτηρίζεται σαν απόσταση εναύσεως.

3. Κύρια εκκένωση

Στην τελευταία αυτή φάση, η οποία εξελίσσεται με ιδιαίτερα μεγάλη ταχύτητα, έχουμε γεφύρωση της αποστάσεως μεταξύ νέφους και γης. Ήδη προϋπάρχει αγωγίμος οχετός προεκκενώσεως που παίρνει τη μορφή ενός πλήρους οχετού εκκενώσεως. Τα κυκλοφορούντα ρεύματα δια μέσου του οχετού είναι της τάξεως των 10 – 100 kA, με κλίσεις μετώπου της τάξεως των 20 – 100 kA/μs, ενώ η διάρκεια ροής των ρευμάτων αυτών είναι της τάξεως των μερικών δεκάδων μs. Το μήκος του κεραυνικού οχετού εξαρτάται από το ύψος που βρίσκεται το αντίστοιχο καταιγιδοφόρο νέφος, ενώ όταν πρόκειται για κερανό που λαμβάνει χώρα μεταξύ δύο νεφών, εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των αντιστοιχών νεφών. Σε περίπτωση που έχουμε κεραυνοπληξία προς γη, το μήκος των κεραυνικών οχετών είναι της τάξεως λίγων χιλιομέτρων το πολύ. Η διάμετρος ενός οχετού εκκενώσεως είναι της τάξης των μερικών εκατοστών, γιατί από μόνο του το πλάσμα, λόγω του μαγνητικού πεδίου, αποσυμπιέζεται. Η μεγάλη λαμπρότητα του ηλεκτρικού τόξου εξηγεί και το γεγονός ότι ο κεραυνικός οχετός συχνά οδηγεί σε παροδικές θαμβώσεις.

1.2.3 Πολικότητα κεραυνικών εκκενώσεων

Σαν πολικότητα εκκενώσεως λαμβάνεται η πολικότητα φορτίου του κάτω μέρους του σύννεφου που προκάλεσε την εκκένωση. Οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις μπορούν να διακριθούν αναλόγως της πολικότητάς τους σε:

- ο *Θετικές εκκενώσεις* που αποτελούνται από μία μόνο εκφόρτιση διάρκειας από 0.1 έως 2 ms. Η διάρκεια μετώπου αυτών κυμαίνεται μεταξύ 20 και 50ms ενώ το

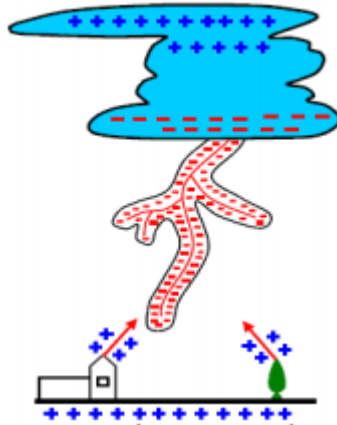
εύρος του ρεύματος εκφορτίσεως που αντιπροσωπεύουν μπορεί να υπερβεί τα 100 kA και η μέση κλίση μετώπου είναι 2 kA/μs.

- *Αρνητικές εκκενώσεις* που αποτελούνται συνήθως από τρεις ή και περισσότερες διαδοχικές εκφορτίσεις. Η διάρκεια όλου του φαινομένου, κυμαίνεται μεταξύ 0.2 και 1 ms. Η διάρκεια μετώπου και το εύρος της πρώτης εκφορτίσεως είναι μικρότερα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα μεγέθη για θετικές εκκενώσεις (διάρκεια μετώπου 10 έως 15 μs). Για τις μετά την πρώτη εκφορτίσεις το μεν εύρος είναι λίγο μικρότερο από αυτό της πρώτης, η δε διάρκεια μετώπου είναι σημαντικά μικρότερη κυμαινόμενη μεταξύ 0.5 και 1 μs. Η κλίση μετώπου για την πρώτη εκφόρτιση υπερβαίνει τα 20 kA/μs, ενώ για τις επόμενες είναι πολύ μεγαλύτερη (τάξεως 40 kA/μs). Στον ελλαδικό χώρο, όπου το κλίμα είναι εύκρατο, το 80 έως 90% των ατμοσφαιρικών εκκενώσεων είναι αρνητικές.

Οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις, ανάλογα με την πορεία της προεκκένωσης διακρίνονται σε:

- *Κατερχόμενες* όταν η προεκκένωση αρχίζει από το νέφος. Αρχίζουν με μία εκκένωση η οποία διαδίδεται από την αρνητική βάση του σύννεφου προς το έδαφος με βήματα μεταξύ 20 – 100 m και με χρονικές παύσεις περίπου 50μs. Η λάμψη είναι ορατή μόνο κατά την εκκίνηση του βήματος που διαδίδεται με ταχύτητα περίπου 5×10^5 m/s. Η σταδιακά προς τα κάτω κινούμενη εκκένωση αυτού του τύπου ονομάζεται «βηματοδηγός ή βηματικός leader». Στην αρχή κάθε βήματος ο βηματικός leader διακλαδίζεται και οι καινούργιοι κλάδοι συνεχίζουν να κινούνται προς τη γη σε μια σειρά νέων βημάτων και διακλαδώσεων. Μετά από περίπου 20 ms η προς τη γη διάδοση της εκκένωσης φέρνει την αρχή του βηματοδηγού πολύ κοντά στο έδαφος και τότε εκπηδούν από αυτό ένας ή περισσότεροι θετικοί leader (ανερχόμενη εκκένωση) και ένας από αυτούς ενώνεται με τον βηματικό. Μόλις γίνει η συνάντηση βηματοδηγού (ανερχόμενης εκκένωσης) τότε το κανάλι γίνεται λαμπρότερο και διαρρέεται από πολύ ισχυρά ρεύματα. Το φαινόμενο αυτό (που το κανάλι λάμπει) λέγεται οχετός επιστροφής. Η διεργασία της εκκένωσης μπορεί να τελειώσει μετά το χτύπημα επιστροφής. Συνήθως όμως μπορεί να υπάρξει επανάληψη του φαινομένου μία ή και περισσότερες φορές και να έχουμε μια απλή ή πολλαπλές διαδοχικές εκκενώσεις. Η δεύτερη εκκένωση ονομάζεται «βελοειδής ή συνεχής leader» και προτιμά να διαδίδεται μέσω του προϋπάρχοντος ιονισμένου καναλιού. Οι κατερχόμενοι κεραυνοί διακρίνονται σε δύο τύπους:

- Κατερχόμενος θετικός κεραυνός: Ο θετικός κατερχόμενος κεραυνός αποτελείται μόνο από μια εκκένωση η οποία έχει μικρότερη τιμή ρυθμού αύξησης του ρεύματος (di/dt) αλλά μεγαλύτερη διάρκεια σε σύγκριση με τον αρνητικό κεραυνό.
- Κατερχόμενος αρνητικός κεραυνός



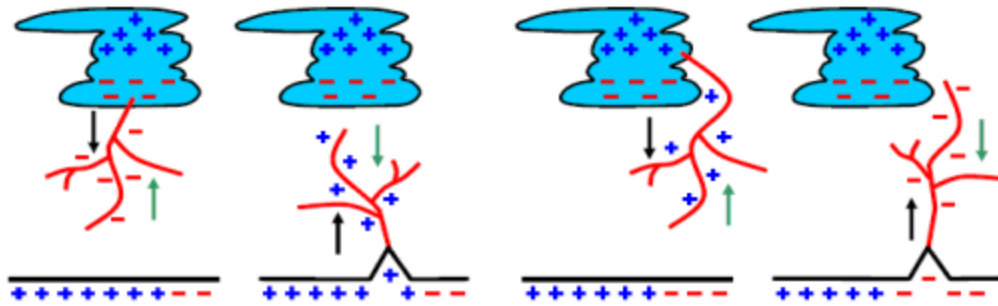
Εικόνα 9: Κατερχόμενη εκκένωση

- *Ανερχόμενες* όταν η προεκκένωση αρχίζει από το έδαφος και κατευθύνεται προς το νέφος. Ο βηματικός leader μπορεί να αρχίσει από το έδαφος, όπως για παράδειγμα από ένα αλεξικέραυνο, από μια αιχμή στη κορυφή ενός πύργου ή γενικότερα από ψηλά κτίρια και να κινηθεί ανοδικά. Δηλαδή ένας θετικός leader ξεκινά από ένα σημείο ισχυρού πεδίου διακλαδιζόμενος όμοια με τους κατερχόμενους κεραυνούς προς τα διάφορα μέρη της βάσης του νέφους. Στη περίπτωση αυτή έχουμε ανερχόμενη εκκένωση. Όταν ο leader φθάσει στο σύννεφο δεν ακολουθεί αμέσως κανάλι επιστροφής. Τότε ή θα ελαττωθεί σιγά-σιγά η φωτεινότητα του καναλιού ή θα ακολουθήσουν μία ή περισσότερες διαδοχικές εκκενώσεις που ξεκινούν με βελοειδή πλέον leader από το σύννεφο προς τη γη ακολουθώντας το κανάλι του αρχικού βηματικού οδηγού. Όμοια με τους κατερχόμενους κεραυνούς μπορεί να έχουμε και εδώ (στους ανερχόμενους κεραυνούς) πολλαπλές διαδοχικές εκκενώσεις οι οποίες έχουν τυπικά τα ίδια μεγέθη σε σχέση με αυτές που εμφανίζονται στους κατερχόμενους κεραυνούς

Σε μέρη επίπεδα, χωρίς ιδιαίτερες προεξοχές, πλειοψηφούν οι κατερχόμενες εκκενώσεις. Αντίθετα ανερχόμενες εκκενώσεις δημιουργούνται εκεί που υπάρχουν υψηλά και αιχμηρά αντικείμενα (π.χ. ένας πυλώνας στην κορυφή ενός βουνού).

Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω έχουμε τέσσερα είδη εκκενώσεων τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- Οι αρνητικοί κεραυνοί, που ξεκινούν από το κάτω μέρος του σύννεφου (αρνητικό) προς τη γη. Αυτοί είναι και οι συνηθέστεροι.
- Οι θετικοί κεραυνοί που ξεκινούν από τη θετική προς το κάτω μέρος του σύννεφου. Και αυτοί είναι συνηθείς αλλά λιγότερο από τους προηγούμενους.
- Οι αρνητικοί κεραυνοί που ξεκινούν από τη γη προς το πάνω μέρος του σύννεφου. Οι κεραυνοί αυτοί δεν είναι συνηθείς.
- Οι θετικοί κεραυνοί που ξεκινούν από το πάνω μέρος του σύννεφου προς τη γη. Αυτοί οι κεραυνοί δεν είναι συνηθείς, παρατηρούνται στα ψυχρά κλίματα και είναι αυτοί στους οποίους έχουν παρατηρηθεί τα ισχυρότερα ρεύματα.



Εικόνα 10: Είδη κεραυνικών εκκενώσεων

1.2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τον κεραυνό

Σε μια περιοχή με εύκρατο κλίμα τα χαρακτηριστικά του κεραυνού επηρεάζονται από την ορογραφική κατάσταση της περιοχής. Στις ορεινές περιοχές, η ένταση του ρεύματος του κεραυνού, όπως και το σχετικό φορτίο, είναι μικρά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μικρή απόσταση γης - νέφους προκαλεί εκκενώσεις στη γη πριν ολοκληρωθεί η διαδικασία φορτίσεως του νέφους και στο ότι το μικρό σχετικά μήκος του αγωγού του κεραυνού έχει σαν επακόλουθο τη συσσώρευση ενός μικρού μόνο φορτίου κατά μήκος αυτού.

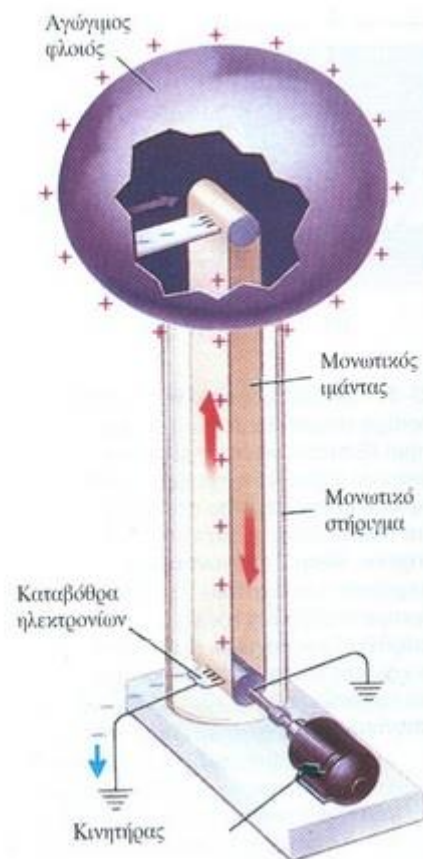
Ο αριθμός των εκκενώσεων στις ορεινές περιοχές είναι πάντοτε μεγαλύτερος από εκείνο στις πεδινές. Στις πεδινές περιοχές, όπου η απόσταση νέφους - γης είναι μεγαλύτερη σημειώνονται λιγότερες εκκενώσεις, αλλά με υψηλή ένταση ρεύματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σχετικά σπάνια το ηλεκτρικό πεδίο είναι τέτοιο, ώστε να επιτρέπει κεραυνό νέφους - γης. Η μεγάλη ένταση ρεύματος οφείλεται στην παρουσία νεφών πολύ φορτισμένων και οχετών εκκενώσεως μεγάλου μήκους.

Επίσης, σημαντικό ρόλο στη δημιουργία κεραυνικών εκκενώσεων παίζει και η εποχή. Το καλοκαίρι λόγω σημαντικού ύψους των νεφών από το έδαφος πολλές εκκενώσεις πραγματοποιούνται εντός ενός νέφους ή μεταξύ νεφών. Αυτό έχει σαν συνέπεια μία απότομη μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια του εδάφους.

Κεφάλαιο 2: Αντικεραυνική προστασία

2.1 Εισαγωγή

Γενικά για το αλεξικέραυνο:



Εικόνα 9: Το αλεξικέραυνο

Το αλεξικέραυνο παρέχει μια ελεγχόμενη δίοδο, μέσα από την οποία θα περάσει ο κεραυνός. Αλλιώς, χωρίς αλεξικέραυνο, θα έβρισκε την ευκολότερη (με τη μικρότερη αντίσταση) και ενδεχομένως και τη συντομότερη οδό που θα μπορούσε να είναι το σπίτι μας, μια κεραία ή κολώνα, ένα δέντρο ή ακόμη και το σώμα ενός ανθρώπου. Το αλεξικέραυνο λοιπόν είναι κατά ένα τρόπο ένας αγωγός του ηλεκτρισμού με την μια άκρη ψηλά και την άλλη άκρη συνδεδεμένη στην γη.

Τα πρότυπα που περιγράφουν το σχεδιασμό και τις προδιαγραφές ενός αντικεραυνικού συστήματος είναι το πρότυπο ΕΛΟΤ 1197 και το πρότυπο ΕΝ 610241.

Η εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας (ΕΑΠ) αποτελείται από:

- Το συλλεκτήριο σύστημα που προορίζεται να δέχεται τους κεραυνούς.
- Το σύστημα αγωγών καθόδου το οποίο εξασφαλίζει την όδευση του ρεύματος του κεραυνού από το συλλεκτήριο σύστημα προς τη γη.
- Το σύστημα γείωσης που άγει και διαχέει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος.

Επίσης ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης του συλλεκτήριου συστήματος και του συστήματος των αγωγών καθόδου σε σχέση με τη κατασκευή που χρήζει προστασίας διακρίνεται σε δύο τύπους:

- Τη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ, όπου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα των αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού να μην έρχεται σε επαφή με την κατασκευή.
- Τη μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ, όπου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα των αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού να μπορεί να έρχεται σε επαφή με τη κατασκευή.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η εξωτερική ΕΑΠ μπορεί να είναι σε επαφή με την κατασκευή που χρήζει προστασίας. Μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ πρέπει να εγκαθίσταται όταν οι θερμικές επιπτώσεις στο σημείο πλήγματος ή στους αγωγούς που διαρρέονται από ρεύμα κεραυνού μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στη κατασκευή που χρήζει προστασία ή στο περιεχόμενό της. Τυπικές περιπτώσεις είναι κατασκευές με εύφλεκτη επικάλυψη, εύφλεκτοι τοίχοι και χώροι με κίνδυνο έκρηξης ή πυρκαγιάς.

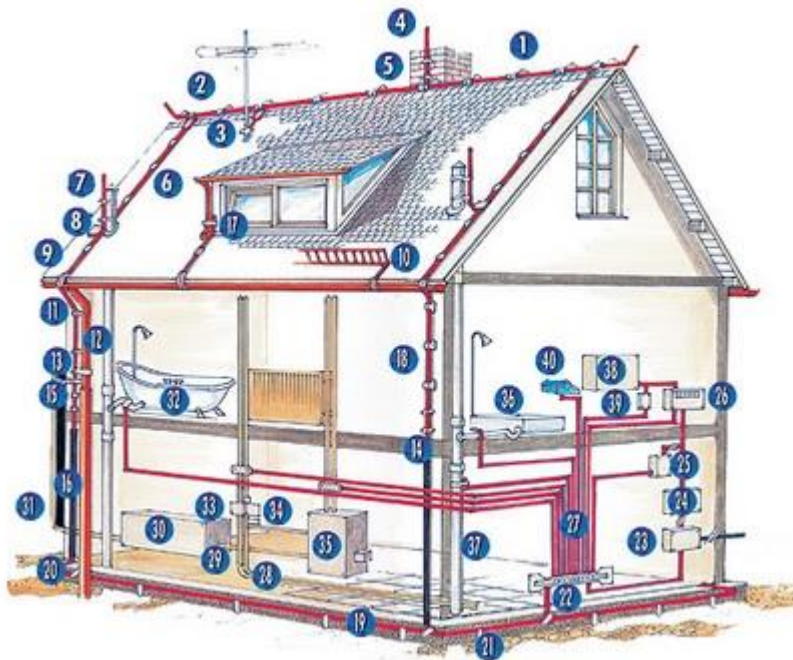
2.1.1 Είδη αντικεραυνικής προστασίας

2.1.1.1 Αντικεραυνικές εγκαταστάσεις τύπου ακίδας σε κτίρια

Από την εποχή του Franklin (1750) οι ακίδες αντικεραυνικής προστασίας διαπιστώθηκε ότι προστατεύουν τα κτίρια από τους κεραυνούς. Γενικά πιστεύεται ότι δημιουργούν ανερχόμενους οχετούς σε ποικίλες αποστάσεις και χρονικές στιγμές ανάλογα με το σχήμα, ύψος και άλλους παράγοντες. Οι ακίδες αποτελούν τα ακρότατα σημεία αγωγών που ως κάθοδοι οδηγούν το ρεύμα των κεραυνών στη γη. Σε σχέση με τον ηλεκτρογεωμετρικό όγκο προστασίας που εξασφαλίζεται από την εγκατάσταση σε ένα κτίριο μιας ακίδας τύπου Franklin επαρκής μπορεί να θεωρηθεί η διατύπωση ότι προστατεύεται από κεραυνούς το μέρος του χώρου που περιλαμβάνει ο όγκος ενός κώνου που το ύψος του είναι από το έδαφος μέχρι το άκρο της ακίδας και έχει γωνία κορυφής που κυμαίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις προστασίας. Σε συσχέτιση με τις διάφορες απαιτήσεις προστασίας χρησιμοποιούνται διάφορα σχήματα ακίδων. Σε πολλές περιπτώσεις η εγκατάσταση μιας μοναδικής ακίδας δεν είναι επαρκής και κατάλληλη ώστε να εξασφαλίσει πλήρη προστασία (για παράδειγμα σε κτίρια μεγάλης κάτοψης, αποθήκες πυρομαχικών). Ακόμη ο μοναδικός αγωγός καθόδου που συνδέεται με αυτή δεν είναι επαρκής ως μοναδική προστασία σε μοντέρνες εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν ηλεκτρονικά μηχανήματα. Σε ισοδύναμα ηλεκτρικά πεδία μια ακίδα με αμβλεία μορφή φαίνεται να έχει διαφορετική συμπεριφορά από μια ακίδα με οξεία αιχμή. Με την πάροδο των ετών διάφοροι κατασκευαστές αντικεραυνικών εγκαταστάσεων προσπάθησαν να δώσουν κατασκευές αντικεραυνικών ακίδων που διαθέτουν διάφορα πρόσθετα στοιχεία που "ενισχύουν" την απόδοσή τους ή με

απλά λόγια επιμηκύνουν το ύψος του κώνου προστασίας. Έτσι κυκλοφορούν ακίδες με ακτινοβολία από ενσωματωμένα σ' αυτές ραδιενεργά υλικά (που η χρήση τους έχει απαγορευτεί στην Ελλάδα), ακίδες με χωρητικές ή ενεργητικές διατάξεις, ακίδες με συστήματα "πρόδρομης" εκτομής ανερχόμενου οχετού κτλ.

2.1.1.2 Αντικεραυνική προστασία με συστήματα κλωβών Faraday



Εικόνα 10: Κλωβός Faraday

Ο κλωβός του Faraday παρέχει ουσιαστική προστασία σε στατικά και σε αργά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία. Σχετικώς επαρκή προστασία σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Η ονομασία "αντικεραυνική προστασία με κλωβό Faraday" θα έπρεπε ίσως να αντικατασταθεί με την ονομασία "αντικεραυνική προστασία με συνδυασμό ακίδων Franklin". Ταιριάζει όμως με τον όρο «κλωβός Faraday» από την άποψη ότι οι ακίδες Franklin συνδέονται με συλλεκτήριους αγωγούς που δημιουργούν ένα είδος κλωβού Faraday που περιλαμβάνει ακίδες, συλλεκτήριους αγωγούς, καθόδους προς τις γειώσεις. Το σχήμα αυτό δίνει παρεμφερή αποτελέσματα με τους αγωγούς ηλεκτρικής προστασίας που χρησιμοποιούν οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις αντί για ακίδες στις εγκαταστάσεις υποσταθμών υψηλής τάσης, γραμμών μεταφοράς κτλ. Ακόμη και τα περιορισμένου ύψους και μικρά κτίρια επηρεάζονται από κεραυνούς γιατί κάθε κατασκευή επί της γης μπορεί να αποτελέσει βάση για την εμφάνιση ανερχόμενου οχετού. Τα συστήματα αντικεραυνικής διάταξης θα οδηγήσουν τους κεραυνούς στη γη χωρίς να επιτρέψουν στο φορτίο του να βλάψει το κτίριο. Ψηλά δέντρα προσκείμενα σε ένα κτίριο δεν το προστατεύουν. Αντίθετα είναι αναγκαίο να προστατεύονται και τα δέντρα ενώ το κτίριο προστατεύεται μόνο στην περίπτωση που βρίσκεται στον κώνο που σχηματίζει η αντικεραυνική προστασία του δέντρου. Ένα κτίριο με μεταλλική στέγη είναι ασφαλές μόνο με αντικεραυνική προστασία. Με οποιοδήποτε υλικό και αν είναι κατασκευασμένη μια στέγη έχει τις ίδιες πιθανότητες συμπεριφοράς κατά την πτώση κερανού.

Πρέπει να σημειωθεί ότι καμιά αντικεραυνική προστασία δεν "έλκει" τους κεραυνούς. Απλά το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας εξασφαλίζει μια ασφαλή δίοδο των κεραυνών προς τη γη. Οι στέγες των κτιρίων αποτελούν τη βάση της μελέτης για την κατασκευή της αντικεραυνικής προστασίας. Ανάλογα με τη μορφή της στέγης καθορίζονται οι ακίδες που τοποθετούνται στα μικρά κτίρια στις γωνίες τους ενώ σε μεγαλύτερα κτίρια εφαρμόζονται σε αποστάσεις που δεν υπερβαίνουν τα 6 μέτρα. Το ύψος των ακίδων συνήθως δεν υπερβαίνει τα 90 εκ. Οι ακίδες κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό ή ορείχαλκο και καλό είναι να είναι επινικελωμένες. Βιδώνονται σε ειδικές βάσεις οι οποίες διασυνδέονται με τους κατάλληλους πολύκλωνους αγωγούς που έχουν διάμετρο που κυμαίνεται από 8 έως 20 χιλ. Οι αγωγοί μπορεί να είναι χάλκινοι ή αλουμινίου και ανάλογα είναι και τα εξαρτήματα σύνδεσης και στήριξης τους ενώ σε περίπτωση συνδυασμού χάλκινων εξαρτημάτων και αλουμινίου επιβάλλεται να χρησιμοποιείται κατάλληλο υλικό διασύνδεσης (Cupal). Οι αγωγοί καθόδου (ορθογωνικής ή κυκλικής διατομής) πρέπει να διέρχονται από κατάλληλες οδεύσεις και να συνδέονται ικανοποιητικά με το δίκτυο γείωσης. Κατά διαστήματα πρέπει να στερεώνονται με ειδικά εξαρτήματα. Το σύστημα γείωσης από το οποίο το ηλεκτρικό ρεύμα του κεραυνού διαχέεται στη γη περιλαμβάνει ηλεκτρόδια τα οποία συνδέονται μεταξύ τους ώστε να εξασφαλίζεται η κατά το δυνατό ελάχιστη αντίσταση γείωσης. Ειδικά για μια σωστή κατασκευή ενός αντικεραυνικού συστήματος είναι απαραίτητο να έχει προηγηθεί συνεργασία του Γραφείου Μελετών με τον προμηθευτή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να λυθούν εξαρχής όλα τα κατασκευαστικά προβλήματα.

2.1.1.3 Εσωτερικά αλεξικέραυνα

Εκτός από τα εξωτερικά αλεξικέραυνα και τις σχετικές διατάξεις πρέπει να τονιστεί η ανάγκη εγκατάστασης εσωτερικής αντικεραυνικής προστασίας που προφυλάσσει από τις υπερτάσεις που εισέρχονται στο εσωτερικό των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Για το σκοπό αυτό υπάρχει πλήθος αλεξικέραυνων που η λειτουργία τους καλύπτει κάθε εγκατάσταση. Είναι έτσι αναγκαίο κάθε εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας να ολοκληρώνεται με την αντικεραυνική προστασία κάθε μηχανήματος όπως συνήθως ορίζεται από τους κατασκευαστές των επιμέρους μηχανημάτων ή ακόμη και από τους κατασκευαστές των εσωτερικών αυτών αλεξικέραυνων.

2.1.2 Αναγκαιότητα κατασκευής ενός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας

Η απόφαση για την κατασκευή ή όχι ενός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) βασίζεται αφενός σε οικονομικά κριτήρια και αφετέρου στον κίνδυνο για την ζωή των ανθρώπων, αλλά και στο ανεπανόρθωτο της ζημίας που πιθανόν να συμβεί στις εγκαταστάσεις. Σημαντικό επίσης παράγοντας αποτελεί και η πιθανότητα που υπάρχει, να πληγεί ένα κτίριο από κεραυνό, η οποία εξαρτάται από τις διαστάσεις του κτιρίου και την περιοχή στην οποία βρίσκεται.

Εγκαταστάσεις που χρειάζονται αντικεραυνική προστασία αναφέρονται πιο κάτω:

- Κτίρια ή κατασκευές που προεξέχουν σημαντικά από γειτονικά κτίρια όπως καμινάδες, καμπαναριά εκκλησιών, τηλεπικοινωνιακοί πύργοι, ουρανοξύστες και γενικά κτίρια ύψους πάνω από 25m.
- Εγκαταστάσεις εκτεθειμένες στην ύπαιθρο ή θάλασσα όπως παρατηρητήρια, ερημοκλήσια, εργοστάσια εκτός πόλεως, πλοία, αεροπλάνα κτλ.
- Εγκαταστάσεις βασικών κοινωνικών αναγκών όπως σταθμοί παραγωγής, υποσταθμοί και δίκτυα ηλεκτρισμού, αντλιοστάσια και εγκαταστάσεις υδροδότησης, αντλιοστάσια καυσίμων, τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί.
- Εγκαταστάσεις σημαντικής ιστορικής ή πνευματικής αξίας όπως μουσεία, μνημεία, κτίρια με αρχαία ιστορικής αξίας.
- Εγκαταστάσεις μεγάλης οικονομικής αξίας όπου συναθροίζονται άτομα όπως Κτίρια συνάθροισης πολλών ατόμων (πάνω από 200) όπως θέατρα, εκκλησίες, εκθέσεις, γήπεδα, στρατώνες, πολυκαταστήματα κτλ.
- Κτίρια με πάνω από 100 άτομα περιορισμένης κινητικότητας όπως νοσοκομεία, γηροκομεία, φυλακές.
- Εύφλεκτες ή επικίνδυνες εγκαταστάσεις όπως εργοστάσια χημικών, αποθήκες πυρομαχικών και καυσίμων, πυρηνικά εργοστάσια.

Στην παρούσα όμως πτυχιακή θα επικεντρωθούμε αποκλειστικά σε αλεξικέραυνα μέσης και υψηλής τάσης.

2.2 Αλεξικέραυνα μέσης και υψηλής τάσης

Τα αλεξικέραυνα χρησιμοποιούνται για την προστασία των γραμμών μεταφοράς και διανομής και των υποσταθμών από υπερέτασεις. Είναι συσκευές, οι οποίες επιτρέπουν τη δίοδο του ηλεκτρισμού προς τη γη σε περιπτώσεις υπέρτασης, ενώ στην κανονική λειτουργία δεν άγουν σχεδόν καθόλου. Τα αλεξικέραυνα μπορούν να χαρακτηρισθούν σαν διακόπτες, οι οποίοι κλείνουν στιγμιαίως σε περίπτωση υπέρτασης και δημιουργούν μια αγωγίμη δίοδο προς τη γη, διοχετεύοντας την υπέρταση μακριά από τις προς προστασία συσκευές. Βασικές, λοιπόν, ιδιότητες ενός αλεξικέραυνου είναι

- Να μην άγει κατά την κανονική τάση λειτουργίας (στην πραγματικότητα υπάρχει ένα πολύ μικρό ρεύμα διαρροής της τάξεως του 1mA),
- Να αρχίσει να άγει μόλις εμφανισθεί μια υπέρταση και
- Να διακόπτει αμέσως τη λειτουργία του μόλις παρέλθει η υπέρταση

2.2.1 Είδη αλεξικέραυνων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αλεξικέραυνων (με ή χωρίς διάκενα), οι οποίοι λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο: παρουσιάζουν, δηλαδή μεγάλη αντίσταση της τάξης των ΜΩ σε κανονική λειτουργία, ενώ σε περίπτωση υπέρτασης η αντίσταση μειώνεται σε μερικά Ω. Παλαιότερα, αλεξικέραυνα με διάκενα σε σειρά με μη γραμμικές αντιστάσεις ήταν ευρέως διαδεδομένα, σήμερα, όμως, δίνουν τη θέση τους σε αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα, τα οποία αποτελούνται από μη γραμμικές αντιστάσεις οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO).

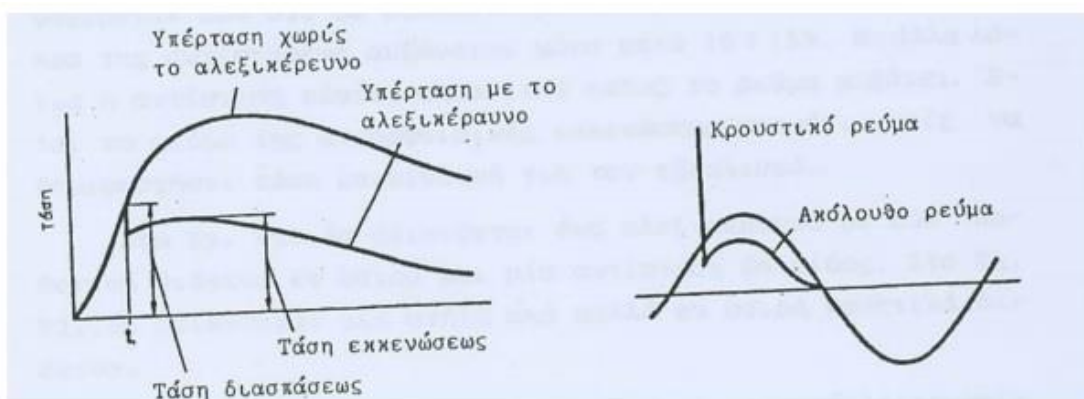
2.2.1.1 Αλεξικέραυνα με διάκενα

Αυτού του τύπου τα αλεξικέραυνα αποτελούνται από μια σειρά διακένων σε σειρά με μια μη γραμμική αντίσταση, περικλειόμενα σε κατάλληλο μονωτικό περίβλημα. Τα διάκενα - τα οποία πρέπει να έχουν όσο γίνεται περισσότερο ομοιογενές πεδίο, ούτως ώστε η τάση διάσπασής τους να είναι ανεξάρτητη από την κλίση του μετώπου της κρουστικής τάσης - διασπώνται, όταν η υπέρταση υπερβεί μια ορισμένη τιμή, συνδέοντας τον αγωγό υψηλής τάσης με τη γη. Μόλις παρέλθει η υπέρταση, το τόξο δεν μπορεί να συντηρηθεί υπό την κανονική τάση λειτουργίας λόγω της μη γραμμικής αντίστασης. Οι μη γραμμικές αντιστάσεις στα αλεξικέραυνα με διάκενα είναι συνήθως από ανθρακοπυρίτιο (SiC), ενώ η χαρακτηριστική τάσεως - ρεύματος, που εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα του υλικού, το συνεκτικό υλικό και τον τρόπο κατασκευής τους, είναι της μορφής:

$$I = k \cdot U^a$$

όπου k και a είναι συντελεστές.

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας του αλεξικέραυνου, όταν φθάσει σε αυτό μια υπέρταση. Μετά τη διάσπαση των διακένων, το ακόλουθο ρεύμα περιορίζεται από τις μη γραμμικές αντιστάσεις, ώστε μόλις η τιμή του γίνει μηδενική να διακόπτεται.



Εικόνα 11: Αρχή λειτουργίας αλεξικέραυνου και διακοπή ακόλουθου ρεύματος

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των αλεξικέραυνων είναι τα ακόλουθα:

α. Ονομαστική τάση: Είναι η μέγιστη τάση (rms) στη συχνότητα λειτουργίας 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.

β. Κρουστική Τάση Διασπάσεως

- **Μετωπική:** Είναι η τάση διασπάσεως του αλεξικέραυνου, που συμβαίνει στο μέτωπο του κρουστικού κύματος (δηλαδή προ της κορυφής). Η κλίση του μετώπου κατά IEC είναι 100kV/μsec για κάθε 12kV της ονομαστικής τάσης του αλεξικέραυνου, αλλά όχι παραπάνω από 1200kV/μsec (π.χ. για 21kV, η κλίση είναι $21/12100 = 175\text{kV}/\mu\text{sec}$).
- **Κρουστική 100%:** Είναι η κορυφή της ελάχιστης τάσης 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 τάσης κρουστικού κύματος (1.2/50μsec) που, όταν επιβληθεί επανειλημμένως, θα προκαλέσει διάσπαση του αλεξικέραυνου στο 50% των περιπτώσεων.

γ. Τάση εκκενώσεως ή παραμένουσα τάση: Είναι η τάση που εμφανίζεται στα άκρα του αλεξικέραυνου μετά τη διάσπασή του, κατά τη διάρκεια της εκκενώσεως του ρεύματος (μορφής 8/20μsec).

δ. Τάση διάσπασης Β.Σ. (50 Hz): Είναι η ενδεικνυόμενη τιμή της ελάχιστης τάσης Β.Σ. που προκαλεί διάσπαση του αλεξικέραυνου, όταν και όσες φορές κι αν επιβληθεί στα άκρα του.

ε. Ρεύμα εκκενώσεως: Το κρουστικό ρεύμα που διέρχεται από το αλεξικέραυνο κατά την εκκένωσή του.

ζ. Ονομαστικό ρεύμα εκκενώσεως: Το ρεύμα εκκενώσεως ορισμένης μορφής (8/20μsec), 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.

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

η. Ακόλουθο ρεύμα: Το ρεύμα 50Hz που διέρχεται από το αλεξικέραυνο μετά την εκκένωση του κρουστικού ρεύματος.

Υπάρχουν δύο τύποι διακένων: Τα συμβατικά ή παθητικά διάκενα και τα ενεργητικά διάκενα.

Ένα συγκρότημα με παθητικά διάκενα αποτελείται από ηλεκτρόδια χωρισμένα με τα τεμάχια στεατίτη και με μη γραμμικές αντιστάσεις κατανομής μεταξύ των ηλεκτροδίων. Στα διάκενα αυτά υπάρχει, επίσης, μία διάταξη προϊόντισμού, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται συγκεκριμένη στάθμη τάσης διάσπασης (χωρίς δηλαδή μεγάλη διασπορά) και χαμηλή

στάθμη προστασίας. Σκοπός των αντιστάσεων κατανομής (grading resistors) είναι η ομοιόμορφη κατανομή της τάσης κατά μήκος των διακένων κατά τη διάρκεια σχετικώς βραδέως μεταβαλλόμενων υπερτάσεων. Για ταχέως μεταβαλλόμενες υπερτάσεις την ομοιόμορφη κατανομή εξασφαλίζουν πυκνωτές κατανομής (grading capacitors) παράλληλοι προς τις αντιστάσεις αυτές και τα διάκενα. Έτσι, η τάση διάσπασης στην βιομηχανική συχνότητα και σε υπερτάσεις χειρισμών εξαρτάται κυρίως από τις αντιστάσεις κατανομής, ενώ η τάση διάσπασης σε ταχέως μεταβαλλόμενες υπερτάσεις ατμοσφαιρικής προελεύσεως εξαρτάται από τις χωρητικότητες κατανομής του αλεξικέραυνου.

Ένα συγκρότημα με ενεργητικά διάκενα αποτελείται από ηλεκτρόδια στερεωμένα πάνω σε μονωτικούς δίσκους, οι οποίοι φέρνουν και αντίσταση στο τόξο. Εν σειρά με τα ηλεκτρόδια αυτά και τους δίσκους υπάρχει ένα πηνίο, το οποίο δημιουργεί ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο με την βοήθεια του οποίου το τόξο μετακινείται προς ένα στενό θάλαμο σβέσεως, όπου και επιμηκύνεται περίπου 100 φορές. Η επιμήκυνση αυτή του τόξου δημιουργεί μεγάλη πτώση τάσης κατά μήκος των διακένων και βελτίωση στις συνθήκες εκκαθαρίσεως του ακόλουθου ρεύματος. Έτσι, τα κυριότερα προσόντα των αλεξικέραυνων με ενεργά διάκενα είναι:

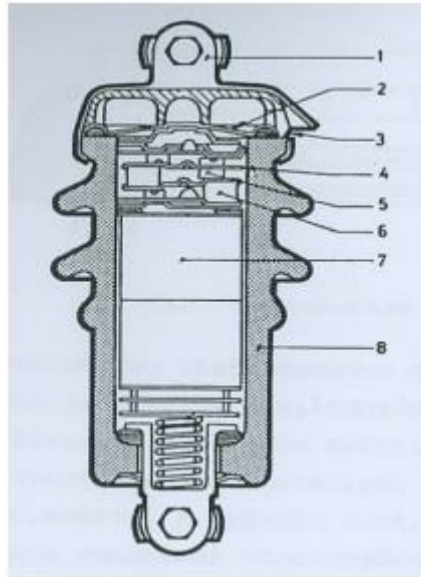
- Καλύτερη προστασία χωρίς να έχουμε σημαντική αύξηση της ισχύος του ακόλουθου ρεύματος,
- Καλύτερη δυνατότητα σφραγίσεως και
- Δυνατότητα απορροφήσεως μεγαλύτερης διάρκειας εκκενώσεως.

Τα αλεξικέραυνα με ενεργά διάκενα χρησιμοποιούνται για δίκτυο ονομαστικών τάσεων μεγαλύτερων από 200kV, για τα οποία οι σχετικές στάθμες μόνωσης είναι χαμηλές και η στάθμη προστασίας σε υπερτάσεις χειρισμών είναι επίσης χαμηλή.

Εκτός από τις μη γραμμικές αντιστάσεις κατανομής της τάσης που βρίσκονται παράλληλα με κάθε διάκενο έχουμε και εν σειρά με τα διάκενα μία μη γραμμική αντίσταση (είτε μία ανά διάκενο, είτε μία συνολική για όλο το αλεξικέραυνο) από ανθρακούχο πυρίτιο SiC. Η αντίσταση αυτή, που καλείται και αντίσταση βαλβίδας, εξαρτάται από την τάση. Έτσι, τυπικά αναφέρεται εδώ ότι με διπλασιασμό του ρεύματος, η τάση στα άκρα της αντίστασης αυξάνεται μόνο κατά 10-15%. Με άλλα λόγια, η αντίσταση πέφτει σημαντικά, ενώ το ρεύμα αυξάνει. Έτσι, το ρεύμα της ατμοσφαιρικής εκκενώσεως περνάει χωρίς να δημιουργήσει τάση επικίνδυνη για τον εξοπλισμό.

Σε μία λίγο διαφορετική κατασκευή δεν υπάρχει πηνίο για την δημιουργία μαγνητικού πεδίου που θα επιμηκύνει το τόξο, αλλά η διαμόρφωση των ηλεκτροδίων είναι τέτοια, ώστε το ίδιο το ρεύμα του τόξου να δημιουργεί το απαραίτητο για το σκοπό αυτόν μαγνητικό πεδίο.

Τα περισσότερα αλεξικέραυνα έχουν μία ανακουφιστική διάταξη πίεσεως (pressure relief arrangement), με την οποία αποφεύγεται η βίαιη καταστροφή τους σε περίπτωση που το αλεξικέραυνο δεν σφραγίζει. Η φιλοσοφία της διάταξης αυτής είναι, ότι σε μία τέτοια περίπτωση, θα πρέπει η διάσπαση να μεταφέρεται το ταχύτερο δυνατόν εκτός του αλεξικέραυνου. Η δημιουργούμενη στον εσωτερικό χώρο υπερπίεση παραμορφώνει τον δίσκο και έτσι τα ιονισμένα αέρια εξέρχονται προκαλώντας εξωτερική διάσπαση λόγω του ιονισμού τους.



Εικόνα 12: Αλεξικέραυνο με παθητικά διάκενα και αντίσταση βαλβίδας
 (1. Άνω βραχίονας, 2. Διάφραγμα και ανακουφιστική διάταξη υπερπίεσης, 3. Άνοιγμα διαφυγής αερίων, 4. Ηλεκτρόδιο διακένου, 5. Διαχωριστικό στεατίτη, 6, 7. Αντίσταση βαλβίδας, 8. Πορσελάνη)

Εκτός από το ανθρακούχο πυρίτιο (SiC) που χρησιμοποιείται πάνω από 25 χρόνια σαν το βασικό υλικό για τις μη γραμμικές αντιστάσεις των αλεξικέραυνων, χρησιμοποιήθηκε κατά την δεκαετία 1970-80 και το οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO), το οποίο σε σύγκριση με το SiC παρουσιάζει πολύ πιο έντονη μη γραμμικότητα. Τα αλεξικέραυνα με ZnO έχουν χαμηλότερη και ακριβέστερα προσδιορισμένη στάθμη προστασίας και για το λόγο αυτό έχουν αντικαταστήσει τα αλεξικέραυνα με SiC.

2.2.2. Αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα

Τα τελευταία χρόνια, τα αλεξικέραυνα με διάκενα αντικαθίστανται με αυτά χωρίς διάκενα, τα οποία αποτελούνται από μη γραμμικές αντιστάσεις κατασκευασμένες από οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO), το οποίο συνιστά σημαντική βελτίωση έναντι του SiC, καθώς η χαρακτηριστική τάσης - ρεύματος είναι σχεδόν επίπεδη και μη γραμμική. Αυτή ακριβώς η έντονη μη γραμμικότητα είναι αυτή που καθιστά την κατασκευή αλεξικέραυνου χωρίς διάκενα.

Σε τάση κανονικής λειτουργίας το ρεύμα διαρροής περιορίζεται σε κάποια mA, ενώ μπορεί να διακόπτει κρουστικές τάσεις με ρεύματα πολλών kA. Το ρεύμα που ρέει δια της μη γραμμικής αντίστασης είναι αμελητέο για κάθε τάση μικρότερη μιας ορισμένη τιμής V_I (που μπορεί να είναι η κανονική τάση λειτουργίας του δικτύου), εάν όμως εμφανιστεί στα άκρα του αλεξικέραυνου μια τάση μεγαλύτερη με αναμενόμενο εύρος, τιμής υψηλότερο μιας τιμής $V_m > V_I$, ρέει δια αυτού μεγάλο ρεύμα, έτσι ώστε η τάση να περιορισθεί κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες στην τιμή V_m .

Τα πλεονεκτήματα των αλεξικέραυνων αυτών είναι η απλή τους κατασκευή, η μη γραμμική σχέση τάσης ρεύματος για μια μεγάλη περιοχή τιμών, καθώς και η απουσία διακένων, τα οποία είναι δυνατόν να προκαλέσουν πολύ απότομο μέτωπο μείωσης της τάσης

με αποτέλεσμα τη δημιουργία επικίνδυνων καταπονήσεων. Το κύριο μειονέκτημά τους είναι η συνεχής ροή ρεύματος βιομηχανικής συχνότητας και κατά συνέπεια η απώλεια ισχύος.

Η μη γραμμική αντίσταση συνίσταται από ZnO με μικρές προσμίξεις και άλλων οξειδίων, όπως Bi₂O₃, MnO, Cr₃O₃ και Sb₂O₃. Οι πρώτες κατασκευές από οξείδιο του ψευδαργύρου τοποθετούνταν σε κεραμικό περίβλημα, όπου τα στοιχεία του βαρίστορ περιβάλλονταν από μονωτικό αέριο και οι καταλήξεις τους σφραγίζονταν με δακτυλίους από καουτσούκ. Με την πάροδο του χρόνου, όμως, οι δακτύλιοι φθείρονταν με αποτέλεσμα την είσοδο υγρασίας σε όλη την κατασκευή. Κατά τη δεκαετία του '80 άρχισαν να χρησιμοποιούνται περιβλήματα από πολυμερή υλικά (όπως το καουτσούκ σιλικόνης). Τέτοια υλικά, τα οποία είναι κατάλληλα και για περιοχές με μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση, προσφέρουν ελαφρύτερες κατασκευές, βελτιωμένη μηχανική αντοχή και αύξηση της τάσης υπερπήδησης σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη ρύπανση.

Τα κυριότερα μεγέθη που ενδιαφέρουν σε ένα αλεξικέραυνο είναι:

- i. Η μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας (Maximum Continuous Operating Voltage - U_c): Είναι η μέγιστη ενεργός τιμή της τάσης που μπορεί να εφαρμόζεται διαρκώς στα άκρα του αλεξικέραυνο. Η μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας πρέπει αν είναι μεγαλύτερη από την κανονική του δικτύου
- ii. Ονομαστική Τάση (Rated Voltage - U_r): Είναι η μέγιστη ενεργός τιμή της τάσης στα άκρα του αλεξικέραυνο, για την οποία το αλεξικέραυνο συνεχίζει να λειτουργεί σωστά για προσωρινές υπερτάσεις (10 – 100 sec). Η ονομαστική τάση είναι 1.25 φορές η μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας: $U_r = 1.25U_c$
- iii. Παραμένουσα τάση (U_{res}): Είναι η τάση στα άκρα του αλεξικέραυνο κατά την εφαρμογή κρουστικών ρευμάτων.
- iv. Βασική κρουστική τάση μονώσεως (Lightning Impulse Protective Level): Είναι η τάση στα άκρα του αλεξικέραυνο, όταν διέρχεται δια αυτό το ονομαστικό ρεύμα εκφορτίσεως.
- v. Ενέργεια αντοχής (Thermal energy absorption capability): Είναι η μέγιστη τιμή της ενέργειας της εγχεόμενης στο αλεξικέραυνο, μετά την οποία το αλεξικέραυνο επανέρχεται στη κανονική θερμοκρασία λειτουργίας.

Στην Εικόνα 15 και 16 φαίνεται η τομή ενός αλεξικέραυνο, βασικά στοιχεία του οποίου είναι η μη γραμμική αντίσταση (βαρίστορ) από οξείδια του ψευδαργύρου, το μονωτικό περίβλημα από πολυμερές υλικό, ένα ενδιάμεσο υαλώδες υλικό και τα ηλεκτρόδια σύνδεσης με την υψηλή τάση και τη γη. Λόγω της ανομοιομορφίας του δυναμικού στο εσωτερικό του βαρίστορ (η οποία καταπονεί θερμικά το τμήμα του βαρίστορ που βρίσκεται εγγύτερα στο ηλεκτρόδιο υψηλής τάσης) τοποθετούνται, ιδίως στα αλεξικέραυνα 150kV και 400kV, κατάλληλα τορροειδή.



Εικόνα 13: Τομή αλεξικέρανου



Εικόνα 14: Τομή αλεξικέρανου

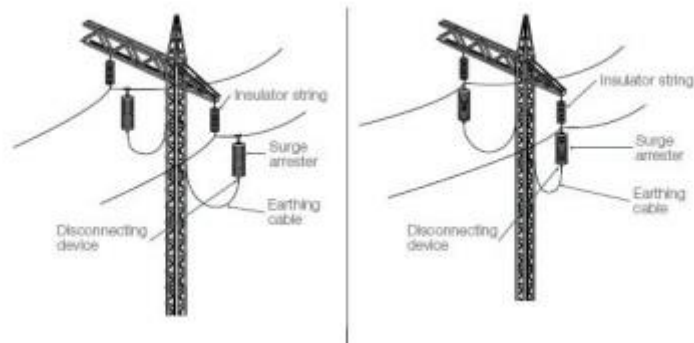


Εικόνα 17: Αλεξικέρανα 400kV και 150kV με τοροειδή

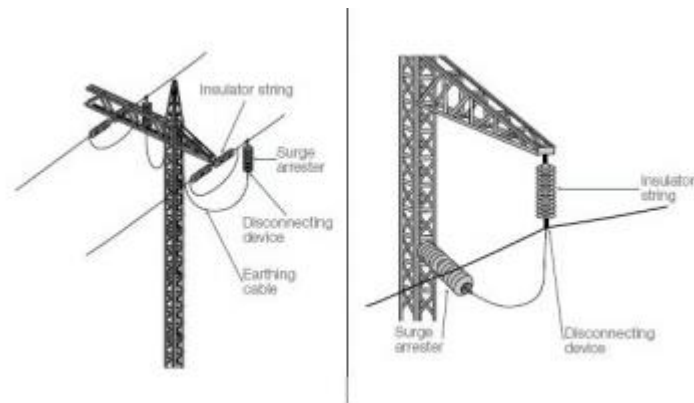
Τα αλεξικέρανα χρησιμοποιούνται για την προστασία των γραμμών υψηλής και μέσης τάσης, καθώς και των μετασχηματιστών, τόσο για απευθείας όσο και για επαγόμενα κεραυνικά πλήγματα. Τοποθετούνται μεταξύ φάσης και γης (Εικόνα 17, 18, 19), και είναι ιδιαίτερα αναγκαία στην περίπτωση υψηλών αντιστάσεων γείωσης.



Εικόνα 18: Αλεξικέραυνα σε γραμμή μεταφοράς



Εικόνα 19: Τρόποι τοποθέτησης αλεξικέραυνων σε πυλώνες γραμμών μεταφοράς



Εικόνα 20: Τρόποι τοποθέτησης αλεξικέραυνων σε πυλώνες γραμμών μεταφοράς

Ο εξοπλισμός που συνοδεύει συνήθως τα αλεξικέραυνα είναι ο μετρητής υπερτάσεων, η συσκευή αποσύνδεσης και ο μετρητής του ρεύματος διαρροής. Οι μετρητές υπερτάσεων (Εικόνα 21) συνδέονται εν σειρά με το αλεξικέραυνο και καταγράφουν – με ηλεκτρομηχανικό ή ηλεκτρονικό τρόπο - πόσες φορές λειτούργησε το αλεξικέραυνο.



Εικόνα 15: Μετρητής Υπερτάσεων

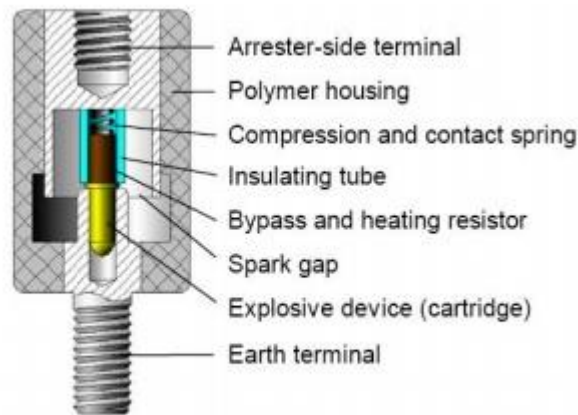
Ο μετρητής του ρεύματος διαρροής συνδέεται σε σειρά με το αλεξικέραυνο και μετράει το ολικό ρεύμα διαρροής. Η ένδειξη αυτή ωστόσο δεν έχει μεγάλη πρακτική αξία, αφού αυτό που ενδιαφέρει είναι η ωμική συνιστώσα του ρεύματος διαρροής.



Εικόνα 16: Μετρητής ρεύματος διαρροής

Η συσκευή αποσύνδεσης (Εικόνα 23) αποσυνδέει το αλεξικέραυνο από το σύστημα σε περίπτωση υπερφόρτισης ή πιθανής καταστροφής του. Σε αυτήν την περίπτωση, η γραμμή

μένει απροστάτευτη από υπερτάσεις. Τυπική αρχή λειτουργίας της συσκευής αποσύνδεσης είναι ένας εκρηκτικός μηχανισμός ενεργοποιούμενος από το ρεύμα διαρροής.



Εικόνα 17: Συσκευή αποσύνδεσης

Τα αλεξικέραυνα έχουν μεγάλη σημασία στην καλή λειτουργία του συστήματος μεταφοράς και διανομής, γι' αυτό θα πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση και να λειτουργούν αξιόπιστα, τόσο υπό κανονικές συνθήκες, όσο και σε μεταβατικά φαινόμενα.

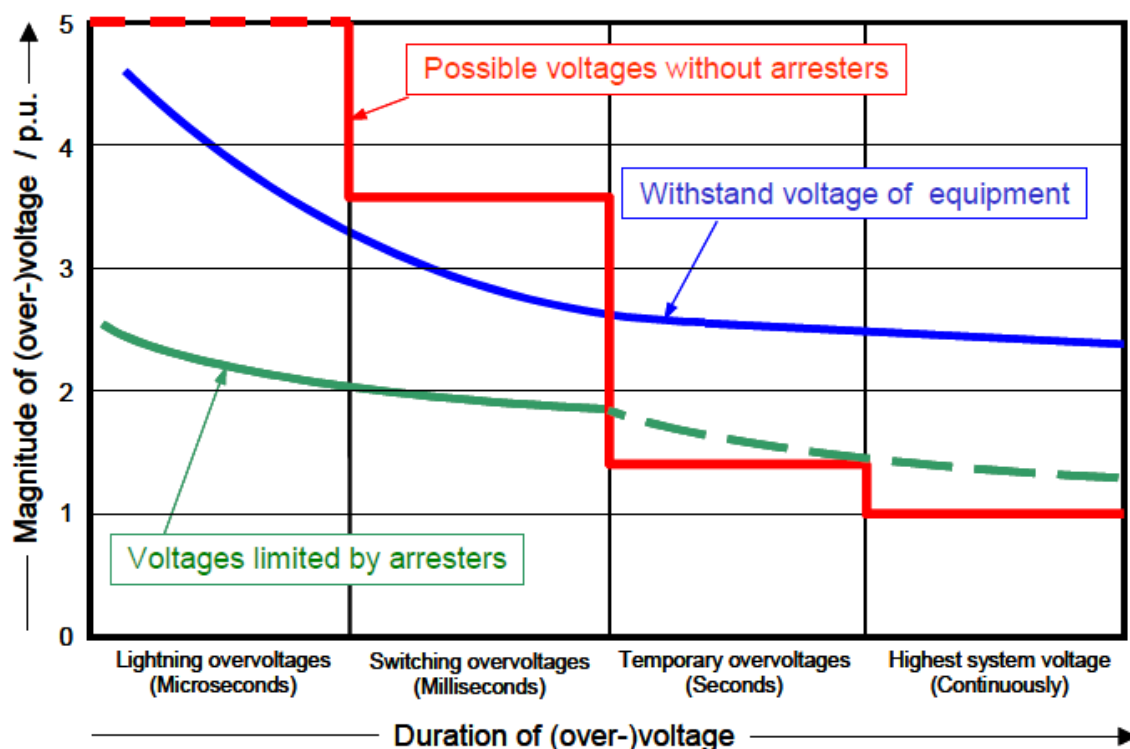
Οι πιο συνηθισμένες αστοχίες σε αλεξικέραυνα όλων των τύπων είναι:

- Εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό του αλεξικέραυνου
- Μερικές εκκενώσεις στο εσωτερικό, εξαιτίας κακής επαφής μεταξύ των δίσκων του βαρίστορ
- Καταστροφή ή ρύπανση του εξωτερικού περιβλήματος
- Μηχανικές – θερμικές καταπονήσεις και καταστροφή ή αλλοίωση της χαρακτηριστικής τάσης-ρεύματος μετά από διέλευση ισχυρού ρεύματος.

Είναι φανερό ότι απαιτείται συχνή οπτική επιθεώρηση και διεξαγωγή κατάλληλων δοκιμών για τον έλεγχο της κατάστασης των αλεξικέραυνων, εάν δηλαδή μπορούν να λειτουργούν και προστατεύουν αποτελεσματικά τη γραμμή σε περίπτωση υπέρτασης. Οι δοκιμές και οι έλεγχοι που προβλέπονται για τα αλεξικέραυνα μελετώνται στα οικεία κεφάλαια.

Κεφάλαιο 3: Αρχές λειτουργίας και χαρακτηριστικά των Metal - Oxide αλεξικέραυνων σε σύστημα μεταφοράς ενέργειας υψηλής τάσης

Τα αλεξικέραυνα παρέχουν τον απαραίτητο συντονισμό (insulation coordination) όσον αφορά τη μόνωση στο ηλεκτρικό σύστημα τροφοδοσίας. Με τον όρο συντονισμό εννοούμε την επιλογή της κατάλληλης διηλεκτρικής αντοχής του εξοπλισμού σε σχέση με τις τάσεις που μπορούν να εμφανιστούν. Η λειτουργικότητα των αλεξικέραυνων φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα. Υπάρχουν τάσεις οι οποίες μπορεί να εμφανιστούν στο σύστημα μεταφοράς ενέργειας υψηλής τάσης, η ανά μονάδα μέγιστη τιμή τους μπορεί να είναι υψηλότερη της συνεχούς φάσεως επίγειας τάσης και εξαρτάται από την διάρκεια εμφάνισής τους.



Εικόνα 18: Σχηματική αναπαράσταση του μεγέθους των τάσεων και των υπερτάσεων σε ένα ηλεκτρικό σύστημα υψηλής τάσης σε σχέση με τη διάρκεια της εμφάνισής τους

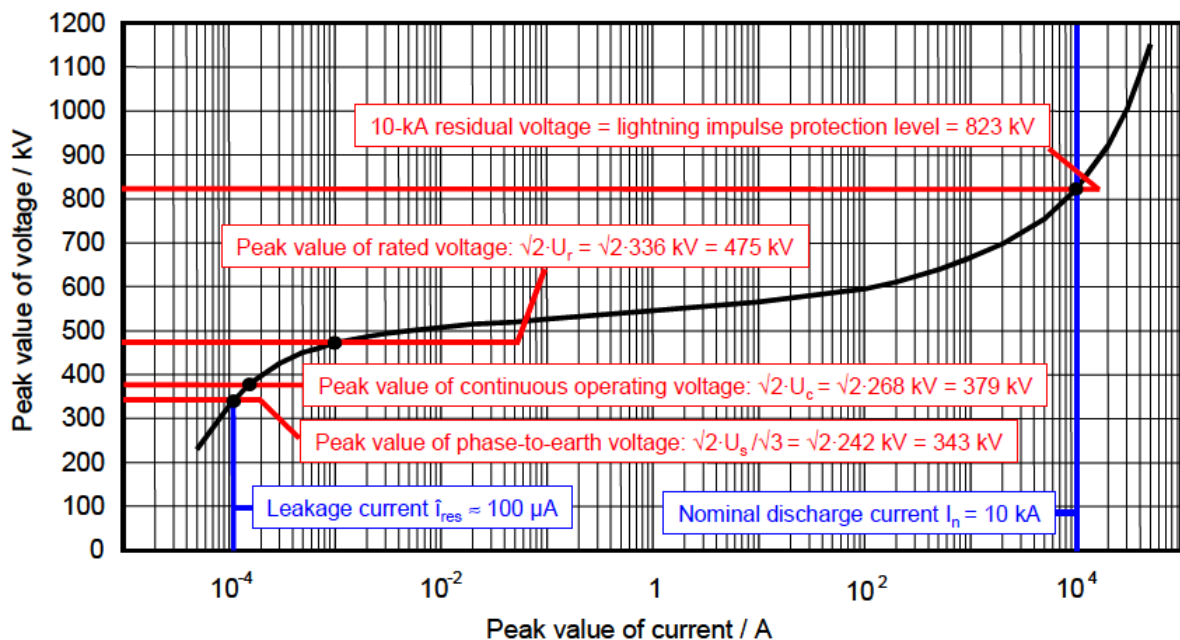
Στην παραπάνω εικόνα ο άξονας του χρόνου είναι κατά προσέγγιση διαιρεμένος στο εύρος των υπερτάσεων λόγω κεραυνού (lightning overvoltage) (microseconds), των υπερτάσεων που οφείλονται σε μεταγωγή (switching overvoltage) (χιλιοστά του δευτερολέπτου - milliseconds), των προσωρινών υπερτάσεων (δευτερόλεπτα) - τα οποία συνήθως αναφέρεται με τη συντομογραφία "TOV" - και, τέλος, τη χρονικά απεριόριστη συνεχή υψηλότερη τάση λειτουργίας του συστήματος. Η τάση ή η υπέρταση που μπορεί να επιτευχθεί χωρίς τη χρήση των αλεξικέραυνων, είναι μια τιμή αρκετών p.u. Αν κάποιος παρατηρήσει την καμπύλη της τάση αντοχής (withstand voltage) της μόνωσης του εξοπλισμού, (με τον όρο εξοπλισμό, εννοούμε τις συσκευές) μπορεί εύκολα να αντιληφθεί ότι στο εύρος των υπερτάσεων που οφείλονται σε μεταγωγή και ιδιαίτερα των υπερτάσεων λόγω κεραυνού, η μόνωση του εξοπλισμού δεν μπορεί να αντέξει την διηλεκτρική πίεση που

εμφανίζεται. Σε αυτό το σημείο, επεμβαίνει το αλεξικέραυνο και εξασφαλίζει ότι η τάση που εμφανίζεται στο τερματικό της συσκευής θα παραμείνει κάτω από τη τάση αντοχής της.

Στις μέρες μας ένας μεγάλος αριθμός αλεξικέραυνων αποτελούνται από αντιστάσεις κατασκευασμένες από ανθρακούχο πυρίτιο (silicon carbide SiC). Ωστόσο, τα αλεξικέραυνα που χρησιμοποιούνται κατά κόρον είναι αλεξικέραυνα με αντιστάσεις από μέταλλο οξειδίου (metal oxide) (MO). Τα αλεξικέραυνα αυτά δεν έχουν διάκενα και αποτελούνται από αντιστάτες που κατασκευάζονται από μέταλλο του οξειδίου (μετάλλου οξειδίου ή MO αντιστάσεις). Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των MO αντιστάσεων είναι η μη γραμμική τάσης ρεύματος ή UI χαρακτηριστική. Σαν αποτέλεσμα, δεν είναι απαραίτητη η αποσύνδεση των αντιστάσεων μέσω διάκενων σπινθηρισμού, όπως συμβαίνει στα αλεξικέραυνα με SiC αντιστάσεις. Τα ρεύματα που διέρχεται από το αλεξικέραυνο είναι εντός του εύρους των εφαρμοζόμενων συχνοτήτων τάσεων και είναι τόσο μικρά που το αλεξικέραυνο συμπεριφέρεται σαν μονωτής. Ωστόσο, ακόμα και όταν ρεύμα της τάξης των kiloampere διέρχεται από το αλεξικέραυνο, όπως συμβαίνει στην περίπτωση κεραυνού ή μεταγωγής υπερτάσεων, τότε η τάση στους ακροδέκτες του θα παραμείνει αρκετά χαμηλή ώστε να προστατεύσει τον συνδεδεμένο εξοπλισμό από τις επιπτώσεις της υπέρτασης.

3.1 UI-χαρακτηριστική

Στην ακόλουθη εικόνα φαίνονται η UI-χαρακτηριστική ενός τυπικού αλεξικέραυνου τύπου MO που συνδέεται μεταξύ φάσης και γείωσης σε ένα σταθερά γειωμένο ουδέτερο σύστημα 420-kV. Στον άξονα $y'y'$ η μέγιστη τιμή της τάσης απεικονίζεται γραμμικά, ενώ στον άξονα $x'x'$, οι μέγιστες τιμές δίνονται σε λογαριθμική κλίμακα.



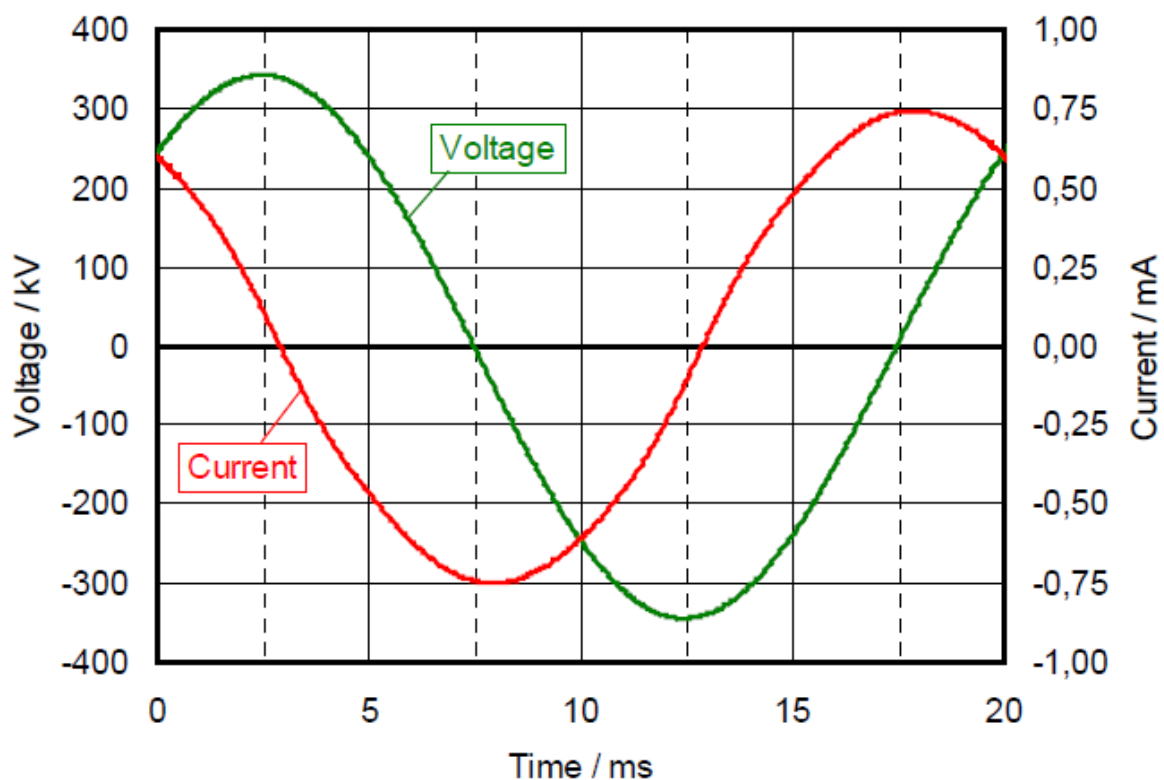
Εικόνα 19: Η U-I χαρακτηριστική ενός τυπικού MO αλεξικέραυνου

Η τάση της συχνότητας δικτύου (power-frequency voltage), ενώ εφαρμόζεται συνεχώς ρεύμα στο αλεξικέραυνο, είναι η υψηλότερη τάση του συστήματος μεταξύ φάσης και γείωσης. Στην περίπτωση αυτή η μέγιστη τιμή είναι:

$$\hat{u} = \sqrt{2} * U_S / \sqrt{3} = \sqrt{2} * 420kV / \sqrt{3} = 343kV$$

3.2 Ρεύμα διαρροής

Παράλληλα, το ρεύμα διαρροής (leakage current) ρέει μέσω του αλεξικέραυνου, το οποίο αποτελείται από ένα μεγάλο πυκνωτή και μία πολύ μικρή ωμική αντίσταση. Σαν ρεύμα διαρροής εννοούμε το ρεύμα που ρέει μέσα από το αλεξικέραυνο σε εφαρμοζόμενη συνεχή συχνότητας τάσης. Σε εναλλασσόμενη τάση, έχει μεγάλη χωρητική και μία πολύ μικρή ωμική συνιστώσα, τα οποία εξαρτώνται από τις ΜΟ αντιστάσεις που χρησιμοποιούνται. Η μέγιστη τιμή του ρεύματος διαρροής είναι συνήθως από 0,5 mA έως 2 mA. Συνολικά, το ρεύμα διαρροής είναι, όπως φαίνεται και από την ακόλουθη εικόνα, ως επί το πλείστον χωρητικό. Η UI-χαρακτηριστική απεικονίζει μόνο την ωμική συνιστώσα που εκπροσωπείται. Σε αυτό το παράδειγμα είναι $i_{res} \approx 100 \mu A$, ενώ το συνολικό ρεύμα έχει μια μέγιστη τιμή περίπου 0,75mA.



Εικόνα 20: Εφαρμοζόμενη τάση και ρεύμα διαρροής του αλεξικέραυνου

3.3 Συνεχής τάση λειτουργίας

Το επόμενο σημαντικό σημείο είναι η χαρακτηριστική συνεχή τάση λειτουργίας του αλεξικέραυτου. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC, το σύμβολο που χρησιμοποιείται για αυτό είναι το U_c . Στις Αγγλό-Αμερικάνικες περιοχές χρησιμοποιείται ο όρος MCOV (Maximum Continuous Operating Voltage -Μέγιστη Συνεχής Τάση Λειτουργίας). Ο όρος αυτός αναφέρεται στην τάση της συχνότητας δικτύου στην οποία το αλεξικέραυτο μπορεί να λειτουργήσει χωρίς κανένα περιορισμό. Όλες οι ιδιότητες του αλεξικέραυτου που έχουν αποδειχθεί σε αυτά τα tests, ισχύουν, με την προϋπόθεση ότι αυτή το αλεξικέραυτο ενεργοποιείται με τάση ισοδύναμη της συνεχή τάσης λειτουργίας του. Όπως φαίνεται στην εικόνα 25, η συνεχή τάση λειτουργίας είναι μεγαλύτερη από την υψηλότερη τάσης μεταξύ φάσης-γης. Ένα περιθώριο τουλάχιστον 5% (IEC 60099-5, ενότητα 3.2.1) συνιστάται. Με αυτό, πιθανόν αρμονικές τάσεις λαμβάνονται υπόψη. Στο επιλεγμένο παράδειγμα, το αλεξικέραυτο παρουσιάζει συνεχή τάση λειτουργίας $U_c = 268kV$, η οποία είναι τουλάχιστον 11% πιο πάνω από την υψηλότερη δυνατή συνεχή τάση φάσης-γης.

3.4 Ονομαστική τάση λειτουργίας

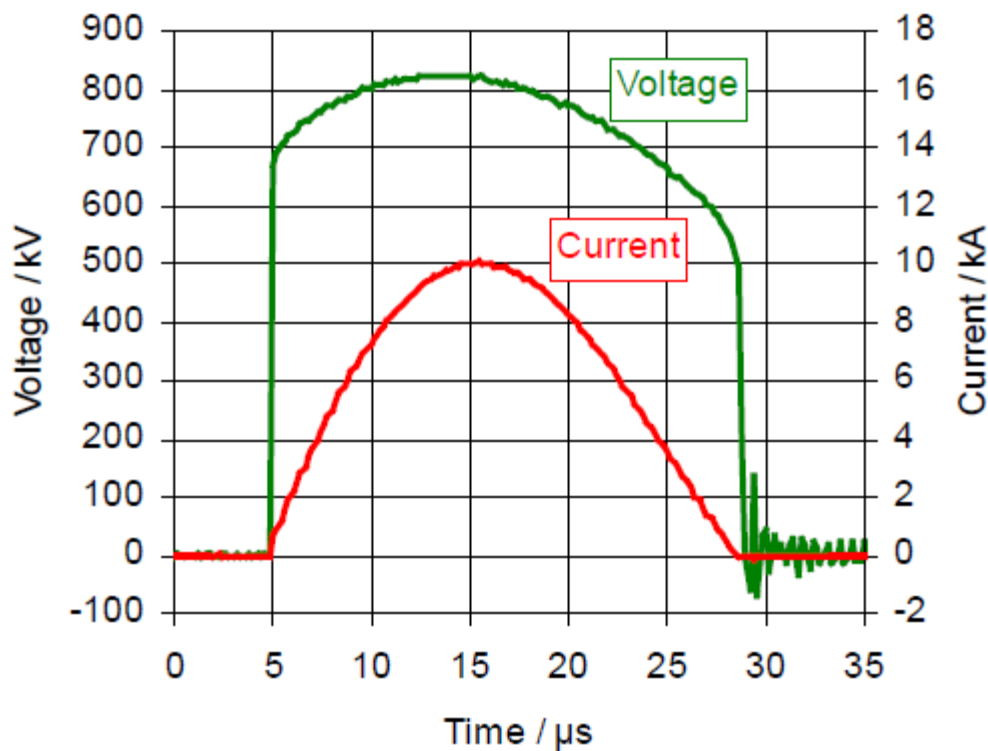
Το επόμενο χαρακτηριστικό είναι η ονομαστική τάση (rated voltage) (σύμβολο: U_r) ενός MO αλεξικέραυτου που χαρακτηρίζει την ικανότητα του αλεξικέραυτου στην αντιμετώπιση προσωρινών υπερτάσεων στο σύστημα. Μπορεί να εφαρμοστεί μόνο προσωρινά – για μία χρονική περίοδο 10 δευτερόλεπτων. Ορισμένοι κατασκευαστές επιτρέπουν ένα χρονικό διάστημα 100 δευτερολέπτων. Η χαρακτηριστική δείχνει ότι υπό αυτές τις συνθήκες υπάρχει ένα ρεύμα διαρροής της τάξης των 1 mA. Αυτό θα μπορούσε διαφορετικά να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας του αλεξικέραυτου, αλλά αυτό δεν συμβαίνει σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα (από δέκα έως εκατό δευτερόλεπτα). Η πραγματική αιτία του μικρού χρονικού διαστήματος είναι η ξαφνική μεγάλη αύξηση στην θερμοκρασία και η συχνή αύξηση στο ρεύμα διαρροής. Στην περίπτωση αυτή, η εκτεταμένη εφαρμογή της ονομαστικής τάσης θα μπορούσε να καταστήσει το αλεξικέραυτο ανίκανο να ψυχθεί και θα γινόταν θερμικά ασταθές (thermally unstable). Σαν αποτέλεσμα συνεχώς θα ζεσταινόταν μέχρι να φτάσει αυτοκαταστροφή (τη λεγόμενη θερμική διαφυγή (thermal runaway))

Η ονομαστική και η συνεχή τάση λειτουργίας του αλεξικέραυτου σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους. Ο λόγος τους ισούται σχεδόν πάντα με 1,25 με λίγες μόνο εξαιρέσεις και αυτό δεν εξαρτάται από τον κατασκευαστή. Σαν αποτέλεσμα στο επιλεγμένο παράδειγμα, η ονομαστική τάση είναι $U_r = 1.25 * U_c \approx 336kV$.

Στη συνέχεια μελετάτε η UI χαρακτηριστική σε σχέση με την συχνότητας τάσης. Η καμπύλη συνεχίζει σε μια περιοχή στην οποία ακόμη και η ελάχιστη αύξηση στην τάση οδηγεί σε σημαντική αύξηση του ρεύματος. Αυτό είναι σημαντικό για γεγονότα που διαρκούν milliseconds και microseconds, δηλαδή, για υπερτάσεις λόγω κεραυνών και τη μεταγωγής.

3.5 Επίπεδο προστασίας

Μια σημαντική παράμετρος της είναι το επίπεδο προστασίας από ένα κεραυνό (lightning impulse protective level) που φαίνεται στο Σχήμα 27. Αυτό συμβολίζει την τάση στους ακροδέκτες του αλεξικέραυνου όταν το ονομαστικό ρεύμα εκφόρτισης (nominal discharge current) ρέει μέσα στο αλεξικέραυνο. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται ρεύμα λόγω του κεραυνού (lightning current impulse). Το πλάτος του είναι της τάξης από 1,5 kA έως 20 kA, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60099-4. Για υψηλής τάσης αλεξικέραυνα (σε συστήματα με $U_s \geq 123kV$), το πλάτος είναι της τάξης των 10 kA και 20 kA. Το ονομαστικό ρεύμα εκφόρτισης σχετίζεται με τις ιδιότητες του αλεξικέραυνου. Για παράδειγμα, δύο 10kA αλεξικέραυνα μπορεί να έχουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, στην εικόνα 27, έχει επιλεγθεί ένα 10kA αλεξικέραυνο με επίπεδο προστασίας από ένα κεραυνό ίσο με 823 kV το οποίο ότι όταν μία τάση μέγιστης τιμής 823 kV πέφτει στους ακροδέκτες κατά την αποτύπωση ενός κεραυνικού ρεύματος ώθησης των 8 μs της πλασματικού χρόνου (virtual front time), 20 μs εικονικού χρόνου για μισή αξία στην ουρά (virtual time to half-value on the tail) και μία μέγιστη τιμή των 10 kA. Αυτές οι σχέσεις απεικονίζονται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 21: Τάση και ονομαστικό ρεύμα εκφόρτισης του αλεξικέραυνου

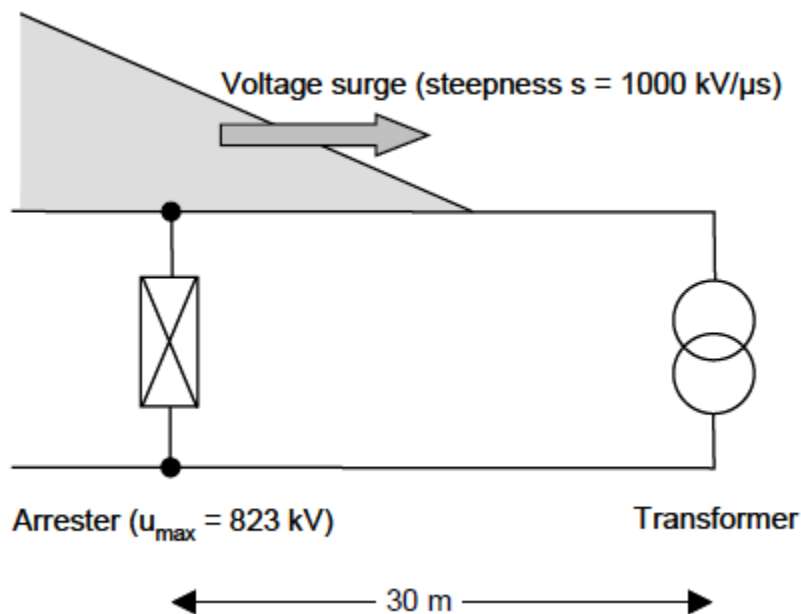
Επίπεδο προστασίας από ένα κεραυνό των 823 kV σημαίνει ότι η μέγιστη τιμή της τελικής τάσης κατά την διάρκεια της εκφόρτισης, ξεκινώντας από κανονική τάση λειτουργίας αυξάνεται κατά ένα παράγοντα 2,4, ο οποίος προκύπτει αν διαιρέσουμε το 823 kV με το 343 kV, ενώ ταυτόχρονα το πλάτος αυξάνεται κατά οκτώ δεκάδες μεγέθους (από 100 μA έως 10 kA). Αυτό τεκμηριώνει τη μη-γραμμικότητα της χαρακτηριστικής τάσης-ρεύματος του αλεξικέραυνου.

Συσκευές των 420kV έχουν συνήθως μία πρότυπη αντοχή τάσης στους κεραυνούς (standard lightning impulse withstand voltage) των 1425 kV. Στην πραγματικότητα, η τάση αυτή, δεν επιτυγχάνεται πάντα. Σύμφωνα με τον οδηγό IEC 60071-2, η υψηλότερη τάση που μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση μιας συσκευής σε λειτουργία η οποία δεν διαθέτει εξοπλισμό προστασίας από υπερτάσεις, θα πρέπει να παραμείνει κάτω από την παραπάνω

τιμή κατά ένα παράγοντα 1,15, δηλαδή, να μην υπερβαίνει τα 1239kV. Παρόλα αυτά, η προστασία έναντι των κεραυνών στα 823kV των δοκιμασμένων αλεξικέραυνων φαίνεται να προσφέρει επαρκή προστασία. Θα πρέπει, ωστόσο, να σημειωθεί ότι η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει μια τάση στους ακροδέκτες του αλεξικέραυνου (a voltage across the arrester terminals), που προκαλείται από τη ροή ενός ιδανικού τυποποιημένου δοκιμαστικού ρεύματος στο ίδιο επίπεδο με ονομαστική ρεύμα εκφόρτισης του αλεξικέραυνου.

Τρεις σημαντικοί παράγοντες επιτρέπουν τους ακροδέκτες του εξοπλισμού να προστατευτούν ακόμα και σε πολύ υψηλότερη τιμή:

- **Διαδρομή κυματικών διεργασιών:** οι ραγδαία αυξανόμενες υπερτάσεις εξαπλώνονται με τη μορφή κυμάτων που ταξιδεύουν (traveling waves) κατά μήκος της γραμμής. Στα σημεία που η κυματική αντίσταση (surge impedance) της γραμμής αλλάζει, παρατηρούνται τα φαινόμενα της διάθλασης και της ανάκλασης. Ειδικά, ένα κύμα τάσεως μπορεί να διαθλαστεί εντελώς όταν φτάνει στο άκρο της γραμμής. Το επίπεδο τάσης σε κάθε στιγμή και σε κάθε σημείο ισούται με το άθροισμα των στιγμιαίων τιμών κάθε κύματος τάσης. Έτσι, στο τέλος αυτή η τιμή θα διπλασιαστεί. Ένας συνδεδεμένος μετασχηματιστής έχει παρόμοια συμπεριφορά με ένα τερματισμένο τέλος αφού η εκκαθάριση της επαγωγικότητας για πολύ γρήγορες λειτουργίες παρουσιάζει μία πολύ μεγάλη αντίσταση σε σύγκριση με την κυματική αντίσταση (surge impedance) της γραμμής. Οι συνέπειες εξηγούνται μέσω ενός απλουστευμένου παραδείγματος όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα (Σχήμα 28).



Εικόνα 22: Απλοποιημένο παράδειγμα για να δείξουμε το επίπεδο προστασίας ενός αλεξικέραυνου

Ένα κύμα υπέρτασης με κλίση $1000 \text{ kV}/\mu\text{s}$ τρέχει προς ένα μετασχηματιστή. Η διάδοση ενός τέτοιου κύματος σε μια εναέρια γραμμή, όπως σε αυτό το παράδειγμα, τρέχει με την ταχύτητα του φωτός, δηλαδή με $300.000 \text{ km}/\text{s}$ ή $300 \text{ m}/\mu\text{s}$. Υποτίθεται ότι το αλεξικέραυνο είναι ιδανικό, και συμπεριφέρεται σαν μονωτής μέχρι το επίπεδο τάσης των 823 kV , ενώ οι υψηλότερες υπερτάσεις περιορίζονται στα 823 kV . Το κύμα υπέρτασης αρχικά περνά από το αλεξικέραυνο και φτάνει στο

μετασχηματιστή $0,1 \mu s$ αργότερα, ο οποίος είναι ο χρόνος διάδοσης για τα $30 m$ μήκος μεταξύ του αλεξικέραυνου και του μετασχηματιστή. Σε αυτό το χρονικό διάστημα, η τάση στο αλεξικέραυνο έχει τιμή $1000 kV / \mu s \cdot 0,1 \mu s = 100 kV$. Έτσι, το αλεξικέραυνο συμπεριφέρεται σαν μονωτής. Στο μετασχηματιστή το κύμα ανακλάται. Αυτός είναι ο λόγος που ένα επιπρόσθετο σήμα τάσης, με το ίδιο σχήμα και πολικότητα, ανακλάται. Η υπέρθεση δύο σημάτων αυξάνουν την τάση στον μετασχηματιστή με διπλάσια ταχύτητα, κατά συνέπεια φτάνει τα $2000 kV / \mu s$. Όμοια με παραπάνω, θα είναι $2000 kV / \mu s \cdot 0,1 \mu s = 200 kV$. Την ίδια στιγμή το κύμα που έχει ανακλαστεί, έχει φτάσει στο αλεξικέραυνο, του οποίου η τάση μέχρι σε αυτό το σημείο έχει αυξηθεί και κατά συνέπεια, έχουμε τάση των $200 kV$. Πλέον, το αρχικό και τα ανακλώμενα σήματα υπερτίθενται στο αλεξικέραυνο, και η τάση έχει κλίση $2000 kV / \mu s$ όχι μόνο στο μετασχηματιστή, αλλά και στο αλεξικέραυνο. Η κατάσταση στο αλεξικέραυνο δεν αλλάζει έως ότου η τάση στους ακροδέκτες του να έχει φτάσει την τιμή των $823 kV$. Σύμφωνα όμως με την αρχική υπόθεση, υψηλότερες τιμές δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν. Σύμφωνα με τους κανόνες των κυματικών διεργασιών, αυτό δεν μπορεί παρά να επιτευχθεί εάν ένα αρνητικό κύμα τάσης με κλίση του $2000 kV / \mu s$ απλώνεται κατά μήκος και των δύο πλευρών του αλεξικέραυνο. Η υπέρθεση του αρχικού σήματος με αυτό που αντανακλάται από τον μετασχηματιστή, και με αυτό που ανακλάται από το αλεξικέραυνο, διατηρούν την τάση στο αλεξικέραυνο να διατηρείται στην σταθερή τιμή των $823 kV$. Ακόμα ένα $0,1 \mu s$ περνάει - ο χρόνος διάδοσης που απαιτείται για τα $30 m$ μεταξύ του αλεξικέραυνο και του μετασχηματιστή - πριν το αρνητικό κύμα που ανακλάται από το αλεξικέραυνο φτάσει στο μετασχηματιστή. Κατά τη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος, η τάση έχει ήδη αυξηθεί κατά $200 kV$. Ως εκ τούτου, έχει ήδη τιμή των $1023 kV$. Σε αυτή την περίπτωση όμως συμβάλει το αλεξικέραυνο και μειώνει την τάση.

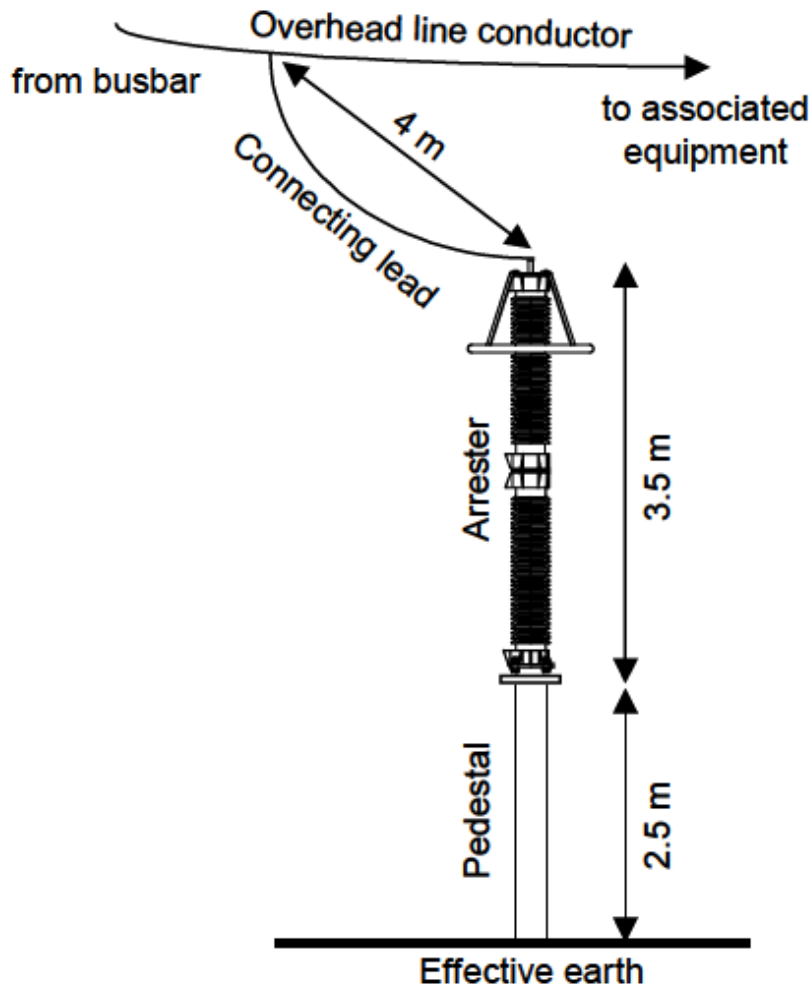
Το παραπάνω παράδειγμα δείχνει ότι ο εξοπλισμό μπορεί να προστατευθεί για πολύ υψηλότερη τάση από αυτό που διασχίζει στο αλεξικέραυνο. Η ακριβής τάση εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ του αλεξικέραυνο και της συσκευής που πρέπει να προστατευτεί, και την κλίση της υπέρτασης (το ίδιο παράδειγμα με διπλάσια απόσταση και μόνο 10% μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης για την τάση θα μπορούσε να προκαλέσει μέγιστη επιτρεπόμενη τάση $1239 kV$). Το παραπάνω παράδειγμα, καθιστά σαφές γιατί το αλεξικέραυνο έχει μόνο μια περιορισμένη προστατευτική ζώνη (protective zone).

- **Πτώση επαγωγικής τάσης:** Η διαδρομή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα του ρεύματος εκφόρτισης από στην εναέρια γραμμή μέχρι το άκρο του αλεξικέραυνο και από το άλλο άκρο του αλεξικέραυνο μέχρι το έδαφος είναι δέκα μέτρα. Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε $1 \mu H$ ανά μέτρο (τυπική επαγωγή ενός τεντωμένου αγωγού σε μεγάλη απόσταση από άλλα γειωμένο μέρη), η επαγωγικότητα του είναι $10 \mu H$. Σε ακραίες περιπτώσεις, η κλίση του ρεύματος που προέρχεται από κεραυνό μπορεί να φτάσει έως $10 kA / \mu s$. Υπό αυτές τις συνθήκες η επαγωγική πτώση τάσης της διάταξης του παρακάτω σχήματος είναι:

$$u = L \cdot \frac{di}{dt} = 10 \mu H \cdot 10 kA / \mu s = 100 kV$$

Αυτό δεν εμφανίζονται ταυτόχρονα στην μέγιστη τιμή της τάση του αλεξικέραυνο. Ωστόσο, αυτή τα $100 kV$ δείχνουν την τάξη μεγέθους των πιθανών

επαγωγικών πτώσεων τάσης που μπορούν να υπερκαλύψουν την τρέχουσα τάση του αλεξικέρανου.



Εικόνα 23: Τυπική διάταξη ενός αλεξικέρανου

- **Εκφόρτιση ρευμάτων υψηλότερων από την ονομαστική τιμή ρεύμα εκφόρτισης του αλεξικέρανου:** το επίπεδο προστασίας του αλεξικέρανου ορίζεται ως η εναπομένουσα τάση στην εκφόρτιση του ονομαστικού ρεύματος. Υψηλότερα ρεύματα εκφόρτισης μπορεί να παρουσιαστούν. Το αλεξικέρανο μπορεί να αντέξει, αλλά αυτό οδηγεί σε υψηλότερη υπολειμματική τάση στα άκρα του και εξαρτάται από την μορφή της U-I χαρακτηριστικής.

Έτσι, κατά την επιλογή του επιπέδου προστασίας ενός αλεξικέρανου, ορισμένες λεπτομέρειες πρέπει να εξεταστούν, όπως η απόσταση μεταξύ του αλεξικέρανου και της συσκευής που πρέπει να προστατευτεί, τη διαμόρφωση του υποσταθμού ή την τυπική υπέρταση στο σύστημα. Συνήθως ένας παράγοντας τουλάχιστον 1,4 μεταξύ της πρότυπης αντοχής τάσης στους κεραυνούς της συσκευής που πρέπει να προστατευτεί και το επίπεδο προστασίας του αλεξικέρανου από ένα κεραυνό οδηγεί σε επαρκή προστασία έναντι των απότομων υπερτάσεων (fast-front overvoltages). Σε προβληματικές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα, πολύ απότομες υπερτάσεις (very-fast-front overvoltages), ή όταν υπάρχουν ασυνήθιστα μεγάλες αποστάσεις μεταξύ του αλεξικέρανου και της συσκευής που πρέπει να

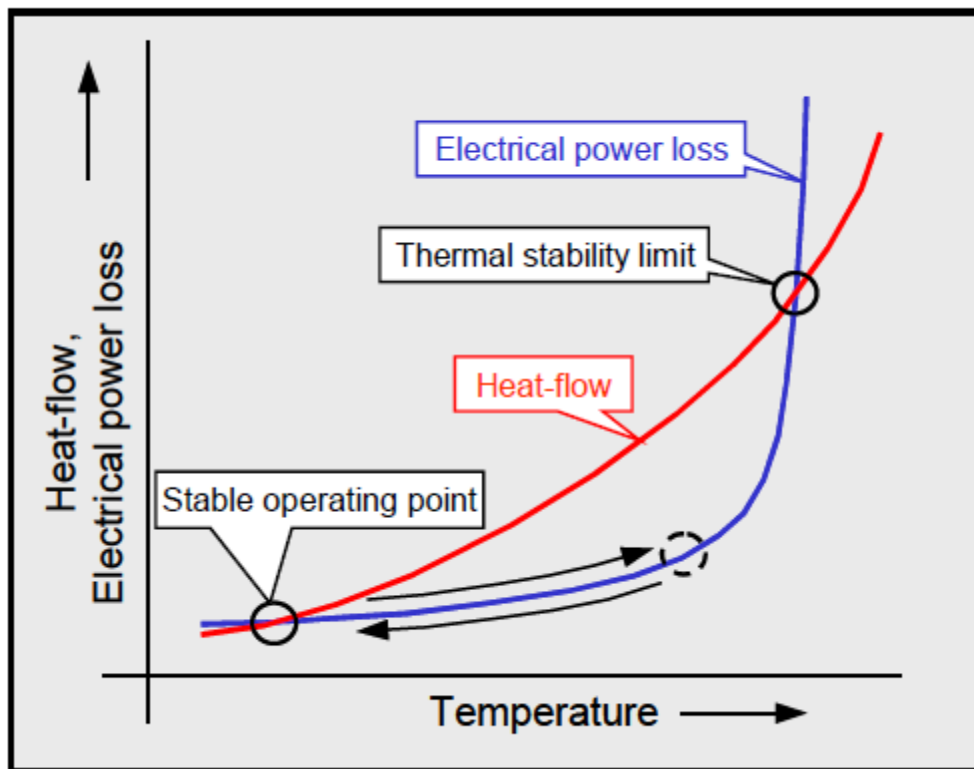
προστατεύεται, η προστατευτική δράση του αλεξικέραυνου πρέπει να ελεγχτεί με λεπτομερείς υπολογισμούς

3.6 Απορρόφηση ενέργειας

Δεν αρκεί μόνο η διαμόρφωση του αλεξικέραυνου για σταθερή συνεχή λειτουργία (εύρος ρεύματος διαρροής από τη UI-χαρακτηριστική) και η επιλογή αρκετά χαμηλού προστατευτικού επίπεδου. Το αλεξικέραυνο θα πρέπει να διαθέτει την απαιτούμενη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας (energy absorption capability) για κάθε ξεχωριστή εφαρμογή. Για να επιτευχθεί αυτό, δύο διαφορετικές πτυχές πρέπει να ληφθούν υπόψη:

Η ενέργεια που εγχέεται στιγμιαία κατά τη διάρκεια μιας εκκένωσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει μια τιμή στην οποία οι ΜΟ αντιστάσεις θα καταπονηθούν θερμικά και μηχανικά. Αυτό αναφέρεται σαν ικανότητα απορρόφησης ενέργειας λόγω υπερφόρτωσης (single impulse energy absorption capability) ενός αλεξικέραυνου. Η ενέργεια που εγχέεται μέσα σε λίγα μόνο microseconds ή milliseconds προκαλεί ξαφνική αύξηση της θερμοκρασίας που συνδέεται με μεγάλης έντασεως θλιπτικές δυνάμεις που δρουν στο κεραμικό της ΜΟ αντίστασης. Αυτό μπορεί να προκαλέσει ρωγμές ή ακόμη και το σπάσιμο των αντιστάσεων. Αυτό ενισχύεται από την ανομοιογένεια στο κεραμικό της ΜΟ αντίστασης, η οποία παρά την πρόοδο της τεχνολογίας είναι ουσιαστικά αναπόφευκτη. Είναι δυνατόν να προκαλέσουν τοπικά μόνο περιορισμένη υπερθέρμανση του κεραμικού σε περίπτωση εξαιρετικά υψηλού ρεύματος και πυκνότητας ενέργειας. Δεδομένου ότι η θερμότητα δεν μεταδίδεται αρκετά γρήγορα στα γειτονικά υλικά, εμφανίζονται επιπλέον θερμο-μηχανικές καταπονήσεις. Με παρόμοιο τρόπο, μπορούν να δημιουργηθούν ζεστά κανάλια στις ανομοιογενείς περιοχές, που μπορούν να οδηγή στο τρύπημα της αντίστασης. Η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας λόγω υπερφόρτωσης είναι μια χαρακτηριστική ιδιότητα της ΜΟ αντίστασης που παρεμβάλλεται στο αλεξικέραυνο και δεν εξαρτάται από τον υπόλοιπο σχεδιασμό. Καθορίζεται από τον κατασκευαστή με ένα επαρκές περιθώριο ασφάλειας για τα πραγματικά όρια.

Εντελώς διαφορετικά πλαίσια ισχύουν για την ικανότητα θερμικής απορρόφησης ενέργειας (thermal energy absorption capability). Αυτό ορίζεται ως η μέγιστη ενέργεια που εγχέεται εντός του αλεξικέραυνου, από την οποία μπορεί να επανέλθει στην κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του. Στην ακόλουθη εικόνα μπορούμε να δούμε αυτό το πρόβλημα.



Εικόνα 24: Θερμική σταθερότητα αλεξικέρανου

Η απώλεια ηλεκτρικού ρεύματος που προκύπτει από τη συνεχή εφαρμογή της συχνότητας τάσης του δικτύου εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Αυξάνεται δυσανάλογα καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται. Από την άλλη πλευρά, λόγω του σχεδιασμού του, το αλεξικέρανο μπορεί να διαχέει μόνο μία περιορισμένη ποσότητα θερμότητας στο περιβάλλον. Η ροή θερμότητα (heat-flow) αυξάνεται τη θερμοκρασία, όχι όμως τόσο πολύ όσο η ηλεκτρική απώλεια ισχύος. Και οι δύο καμπύλες ενέργειας έχουν δύο κοινά σημεία τομής. Το αριστερό είναι ένα σταθερό σημείο λειτουργίας (operating point). Σε αυτό το σημείο διαχέεται προς τα έξω όσο τον δυνατόν περισσότερη θερμότητα, οπότε επικρατεί θερμική ισορροπία. Ωστόσο, μια εκκένωση μπορεί να διαταράσσει την ισορροπία αυτή. Η επιπλέον ενέργεια που προκύπτει, αυξάνει τη θερμοκρασία γρήγορα, και το σημείο λειτουργίας μετατοπίζεται δεξιά στην καμπύλη απώλεια ισχύος, όπως φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα. Εφόσον δεν φτάσει το δεξιό σημείο τομής των καμπυλών, η θερμότητα που παράγεται από την απωλειών ηλεκτρικής ισχύος, μπορεί εύκολα να διαχυθεί στο περιβάλλον, και το αλεξικέρανο να επιστρέψει στο σταθερό σημείο λειτουργίας του. Εάν, όμως, ξεπεραστεί το δεξιό σημείο λειτουργίας, τότε η ψύξης του αλεξικέρανου δεν είναι πλέον δυνατή. Σε αυτή την περίπτωση, το αλεξικέρανο μεταβαίνει σε μία θερμικά ασταθή κατάσταση και θερμαίνεται μέχρι να αυτο-καταστρέφει. Αυτό το σημείο τομής, επομένως, αντιπροσωπεύει όριο θερμικής σταθερότητας (thermal stability limit). Η θερμική ικανότητα απορρόφησης ενέργειας καθορίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η αύξηση της θερμοκρασίας φέρνει το αλεξικέρανο σε μία θερμοκρασία η οποία εξασφαλίζει ένα επαρκές περιθώριο ασφαλείας στο θερμικό όριο σταθερότητας. Το πραγματικό θερμικό όριο σταθερότητας εξαρτάται από το συνολικό σχεδιασμό του αλεξικέρανου και είναι συνήθως μεταξύ $170^{\circ}C$ και $200^{\circ}C$.

Και οι δύο ορισμοί της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας που αναφέρεται παραπάνω δεν προσδιορίζονται σε κάποιο πρότυπο. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60099-4 για τα ΜΟ αλεξικέραυνα χωρίς κενά, η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας περιγράφεται μόνο μέσω της γραμμής τάξης εκκένωσης (line discharge class). Ορισμός του είναι, όμως, περιπλέκεται.

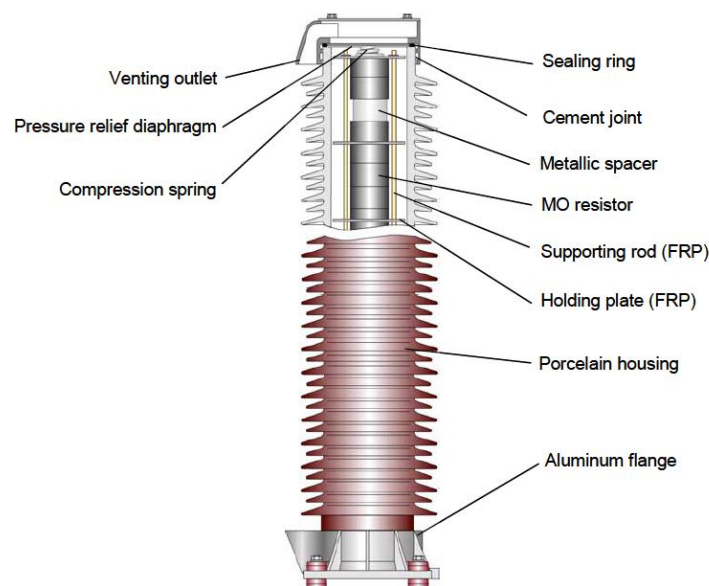
Όσον αφορά την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας, πρέπει αναφερθεί ότι τα αλεξικέραυνα συνήθως σχεδιάζονται για να διοχετεύσουν στο έδαφος ένα μέρος μόνο του ρεύματος που εισάγεται στην εναέρια γραμμή αγωγού στην περίπτωση πτώσης κεραυνού. Σε αυτή την περίπτωση, θεωρούμε ότι η υπέρταση που εμφανίζεται στην εναέρια γραμμή, θα προκαλέσει ανάφλεξη ενός ή περισσότερων μονωτών της γραμμής. Οπότε, το μεγαλύτερο μέρος της επιβάρυνσης εκτρέπεται μέσω των αλεξικέραυνων προς το έδαφος. Μόνο οι υπερτάσεις που περιορίζεται στο μονωτή ανάφλεξης τάσης θα φτάσουν τελικά τους σταθμούς και μόνο αυτές θα πρέπει να περιοριστούν από τα αλεξικέραυνα του σταθμού και το φορτίο τους να διοχετευτεί στο έδαφος.

Σε μεσαίας τάσης συστήματα διανομής, τα αλεξικέραυνα τοποθετούνται σε ολόκληρο το δίκτυο. Μόλις, κάποιος κεραυνός χτυπήσει μία γραμμή κοντά στο αλεξικέραυνο, αυτό μπορεί να γίνει ελάχιστα αντιληπτό από τους μονωτές. Αυτό είναι γνωστό ως κοντινό άμεσο χτύπημα κεραυνού (nearby direct lightning stroke) και αποτελεί μία κοινή αιτία για την αποτυχία των αλεξικέραυνων σε αυτά τα συστήματα. Έχουν γίνει προσπάθειες για να αποφευχθεί αυτό σε υψηλής τάσης μεταφοράς συστήματα με τη βελτίωση της θωράκισης της γραμμής, για παράδειγμα, με την εγκατάσταση ενός δεύτερου καλωδίου δίπλα στο σταθμό.

Κεφάλαιο 4: Σχεδιασμός Metal Oxide Αλεξικέραυνων

Το γεγονός ότι δεν υπάρχει πλέον ανάγκη για διαδοχικά διάκενα (serials gaps), τα οποία ήταν απαραίτητα στην περίπτωση των SiC αλεξικέραυνων με διάκενα, έχει απλοποιήσει κατά πολύ το σχεδιασμό των αλεξικέραυνων. Στην πραγματικότητα, ορισμένα σχέδια πολυμερών στεγασμένων αλεξικέραυνων ήταν αδύνατον να κατασκευαστούν μέχρι να προταθεί η metal-oxide τεχνική χωρίς διάκενα. Για να επιτευχθεί αυτό, τα MO αλεξικέραυνα θα πρέπει να αποτελούνται από ένα μόνο ενεργό στοιχείο, την στήλη της MO αντίστασης. Έτσι, οι metal-oxide (MO) αντιστάσεις συγκεντρώνουν όλες τις λειτουργίες που προηγουμένως κατανέμονταν στα διάφορα συστατικά των αλεξικέραυνων με διάκενα. Αυτό συνεπάγεται ότι οι αντιστάσεις αυτές θα πρέπει να είναι ανθεκτικές στο χρόνο αφού υποβάλλονται συνεχώς σε εφαρμοζόμενη τάση λειτουργίας. Επιπλέον θα πρέπει να μπορούν να απορροφούν την ενέργεια που ελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης, καθώς και να περιορίσει τη διαρροή του ρεύματος σε τιμές αρκετά μικρές ώστε να πετύχει σταθερή θερμική λειτουργία. Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω είναι απαραίτητη, η ανάπτυξη και η κατασκευή των MO αντιστάσεων. Παρότι η παραγωγή MO αντιστάσεων είναι πιο περίπλοκη από εκείνη των αντιστάσεων SiC.

4.1 MO (Metal Oxide) αντιστάσεις



Εικόνα 25: Διατομή ενός MO αλεξικέραυνου με περίβλημα πορσελάνης

Η παραπάνω εικόνα δείχνει την διατομή ενός MO αλεξικέραυνου το οποίο έχει περίβλημα από πορσελάνη και εφαρμόζεται σε συστήματα υψηλής τάσης. Η στήλη της MO αντίστασης (MO resistor column) αποτελεί το πραγματικό ενεργό μέρος του αλεξικέραυνου. Η στήλη της MO αντίστασης αποτελείται από μεμονωμένες MO αντιστάσεις, οι οποίες τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη. Οι MO αντιστάσεις συνήθως παράγονται έχοντας κυλινδρική μορφή όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η διάμετρός τους καθορίζει την ενεργειακή απορρόφηση και την ικανότητά μεταφοράς ενέργειας. Κυμαίνεται γύρω στα 30mm όταν χρησιμοποιούνται για συστήματα διανομής και από 100mm ή περισσότερο

όταν χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές υψηλής ή πολύ υψηλής τάσης συστήματα που απαιτείται υψηλή δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας. Σε περίπτωση πολύ υψηλών απαιτήσεων τα ενεργά τμήματα συνδυάζονται με μία multi-column τεχνική, στην οποία δύο ή περισσότερες στήλες ενεργών στοιχείων συνδέονται παράλληλα.



Εικόνα 26: Metal Oxide Αντιστάσεις

Οι MO αντιστάσεις ποικίλουν σε ύψος, ξεκινώντας από 20 mm έως 45 mm. Το ύψος σχετίζεται κυρίως με την παραγωγή και εξαρτάται με τα διαθέσιμα εργαλεία και τις εγκαταστάσεις παραγωγής. Παρόλα αυτά, δεν είναι δυνατόν να κατασκευαστεί κάθε ύψος αντίστασης, δεδομένου ότι όσο υψηλότερη είναι μία αντίσταση, τόσο πιο δύσκολο είναι να επιτευχθεί ομοιογένεια στο υλικό της αντίστασης κατά την διάρκεια κατασκευής της. Τέλος το ύψος κάθε αντίστασης εξαρτάται από την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας και την επαναληψιμότητα συγκεκριμένων τεχνικών δεδομένων.

Η υπολειμματική τάση (residual voltage) ανά χιλιοστό ύψους κατά τη διάρκεια διαρροής ρεύματος κεραυνού φτάνει την μέγιστη τιμή των 10 kA, το οποίο είναι γνωστό με την ορολογία 10 kA residual voltage. Ξεκινά περίπου από 450 V/mm για μια τυπική MO αντίσταση σε ένα αλεξικέρανο διανομής (distribution arrester) διαμέτρου 32 mm μέχρι 280 V/mm για ένα αλεξικέρανο που χρησιμοποιείται σε ένα 420-kV-σύστημα (διαμέτρου 70 mm). Για παράδειγμα, στην περίπτωση που έχουμε αντίσταση ύψους 45mm έχει 10kA υπολειμματική τάση (residual voltage) περίπου 12,5 kV.

Το μήκος του ενεργού τμήματος είναι ανάλογο του μήκους του περιβλήματος, και τοποθετείται μέσω μεταλλικών διαχωριστικών (metallic spacers). Στις απλούστερες περιπτώσεις, υπάρχουν σωλήνες αλουμινίου των οποίων τα άκρα είναι καλυμμένα με σκοπό να πετύχουν ομοιόμορφα κατανομημένη πίεση επαφής (distributed contact pressure). Ωστόσο, μερικές φορές, προστίθενται συμπαγή κομμάτια αλουμινίου, τα οποία χρησιμοποιούνται σαν δεξαμενές θερμότητας έτσι ώστε να αυξάνουν την θερμική ικανότητα απορρόφησης ενέργειας των αλεξικέρανων.

4.2 Τοποθέτηση MO αντιστάσεων

Οι ΜΟ αντιστάσεις στοιβάζονται η μία πάνω στην άλλη με τέτοιο τρόπο ώστε να στερεώνονται μηχανικά από το περίβλημα. Στόχος είναι από την μία να εξασφαλίσουμε ότι το ενεργό στοιχείο δεν θα μετακινηθεί από την αρχική του θέση κατά τη μεταφορά ή όταν εγκατασταθεί με τέτοιο τρόπο που δεν είναι κάθετος. Από την άλλη, είναι απαραίτητη μια αξονική πίεση επαφής (axial contact pressure), έτσι ώστε να είναι εύκολα διατηρήσιμες οι εφαρμοζόμενες τάσεις. Υπάρχουν αρκετοί υποστηρικτικοί ράβδοι (supporting rods) οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από FRP (fiber-glass ενισχυμένο πλαστικό). Αυτοί περικυκλώνουν την στήλη της ΜΟ αντίστασης σαν κλουβί. Υπάρχουν επίσης και πλάκες (holding plates), επίσης κατασκευασμένες από FRP. Αυτές τοποθετούνται ανά τακτά διαστήματα, από τη μία πλευρά, με σκοπό να αποτραπεί η καμπή των υποστηρικτικών ράβδων αλλά και η χαλάρωση της κατασκευής προς τα τοιχώματα του περιβλήματος. Τέλος όπως βλέπουμε στην εικόνα 1, υπάρχει ένα ισχυρό ελατήριο συμπίεσης το οποίο συνδέεται στο άνω άκρο της στήλης της ΜΟ αντίστασης και στηρίζει το ενεργό μέρος στο περίβλημα.

Υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις τόσο στις ηλεκτρικές όσο και στις μηχανικές ιδιότητες της κατασκευής στήριξης (supporting construction). Θα πρέπει να σχεδιαστεί και να εφαρμοστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει ηλεκτρική εκκένωση σε κάθε συνθήκη λειτουργίας. Επιπροσθέτως θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή μηχανική αντοχή, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, να προφυλάσσει την αντίσταση από τη διάβρωση, να έχει τη δυνατότητα επιβράδυνσης της φλόγας και ιδιότητες αυτό-αποσβέσεως σε περίπτωση πυρκαγιάς.

4.3 Περίβλημα ΜΟ αλεξικέραυνων

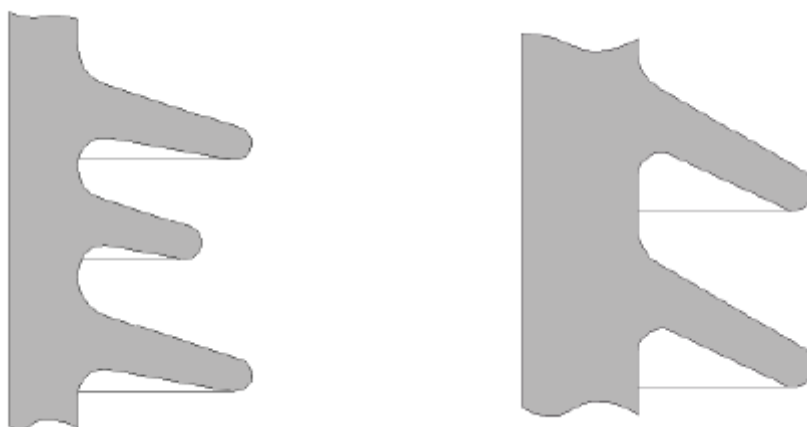
Μέχρι πρόσφατα, κυρίως για τις υψηλές τάσεις στις περισσότερες περιπτώσεις, χρησιμοποιούταν μόνο πορσελάνη για το περίβλημα του αλεξικέραυνου. Τα άκρα του περιβλήματος είναι ενισχυμένα με φλάντζες αλουμίνιου (aluminum flanges), οι οποίες εφαρμόζονται με τη χρήση τσιμέντου. Όταν επιλέγονται υλικά αλουμινίου για εξωτερική χρήση, δεν χρειάζεται εξωτερική βαφή για τις φλάντζες. Το θείο τσιμέντου είναι η πρώτη επιλογή για την τσιμέντωση. Έρχεται εύκολα σε επαφή με το αλουμίνιο χωρίς να προκαλεί διάβρωση, και υποβάλλονται σε επεξεργασία γρήγορα να, αφού σχεδόν μετά την εφαρμογή φτάνει ήδη την τελική μηχανική αντοχή του.

Ο μονωτής πορσελάνης παράγεται σε διάφορες ποιότητες, οι ελάχιστες τεχνικές απαιτήσεις καθορίζονται σε διάφορα πρότυπα όπως για παράδειγμα το IEC 60672-3. Οι δύο συνηθέστεροι τύποι περιβλήματος που χρησιμοποιούνται είναι η πορσελάνη χαλαζία (quartz porcelain) και η πορσελάνη τύπου alumina (alumina porcelain). Υψηλότερη μηχανική αντοχή επιτυγχάνεται με την πορσελάνη τύπου alumina. Σημαντική επίδραση στην μηχανική αντοχή έχει το βερνίκι (glaze), το οποίο εφαρμόζεται τόσο εξωτερικά, όσο και εσωτερικά στα τοιχώματα της πορσελάνης. Επίσης, η αντοχή του περιβλήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την γεωμετρία της πορσελάνης. Όχι μόνο το πάχος του τοιχώματος, αλλά επίσης και η διάμετρος παίζουν σημαντικό ρόλο. Όσο υψηλότερης τάσης είναι το σύστημα, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις για μηχανική αντοχή όποτε τόσο μεγαλύτερη η διάμετρος της πορσελάνης που θα επιλεγεί.

Το χρώμα του βερνικιού (glaze) δεν έχει τεχνική σημασία. Ωστόσο, το χρώμα που χρησιμοποιείται συνηθέστερα είναι το καφέ (χρώμα RAL 8016). Στις αγγλο-αμερικάνικες περιοχές, προτιμάται ένας ελαφρύ γκριζο τόνος. Το χρώμα έχει επίδραση στην εσωτερική θερμοκρασία του αλεξικέραυνου, λόγω της διαφορετικής ισχύς θερμικής εκπομπής και των

συντελεστών απορρόφησης. Παρόλα αυτά η συνολική επίδραση του χρώματος παραμένει αμελητέα οπότε για πρακτικούς λόγους, δεν λαμβάνεται υπόψη

Εκτός από την προστασία του ενεργού στοιχείου από τις περιβαλλοντικές επιδράσεις, το περίβλημα του αλεξικέραυνου πρέπει επίσης να παρέχει ένα επαρκές μήκος ερπυσμού (creepage distance). Για το λόγο αυτό είναι εξοπλισμένο με υπόστεγα (sheds) ο σχεδιασμός των οποίων διαφέρει σε μεγάλο βαθμό. Ο σχεδιασμός του υπόστεγου (αποστάσεις, προεξοχές, κλίσεις) γίνεται σύμφωνα με το IEC 60815. Το πιο αξιοσημείωτο είναι η διαφορά μεταξύ του εναλλακτικού (alternative shed profile) και το κανονικό (normal shed profile) υπόστεγο όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Το πλεονεκτήματα του εναλλακτικού προφίλ είναι ότι αποτρέπει την εμφάνιση του συνεχούς αγωγίμου στρώματος στην επιφάνεια. Σαν αποτέλεσμα, ένα μεγάλο ποσοστό του μήκος ερπυσμού σε σχέση με το συνολικό μήκος μπορεί να επιτευχθεί, το οποίο σε οποιαδήποτε απαιτήσεις απόστασης ερπυσμού οδηγεί σε μικρότερο περίβλημα. Στην τεχνητές δοκιμασίες ρύπανσης σε ομίχλη άλατος (σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60507), το εναλλακτικού υπόστεγο λειτουργεί σε σχέση με το κανονικό προφίλ. Από την άλλη το κανονικό υπόστεγο, αποδεικνύεται ότι έχει καλύτερες ιδιότητες αυτό-καθαρισμού υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Σε κάθε περίπτωση, η εμπειρία του κατασκευαστή βοηθάει στην επιλογή του κατάλληλου υπόστεγου.

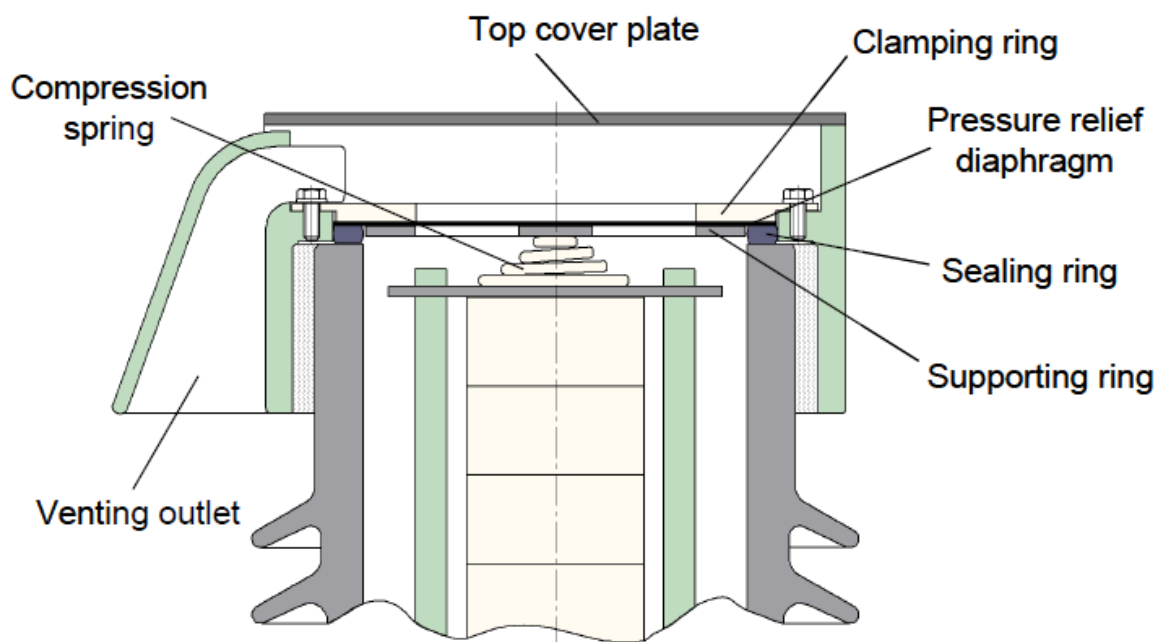


Εικόνα 27: Εναλλακτικό και κανονικό υπόστεγο

4.4 Σύστημα σφράγισης

Το σύστημα σφράγισης (sealing system) είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία ενός αλεξικέραυνου, αφού ένα από τα συχνότερα προβλήματα των αλεξικέραυνων είναι η διαρροή. Το σύστημα σφράγισης έχει τρεις αρμοδιότητες που είναι ασύμβατες η μία με την άλλη. Αρχικά, πρέπει να αποτρέψει τη διείσδυση της υγρασίας κατά τη διάρκεια της ζωής του αλεξικέραυνου η οποία είναι από 25 έως 30 χρόνια. Επιπλέον, θα πρέπει να ενεργεί σαν μία γρήγορη διάταξη εκτόνωσης της πίεσης λειτουργίας της συσκευής σε περίπτωση υπερφόρτωσης του αλεξικέραυνου, η οποία μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση πίεσης στο περίβλημα, και σαν αποτέλεσμα τη θραύση της πορσελάνης. Τέλος, θα πρέπει να γίνεται μεταφορά ρεύματος από τη φλάντζα στη στήλη της ΜΟ αντίστασης.

Το παράδειγμα στην παρακάτω εικόνα αποτελείται από ένα σύστημα σφράγισης, το οποίο στο μεγαλύτερο μέρος του αποτελείται από ένα δακτύλιο στεγανότητας (sealing ring) και ένα διάφραγμα εκτόνωσης πίεσης (pressure relief diaphragm). Και τα δύο στοιχεία υπάρχουν δύο φορές, ένα σε κάθε άκρο του περιβλήματος. Ο δακτύλιος στεγανότητας συνδέεται στο τέλος του περιβλήματος πορσελάνης. Όταν η σφράγιση είναι σε αυτό το σημείο, το τσιμέντο μεταξύ της φλάντζα και της πορσελάνης δεν αποτελεί μέρος του συστήματος σφράγισης. Αυτό μειώνει τις απαιτήσεις στη συγκόλληση του τσιμέντου, αλλά απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή κατά τη διάρκεια της εργασίας στο τελείωμα της πορσελάνης και των μετέπειτα έλεγχων ποιότητας.



Εικόνα 28: Σύστημα σφράγισης ενός υψηλής τάσης MO αλεξικέραυτου με περίβλημα πορσελάνης

Όσον αφορά το υλικό του δακτυλίου σφράγισης υπάρχουν αρκετές απαιτήσεις. Για παράδειγμα, το φυσικό καουτσούκ αποδείχθηκε ακατάλληλο, αφού με το χρόνο γίνεται εύθραυστο. Η αντίσταση στο όζον είναι μία ακόμα ουσιώδης απαίτηση, η οποία ικανοποιείται με την χρήση συνθετικών υλικών.

4.5 Διάφραγμα εκτόνωσης

Το διάφραγμα εκτόνωσης πίεσης αποτελείται από καθαρής υψηλής ποιότητας χάλυβα ή νικέλιο, το οποίο είναι μερικά δέκατα του χιλιοστού παχύ. Όσον αφορά τη σχεδίαση και τη διασφάλιση ποιότητας, είναι αρκετά δύσκολο να εξασφαλιστεί η ανθεκτικότητα του διαφράγματος στη διάβρωση για περίπου 30 χρόνια. Το διάφραγμα πιέζεται από το δακτύλιο στεγανοποίησης μέσω ενός μεταλλικού δακτυλίου σύσφιξης (clamping ring) ο οποίος βιδώνεται στις φλάντζες. Είναι πολύ σημαντικό να εξασφαλίσουμε ότι θα

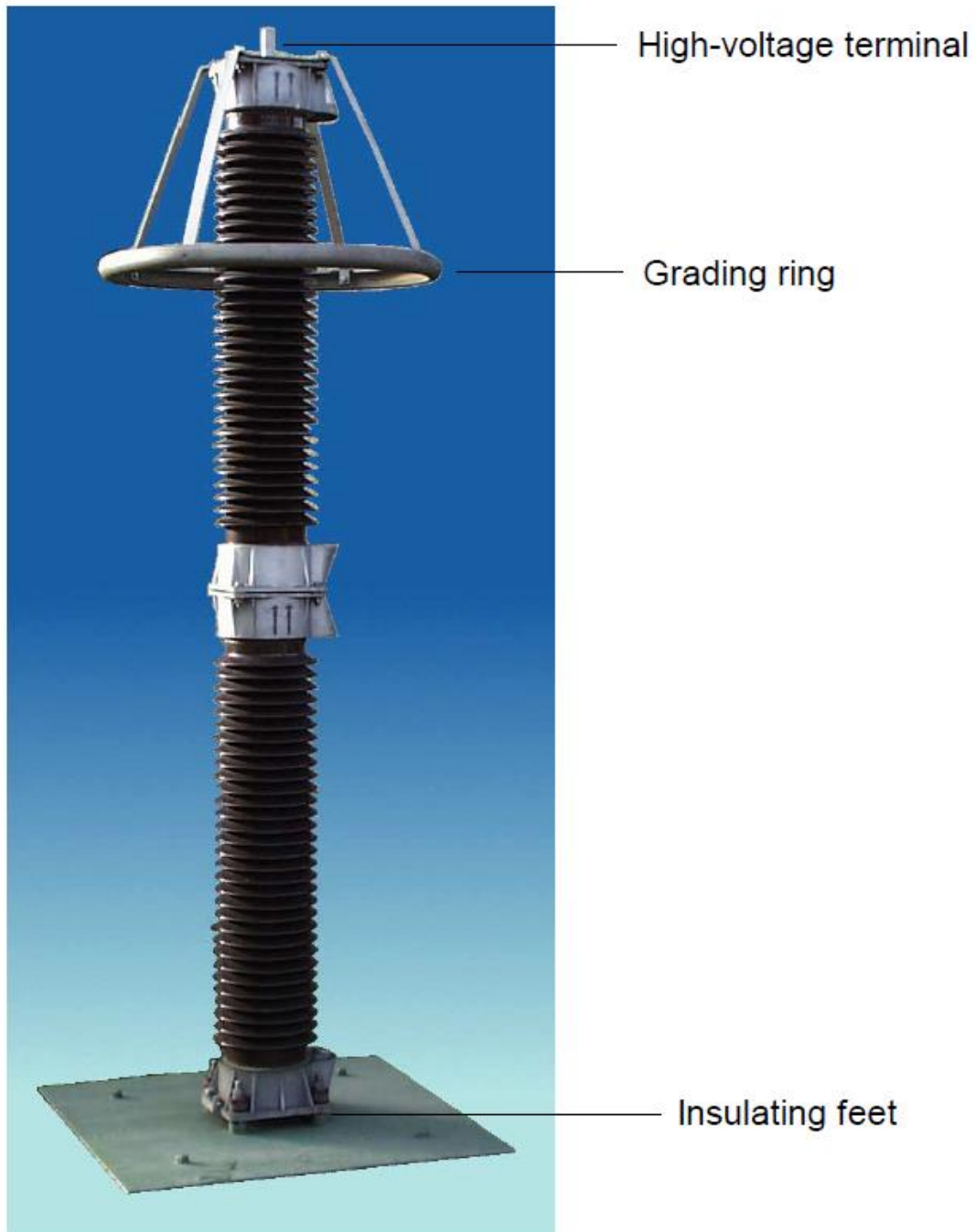
χρησιμοποιηθούν μόνο υλικά συμβατά μεταξύ τους. Διαφορετικά, δημιουργούνται διαβρώσεις κενού που οδηγούν αργά ή γρήγορα σε διαρροές

Το κύριο πλεονέκτημα του διαφράγματος εκτόνωσης πίεσης είναι το εξαιρετικά γρήγορο άνοιγμα στην περίπτωση υπερφόρτωσης του αλεξικέραυνου. Παρότι, η υπερφόρτωση του αλεξικέραυνου συμβαίνει σπάνια, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ακόμη και στην περίπτωση των αλεξικέραυνων μεγαλύτερων διαστάσεων. Πιθανές αιτίες για αυτό είναι, για παράδειγμα, ένα κτύπημα αστραπής κοντά στο αλεξικέραυνο ή μεταφορά ρεύματος από μια υψηλή τάση προς μία χαμηλότερη, το οποίο μπορεί να συμβεί για παράδειγμα, σε μια γραμμή μεταφοράς με διάφορα επίπεδα τάσης. Σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να συμβεί υπερφόρτωση σε μία ή περισσότερες ΜΟ αντιστάσεις. Οπότε δημιουργείται ένα μερικό τόξο, το οποίο σε μερικά δευτερόλεπτα μετατρέπεται σε πλήρες τόξο μεταξύ των δύο φλαντζών στο εσωτερικό του περιβλήματος. Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως του δικτύου, το οποίο εμφανίζεται εκεί που είναι εγκατεστημένο το αλεξικέραυνο, ρέει μέσα σε αυτό το τόξο. Σαν αποτέλεσμα, μια απότομη αύξηση πίεσης αναπτύσσεται μέσα στο περίβλημα. Την ίδια στιγμή, το διάφραγμα εκτόνωσης της πίεσης ανοίγει μέσα σε λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου, διασφαλίζοντας έτσι ασφαλής εκτόνωσης της πίεσης πριν επιτευχθεί η πίεση διάρρηξης του περιβλήματος. Τα θερμά αέρια υπό πίεση διαφεύγουν από το εσωτερικό του περιβλήματος μέσω δύο στομιών εξαερισμού (venting outlets). Εκτός του περιβλήματος τα δύο ρεύματα αερίου δημιουργούν το τόξο που ήταν αρχικά ενετός του περιβλήματος, μέχρι η αστοχία πάψει να υπάρχει. Μέχρι αυτό το σημείο, μπορεί να σπάσει η πορσελάνη των ακραίων θερμικών πιέσεων.

Όταν το τόξο σβηστεί στο εσωτερικό του περιβλήματος, δημιουργείται ένα σφάλμα εκκαθάρισης του συστήματος, το οποίο μπορεί να συμβεί επίσης προτού ανοίξει του διαφράγματος εκτόνωσης της πίεσης, ή όταν η πίεση δημιουργείται σχετικά αργά, λόγω πολύ χαμηλού σφάλματος ρεύματος. Σε αυτή την περίπτωση, το διάφραγμα εκτόνωσης πίεσης δεν ανοίγει αλλά δημιουργεί ρωγμές οι οποίες οδηγούν σε διαρροή. Έτσι, ένα ελαττωματικό αλεξικέραυνο είναι αδύνατον να βρίσκεται υπό εσωτερική πίεση μεγαλύτερη από 1 bar και μειώνει σημαντικά τους κινδύνους ασφάλειας κατά τη διάλυση ενός ελαττωματικού αλεξικέραυνου

4.6 Υψηλής τάσης αλεξικέραυνα

Όπως είπαμε παραπάνω, ορισμένα μήκη στηλών ΜΟ αντιστάσεων κατασκευάζονται σε περισσότερα από ένα κομμάτια. Το μακρύτερο περίβλημα πορσελάνης, για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους είναι περίπου δύο μέτρα. Σε αυτό το μήκος ένα αλεξικέραυνο μπορούν να αποτελείται από μία μόνο μονάδα. Σε υψηλότερα επίπεδα τάσης, το αλεξικέραυνο πρέπει να αποτελείται από αρκετές μονάδες. Στα υψηλότερα επίπεδα τάσης ή όταν υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις μήκος ερπυσμού, η μονάδα μπορεί να αποτελείται από τρεις, τέσσερις ή πέντε μέρη.



Εικόνα 29: Δύο μονάδες ενός υψηλής τάσης αλεξικέρανου

Ξεκινώντας σε μήκος περίπου από ενάμισι με δύο μέτρα και πάνω, και γενικά για αλεξικέραυνα που αποτελούνται από αρκετές διαφορετικές μονάδες, τα δαχτυλίδια ταξινόμησης (grading rings) είναι απαραίτητα. Χρησιμεύουν στον έλεγχο της κατανομής τάσης σε όλο το μήκος του αλεξικέραυνου, η οποία επηρεάζεται από τις χωρητικότητες της γης. Χωρίς τα κατάλληλα μετρά, οι ΜΟ αντιστάσεις, έχουν υψηλότερη τάσης στο άνω άκρο σε σχέση με το γειωμένο άκρο. Τα δαχτυλίδια ταξινόμησης διαφοροποιούνται το ένα από το άλλο όσον αφορά τις διαμέτρους τους και τα μήκη των στηριγμάτων τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος και τα μήκη των στηριγμάτων του, τόσο καλύτερη είναι ο έλεγχος στην κατανομή τάση.

Ωστόσο, υπάρχουν δύο κύριοι λόγοι που και τα δύο παραπάνω μεγέθη προτιμούνται να είναι μικρά.

- Οι προδιαγραφές για την ανέγερση εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ισχύος, ορίζουν μία ελάχιστη απόσταση μεταξύ των αγωγών γειτονικών φάσεων. Αυτές οι απαιτήσεις ισχύουν και για την απόσταση μεταξύ των δακτυλίων ταξινόμησης δύο γειτονικών αλεξικέραυνων. Όσο μικρότερος είναι ο δακτύλιος ταξινόμησης, τόσο μικρότερη είναι η κεντρική απόσταση μεταξύ γειτονικών αλεξικέραυνων, και κατά συνέπεια το πλάτος κόλπου που θα επιλεγεί.
- Τα στηρίγματα δεν μπορούν να έχουν πάντα το επιθυμητό μέγεθος, καθώς το κενό περίβλημα του αλεξικέραυνου πρέπει να πληρεί ορισμένες απαιτήσεις τάση αντοχής. Αν τα στηρίγματα είναι πολύ μακριά, μπορεί να συμβεί βραχυκύκλωμα από το δακτύλιο ταξινόμησης στις γειτονικές φλάντζες προς τη γη, ή απευθείας στη γη.

Τα υψηλής τάσης αλεξικέραυνα συνήθως δεν είναι άμεσα γειωμένα. Αντίθετα έχουν συσκευές παρακολούθησης όπως μετρητές κύματος (surge counters), παρακολούθηση διάκενων σπινθήρων (monitoring spark gaps) και δείκτες διαρροής ρεύμα (leakage current indicators) οι οποίες συνδέονται σε σειρά με το αλεξικέραυνο. Σε αυτή την περίπτωση, η μόνωση παρέχεται από την τοποθέτηση του αλεξικέραυνου σε μονωτικά πόδια (insulating feet) όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Τα μονωτικά πόδια έχουν τέτοια μηχανική σχεδίαση ώστε να αντέξουν μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες μηχανικές δυνάμεις που επηρεάζουν το αλεξικέραυνο. Θα πρέπει να έχουν επαρκή ηλεκτρική αντοχή, ώστε να μην αναφλέγονται σε περιπτώσεις πτώσης τάσης στις συσκευές παρακολούθησης που βρίσκονται παράλληλα.



Εικόνα 30: Φλάντζα αλεξικέραυνου με σύστημα παρακολούθησης διάκενων σπινθήρων

Η γείωση θα πρέπει να έχει διατομή τουλάχιστον 35 χιλιοστά, οι λόγοι είναι λιγότερο ηλεκτρικοί και περισσότεροι σχετίζονται με την μηχανική αντοχή και την αντίσταση σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

4.7 Ακροδέκτες υψηλής τάσης

Ο ακροδέκτης υψηλής τάσης χρησιμεύει σαν συνδετής με την εναέρια γραμμή του αγωγού. Χρησιμοποιούνται ακροδέκτες με μορφή βίδας ή επίπεδα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Ο σχεδιασμός και οι διαστάσεις τους είναι τυποποιημένα, ωστόσο, υπάρχουν και διάφορες παραλλαγές ανάλογα με τον κατασκευαστή.



Εικόνα 31: Ακροδέκτες υψηλής τάσης

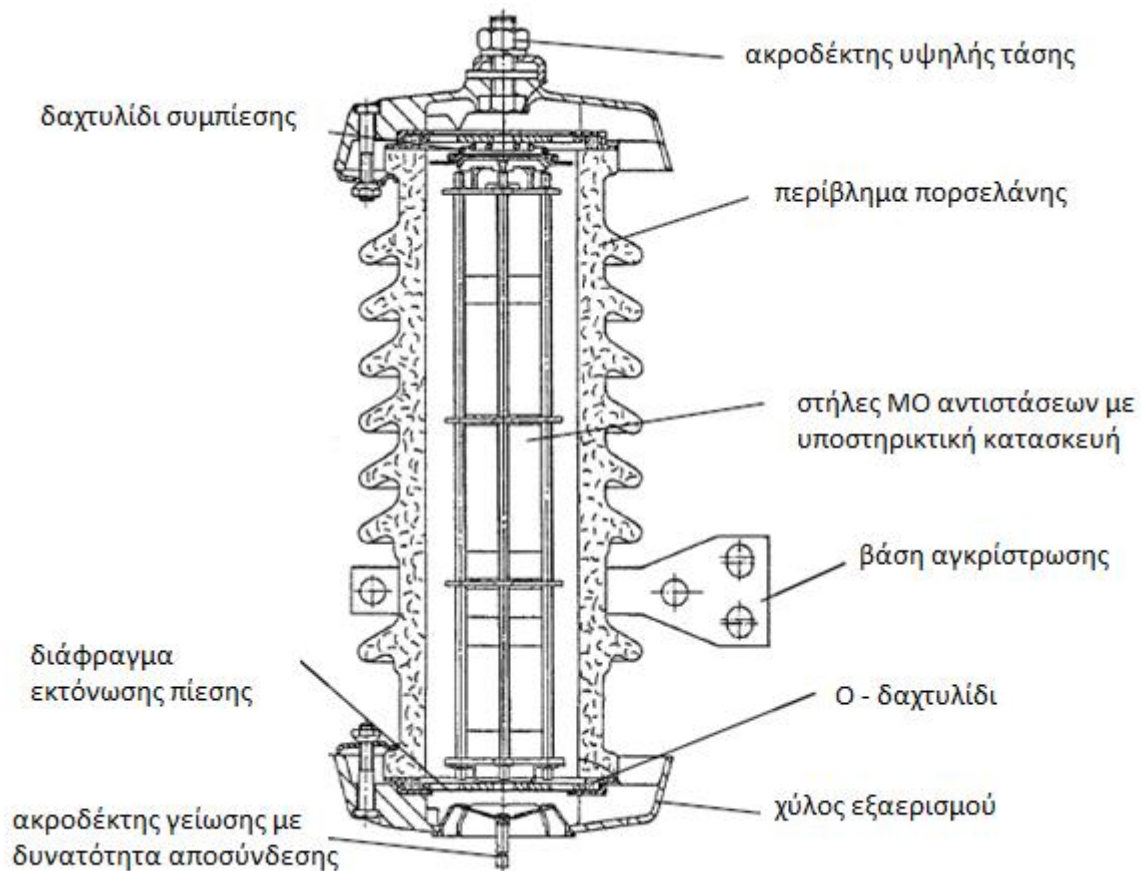
4.8 Μοντέλα ΜΟ αλεξικέραυνων

Οι ακόλουθες τρεις φωτογραφίες δείχνουν άλλα μοντέλα ΜΟ αλεξικέραυνων. Στην Εικόνα 38 είναι ένα μεσαίας τάσης αλεξικέραυνο με περίβλημα από πορσελάνη. Στη Εικόνα 39, ένα μέσης τάσης αλεξικέραυνο με πολυμερές περίβλημα και τέλος στην Εικόνα 40 ένα υψηλής τάσης αλεξικέραυνο με πολυμερές περίβλημα. Τα παραπάνω παραδείγματα διαφοροποιούνται μεταξύ τους, σε κάποιες περιπτώσεις όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού τους. Έτσι στη συνέχεια παρέχουμε μια επισκόπηση μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του καθενός.

4.8.1 Αλεξικέραυνα με περίβλημα πορσελάνης

Τα αλεξικέραυνα με περίβλημα από πορσελάνη, χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό, ωστόσο πλέον όλο και περισσότερα αντικαθίστανται από αλεξικέραυνα με πολυμερές περίβλημα. Ένα τέτοιο αλεξικέραυνο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Σε αυτά τα αλεξικέραυνα, απαιτείται χαμηλό κόστος παραγωγής ειδικά στο σύστημα σφράγισης όπου πρέπει να πληρούνται οι περισσότερες απαιτήσεις. Το συχνότερο πρόβλημα σε αυτού του τύπου τα αλεξικέραυνα είναι η διαρροή, ειδικά στα αλεξικέραυνα μεσαίας τάσης, όπου η κυριότερη απαίτηση είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής, ενώ τις περισσότερες φορές η

ποιότητα έρχεται σε δεύτερη φάση. Ακολουθούνται οι ίδιες αρχές και χρησιμοποιούνται τα ίδια υλικά. Σαν αποτέλεσμα, αυτό το σχέδιο έχει την ίδια λειτουργικότητα και αξιοπιστία με ένα υψηλής τάσης αλεξικέραυνο. Επίσης, η υπερφόρτωση αντιμετωπίζεται όπως στα υψηλής τάσης αλεξικέραυνα, αφού ακολουθείται η ίδια αρχή εκτόνωσης της πίεσης.



Εικόνα 32: Διατομή ΜΟ αλεξικέραυνου διανομής με περίβλημα πορσελάνης

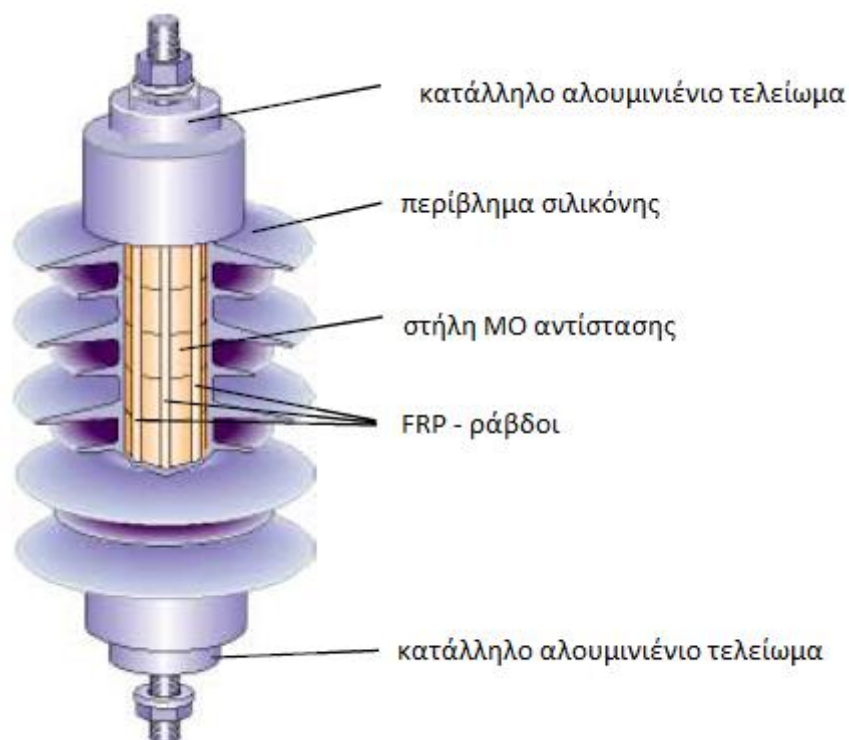
Τα αλεξικέραυνα διανομής χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό με αποσυνδετή (disconnect) . Οι αποσυνδετές μπορούν είτε να ενσωματωθούν στο αλεξικέραυνο, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, είτε να συνδεθούν εξωτερικά. Συμβάλουν σημαντικά στην απρόσκοπτη λειτουργία του δικτύου διανομής. Σε αυτή την περίπτωση, τα αλεξικέραυνα δεν τοποθετούνται σε λίγα μόνο μέτρα ή υποσταθμούς, όπως τα συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης. Αντίθετα, σχηματίζουν ένα δίκτυο, και σε πολλές περιπτώσεις ένα χαλασμένο αλεξικέραυνο δεν γίνεται αντιληπτό μέσα σε αυτή τη μεγάλη χωρική έκταση, λόγω της χρήσης των αποσυνδετών. Σαν αποτέλεσμα, σε αυτή την περιοχή δεν θα υπάρχει επαρκής προστασία έναντι των υπερτάσεων. Ωστόσο, ακόμα και αν κάτι τέτοιο γίνει αντιληπτό, πολλές φορές δεν μπορεί να γίνει άμεσα αντικατάσταση. Ο αποσυνδετής διασφαλίζει ότι σε περίπτωση αποτυχίας, το αλεξικέραυνο διαχωρίζεται από το δίκτυο. Διαφορετικά, το χαλασμένο αλεξικέραυνο θα μπορούσε να προκαλέσει ένα μόνιμο σφάλμα γείωσης. Το βασικό μειονέκτημα ενός αποσυνδετή είναι ότι, λόγω της χρήσης του, ένα χαλασμένο αλεξικέραυνο αποτυχίες μπορούν να περάσουν απαρατήρητα. Σαν αποτέλεσμα, δεν υπάρχουν γενικές οδηγίες για τη χρήση των αποσυνδετών. Έτσι, χρησιμοποιούνται σπάνια ή μερικές φορές δεν χρησιμοποιούνται καθόλου σε γειωμένα ουδέτερα συστήματα, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους ακόμα και σε συνθήκες που

η γείωση έχει σφάλμα. Ωστόσο, χρησιμοποιούνται συχνά σε σταθερά γειωμένα ουδέτερα συστήματα.

Στο παράδειγμα της παραπάνω εικόνας, ο αποσυνδετής είναι ένα δοχείο που τοποθετείται στο κάτω μέρος της φλάντζα σε κατάλληλη μορφή. Τα θερμά αέρια που εκπέμπει το αλεξικέραυνο, απομακρύνουν το δοχείο του αποσυνδετή και το συνδεδεμένο καλώδιο γείωσης και σαν αποτέλεσμα επέρχεται ένας διαχωρισμός από τη γραμμή.

4.8.2 Αλεξικέραυνο μεσαίας τάσης με πολυμερές περίβλημα

Μια εντελώς διαφορετική μέθοδος κατασκευής ενός αλεξικέραυνου διανομής φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Λόγω των προβλημάτων που προκαλούνται από τη διαρροή σε φτηνά σχεδιασμένα αλεξικέραυνα διανομής τα οποία έχουν περίβλημα πορσελάνης, πολλές φορές, από τα τέλη του 1980 εξοπλίζονται με πολυμερή εξωτερική μόνωση. Το βασικό χαρακτηριστικό του σχεδιασμού τους είναι το περίβλημα πολυμερούς που τοποθετείται στην στήλη της ΜΟ αντίστασης. Ως αποτέλεσμα, τα γεμισμένα με αέριο κενά μεταξύ των ΜΟ αντιστάσεων και του περιβλήματος δεν υπάρχουν πλέον, και με τον κατάλληλη υλοποίηση της διεπαφής μεταξύ του πολυμερούς περιβλήματος και των εξαρτημάτων στο τέλος του αλεξικέραυνου, το σύστημα σφράγισης μπορεί να παραληφθεί εντελώς. Ομοίως, σε περίπτωση υπερφόρτωσης, αποφεύγονται η αύξηση πίεσης και το σπάσιμο του περιβλήματος.



Εικόνα 33: Αλεξικέραυνο με πολυμερές περίβλημα

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνωση πορσελάνης, διαφορετικές ιδιότητες - όπως, προστασία από περιβαλλοντικές συνθήκες, παροχή επαρκούς μήκους ερπυσμού και

μηχανική αντοχή – παρέχονται από ένα μοναδικό στοιχείο. Στα αλεξικέραυνα που χρησιμοποιείται μόνωση πολυμερούς, όμως, αυτές οι ιδιότητες αυτές κατανέμονται σε δύο διαφορετικά στοιχεία. Η μηχανική αντοχή είναι σχεδόν πάντα επιτυγχάνεται με υλικά από ενισχυμένο πλαστικό (FRP). Στο παράδειγμα της παραπάνω εικόνας, πολλές ράβδοι (rods) χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό. Οι ράβδοι αυτοί τοποθετούνται στο εξάρτημα τερματισμού (end fitting) του αλεξικέραυνου και περικλείονται με τη στήλη της ΜΟ αντίστασης. Έτσι επιτυγχάνεται μία μονάδα υψηλής μηχανικής αντοχής ανεξάρτητα από τις ΜΟ αντιστάσεις, εξαρτήματα τερματισμού και την FRP δομή του αλεξικέραυνου. Στη συνέχεια, η μονάδα αυτή τοποθετείται σε ένα καλούπι, στο οποίο εγχέεται καουτσούκ σιλικόνης (silicone rubber). Με τις κατάλληλες τεχνικές, είναι δυνατόν να επιτευχθεί ένα τέλειος μόνιμος δεσμός χωρίς κενά μεταξύ του καουτσούκ σιλικόνης και των άλλων συστατικών. Ένα πλεονέκτημα του καουτσούκ σιλικόνης, είναι ότι σε σύγκριση με φθηνότερα υλικά που χρησιμοποιούνται παρέχει ιδιότητες αντοχής για περίπου 30 χρόνια. Ένα άλλο πλεονέκτημα που είναι μοναδικό για καουτσούκ σιλικόνης, είναι η υδροφοβικότητα (hydrophobicity). Δηλαδή απομακρύνει το νερό μακριά και σαν αποτέλεσμα καταστέλλει το σχηματισμό αγωγίων στρωμάτων και βελτιώνει τις επιδόσεις του αλεξικέραυνου σε συνθήκες μόλυνσης.

Ο κίνδυνος σπασίματος του περιβλήματος σε περίπτωση υπερφόρτωσης του αλεξικέραυνου για το σχεδιασμό της παραπάνω εικόνας είναι ανύπαρκτος. Το τόξο που προκύπτει από τρύπημα ή ανάφλεξη στη στήλη της ΜΟ αντίστασης, τρυπάει καουτσούκ σιλικόνης, και σχεδόν με χωρίς καθόλου αντίσταση, δραπετεύει προς τα έξω

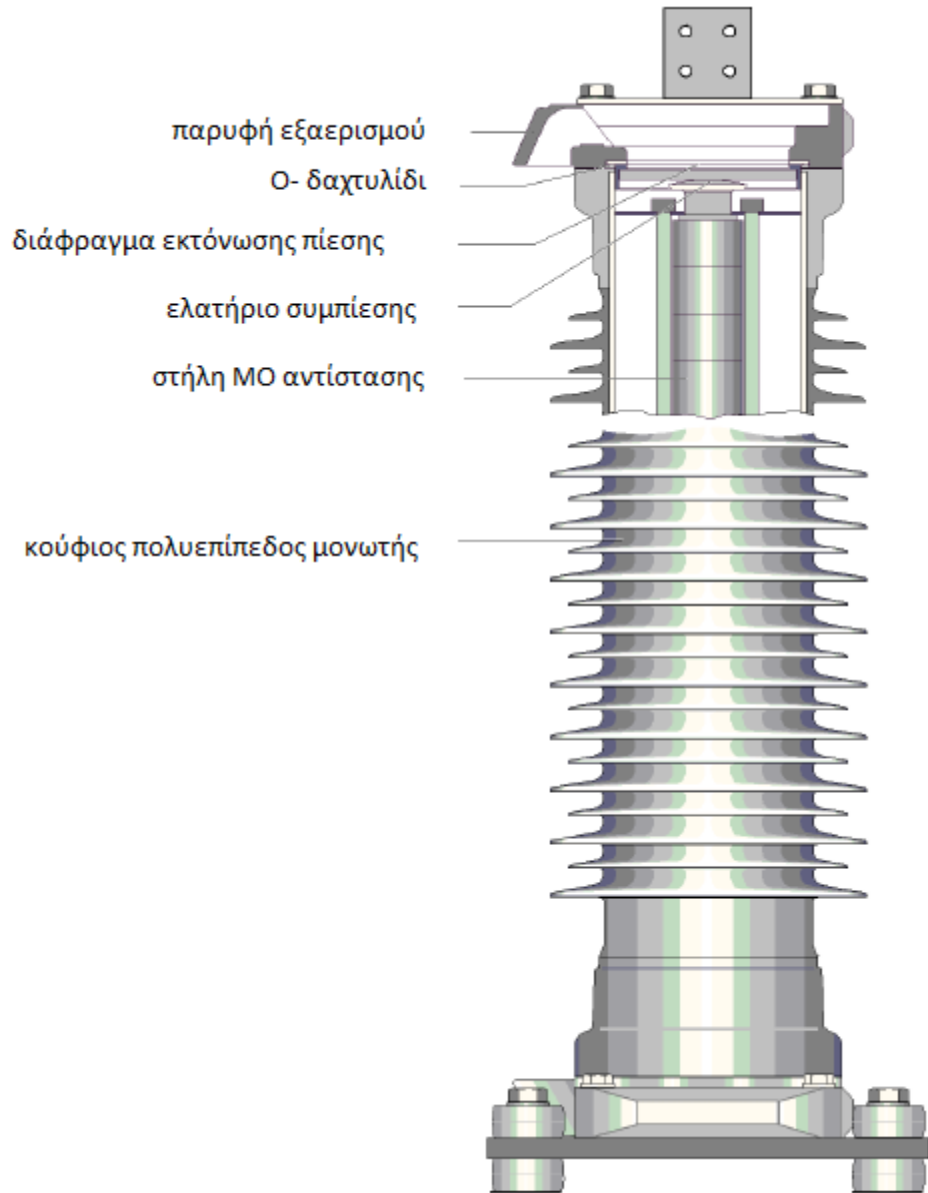
Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους του αλεξικέραυνου είναι τα ακόλουθα. Το μειωμένο βάρος σε σύγκριση με τα αλεξικέραυνα με περίβλημα από πορσελάνη, ο ακίνδυνος χειρισμός κατά τη μεταφορά και την εγκατάσταση, και η μείωση του κόστους στην κατασκευή αυτού του τύπου του αλεξικέραυνου σε σχέση με το αλεξικέραυνο με περίβλημα πορσελάνης, έχουν καταστήσει τα αλεξικέραυνα με περίβλημα από πολυμερές δημοφιλή μεταξύ των αλεξικέραυνων μεσαίας τάσης. Σαν αποτέλεσμα, τα αλεξικέραυνα με περίβλημα πορσελάνης, χρησιμοποιούνται όλο και λιγότερο.

4.8.3 Υψηλής τάσης αλεξικέραυνο με πολυμερές περίβλημα

Για υψηλή και ειδικότερα για τις πολύ υψηλά επίπεδα τάσης, η κατάσταση είναι διαφορετική. Όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα, υπάρχουν ηλεκτρικές και μηχανικές απαιτήσεις οι οποίες εκπληρώνονται όλο και πιο δύσκολα όσο μεγαλύτερη είναι η τάση. Ο σχεδιασμός της παρακάτω εικόνας προτάθηκε στο τέλος της δεκαετίας του ογδόντα και αποδείχθηκε ότι μπορεί να εκπληρώσει αυτές τις απαιτήσεις. Από την παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε ότι έχει το ίδιο σχέδιο με την αρχική εικόνα. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο μονωτής πορσελάνης έχει αντικατασταθεί με ένα σύνθετο κοίλο μονωτικό πυρήνα (composite hollow core insulator), το οποίο χρησιμεύει και σαν μετασχηματιστής.

Ο σύνθετος κοίλος μονωτικός πυρήνας αποτελείται από ένα σωλήνα FRP στον οποίο τα υπόστεγα (sheds) είναι φτιαγμένα από καουτσούκ σιλικόνης – και είτε φτιάχνονται με τη χρήση καλουπιού είτε παρασκευάζονται μεμονωμένα. Η αρχή σχεδίασής τους προσφέρει κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα για εφαρμογές μέχρι τα υψηλότερα επίπεδα τάσης. Αφού η εσωτερική δομή του σωλήνα FRP, η αντοχή του τοιχώματος και η διάμετρος του μπορούν

να ποικίλουν, χωρίς σχεδόν κανένα περιορισμό, ένας σωλήνα FRP μπορεί να έχει οποιοδήποτε μηχανική ιδιότητα. Για παράδειγμα, μπορεί να βελτιστοποιηθεί η αντοχή του, η αντοχή σε κάμψη, ή η εσωτερική δύναμη πίεσης. Έτσι, είναι δυνατόν να σχεδιαστούν υψηλής τάσης αλεξικέραυνα που έχουν τέτοια μηχανική αντοχή, ώστε να μπορούν να αντέξουν τους ισχυρούς σεισμούς και ταυτόχρονα να χρησιμοποιηθεί σαν μονωτής σε κάποιο υποσταθμό.



Εικόνα 34: Διατομή μίας μονάδας ενός αλεξικέραυνου υψηλής τάσης με πολυμερές περίβλημα

Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του είδους των αλεξικέραυνων είναι ότι σε περίπτωση υπερφόρτωσης του αλεξικέραυνου, το περίβλημα δεν θα σπάσει ποτέ αλλά ούτε κάποιο από τα εσωτερικά μέρη θα απορριφτεί. Ο σωλήνας θα παραμένει σχεδόν άθικτος, και ως εκ τούτου προσφέρει την καλύτερη δυνατή ασφάλεια σε ένα υποσταθμό.

Το υψηλότερο κόστος κατασκευής του κοίλου μονωτικού πυρήνα ενός τέτοιου σχεδίου, σε συγκρίσεις με τους μονωτές από πορσελάνη, έχει αποτελέσει εμπόδιο για την περαιτέρω ανάπτυξη του. Καθώς η χρήση των σύνθετων κοίλων μονωτικών πυρήνων

αυξάνεται σε συνδυασμό με την αποδοχή της τεχνολογίας είναι πιθανό να κάνουν τη χρήση αυτού του τύπου αλεξικέραυνου όλο και πιο συχνή στα αλεξικέραυνα υψηλής και πολύ υψηλής τάσης όλο και πιο δημοφιλής.

Κεφάλαιο 5: Διαμόρφωση Metal Oxide Αλεξικέραυνων

5.1 Εισαγωγή

Προκειμένου να διαμορφωθεί ένα MO αλεξικέραυνο, πρέπει πρώτα απ' όλα να κατανοήσουμε πώς οι διαφορετικές απαιτήσεις και παράμετροι επηρεάζουν τη λειτουργική απόδοση του αλεξικέραυνου. Κατέχοντας τη γνώση των βασικών αρχών και των αλληλεξαρτήσεων, τότε είναι δυνατόν να καθοριστεί το κατάλληλο αλεξικέραυνο για λιγότερο κοινές εφαρμογές. Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τη γενική προσέγγιση και προσδιορίζει μεθόδους με απλούς υπολογισμούς, ώστε να επιλέγουν αλεξικέραυνα για την προστασία από υπερτάσεις στη διανομή του εναλλασσόμενου ρεύματος και στα συστήματα μετάδοσης με επίπεδα τάσης μεταξύ $U_s = 24 \text{ kV}$ και $U_s = 550 \text{ kV}$.

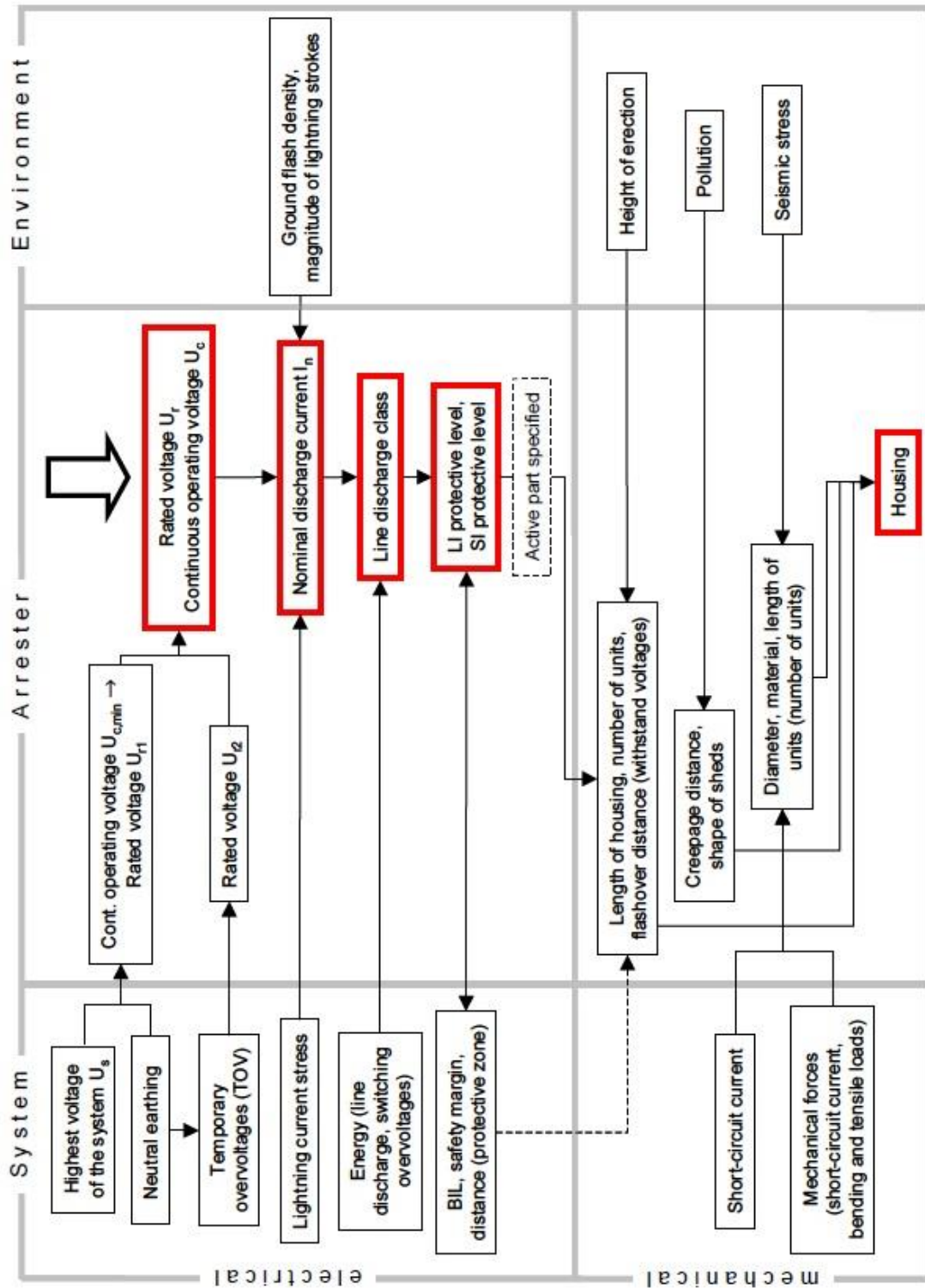
Η περιγραφή που δίνεται αφορά μόνο στην όψη της συσκευής, με άλλα λόγια, έτσι ώστε η ερώτηση του πώς ένα αλεξικέραυνο πρέπει να ρυθμιστεί να απαντηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε, από τη μία πλευρά, να πληροί τις απαιτήσεις προστασίας της και από την άλλη, να μην αποτελεί πρόβλημα από μόνο του. Ωστόσο, οι εφαρμογές του δεν θα συζητηθούν εδώ, σχετικά με το που μέσα στο σύστημα ή ποιος εξοπλισμός θα προστατευτεί από το αλεξικέραυνο. Για το σκοπό αυτό, υπάρχουν κατάλληλες IEC δημοσιεύσεις 60071-1 και 60071-2 για το συντονισμό της μόνωσης ή για την επιλογή και εφαρμογή συστάσεων σχετικά με τα αλεξικέραυνα, η δημοσίευση IEC 60099-5 μπορεί να τεθεί υπό διαβούλευση.

Σε αυτό το κεφάλαιο τα διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα για τον έλεγχο και την εφαρμογή (Metal Oxide)MO αλεξικέραυνων χωρίς διάκενα θα αναφέρονται στα: IEC 60099-4, IEC 60099-5, IEC 60099-1, καθώς και στο έγγραφο IEC 37/268/FDIS.

Σο μεγαλύτερο μέρος του, οι απαιτήσεις για έναν MO αλεξικέραυνο μπορούν να αναχθούν σε δύο βασικές απαιτήσεις. Από τη μία πλευρά τα αλεξικέραυνα θα πρέπει να παρέχουν επαρκή προστασία και από την άλλη θα πρέπει να παρέχουν σταθερή συνεχή λειτουργία. Επαρκής προστασία σημαίνει ότι οι υπερτάσεις στη συσκευή που προστατεύεται πρέπει να παραμένουν πάντα κάτω από την αντοχή της σε τάση, με επαρκές περιθώριο ασφαλείας. Σταθερή συνεχής λειτουργία σημαίνει ότι το αλεξικέραυνο θα πρέπει να χειριστεί όλες τις μακροπρόθεσμες, προσωρινές ή παροδικές πιέσεις που προκύπτουν από τη λειτουργία του δικτύου, παραμένοντας φυσικά ηλεκτρικά και θερμικά σταθερό κάτω από όλες τις συνθήκες.

Και οι δύο βασικές απαιτήσεις δεν είναι δυνατόν να εκπληρωθούν ανεξάρτητα. Η μείωση του επιπέδου προστασίας σημαίνει αυτόματα υψηλότερη ειδική ηλεκτρική πίεση κατά τη διάρκεια της συνεχούς λειτουργίας και αντιστρόφως, η συνεχής τάση λειτουργίας του αλεξικέραυνου δεν μπορεί να αυξηθεί αυθαίρετα χωρίς να αυξηθεί το επίπεδο προστασίας του. Και οι δυο αρχές λειτουργίας είναι - τουλάχιστον για ένα δεδομένο τύπο αντίστασης (MO) - αυστηρά αλληλοσυνδεόμενες μεταξύ τους μέσω της χαρακτηριστικής καμπύλης τάσης-ρεύματος.

Πρόσθετες απαιτήσεις αφορούν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αλεξικέραυνου που θα πρέπει να παραμένουν αμετάβλητα κατά τη διάρκεια της ζωής του, καθώς επίσης και η αντοχή του στις περιβαλλοντολογικές καταπονήσεις όπως η ρύπανση, η ηλιακή ακτινοβολία ή οι μηχανικές καταπονήσεις.



Εικόνα 41: Διαδικασία για την διαμόρφωση ενός ΜΟ αλεξικέραυνου

Στην Εικόνα 41 το διάγραμμα ροής απεικονίζει μια προσέγγιση για τη διαμόρφωση ενός αλεξικέραυτου. Σε αυτή τη περίπτωση ένα υψηλής τάσης αλεξικέραυτο απεικονίζεται, δεδομένου ότι, σε σύγκριση με ένα αλεξικέραυτο διανομής, απαιτούνται περισσότερες και υψηλότερες απαιτήσεις. Τα βήματα που εμφανίζονται στην εικόνα θα συζητηθούν παρακάτω με περισσότερες λεπτομέρειες με τη σειρά με την οποία πραγματοποιούνται.

5.2 Επιλέγοντας τη Συνεχή Τάση Λειτουργίας και την Ονομαστική Τάση

Το αλεξικέραυτο για να μπορέσει να προστατεύσει με ασφάλεια, θα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργήσει με απόλυτη ησυχία σε συνθήκες συνεχείς λειτουργίες. Έτσι, το πρώτο βήμα είναι να τροφοδοτηθεί με την ελάχιστη απαιτούμενη συνεχής τάση λειτουργίας $U_{c,min}$. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε συνέχεια με την Εικόνα 40, αυτή η τάση πρέπει να είναι τόσο υψηλή όσο η συνεχής τάση του συστήματος, αυξημένη κατά ένα ποσοστό τουλάχιστον 5%. Αυτό το επιπλέον ποσοστό παρέχεται για να προλαμβάνει πιθανές αρμονικές στην τάση του συστήματος, που πιθανό είναι να αυξήσουν την μέγιστη τιμή της.

Εδώ "συνεχώς" εφαρμοσμένη τάση εννοείται κάθε τάση που απαιτείται σε ένα αδιάλειπτο χρονικό διάστημα άνω των 30 λεπτών. Για το λόγο αυτό, είναι καθοριστικός ο τύπος της ουδέτερης γείωσης του συστήματος για να προσδιοριστεί η συνεχής τάση λειτουργίας. Δεδομένου ότι τα καλώς γειωμένα συστήματα λειτουργούν αρκετά συχνά για χρονικές περιόδους πάνω από 30 λεπτά σε αυτή την κατάσταση, η συνεχής τάση λειτουργίας του αλεξικέραυτου πρέπει σε αυτή την περίπτωση να έχουν την τιμή της υψηλότερης τάσης του συστήματος, U_s . Το επιπλέον πέντε τοις εκατό δεν λαμβάνεται υπόψη εδώ:

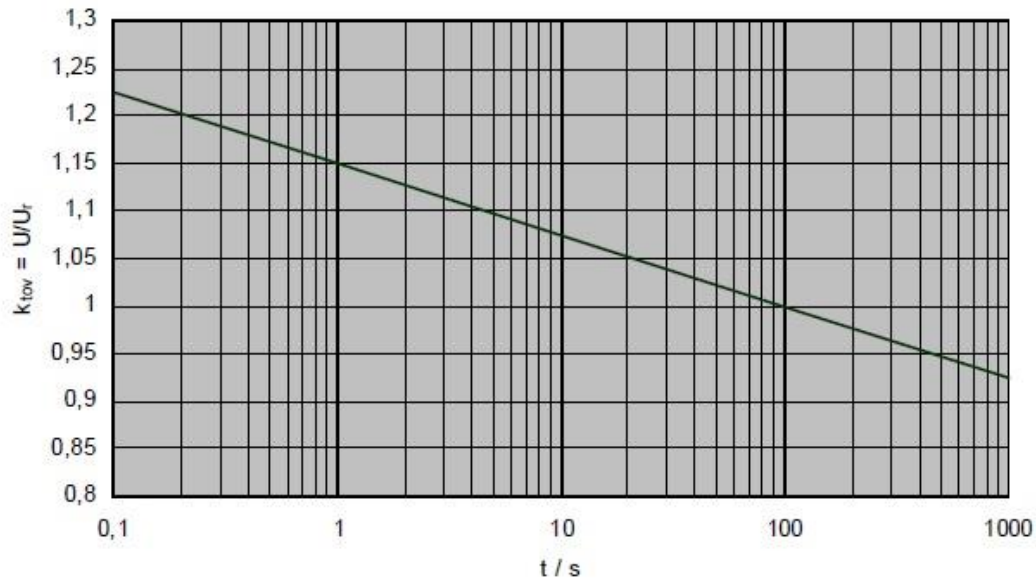
<p>Solidly earthed neutral system: $U_{c,min} \geq 1.05 \cdot U_s / \sqrt{3}$</p>	<p>Isolated or resonant earthed neutral system: $U_{c,min} \geq U_s$</p>
---	--

Με την προ-επιλογή της ελάχιστης απαιτούμενης συνεχής τάση λειτουργίας, ένας παράγοντας που συνήθως έχει τιμή 1,25 - φυσικά υπάρχουν και εξαιρέσεις - βοηθά στο να επιτευχθεί ονομαστική τάση $U_{fl} = 1.25 \cdot U_{c,min}$. Αυτή είναι η πιθανή, αν και όχι οριστική, ονομαστική τάση του αλεξικέραυτου:

<p>Solidly earthed neutral system: $U_{fl} \geq 1.25 \cdot 1.05 \cdot U_s / \sqrt{3}$</p>	<p>Isolated or resonant earthed neutral system: $U_{fl} \geq 1.25 \cdot U_s$</p>
---	--

Η απαιτούμενη ονομαστική τάση μπορεί, ωστόσο, να εξαχθεί με τη λήψη μια εντελώς διαφορετικής προσέγγισης, εξετάζοντας δηλαδή τις προσωρινές υπερτάσεις που συμβαίνουν στο σύστημα. Η ειδική περίπτωση ενός συστήματος, το οποίο λειτουργεί σε ένα γειωμένο ή μονωμένο περιβάλλον, και στο οποίο οι προσωρινές υπερτάσεις είναι άμεσα καθοριστικές για την συνεχή τάση λειτουργίας, έχει ήδη αναφερθεί. Η εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσης πάνω στην συνεχή τάση λειτουργίας ενός αλεξικέραυτου μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα, όσο μεγαλύτερη είναι η τάση, τόσο μικρότερος είναι και ο επιτρεπόμενος χρόνος εφαρμογής. Αυτή η σχέση απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 19). Εκεί υποδεικνύεται η αναλογία της επιτρεπόμενης εναλλασσόμενης συχνότητας και της ονομαστικής τάσης U_T , σε σχέση με το χρόνο. Η αναλογία χαρακτηρίζεται με τον παράγοντα k_{tov} . Σε αυτήν την περίπτωση θεωρείται ότι το αλεξικέραυτο είναι σε μια δυσμενής

κατάσταση, δηλαδή ότι το αλεξικέραυνο είχε προηγουμένως θερμανθεί στους 60 ° C και ακριβώς πριν από την εφαρμογή της εναλλασσόμενης τάσης είχε απορροφήσει την πλήρη ονομαστική θερμική ενέργεια.



Εικόνα 42: Χαρακτηριστική U - t

Από την Εικόνα 42 είναι σαφές ότι υπό αυτές τις συνθήκες, η ονομαστική τάση U_T μπορεί να εφαρμοστεί για μία χρονική περίοδο 100 δευτερολέπτων. Η τάση τη χρονική στιγμή του δέκατου δευτερολέπτου είναι 7.5 % πάνω από την ονομαστική τάση και η τάση τη χρονική στιγμή του πρώτου δευτερολέπτου είναι 15 % παραπάνω. Η U-t χαρακτηριστική καμπύλη εφαρμόζεται με τον ακόλουθο τρόπο: η τιμή της τάσης U_{tov} η οποία εμφανίζεται στο σύστημα για ένα χρονικό διάστημα ενός δευτερολέπτου, θα είναι για παράδειγμα γνωστή. Αυτή η τιμή της τάσης πρέπει να αντιστοιχεί σύμφωνα με την U-t χαρακτηριστική καμπύλη, σε 1,15 φορές την ονομαστική τάση του αλεξικέραυνου ($k_{tov} = 1.15$). Με άλλα λόγια, η πιθανή επιλογή της ονομαστικής τάσης του αλεξικέραυνου, U_{T2} , είναι η τάση που εμφανίζεται το 1 δευτερόλεπτο διαιρεμένη με τον παράγοντα k_{tov} και είναι αποδεκτή για 1 sec, ως εκ τούτου $U_{T2} = U_{1s} / 1.15$. Σε γενικές γραμμές:

Solidly earthed neutral system:

$$U_{T2} = U_{tov} / k_{tov}$$

Αν διατίθενται περαιτέρω σύνολα προσωρινών τιμών υπερτάσεων και διατίθενται και ο χρόνος των εμφανίσεων τους διατίθενται ως αποτέλεσμα της γνώσης συνθηκών των συστημάτων, τότε η κάθε ονομαστική τάση που της αντιστοιχεί πρέπει να καθορίζεται ξεχωριστά. Η υψηλότερη τιμή των διαφορετικών ονομαστικών τάσεων που καθορίζονται από τις προσωρινές συνθήκες υπέρτασης όπως περιγράφονται παραπάνω, είναι η ονομαστική τάση U_{T2} . Ένα μόνο μικρό βήμα χρειάζεται τώρα για να καθορίσει την τελική ονομαστική τάση του αλεξικέραυνου – U_T είναι η υψηλότερη τιμή των δύο τιμών U_{T1} και U_{T2} με στρογγυλοποίηση προς τα πάνω στο τρίτο δεκαδικό ψηφίο.

$$U_T = \max \{U_{T1}, U_{T2}\}$$

rounded up to a value divisible by three

Εάν η ονομαστική τάση U_{T2} είναι μεγαλύτερο από το U_{T1} , τότε η συνεχής τάση λειτουργίας πρέπει προφανώς να επαναπροσδιοριστεί:

$$U_c = U_T / 1.25$$

Μετά τον προσδιορισμό της συνεχούς τάσης λειτουργίας και την ονομαστική τάση με αυτόν τον τρόπο, το αλεξικέραυνο είναι τότε γενικά σχεδιασμένο όχι μόνο για μια σταθερή κανονική συνεχή λειτουργία, αλλά και για όλες τις προσωρινές συνθήκες υπέρτασης στο σύστημα. Είναι, ωστόσο, προτιμότερο να επιλεγεί μια κάπως υψηλότερη τιμή από την ελάχιστη απαιτούμενη όπως αυτή έχει περιγραφεί. Η υψηλότερη τιμή αυξάνει τη σταθερότητα του αλεξικέραυνου και παρέχει πρόσθετη ασφάλεια, όπως σε ένα αρκετά μολυσμένο περιβάλλον ή όταν συμβούν απροσδόκητα υψηλότερες προσωρινές υπερτάσεις. Για το λόγο είναι σύνηθες να υπάρχουν αλεξικέραυνα σε συστήματα, που έχουν συνεχής και ονομαστικές τάσεις μεγαλύτερες από τις ελάχιστες συνιστώμενες. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το εκάστοτε σύστημα διαχείρισης που εφαρμόζεται.

5.3 Επιλέγοντας το Ονομαστικό ρεύμα Εκφόρτισης

Το ονομαστικό ρεύμα εκφόρτισης χρησιμεύει για να χαρακτηριστεί ένα (Metal-Oxide) MO αλεξικέραυνο. Το πρότυπο IEC 60099-4 περιγράφει πέντε διαφορετικές τιμές, που χαρακτηρίζουν το καθένα, διαφορετικό εύρος ονομαστικής τάσης.

1 500 A	2 500 A	5 000 A	10 000 A	20 000 A
under consideration	$U_T \leq 36 \text{ kV}$	$U_T \leq 132 \text{ kV}$	$3 \text{ kV} \leq U_T \leq 360 \text{ kV}$	$360 \text{ kV} < U_T \leq 756 \text{ kV}$

Οι τιμές αυτές, ωστόσο δεν αποκαλύπτουν τίποτα σχετικά με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Έτσι για παράδειγμα ένα 10-KA-αλεξικέραυνο μπορεί να αντέξει κεραυνούς με μεγαλύτερα ρεύματα χωρίς να υποστεί ζημιές. Η ουσιαστική λειτουργία αυτής της ταξινόμησης είναι να καθοριστούν οι διαφορετικές αξιώσεις και οι απαιτήσεις των δοκιμών, ανάλογα με στην τάξη στην οποία ανήκουν.

Τα αλεξικέραυνα, τα οποία ανήκουν κυρίως στην κλάση των 5 και 10 kA, η ονομαστική εκφόρτιση ρεύματος αναπαρίσταται από μια διαφορική καμπύλη χαρακτηριστικών πραγματικών αριθμών. Κατά την εκτέλεση ενός από δοκιμαστικού τεστ, η ενέργεια σε ένα 5-kA-αλεξικέραυνο εγγέεται υπό τη μορφή δυο παλμών υψηλού ρεύματος, τη τάξης των 65 kA το καθένα, αφού προηγουμένως είχε απορροφήσει 20 παλμούς ρεύματος

5 kA ο καθένας προερχόμενοι από κεραυνούς. Με ένα 10 kA-αλεξικέραυνο από την άλλη πλευρά, η αναμενόμενη των παλμών υψηλού ρεύματος είναι 100 kA, και η ένταση του ρεύματος από τον κεραυνού είναι της τάξης των 10 kA. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι οι μικρές (Metal-oxide)MO αντιστάσεις (με διάμετρο σε ένα εύρος τιμών μικρότερων των 30mm έως 45mm) θα δεχθούν μια σημαντική ενεργειακά πίεση. Ένα αλεξικέραυνο των 10-kA πρέπει να εξοπλιστεί με μεγαλύτερο αριθμό(Metal-oxide)MO αντιστάσεων από αυτό που απαιτείται για έναν τύπου 5-kA, προκειμένου να περάσει επιτυχώς το τεστ. Για τα συστήματα παροχής και διανομής ενέργειας της κεντρικής Ευρώπης, αλεξικέραυνα της κλάσης των 5-kA είναι απολύτως επαρκής. Μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις (π.χ. εάν συμβαίνουν φαινόμενα πτώσης κεραυνών πολύ πάνω του μέσου όρου) τότε προτείνεται η χρήση 10-kA-αλεξικέραυνων. Στην πράξη, το 10-KA-αλεξικέραυνο γίνεται όλο και πιο συνηθισμένο, καθώς η διαφορά τιμής μεταξύ των δύο τύπων μειώνεται, εφόσον την ίδια στιγμή υπάρχουν υλικοτεχνικά πλεονεκτήματα για τη χρήση μόνο ενός τύπου αλεξικέραυνου για την όλη υποδομή.

Για υψηλής τάσης αλεξικέραυνα μόνο δύο κλάσεις αυτή των 10 kA και αυτή των 20 kA, είναι κατάλληλα. Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, η χρήση ενός 5-kA-αλεξικέραυνου είναι επίσης εφικτή και σε ένα 170 –kV σύστημα, ωστόσο στην πράξη είναι ασυνήθιστο. Επίσης οι οδηγίες χρήσεις του προτύπου IEC60099-5 συνιστούν 5-kA-αλεξικέραυνο για τάσεις μόνο μέχρι $U_s = 72,5$ kV.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο κλάσεων 10 kA και 20 kA, είναι η κλάση της γραμμής εκφόρτισης, ένα 10-kA-αλεξικέραυνο ανήκει στις κλάσεις ένα έως τρία, ενώ ένα 20-ka-αλεξικέραυνο, στις κλάσεις τεσσάρα και πέντε. Ως εκ τούτου, διαφορετικά 10-kA-αλεξικέραυνα μπορούν να έχουν πολύ διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά, και τα πραγματικά χαρακτηριστικά ταξινόμησης να μην είναι τόσο πολύ το ονομαστικό ρεύμα εκκένωσης όσο η κλάση της γραμμής εκκένωσης. Αλεξικέραυνα των 10-kA κλάσης 3 γραμμών εκκένωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα με μέχρι και 420 kV, χωρίς προβλήματα. Ωστόσο, και 20-kA-αλεξικέραυνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτή την τάση, χρησιμοποιώντας τις ίδιες (Metal-Oxide)MO αντιστάσεις. Ωστόσο δεν είναι τεχνικά αναγκαία.

5.4 Επιλογή της κλάσης γραμμής εκκένωσης

Η κλάση γραμμής εκκένωσης είναι το πραγματικό χαρακτηριστικό προσδιορισμού ενός υψηλής τάσης αλεξικέραυνου. Πρακτικά είναι ο μόνος τρόπος για να προσδιοριστεί η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας ενός αλεξικέραυνου, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60099-4. Η σχέση είναι σχετικά δύσκολο να κατανοηθεί. Αυτό έχει τελικά ωθήσει σχεδόν όλους τους κατασκευαστές να συμπεριλάβουν στους καταλόγους τους περισσότερες λεπτομέρειες για την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας από εκείνους που προβλέπονται στο πρότυπο IEC.

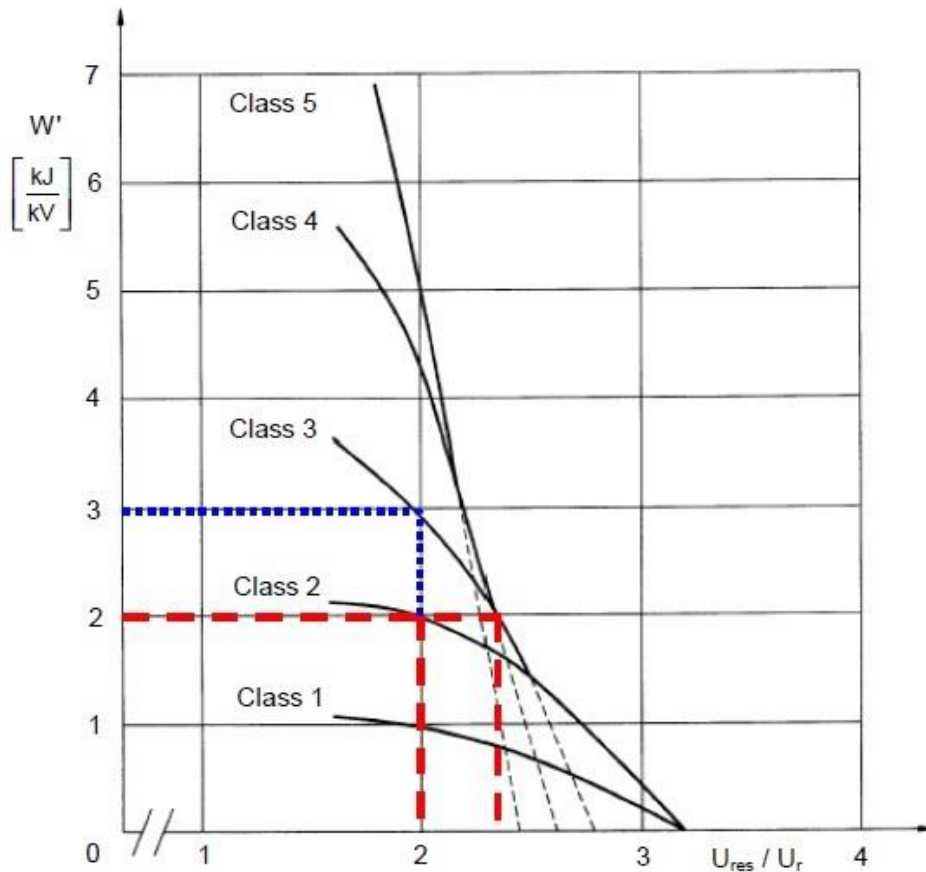
Ο προσδιορισμός της κλάσης γραμμής εκκένωσης βασίζεται στην παραδοχή ότι μια μακρά γραμμή μεταφοράς, φορτίζεται με μια συγκεκριμένη υπέρταση κατά τη διάρκεια της λειτουργίας μεταγωγής της και θα διοχετευτεί σε ένα συνδεδεμένο αλεξικέραυνο με τη μορφή κινούμενων παλμών. Υποθέτοντας το ισοδύναμο διάγραμμα κυκλώματος μιας γραμμής είναι ένα επαναληπτικό δίκτυο που αποτελείται από π-στοιχεία. Το κύκλωμα σχηματίζεται από πηνία και πυκνωτές και το ρεύμα που θα διατρέξει το κύκλωμα

προσδιορίζεται από η τιμή της τάσης και την ηλεκτρική εμπέδηση της γραμμής, η διάρκεια καθορίζεται από το μήκος της γραμμής και την ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Ίδανικά, προσομοιώνει έναν τετραγωνικού παλμό. Αυτή η διαδικασία πρέπει να προσομοιωθεί σε ένα εργαστήριο και ένα δοκιμαστικό εκκένωσης γραμμής. Το πρότυπο IEC 60099-4 ορίζει τώρα πέντε διαφορετικές κλάσεις γραμμής εκκένωσης. Επαυξημένες απαιτήσεις παρουσιάζονται στο αλεξικέραυνο από την κλάση ένα στην κλάση πέντε.

Line discharge class	Surge impedance of the line Z in Ω	Virtual duration of peak T in μs	Charging voltage U_L in kV (d.c.)
1	$4.9 \cdot U_T$	2000	$3.2 \cdot U_T$
2	$2.4 \cdot U_T$	2000	$3.2 \cdot U_T$
3	$1.3 \cdot U_T$	2400	$2.8 \cdot U_T$
4	$0.8 \cdot U_T$	2800	$2.6 \cdot U_T$
5	$0.5 \cdot U_T$	3200	$2.4 \cdot U_T$

U_T = rated voltage of the test sample as an r.m.s. value in kV

Οι παράμετροι προέρχονται από τις τυπικές χαρακτηριστικές τιμές των γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης. Από τον παραπάνω πίνακα δεν μπορούν να εξαχθούν ακριβή συμπεράσματα σχετικά με την ενεργειακή πίεση στην οποία εκτίθεται ένα αλεξικέραυνο κατά τη διάρκεια ενός τεστ. Για το λόγο αυτό το πρότυπο IEC 60099-4 παρέχει ένα επιπλέον διάγραμμα που αναπαριστά την μετατρεπόμενη ενέργεια κατά τη δοκιμή σε σχέση με την ονομαστική τάση της η οποία εμφανίζεται κατά τη διάρκεια μιας μονής γραμμής εκκενώσεως. Αυτό το ποσό της ενέργειας δεν έχει μια σταθερή τιμή αντ' αυτού εξαρτάται από το επίπεδο προστασίας του αλεξικέραυνου, ή πιο συγκεκριμένα, για την ορμή μεταγωγής της εναπομένουσας τάσης. Όσο υψηλότερη είναι η εναπομένουσα τάση, τόσο λιγότερη ενέργεια το αλεξικέραυνο απορροφά κατά τη διάρκεια της εκκένωσης της γραμμής, δεδομένου ότι η γραμμή θα αποβάλλει λιγότερο έντονα όταν η εναπομένουσα τάση είναι υψηλή. Τώρα είναι δυνατό να προσδιοριστεί εύκολα το πρόβλημα που παρουσιάζεται όταν η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας προσδιορίζεται με την βοήθεια της τάξης εκκένωσης γραμμής. Εάν (Metal-Oxide)MO αντιστάσεις εφαρμόζονται σε μία δεδομένη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας, τότε η αλεξικέραυνο μπορεί ανάλογα με την εναπομένουσα τάση που έχει, να κατηγοριοποιηθεί σε διαφορετικές κλάσεις γραμμών εκκένωσης. Το ακόλουθο παράδειγμα αποδεικνύει ότι: όταν χρησιμοποιούνται (Metal-Oxide)MO αντιστάσεις που μπορούν να απορροφήσουν 2kJ/kV ενέργειας ανά γραμμή εκκένωσης, το αλεξικέραυνο ανήκει στην κλάση 2. Ωστόσο, με τις ίδιες αντιστάσεις MO το αλεξικέραυνο θα μπορούσε να εκχωρηθεί και στην κλάση 3. Αλλά το φαινομενικά "καλύτερο" αλεξικέραυνο που ανήκει στην κλάση τρία θα μπορούσε ενδεχομένως να έχει χειρότερες επιδόσεις για μια συγκεκριμένη εγκατάσταση μιας και το επίπεδο προστασίας του θα είναι υψηλότερο. Προκειμένου να επιτευχθεί η κλάση τρία της γραμμής εκκένωσης, διατηρώντας παράλληλα την αναλογία $U_{res}/U_T = 2$ πρέπει να χρησιμοποιηθούν αντιστάσεις ικανότητα απορρόφησης ενέργειας τουλάχιστον 6 kJ / kV, που σημαίνει εκείνους με τη μεγαλύτερη διάμετρο.



Εικόνα 43: Ειδική ενέργεια σε kJ/kV της ονομαστικής τάσης σε αναλογία με την κρουστική τάση διασπάσεως U_{res} δια της ονομαστικής τάσης U_r του αλεξικέρανου.

Αντίθετα, συμπεράσματα για την κλάση γραμμής εκκένωσης μπορούν να εξαχθούν μόνο σε σχέση με την εναπομένουσα τάση ως προς την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας του αλεξικέρανου, και ως εκ τούτου σχετικά με τις MO αντιστάσεις που χρησιμοποιούνται. Είναι σημαντικό να γίνουν αυτές οι αλληλεξαρτήσεις σαφείς όταν γίνεται η επιλογή ενός αλεξικέρανου.

Εφ' όσον δεν υπάρχουν ιδιαίτερα εύκολη ή δύσκολη απαιτήσεις που προέρχονται από το σύστημα, προτείνονται οι ακόλουθες κλάσεις εκκένωσης γραμμής, ανάλογα με την τάση του συστήματος.

Line discharge class	U_s (kV)
1	≤ 245
2	≤ 300
3	≤ 420
4	≤ 550
5	≤ 800

Στην πράξη, όμως, υπάρχει η τάση να επιλέγετε η επόμενη υψηλότερη κλάση εκκένωσης γραμμής. Αυτό οδηγεί στο πρόβλημα ότι η κλάση 5 συνήθως δεν πληροί τις απαιτήσεις των συστημάτων υπερυψηλής τάσης με $U_s > 550$ kV. Στην πραγματικότητα, σε αυτό το επίπεδο τάσης η διάμετρος των MO αντιστάσεων και/η παράλληλη σύνδεση των αντιστάσεων αποδίδουν πολύ μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας από ό, τι είναι αναγκαίο για την κλάση 5. Γι'αυτά τα συστήματα είναι σύνηθες να καθοριστούν οι απαιτήσεις ικανότητας απορρόφησης ενέργειας με λεπτομερή μελέτη του συστήματος, έτσι ώστε να προσδιοριστεί από τον χρήστη η ακριβής τιμή της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας αντί της τάξης εκκένωσης γραμμής.

Κατά τη λήψη της απόφασης σχετικά με τον προσδιορισμό της κλάσης εκκένωσης γραμμής - και έτσι έμμεσα τον ορισμό της ικανότητας απορρόφησης ενέργειας - η απαιτούμενη διάμετρο των MO αντιστάσεων έχει επιλεγεί αυτόματα. Η ακόλουθη ταξινόμηση αποτελεί έναν πρόχειρο προσανατολισμό:

MO resistor diameter (mm)	Line discharge class
50	1 and 2
60	2 and 3
70	3 and 4
80	4 and 5
100 (or 2 · 70 in parallel)	5 and higher

Μετά τον καθορισμό της ονομαστικής τάσης και στη συνέχεια επιλέγοντας τη διάμετρο των MO αντιστάσεων, ο χαρακτηρισμός της προστασίας του αλεξικέραυτου έχει πλήρως καθοριστεί. Το επόμενο είναι να ελέγξουμε αν το προστατευτικό επίπεδο είναι επαρκές.

5.5 Επιλογή και Αξιολόγηση των προστατευτικών επιπέδων

Το χαρακτηριστικό προστασίας ενός αλεξικέραυτου πολύ συχνά αξιολογείται μέσω του επιπέδου προστασίας της κεραυνικής ορμής. Αυτό σημαίνει ότι αξιολογείται σύμφωνα με την εναπομένουσα τάση, ενώ το ονομαστικό ρεύμα διαφυγής διαρρέεται. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σύμφωνα με τον οδηγό χρήσης του συντονισμού της μόνωσης, IEC 60071 - 2, πρέπει να υπάρχει ένα παράγοντας – ο αποκαλούμενος παράγοντας ασφάλειας, K_s – με τιμή τουλάχιστον 1,15 μεταξύ της κανονικής κρουστικής κεραυνικής τάση αντοχής της συσκευής που πρέπει να προστατευθεί με μη αυτό-διορθωόμενη μόνωση και την υψηλότερη υπέρταση εξαιτίας του κεραυνού η οποία αναμένεται να συμβεί στα τερματικά. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να σημειωθεί ότι, λόγω των διαρρεόντων κυμάτων και την επαγωγική πτώση τάσης, η τάση στους ακροδέκτες της συσκευής που πρέπει να προστατευθεί μπορεί γενικά να είναι υψηλότερη από την τάση στους ακροδέκτες του αλεξικέραυτου. Εκτός από αυτό, θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι - αν και είναι πολύ απίθανο στα υψηλής τάσης συστήματα μετάδοσης – το ρεύμα εκκένωσης μπορεί να είναι αρκετά μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα εκφόρτισης του αλεξικέραυτου.

Εάν η απόσταση μεταξύ του αλεξικέραυνου και της συσκευής δεν είναι πολύ μεγάλη – τα αλεξικέραυνα έχουν μια προστατευτική ζώνη λίγων μέτρων στο σύστημα διανομής και περίπου εξήντα μέτρα στα συστήματα υψηλής και υπερυψηλής τάσης. Θα πρέπει ωστόσο να έχουμε κατά νου ότι αυτή η απλοποίηση μπορεί να μην είναι επαρκής για ειδικές διαμορφώσεις του συστήματος ή όταν η απόσταση μεταξύ του αλεξικέραυνου και της συσκευής είναι μεγάλη. Έτσι η σωστή και τυπική διαδικασία είναι να προσδιοριστούν οι αναμενόμενες υπερτάσεις μέσω υπολογισμών και να εγκατασταθεί το απαιτούμενο προστατευτικό επίπεδο του αλεξικέραυνου. Πληροφορίες και οδηγίες για το σκοπό αυτό βρίσκονται στις δημοσιεύσεις IEC 60071-1 και 60071-2 και οι συστάσεις για την εφαρμογή των αλεξικέραυνων γίνονται στην δημοσίευση IEC 60099-5.

Στα συστήματα υπερύψηλης τάσης το προστατευτικό επίπεδο μεταγωγής ορμής συνήθως καθορίζεται από την τιμή του χαρακτηριστικού προστασίας του αλεξικέραυνου.

Arrester class	Switching current impulses (A)
20 kA, LD-classes 4 and 5	500 and 2000
10 kA, LD-class 3	250 and 1000
10 kA, LD-class 1 and 2	125 and 500

Ακριβώς όπως με το επίπεδο προστασίας της κεραυνικής ορμής, το προστατευτικό επίπεδο μεταγωγής θα πρέπει να επιλέγει με βάση ότι η υπέρταση μεταγωγής της συσκευής την οποία προστατεύει δεν είναι υψηλότερη από τη μεταγωγή της κρουστικής τάσης διαιρεμένη με ένα παράγοντα ασφάλειας K_s . Ως αποτέλεσμα της αργής διαδικασίας, προκαλείται αύξηση της τάσης από τα φαινόμενα διερχόμενων κυμάτων και της επαγωγικής πτώσεως τάσης.

Εάν κατά τον έλεγχο των προστατευτικών επιπέδων όλων των περιπτώσεων δοκιμής ρευμάτων ορμής, όλα τα κριτήρια τηρούντα, τότε η επιλογή του ηλεκτρικού χαρακτηριστικού του αλεξικέραυνου έχει ολοκληρωθεί σε αυτό το σημείο. Τι όμως πρέπει να γίνει εάν οποιαδήποτε από αυτές τις τιμές είναι υπερβολικά υψηλή; Για ένα δεδομένο τύπο ΜΟ αντιστάτων όλες οι εναπομείναντες τιμές τάσης, καθώς και η συνεχή ονομαστική τάση λειτουργίας, ακολουθούν μια σταθερή αναλογία. Έτσι, καμία από αυτές τις τιμές δεν μπορεί να μειωθεί ανεξάρτητα. Αν τ'αυτού το σύνολο των χαρακτηριστικών θα πρέπει να μετατοπιστεί προς τα κάτω, έτσι ώστε για παράδειγμα να πληροί ένα κατώτερο προστατευτικό επίπεδο. Αυτό ωστόσο δεν επιτρέπεται καθώς η συνεχής τάση λειτουργίας και αυτόματα θα χαμηλώσουν κατά το ίδιο ποσοστό και μια σταθερή συνεχή λειτουργία δεν θα μπορούσε πλέον να είναι εγγυημένη. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει συνήθως μόνο μία αποδεκτή πρακτική: να επιλεγούν αντιστάσεις ΜΟ με μεγαλύτερες διατομές. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί επιλέγοντας αντιστάσεις με μεγαλύτερη διάμετρο ή συνδέοντας αρκετές αντιστάσεις παράλληλα. Γενικά είναι αποδεκτό ότι ο λόγος του επιπέδου προστασίας της κεραυνικής ορμής είναι μικρότερος (με άλλα λόγια, η U-I χαρακτηριστική καμπύλη είναι πιο επίπεδη), όσο μεγαλύτερη είναι η διατομή των ΜΟ αντιστάσεων. Ως εκ τούτου για μια δεδομένη συνεχούς λειτουργίας και ονομαστική τάση αντίστοιχα, η χρήση αντιστάσεων με μεγαλύτερη διατομή θα έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο επίπεδο προστασίας. Η αναλογία της εναπομένουσας τάσης σε μια κεραυνίτη ορμή της τάξης των 10 kA, με την ενεργό τιμή της ονομαστικής τάση να είναι μεταξύ πάνω του 3 για αλεξικέραυνα διανομής και σχεδόν 2 για βαριά υψηλής τάσης αλεξικέραυνα.

Οι απαιτήσεις για χαμηλές παραμένουσες τιμές τάσεων είναι συχνά ο λόγος που μεγαλύτερες αντιστάσεις και περισσότερες τον αριθμό χρησιμοποιούνται από ότι πραγματικά χρειάζεται από την δεδομένη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Ως εκ τούτου, χαμηλές τιμές τάσης πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο όταν είναι απολύτως αναγκαία για την εν λόγω εφαρμογή.

5.6 Η επιλογή του περιβλήματος

Κατά την επιλογή του περιβλήματος λαμβάνονται υπόψη κατά κανόνα οι διηλεκτρικές και μηχανικές απαιτήσεις. Το μήκος, η είδος θωράκισης, η διάμετρος και το υλικό πρέπει όλα να προσδιοριστούν. Το ελάχιστο μήκος του περιβλήματος προσδιορίζεται προφανώς από την απαίτηση να ταιριάζει με τη στήλη της ΜΟ αντίστασης δηλαδή το ενεργό μέρος του αλεξικέραυνου. Ο μήκος αυτής της στήλης προσδιορίζεται από τα ηλεκτρικά δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί κατά τη στάδια επιλογής μέχρι εκείνο το σημείο. Ωστόσο αυτό δεν αποτελεί την απαίτηση για τις διαστάσεις του περιβλήματος. Γενικότερα, πρόσθετες απαιτήσεις απαιτούν το μήκος του περιβλήματος να είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνο το μήκος των ενεργών μερών.

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60099-4 το περίβλημα του αλεξικέραυνου πρέπει να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις δοκιμών:

	$I_n = 10 \text{ kA and } 20 \text{ kA}$		$I_n \leq 5 \text{ kA and High Lightning Duty Arresters } (1 \text{ kV} \leq U_s \leq 52 \text{ kV})$
	$U_r \geq 200 \text{ kV}$	$U_r < 200 \text{ kV}$	
Test with lightning impulse voltage	1.3 · lightning impulse protective level		
Test with switching impulse voltage	1.25 · switching impulse protective level	–	–
Test with power-frequency voltage (\bar{u} ; duration 1 min)	–	1.06 · switching impulse protective level	0.88 · lightning impulse protective level

Οι δοκιμαστικές τάσεις που είναι αποτέλεσμα των απαιτήσεων είναι πιο χαμηλές από εκείνες των άλλων συσκευών του συστήματος. Το ακόλουθο παράδειγμα της κρουστικής κεραυνικής τάσης δείχνει ότι: ένα τυπικό αλεξικέραυνο σε ένα 420 kV σύστημα έχει όριο προστασίας τα 823 kV. Το περίβλημα του πρέπει συνεπώς να δοκιμαστεί με μια τάση της τάξεως των του $1,3 \cdot 823 \text{ kV} = 1070 \text{ kV}$, το οποίο αντιπροσωπεύει μόνο το 75% της κεραυνικής τάσης των 1425 kV, που συνήθως εφαρμόζεται σε τέτοια συστήματα.. Αυτό είναι πλήρως δικαιολογημένο διότι το περίβλημα του αλεξικέραυνο είναι το καλύτερο προστατευόμενο σημείο εντός του συστήματος. Δεν εμφανίζονται μεγαλύτερες τάσεις σε αυτό το σημείο εκτός από την πτώση τάσης όλες τις εγκλεισμένες ΜΟ αντιστάσεις. Την ίδια στιγμή οι παράγοντες που παρατίθενται στον πίνακα λαμβάνουν υπόψη διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες - όπως η εγκατάσταση σε ύψος έως και τα 1000 μ - καθώς και η δυνατότητα να δεχθούν ρεύματα υψηλότερα από τα ονομαστικά ρεύματα εκφόρτισης.

Εάν η τοποθέτηση του αλεξικέραυνου είναι σε ύψος άνω των 1000 μέτρων - η οποία σύμφωνα με την προσδιορισμό του IEC δεν λειτουργεί πλέον σε "κανονική κατάσταση λειτουργίας" τότε πρέπει να επιλεγούν μεγαλύτερη μήκη περιβλήματος έτσι ώστε να διατηρηθούν οι απαιτούμενες τιμές τάσεων σε συνθήκες χαμηλής πυκνότητας αέρα.

Μέχρι τώρα έχουν προσδιοριστεί οι παράμετροι του περιβλήματος προκειμένου να εκπληρώσουν τις ηλεκτρικές απαιτήσεις. Τώρα το επόμενο και τελευταίο βήμα είναι ο προσδιορισμός των μηχανικών κριτηρίων. Έτσι μπορούν έμμεσα να οδηγήσουν στην επιλογή του υλικού και τη διάμετρο του περιβλήματος. Εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τις πραγματικές ανάγκες, η ακόλουθες τιμές μπορεί να χρησιμεύσουν ως ένας οδηγός για τα απαραίτητα στατικά φορτία: $F_{stat}= 400$ που περιλαμβάνει $U_s= 420$ kV, $F_{stat}= 600$ για $U_s= 550$ kV και $F_{stat}= 800$ N για $U_s= 800$ kV. Αυτές οι τιμές αντιπροσωπεύουν τις απόλυτα ελάχιστες απαιτήσεις υποθέτοντας ότι το αλεξικέραυνο συνδέεται με το στέλεχος ενός βρόχου πηνίων και η ταχύτητα του ανέμου δεν υπερβαίνει τα 34 m/s (≈ 120 χλμ/ώρα) σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60694 για τις "κανονικές συνθήκες λειτουργίας".

Πέρα από τα στατικά φορτία της κεφαλής που συνήθως προκαλούν αρκετά από τα προβλήματα των αλεξικέραυνων, πρέπει να λάβουμε υπόψη και κάποιες δυναμικές απαιτήσεις. Αυτές για παράδειγμα μπορούν να προκύψουν ως αποτέλεσμα βραχυκυκλώματος στη γραμμή ή από ριπές ανέμων. Σε αυτή τη περίπτωση τα αλεξικέραυνα με πορσελάνινο περίβλημα, λόγω του ότι είναι αρκετά εύθραυστα και εξαιτίας της στατικής ακαμψίας της πορσελάνης μπορούν να ανεχθούν πίεση μόνο έως το 40% του δυναμικού τους. Τα στατικά φορτία της κεφαλής που προαναφέρθηκαν διατυπώνονται εκτενώς στον ακόλουθο πίνακα:

Highest system voltage U_s (kV)	$F_{min, static}$ (N)	$F_{min, dynamic}$ (N)	Minimum breaking value (N)
≤ 420	400	1000	1200
550	600	1500	1800
800	800	2000	2400

Οι παραπάνω αναλογίες είναι κάπως διαφορετικές όταν αναφερόμαστε στα πολυεστερικά αλεξικέραυνα κανόνες και τα πρότυπα δεν έχουν ακόμη καθοριστεί.

Ενώ οι τιμές που παρατίθενται στον πίνακα δείχνουν τις σχετικώς ελάχιστες απαιτήσεις για το περίβλημα, αυτά μπορούν να κλιμακωθούν σημαντικά εάν λάβουμε υπόψη και σεισμικές απαιτήσεις. Αυτές οι απαιτήσεις υπερβαίνουν τις «κανονικές συνθήκες λειτουργίας», και οι συσχετιζόμενες απαιτήσεις θα πρέπει να περιγράφονται ρητά σε μια έρευνα. Υπάρχουν διάφορες διαδικασίες υπολογισμού και δοκιμής της συμπεριφοράς του αλεξικέραυνου υπό τέτοιες συνθήκες. Τυπικά ένα πλήρως συναρμολογημένο αλεξικέραυνο υποβάλλεται σε μια σεισμική δοκιμασία πάνω σε μια κινούμενη βάση, στην οποία τουλάχιστον δύο άξονες επιταχύνονται την ίδια χρονική στιγμή. Αυτή η δοκιμασία διεξάγεται με ένα φάσμα από διαφορετικές συχνότητες και πλάτη έτσι ώστε να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη η προσομοίωση ενός πραγματικού σεισμού. Οι ακραίες απαιτήσεις μπορούν σε πολλές περιπτώσεις εύκολα να εκπληρωθούν με τη χρήση πολυμερούς περιβλήματος σε αντίθεση με τη χρήση περιβλήματος πορσελάνης που παρουσιάζει στατική ακαμψία.



Εικόνα 44: Αλεξικέραυνο με πολυεστερικό περίβλημα για ένα σύστημα 550 kV κατά τη διάρκεια τεστ σεισμού πάνω σε ένα κινούμενο τραπέζι.

Λαμβάνοντας τις σεισμική απαιτήσεις υπόψη είναι μια κοινή ανάγκη μόνο για λίγες γεωγραφικές περιοχές σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο πέρα από την προηγούμενη λίστα των μηχανικών χαρακτηριστικών, τα προβλήματα που παρουσιάζονται στα αλεξικέραυνα λόγω βραχυκυκλώματος πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε περίπτωση. Χαρακτηρίζουν την αστοχία ενός αλεξικέραυνου μετά την λειτουργική υπερφόρτωση των ΜΟ αντιστάσεων. Σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις η υπερφόρτωση μπορεί να συμβεί για παράδειγμα πέσει ένας κεραυνός σε ένα σύστημα διανομής τάσης. Μετά την υπερφόρτωση, ένα τόξο αναπτύσσεται στο εσωτερικό του περιβλήματος του αλεξικέραυνου μέσω διαρρέεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Σε ένα αλεξικέραυνο με εγκλεισμένη μια ποσότητα αερίου, η πίεση αυξάνεται απότομα εντός του εσωτερικού περιβλήματος. Ωστόσο η διάταξη εκτόνωσης εμποδίζει την έκρηξη του περιβλήματος. Καθώς τα καινούργια μονωμένα με πολυμερές αλεξικέραυνα δεν περιέχουν πλέον εγκλειστές ποσότητες αερίου στο περίβλημα τους, είναι πλέον λογικό να αναφερθεί γενικότερα η προσαρμογή των αλεξικέραυνων σε αυτές τις συμπεριφορές και κατά συνέπεια να υπάρχουν πλέον οι σχετικές δοκιμές. Ο στόχος ωστόσο παραμένει ο ίδιος: στην περίπτωση που ένα αλεξικέραυνο υπερφορτωθεί σύμφωνα με τις δοκιμαστικές απαιτήσεις, το περίβλημα πρέπει είτε να παραμένει άθικτο ή αν σπάει τα θραύσματα του περιβλήματος και τα εκτοξευόμενα μέρη πρέπει να πέσουν στο έδαφος μέσα σε μια περίμετρο γύρω από το αλεξικέραυνο, του οποίου η ακτίνα είναι περίπου ίση με το

ύψος του αλεξικέραυνου. Η πιθανότητα θραύσης ενός περιβλήματος πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την κατασκευή ενός υποσταθμού.



Εικόνα 45: Αλεξικέραυνο με πορσελάνινο περίβλημα

Το μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος, που ρέει για μια περίοδο 200 ms, κατά την οποία ένα αλεξικέραυνο μπορεί να εξακολουθεί να πληρούν τις ανωτέρω απαιτήσεις δοκιμών ήταν μέχρι πρόσφατα, διαιρούμενο σε διαφορετικές κατηγορίες σύμφωνα με τα πρότυπα της IEC. Αυτό έγινε δίνοντας στο ρεύμα βραχυκύκλωσης μία αριθμητική τιμή σε kiloamperes, ή σε ορισμένες περιπτώσεις ένα γράμμα. Σήμερα το πρότυπο παραθέτει μόνο ρεύματα βραχυκύκλωσης εκφραζόμενα σε A . Οι ακόλουθοι πίνακες παρουσιάζουν τις ταξινομήσεις σύμφωνα με τα παλαιά και τα νέα πρότυπα:

Παλιό (σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60099-1, 1991-5):

Pressure relief class	r.m.s. value of the symmetrical short-circuit current (A)
80	80 000
63	63 000
50	50 000
40 (A)	40 000
20 (B)	20 000
10 (C)	10 000
16 (D)	16 000
5 (E)	5 000

Νέο (σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60099-1, Έκδοση 3.1, 1999-12):

Rated short-circuit current (A)	r.m.s. value of the symmetrical short-circuit current (A) ¹
80 000	80 000
63 000	63 000
50 000	50 000
40 000	40 000
31 500	31 500
20 000	20 000
16 000	16 000
10 000	10 000
5 000	5 000

5.7 Συνθήκες Λειτουργίας

Οι "Κανονικές συνθήκες λειτουργίας" έχουν ήδη αναφερθεί αρκετές φορές. Οι κατασκευαστές προσδιορίζουν τις χαρακτηριστικές τιμές μόνο για τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Έτσι κατά την επιλογή ενός αλεξικέρανου, είναι απαραίτητο να ελεγχθεί εάν αυτές οι συνθήκες συμπίπτουν με τις πραγματικές συνθήκες εγκατάστασης. Η ακόλουθη λίστα περιλαμβάνει τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας που περιγράφονται στο πρότυπο IEC 60099-4.

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα από -40°C έως $+40^{\circ}\text{C}$
- Η ηλιακή ακτινοβολία $1.1\text{ kW} / \text{m}^2$
- Υψόμετρο που δεν υπερβαίνει τα 1000 m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας
- Συχνότητα εναλλασσόμενου ρεύματος όχι μικρότερη από 48 Hz και όχι μεγαλύτερη από τα 62 Hz
- Η τάση που θα εφαρμόζεται στους ακροδέκτες του αλεξικέρανου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την ονομαστική τάση λειτουργίας του.

Ακόμα κι αν δεν αναφέρεται στο πρότυπο IEC 60099-4, η ταχύτητα του ανέμου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 34 m/s, καθώς επίσης είναι αυτονόητη η κάθετη τοποθέτηση του αλεξικέρανου.

Το φαινόμενο του κεραυνού αποτέλεσε για τον πρώτο άνθρωπο ένα ανεξήγητο μυστήριο, μια θεϊκή παρέμβαση. Με την πάροδο των αιώνων οι προσπάθειες να εξηγηθεί, αλλά και να τιθασευτεί ήταν πολλές. Ακόμη όμως και σήμερα, παρά την πρόοδο των επιστημών και της τεχνολογίας, ο κεραυνός ως φυσικό φαινόμενο εξακολουθεί να περιβάλλεται από ένα μυστήριο. Η πληθώρα των παραμέτρων, που το χαρακτηρίζουν, αλλά και η τυχαιότητα του φαινομένου καθιστά σχεδόν αδύνατη τη πλήρη κατανόηση των κεραυνικών εκκενώσεων. Οι επιπτώσεις όμως του φαινομένου, όντας ορατές και χειροπιαστές, κατέστησαν απαραίτητη και ζωτικής σημασίας τη δημιουργία και το σχεδιασμό συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας, προκειμένου να προστατευθούν οι κατασκευές, αλλά και να αποφευχθούν οι ανθρώπινες απώλειες.

Τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας ξεκίνησαν να εφαρμόζονται στις διάφορες κατασκευές μετά το δεύτερο μισό του 18^{ου} αιώνα, με την ακίδα του Φρανγκλίνου να αποτελεί το κύριο όπλο κατά του φαινομένου. Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα έγινε και η εφαρμογή προτύπων, σύμφωνα με τα οποία θα σχεδιαζόταν η αντικεραυνική προστασία κτηρίων και κατασκευών. Τα πρότυπα αυτά βελτιωνόταν συνεχώς και ανανεώνονταν σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες και συνθήκες, κάτι τέτοιο όμως δεν έγινε και με τη τεχνολογία των αλεξικέραυνων. Τη δεκαετία του 80 έκαναν την εμφάνισή τους αλεξικέραυνα, των οποίων οι κατασκευαστές διατείνονταν ότι θα αντικαθιστούσαν την απαρχαιωμένη ακίδα του Franklin και θα έθεταν νέα κριτήρια για την προστασία των κατασκευών. Στη παρούσα πτυχιακή ασχοληθήκαμε με τη μελέτη της εφαρμογής των καθοδικών αλεξικέραυνων σε εγκαταστάσεις υψηλής τάσης. Μελετήσαμε τις απαραίτητες θεωρητικές γνώσεις για τις αρχές λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά των Metal-Oxide αλεξικέραυνων στα συστήματα μεταφοράς ενέργειας υψηλής τάσης καθώς και τον τρόπο σχεδιασμού ενός MO αλεξικέραυνου και διαμόρφωσης του.

Βιβλιογραφία

Βιβλία:

- [1] Ι.Α. Σταθόπουλος, Προστασία τεχνικών εγκαταστάσεων έναντι υπερτάσεων, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1989.
- [2] Π. Νικολόπουλος, Υψηλές Τάσεις Ι, Αθήνα 1994.
- [3] Ε. Λεκατσάς, Θέματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Αθήνα 1985.
- [4] Κ. Α. Στασινόπουλος, Τεχνολογία Υψηλών Τάσεων, Α΄ Έκδοση, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 1996.
- [5] Μ. Δανίκας, Στοιχεία Υψηλών Τάσεων, Εκδόσεις Οικονομικών, Αθήνα 2005.
- [6] Β. Παπαδιάς, Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999
- [7] Λ. Οικονόμου, Ανάπτυξη μεθοδολογιών για τον υπολογισμό της κεραυνικής συμπεριφοράς και τη σχεδίαση γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα, Μάιος 2006
- [8] Μ. Π. Παπαδόπουλος, Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος Ι, Αθήνα 1994
- [9] Χρήστος Μαινεμενλής, Μόνωση Ηλεκτρικών Δικτύων Υψηλής Τάσης, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2008 .
- [10] Volker Hinrichsen, Metal-Oxide Surge Arrester, Fundamentals, 1st Edition, 2001.
- [11] R.E. James, Q.Su, Condition Assessment of high Voltage Insulation in Power System Equipment, IET Power and Energy Series 53, 1st Edition 2008.
- [12] IEC 60099-4, Surge Arresters: Part 4: Metal-Oxide surge arresters without gaps for a.c. systems, 2st Edition, 2004-2005.

Διαδίκτυο:

- [13] Πως δημιουργείται ο κεραυνός; <http://gkatsikogiorgos.blogspot.gr/2008/10/blog-post.html>
- [14] Λίγα λόγια για τον κεραυνό, <http://www.iqelectric.com/keravnos.htm>
- [15] Lightning, <http://en.wikipedia.org/wiki/Lightning>

[17] Thunder, <http://en.wikipedia.org/wiki/Thunder>