



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ



Καθοδικά αλεξικέραυνα



Είδη καθοδικών αλεξικερράνων

- Τα καθοδικά αλεξικέραυνα χρησιμοποιούνται για την **προστασία** των γραμμών μεταφοράς και διανομής και των υποσταθμών **από υπερτάσεις**.
- Τα καθοδικά αλεξικέραυνα μπορούν να χαρακτηρισθούν σαν διακόπτες, οι οποίοι κλείνουν στιγμιαίως σε περίπτωση υπέρτασης και δημιουργούν μια αγωγή προς τη γη, **διοχετεύοντας την υπέρταση μακριά από τις προς προστασία συσκευές**.
- Βασικές, λοιπόν, **ιδιότητες** ενός καθοδικού αλεξικέραυνου είναι: TM
 - ✓ να μην άγει κατά την κανονική τάση λειτουργίας
 - ✓ να αρχίσει να άγει μόλις εμφανισθεί μια υπέρταση μεγαλύτερη από μια προκαθορισμένη τιμή, και
 - ✓ να διακόπτει αμέσως τη λειτουργία του μόλις παρέλθει η υπέρταση.



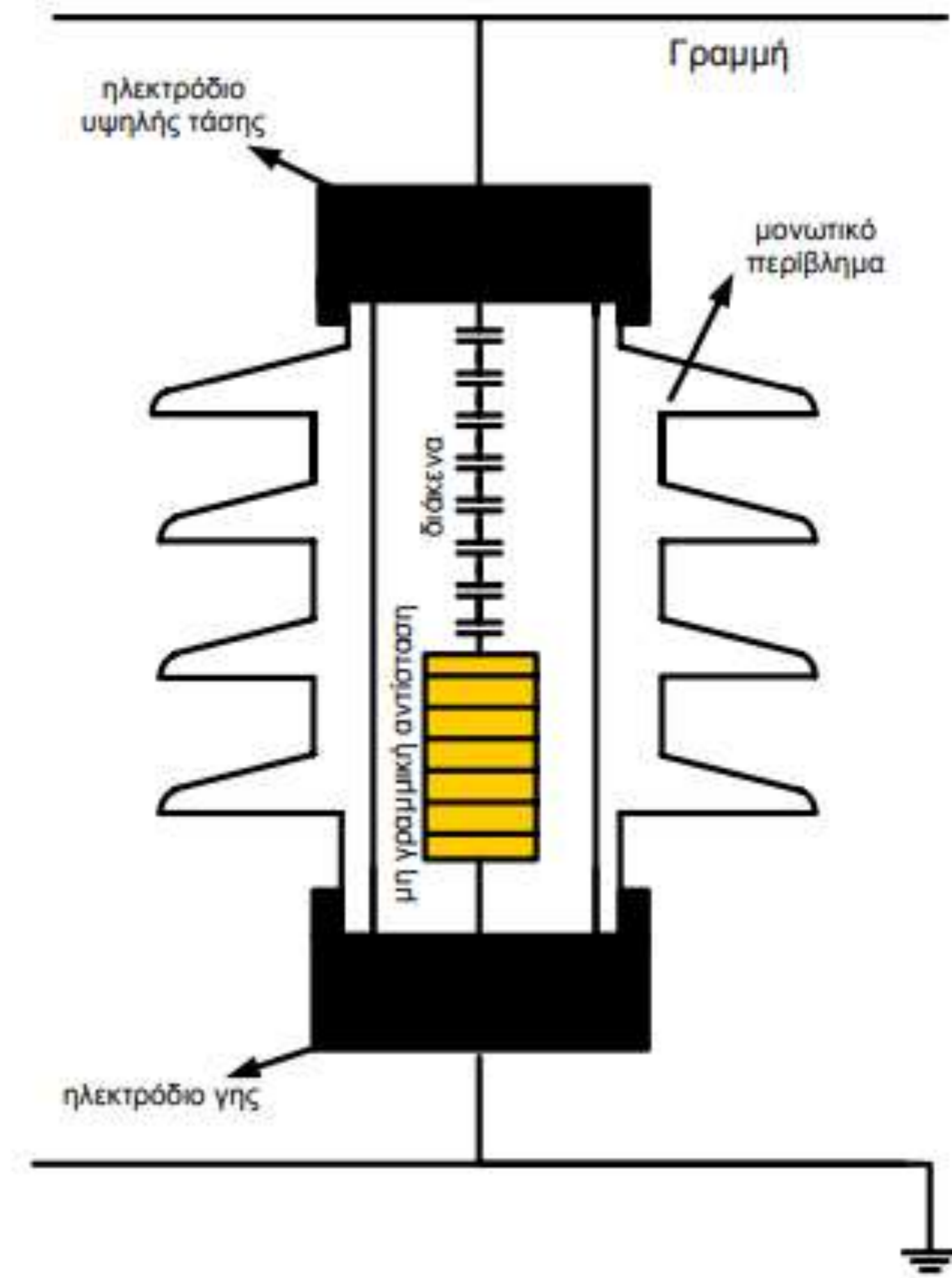
Είδη καθοδικών αλεξικεράυνων

Καθοδικά αλεξικέραυνα με διάκενα

- Αποτελούνται από έναν **πολλαπλό σπινθηριστή σε σειρά με μια μη γραμμική αντίσταση**, περικλειόμενα σε κατάλληλο μονωτικό περίβλημα (συνήθως πορσελάνη).
- Σκοπός της μη γραμμικής αντίστασης είναι ο περιορισμός του ρεύματος του σφάλματος σε τέτοια όρια, που να επιτρέπουν την οριστική διακοπή του κατά την πρώτη επόμενη μετάβαση του ρεύματος από το μηδέν.
- Οι μη γραμμικές αντιστάσεις στα αλεξικέραυνα με διάκενα είναι συνήθως από ανθρακοπυρίτιο (SiC), ενώ η χαρακτηριστική τάσεως – ρεύματος (V-I), είναι της μορφής: $I = kU^\alpha$

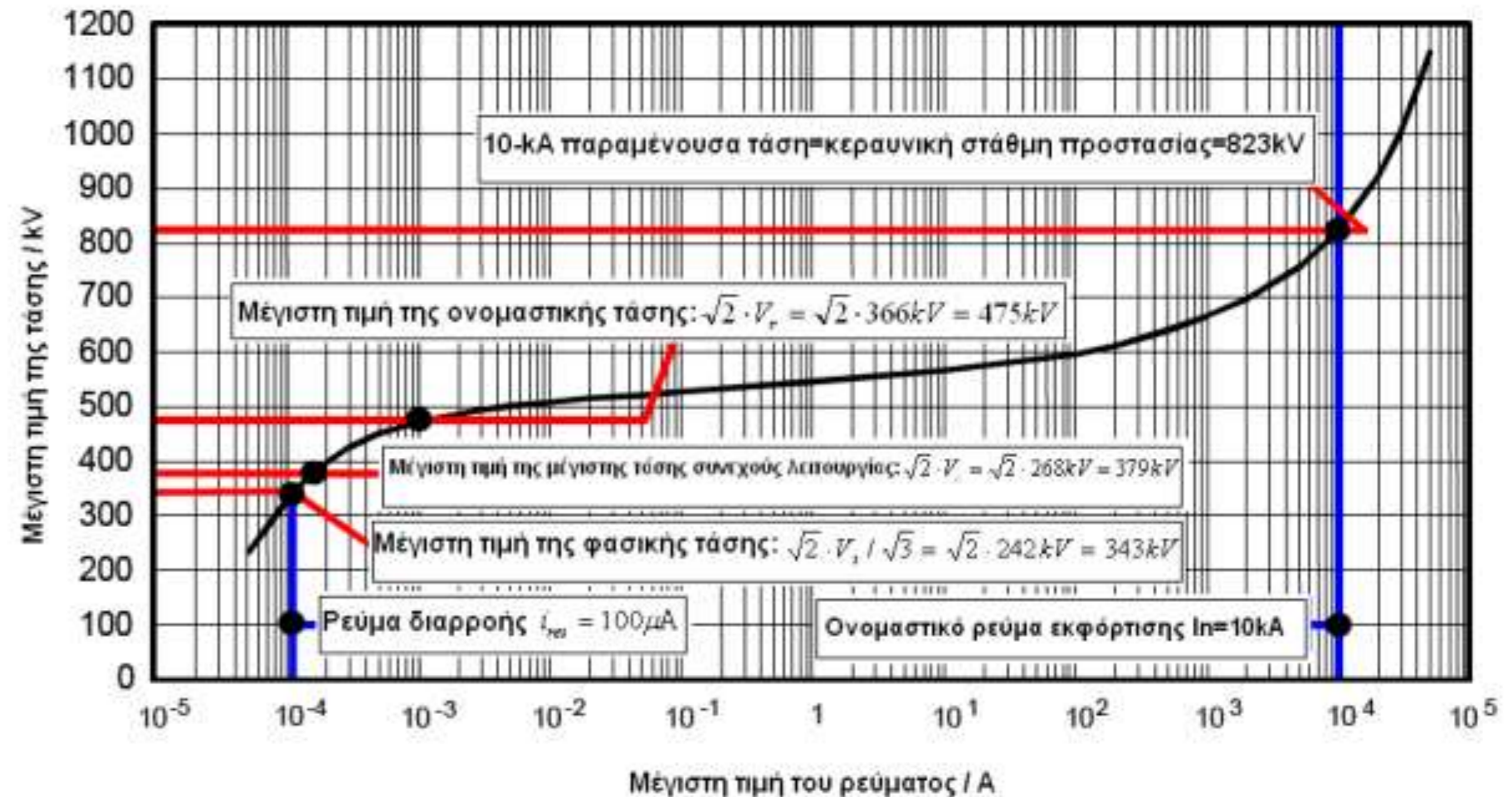
όπου k και α είναι συντελεστές, εξαρτώμενοι κυρίως από το υλικό της αντίστασης.

- Ο συντελεστής α είναι δείκτης του βαθμού της μη γραμμικότητας της αντίστασης και πρέπει να έχει όσο το δυνατό πιο μεγάλη τιμή (για ανθρακοπυρίτιο ισχύει α=4-5).



Καθοδικά αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα

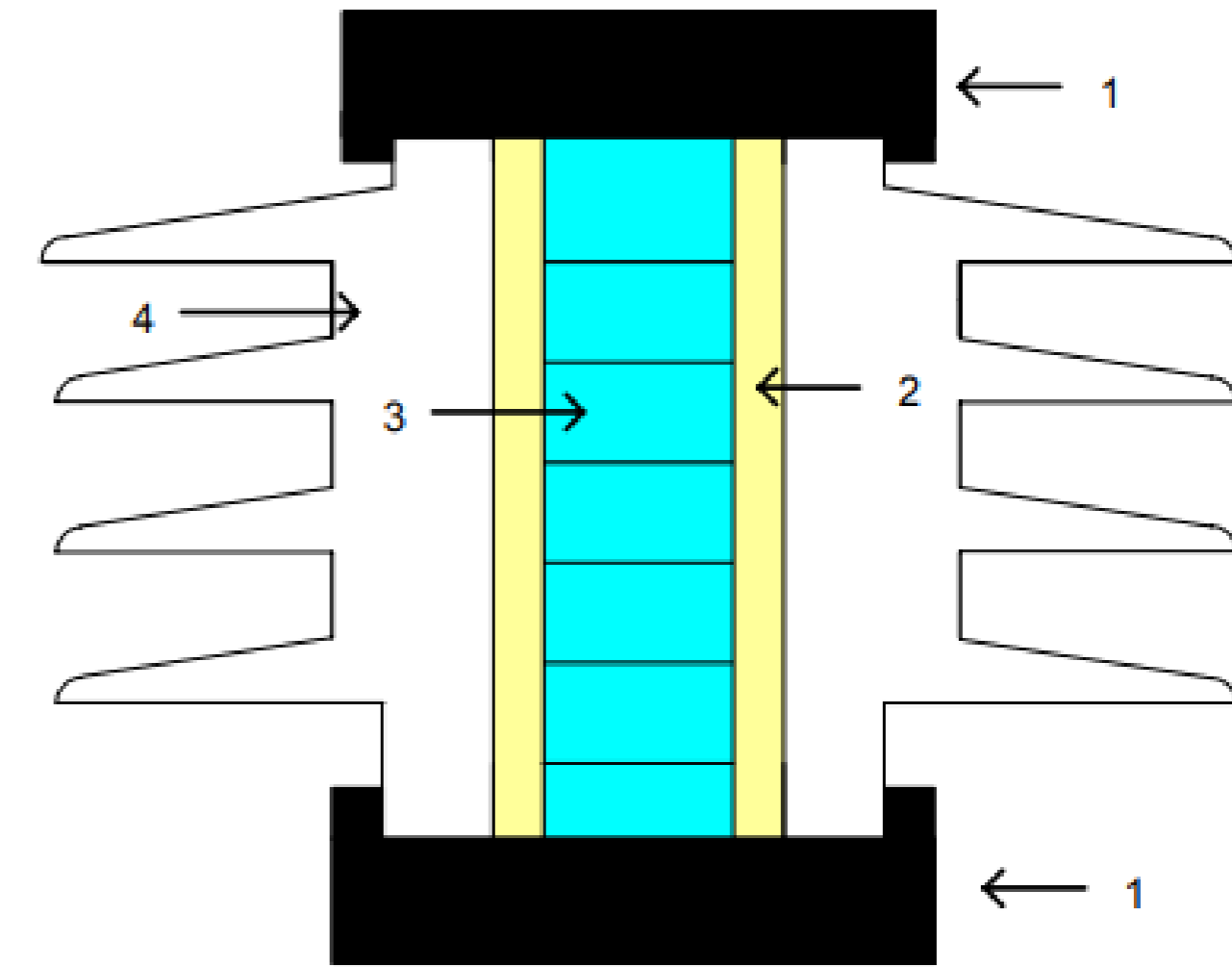
- Τα τελευταία χρόνια, τα αλεξικέραυνα με διάκενα αντικαθίστανται με αυτά χωρίς διάκενα, αποτελούμενα από μη γραμμικές αντιστάσεις από **μεταλλικά οξειδία (metal oxide varistors)**, οι οποίες κατά **90% συνίστανται από οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO)** και 10% από προσμίξεις άλλων οξειδίων, όπως Bi₂O₃, MnO, Cr₃O₃ και Sb₂O₃.
- Η χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος (**V-I**) παρουσιάζει **πιο έντονη μη γραμμικότητα**, σε σύγκριση με αυτή του ανθρακούχου πυριτίου (SiC).



- Σε τάση κανονικής λειτουργίας το αλεξικέραυνο διαρρέεται από ένα πολύ μικρό ρεύμα (κάτω του 1mA) και συμπεριφέρεται ως μονωτής.
- Σε περίπτωση υπέρτασης, το αλεξικέραυνο συμπεριφέρεται ως αγωγός, διοχετεύοντας το ρεύμα προς της γη, ενώ η παραμένουσα τάση στα άκρα του είναι αρκετά χαμηλή, ώστε να μην τίθεται σε κίνδυνο ο υπό προστασία εξοπλισμός.

Καθοδικά αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα

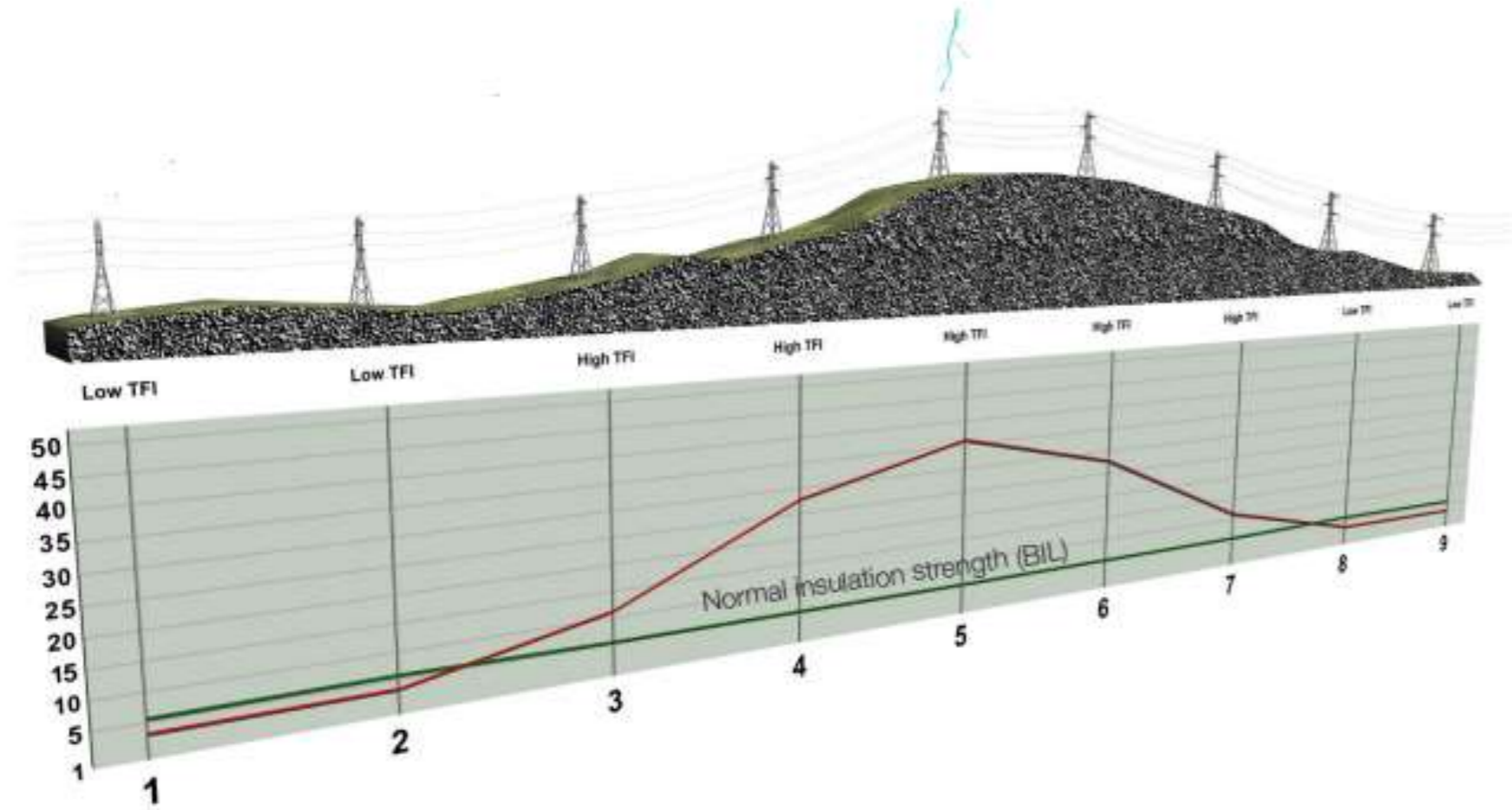
Στο Σχήμα φαίνεται η τομή ενός αλεξικέραυνου, βασικά στοιχεία του οποίου είναι η μη γραμμική αντίσταση (βαρίστορ) από μεταλλικά οξειδία, το μονωτικό περίβλημα από πολυμερές υλικό, ένα ενδιάμεσο υαλώδες υλικό και τα ηλεκτρόδια σύνδεσης με την υψηλή τάση και τη γη.



Τομή ενός καθοδικού αλεξικεραύνου MT χωρίς διάκενα:

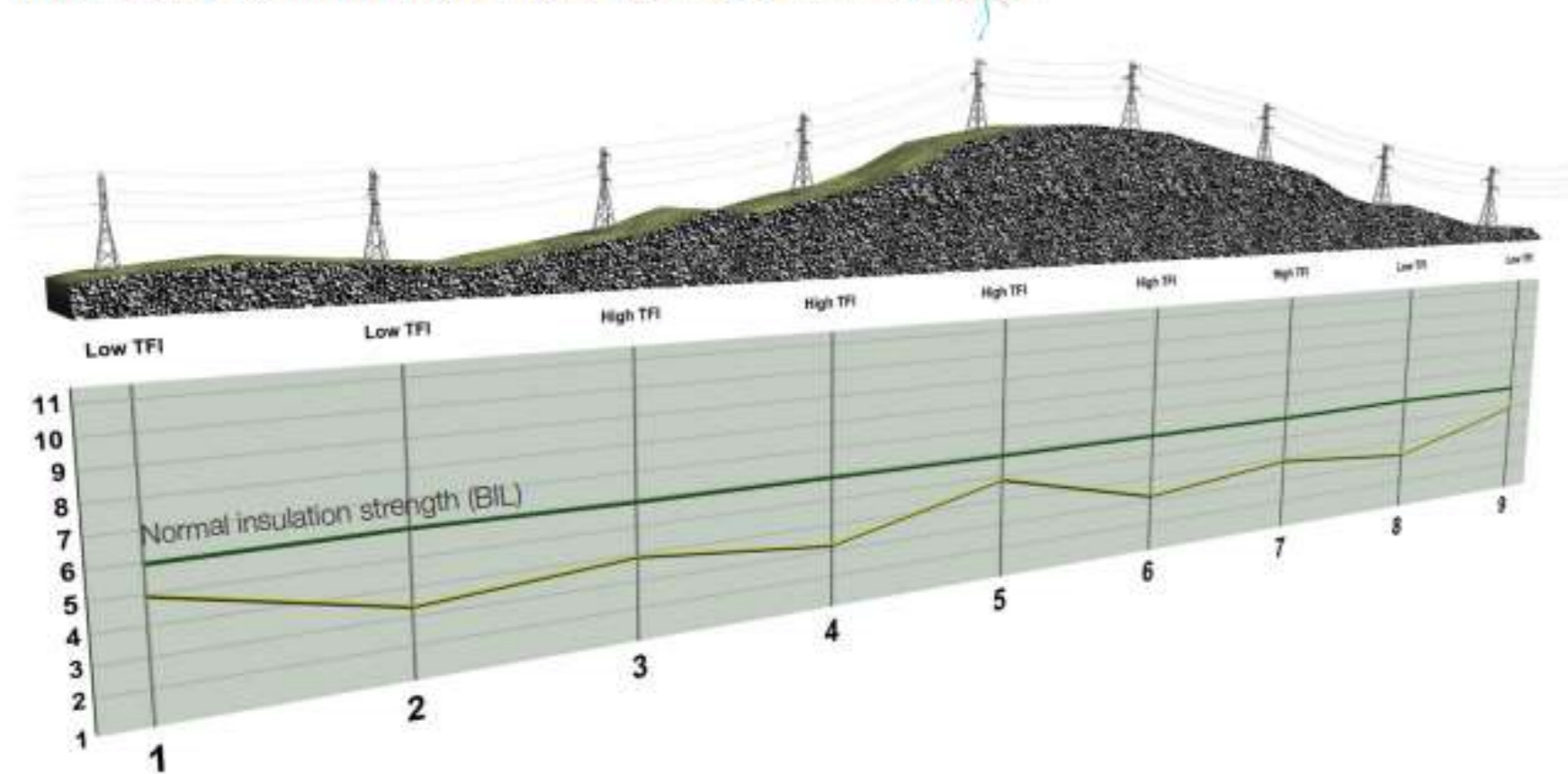
1. ηλεκτρόδια
2. μη γραμμική αντίσταση
3. ενδιάμεσο υαλώδες υλικό
4. μόνωση

Καθοδικά αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα



No arresters at all. Lightning stroke to tower number 5.

Very high risk for flashover due to high TFI (Tower Footing Impedance) with an earth fault followed by a circuit breaker operation as a consequence.



Arresters in all 9 towers. Lightning stroke to tower number 5.

The overvoltage profile is well below the BIL of the system all along the section. An ideal protection is obtained.



Καθοδικά αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα

- Εξαιτίας παράσιτων χωρητικότητων η κατανομή της τάσης κατά μήκος της μη γραμμικής αντίστασης δεν είναι ομοιόμορφη, με αποτέλεσμα το τμήμα που είναι εγγύτερα στο ηλεκτρόδιο υψηλής τάσης να καταπονείται περισσότερο. Για την επίτευξη πιο ομοιόμορφης κατανομής τοποθετούνται τοροειδή.
- Η κατανομή του δυναμικού κατά μήκος της μη γραμμικής αντίστασης σε καθοδικά αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα, επηρεάζεται από:
 - ✓ τις τιμές της ωμικής αντίστασης και της χωρητικότητας της μη γραμμικής αντίστασης,
 - ✓ τις παράσιτες χωρητικότητες προς γη και άλλα μεταλλικά αντικείμενα,
 - ✓ τις συνοριακές συνθήκες (εφαρμοζόμενη τάση, τάση σε άλλες συσκευές πλησίον του αλεξικεραύνου, απόσταση από αγωγούς φέροντες τάση).

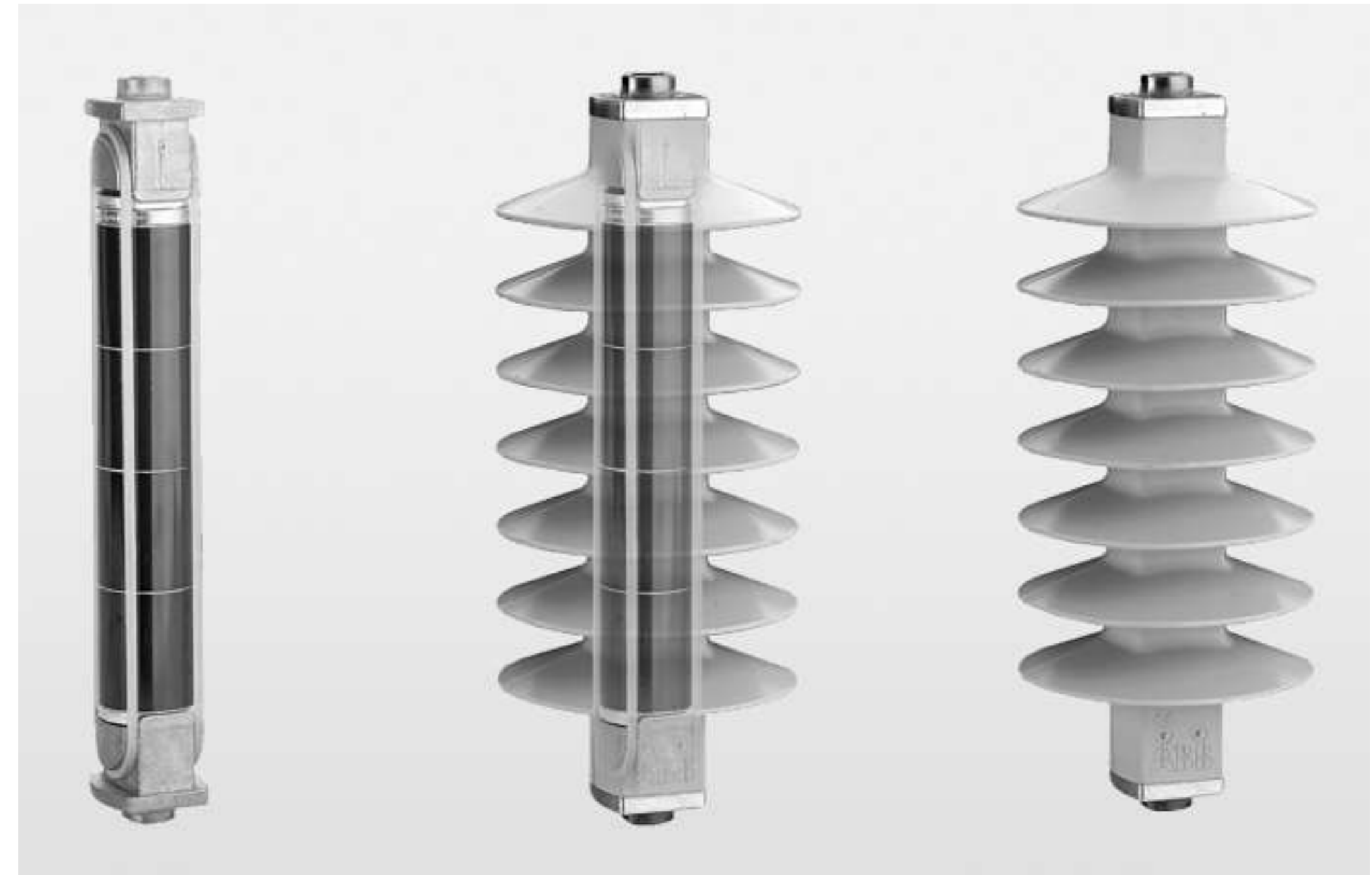


Η ανομοιομορφία στην κατανομή της μειώνει τη διάρκεια ζωής του αλεξικέραυνου, καθώς **το τμήμα της μη γραμμικής αντίστασης που είναι πιο κοντά στο ηλεκτρόδιο της υψηλής τάσης καταπονείται περισσότερο**, πράγμα που είναι εντονότερο όσο αυξάνει το ύψος του αλεξικέραυνου.

Η κατανομή της τάσης μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά με χρήση κατάλληλων υπολογιστικών προγραμμάτων, τα αποτελέσματα των οποίων εξαρτώνται από το σχεδιασμό της διάταξης, τον καθορισμό των ιδιοτήτων των υλικών και τις συνοριακές συνθήκες.

Καθοδικά αλεξικέραυνα χωρίς διάκενα

- **Πλεονέκτημα** των καθοδικών αλεξικέραυνων χωρίς διάκενα είναι η πιο απλή και μικρότερη σε μέγεθος, σε σχέση με τα αλεξικέραυνα με διάκενα, κατασκευή τους, καθώς και η έντονα μη γραμμική σχέση τάσης-ρεύματος, για μια ευρεία περιοχή τιμών του εγχεόμενου ρεύματος.
- Το κύριο **μειονέκτημά** τους είναι η συνεχής ροή ρεύματος βιομηχανικής συχνότητας πολύ μικρής τιμής και κατά συνέπεια η απώλεια ισχύος.



Χαρακτηριστικά μεγέθη καθοδικών αλεξικεραύνων



Χαρακτηριστικά μεγέθη καθοδικών αλεξικεραύνων



- **Μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας (maximum continuous operating voltage- U_c):** Είναι η μέγιστη ενδεικνύμενη τιμή της τάσης που μπορεί να εφαρμόζεται διαρκώς στα άκρα του αλεξικέραυνου. Η μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την κανονική τάση του δικτύου [$U_c = (1.05-1.1)U$].
- **Ονομαστική τάση (rated voltage- U_r):** Είναι η μέγιστη ενδεικνύμενη τιμή της τάσης στα άκρα του αλεξικέραυνου, για την οποία το αλεξικέραυνο συνεχίζει να λειτουργεί σωστά για προσωρινές υπερτάσεις (10-100sec). Η ονομαστική τάση είναι 1.25 φορές η μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας ($U_r = 1.25U_c$).
- **Παραμένουσα τάση (residual voltage- U_{res}):** Είναι η τάση στα άκρα του αλεξικέραυνου, όταν αυτό διαρρέεται από κρουστικό ρεύμα συγκεκριμένης κυματομορφής.
- **Ρεύμα εκφόρτισης (discharge current):** Είναι το κρουστικό ρεύμα που διέρχεται από το αλεξικέραυνο.



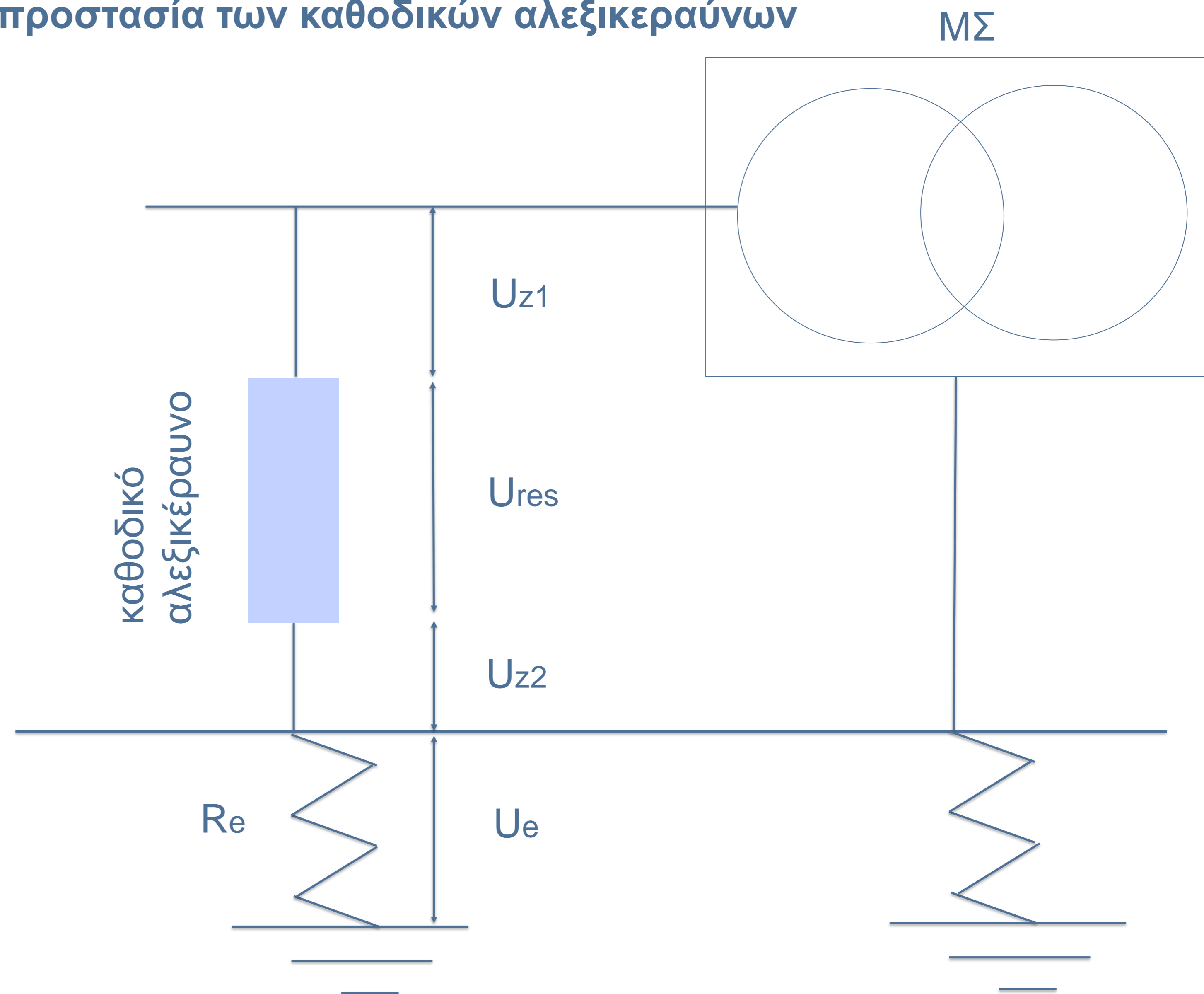
Χαρακτηριστικά μεγέθη καθοδικών αλεξικεραύνων



- **Ονομαστικό ρεύμα εκφόρτισης (nominal discharge current- I_n):** Είναι η μέγιστη τιμή ενός κεραυνικού ρεύματος που χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση του αλεξικεραύνου
- **Κεραυνική στάθμη προστασίας (lightning impulse protective level):** Είναι η παραμένουσα τάση στα άκρα του αλεξικέραυνου, όταν διέρχεται δι' αυτού το ονομαστικό ρεύμα εκφορτίσεως.
- **Ενέργεια αντοχής (thermal energy absorption capability):** Είναι η μέγιστη τιμή της ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει το αλεξικέραυνο, χωρίς να χάσει τη θερμική του σταθερότητα, δηλαδή την ικανότητά του να επανέρχεται στη θερμοκρασία που έχει υπό συνθήκες κανονικής λειτουργίας.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη στάθμη προστασία των καθοδικών αλεξικεραύνων

- Η στάθμη προστασίας που παρέχει ένα καθοδικό αλεξικέραυνο εξαρτάται από:
 - ✓ τη θέση εγκατάστασής τους
 - ✓ το μήκος των αγωγών σύνδεσης του αλεξικεραύνου με την γραμμή και με τη γείωση
 - ✓ την αντίσταση γείωσης
- Η τάση που επιβάλλεται στα άκρα του ΜΣ θα είναι:
- $U_T = U_{res} + U_{Z1} + U_e + U_{Z2}$



Περιοχή προστασίας

$$U_E = U_{res} + \frac{2 \cdot S \cdot (a+b)}{v}, v = 300m/\mu s, L=a+b$$

Παράδειγμα:

Ονομαστική τάση συστήματος: $U_s = 36kV$

Χαρακτηριστικά καθοδικού αλεξικεραύνου: $U_c=24kV$,

$U_{res}=73.7kV$

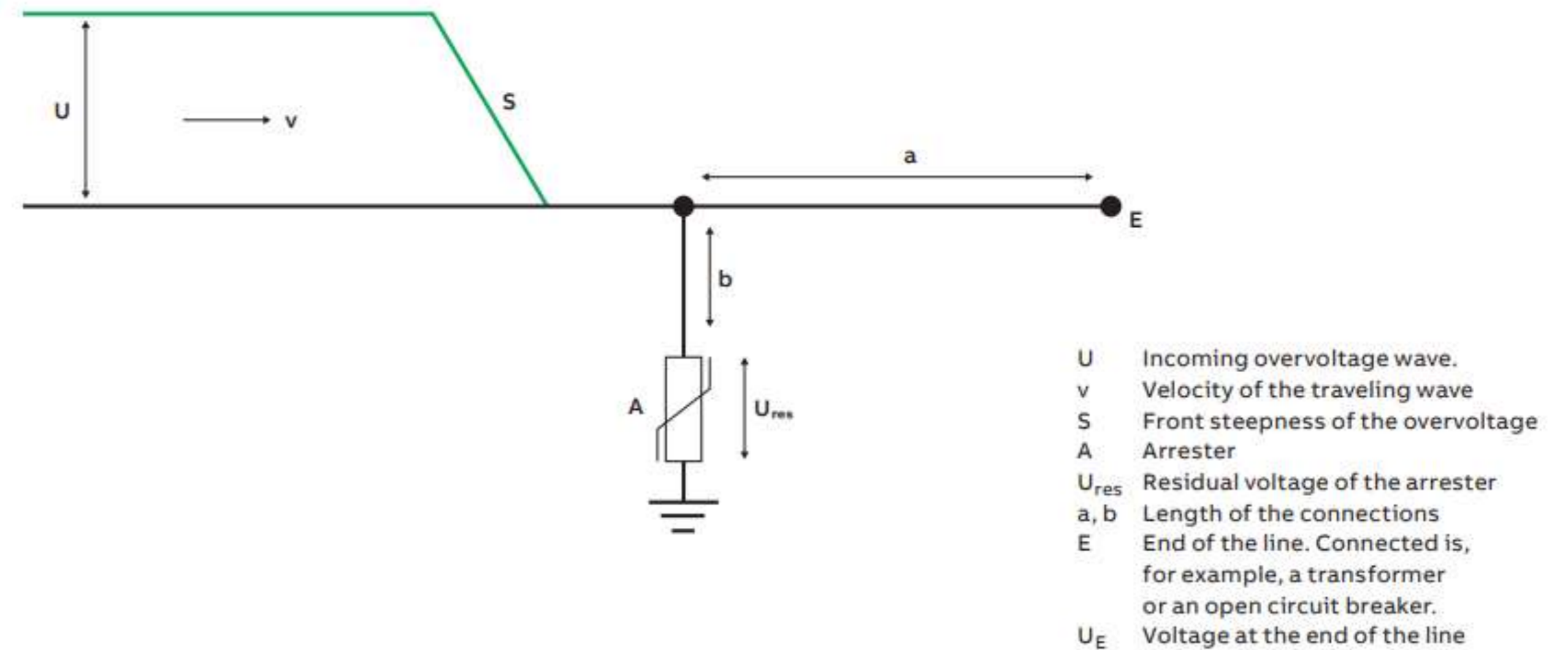
$S=800kV/\mu s$, $v=300m/\mu s$, $a+b=22m$, Lightning Impulse

Withstand Voltage (LIWV)=170kV

Με βάση της ως άνω σχέση:

$$U_E = 73.7kV + \frac{2 \cdot 800kV/\mu s \cdot 22m}{300m/\mu s} = 191kV > LIWV$$

Στην περίπτωση που $a+b=6m$, τότε $U_E=106kV < LIWV$.



Για πρακτικούς λόγους, είναι προτιμότερο να υπολογίζεται η **μέγιστη αποδεκτή απόστασης εγκατάστασης** του καθοδικού αλεξικεραύνου από τον προς προστασία εξοπλισμό, λαμβάνοντας υπόψιν έναν συντελεστή ασφαλείας K_s που συνδέει την τάση αντοχής του εξοπλισμού και την μέγιστη εμφανιζόμενη κεραυνική υπέρταση. Ισχύει: $\frac{LIWV}{K_s} \geq U_E = U_{res} + \frac{2 \cdot S \cdot L}{v}$

Η **περιοχή προστασίας** δίνεται από τη σχέση: $L = \frac{v}{2S} \cdot \left(\frac{LIWV}{K_s} - U_{res} \right)$

Διαγνωστικές δοκιμές σε καθοδικά αλεξιμέραυνα

Τα καθοδικά αλεξικέραυνα έχουν μεγάλη σημασία για την 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 αλεξικεραύνου
- Μερικές εκκενώσεις στο εσωτερικό, εξαιτίας κακής επαφής μεταξύ των δίσκων της μη γραμμικής αντίστασης
- Καταστροφή ή ρύπανση του εξωτερικού περιβλήματος
- Μηχανικές – θερμικές καταπονήσεις και καταστροφή της μη γραμμικής αντίστασης μετά από διέλευση ισχυρού κεραυνικού ρεύματος
- Αλλοίωση της χαρακτηριστικής τάσης-ρεύματος της μη γραμμικής αντίστασης προϊόντος του χρόνου





Διαγνωστικές δοκιμές σε καθοδικά αλεξικέραυνα



Δοκιμές σειράς

Μέτρηση της τάσης αναφοράς

Απαιτείται μέτρηση της τάσης αναφοράς, που ορίζεται ως η μέγιστη τιμή της τάσης βιομηχανικής συχνότητας που επικρατεί στα άκρα του αλεξικεραύνου, όταν διέρχεται δι' αυτού το ρεύμα αναφοράς. Το ρεύμα αναφοράς καθορίζεται από τον κατασκευαστή και κυμαίνεται από 0.5mA έως 10mA.

Δοκιμή παραμένουσας τάσης

Μετράται η παραμένουσα τάση κατά την έγχυση στο καθοδικό αλεξικέραυνο κεραυνικών κρουστικών ρευμάτων 0.01 έως 2 φορές την τιμή του ονομαστικού ρεύματος του αλεξικεραύνου.

Δοκιμή μερικών εκκενώσεων

Αυξάνεται η εφαρμοζόμενη τάση ως την τιμή της ονομαστικής τάσης (rated voltage) του δοκιμίου, διατηρείται σταθερή για 2 ως 10 δευτερόλεπτα, και στη συνέχεια μειώνεται έως 1.05 φορές την τιμή της μέγιστης τάσης συνεχούς λειτουργίας του αλεξικεραύνου. Η μετρούμενη τιμή για την εσωτερική μερική εκκένωση δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 pC.



Διαγνωστικές δοκιμές σε καθοδικά αλεξικέραυνα



Δοκιμές τύπου

Δοκιμή αντοχής μόνωσης αλεξικεραύνου

Ελέγχεται η αντοχή της εξωτερικής μόνωσης του αλεξικεραύνου σε διάφορες κυματομορφές τάσης (κρουστική, εναλλασσόμενη). Η επιφάνεια της μόνωσης πρέπει να καθαριστεί πριν τη διεξαγωγή της δοκιμής.

Έλεγχος παραμένουσας τάσης

Σκοπός της δοκιμής είναι η μέτρηση της μέγιστης τιμής της παραμένουσας τάσης για συγκεκριμένα επίπεδα ρεύματος και κυματομορφές.

Δοκιμή αντοχής σε κρουστικό ρεύμα μακράς διάρκειας

Εφαρμόζεται κρουστικό ρεύμα 18 φορές στο δοκίμιο, σε έξι ομάδες των τριών εγχύσεων κρουστικού ρεύματος. Το χρονικό διάστημα εφαρμογής μεταξύ δυο διαδοχικών εγχύσεων κρουστικού ρεύματος είναι 50-60s και μεταξύ των ομάδων τέτοιο, ώστε το δοκίμιο να επανέλθει, στο μεσοδιάστημα, στην αρχική θερμοκρασία περιβάλλοντος



Διαγνωστικές δοκιμές σε καθοδικά αλεξικέραυνα



Δοκιμές τύπου

Δοκιμή κύκλου λειτουργίας

Η δοκιμή περιλαμβάνει την καταπόνηση του αλεξικεραύνου με κρουστικά ρεύματα διαφόρων κυματομορφών, ενώ στο δοκίμιο εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση βιομηχανικής συχνότητας. Κριτήριο για την επιτυχή κατάληξη της δοκιμής είναι να μπορεί να επανέλθει το αλεξικέραυνοσε κατάσταση θερμικής ισορροπίας.

Δοκιμή βραχυκύκλωσης

Στο δοκίμιο εγχέεται ρεύμα βιομηχανικής συχνότητας, προκειμένου να ελεγχθεί η αντοχή του εξωτερικού μονωτικού περιβλήματος σε ρεύματα βραχυκύκλωσης. Δεν θα πρέπει να παρατηρηθεί θρυμματισμός της μόνωσης ή μη αυτοσβεννύμενοι, εντός 2min, σπινθήρες.

Έλεγχος μηχανικής αντοχής

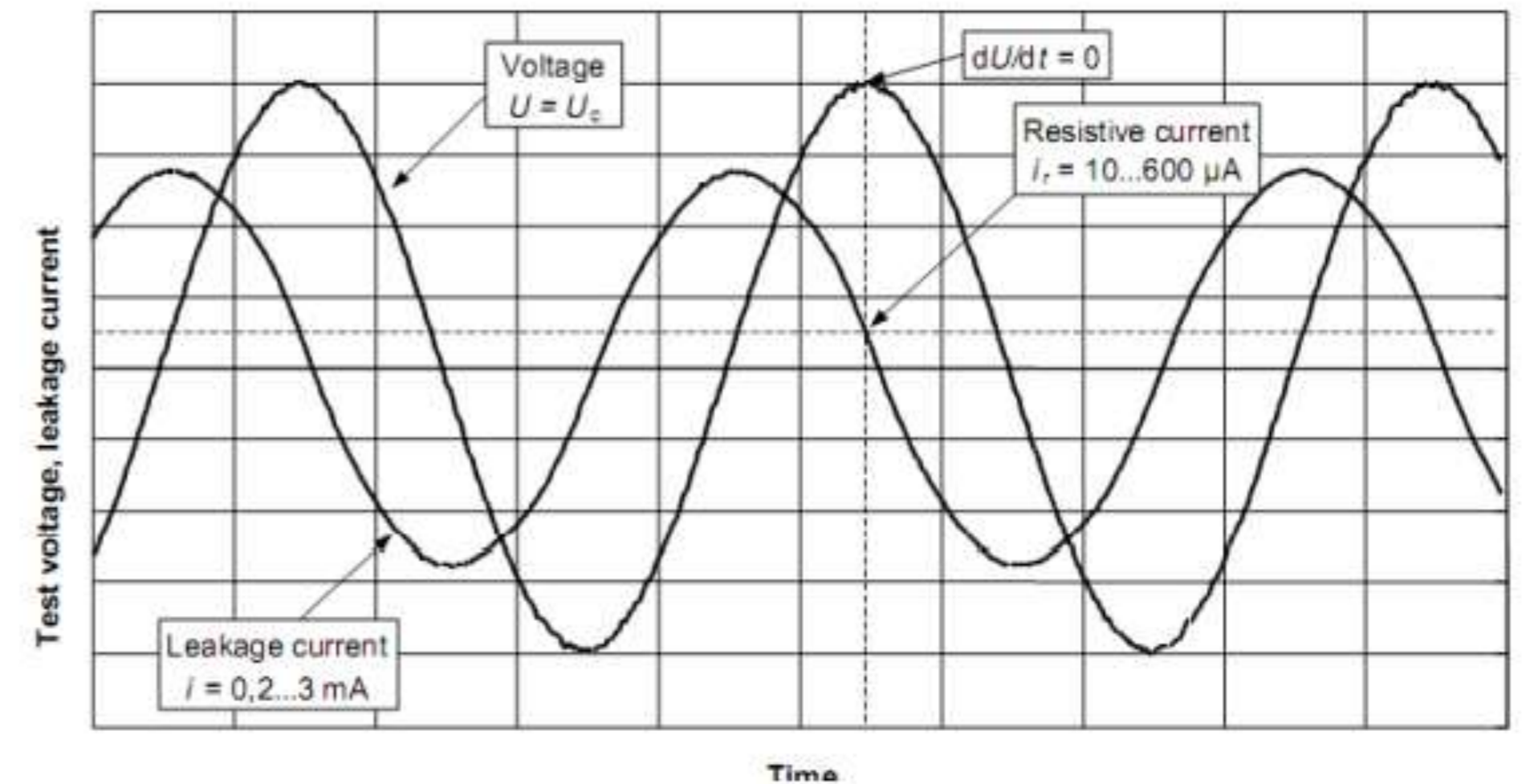
Ο έλεγχος της μηχανικής αντοχής πραγματοποιείται για να διαπιστωθεί κατά πόσον το αλεξικέραυνο αντέχει σε μηχανικές καταπονήσεις

Περιβαλλοντικές δοκιμές και δοκιμή στεγανοποίησης

Εξετάζεται κατά πόσο οι περιβαλλοντικές επιδράσεις (θερμοκρασία, ρύπανση, κ.λ.π.) επηρεάζουν τη στεγανότητα της εξωτερικής μόνωσης και τα εξωτερικά μέρη του αλεξικεραύνου.

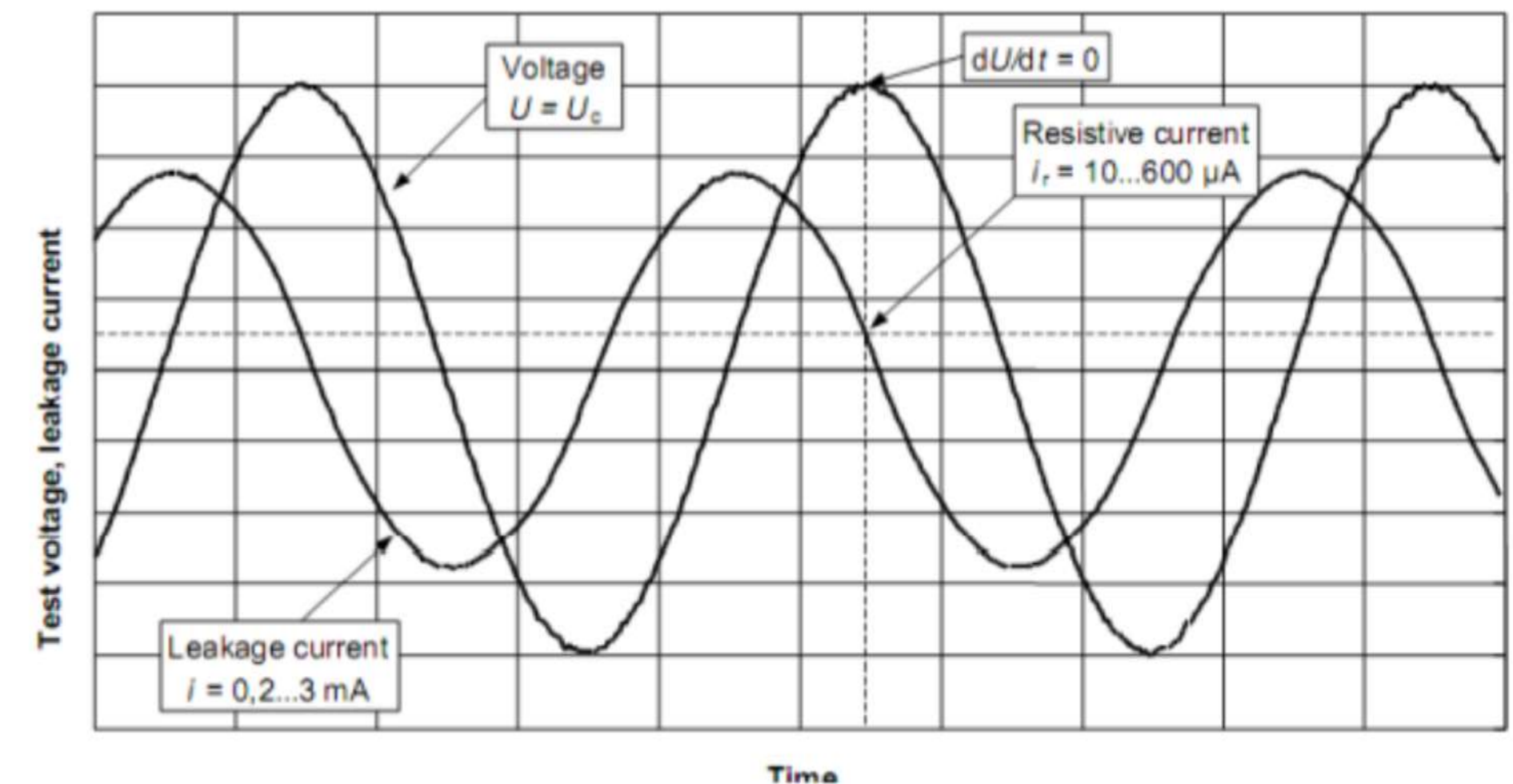
On-line διαγνωστικές δοκιμές - Ρεύμα διαρροής των μη γραμμικών αντιστάσεων οξειδίου του ψευδαργύρου

- Το ρεύμα διαρροής αποτελείται από μία χωρητική και μία ωμική συνιστώσα, με την πρώτη να έχει αρκετά μεγαλύτερη τιμή από τη δεύτερη.
- Η τιμή του συνολικού ρεύματος διαρροής καθορίζεται κυρίως από τη χωρητική συνιστώσα, καθώς η αντίστοιχη ωμική είναι κατά πολλές τάξεις μικρότερη.
- Χρειάζεται επομένως μία αρκετά μεγάλη αύξηση του ωμικού ρεύματος προκειμένου να εμφανιστεί μία σημαντική αλλαγή στο επίπεδο του συνολικού ρεύματος διαρροής.
- Κατ' αυτόν τον τρόπο, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το **συνολικό ρεύμα διαρροής δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως διαγνωστικό μέσο** για την κατάσταση ενός αλεξικέραυνου.
- Το χωρητικό ρεύμα διαρροής οφείλεται κυρίως στην τιμή της επιτρεπτότητας της μη γραμμικής αντίστασης του καθοδικού αλεξικεράυνου, στις παράσιτες χωρητικότητες και στους πυκνωτές κατανομής (εάν υπάρχουν).



On-line διαγνωστικές δοκιμές - Ρεύμα διαρροής των μη γραμμικών αντιστάσεων οξειδίου του ψευδαργύρου

- Δεν υπάρχει κάτι το οποίο να αποδεικνύει ότι μία επιδείνωση της κατάστασης του αλεξικέραυνου θα προκαλούσε σημαντική αύξηση στο χωρητικό ρεύμα διαρροής, με αποτέλεσμα να θεωρείται **απίθανο οι μετρήσεις της χωρητικής συνιστώσας να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κριτήριο** για την κατάσταση ενός αλεξικεραύνου.
- Αντιθέτως, το **ωμικό ρεύμα διαρροής αποτελεί έναν ευαίσθητο δείκτη αλλαγών της χαρακτηριστικής τάσης-ρεύματος των μη γραμμικών αντιστάσεων** και μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο στον εντοπισμό αλλαγών της κατάστασης ενός αλεξικεραύνου.



Κυκλωματικά μοντέλα καθοδικών αλεξικεραύνων



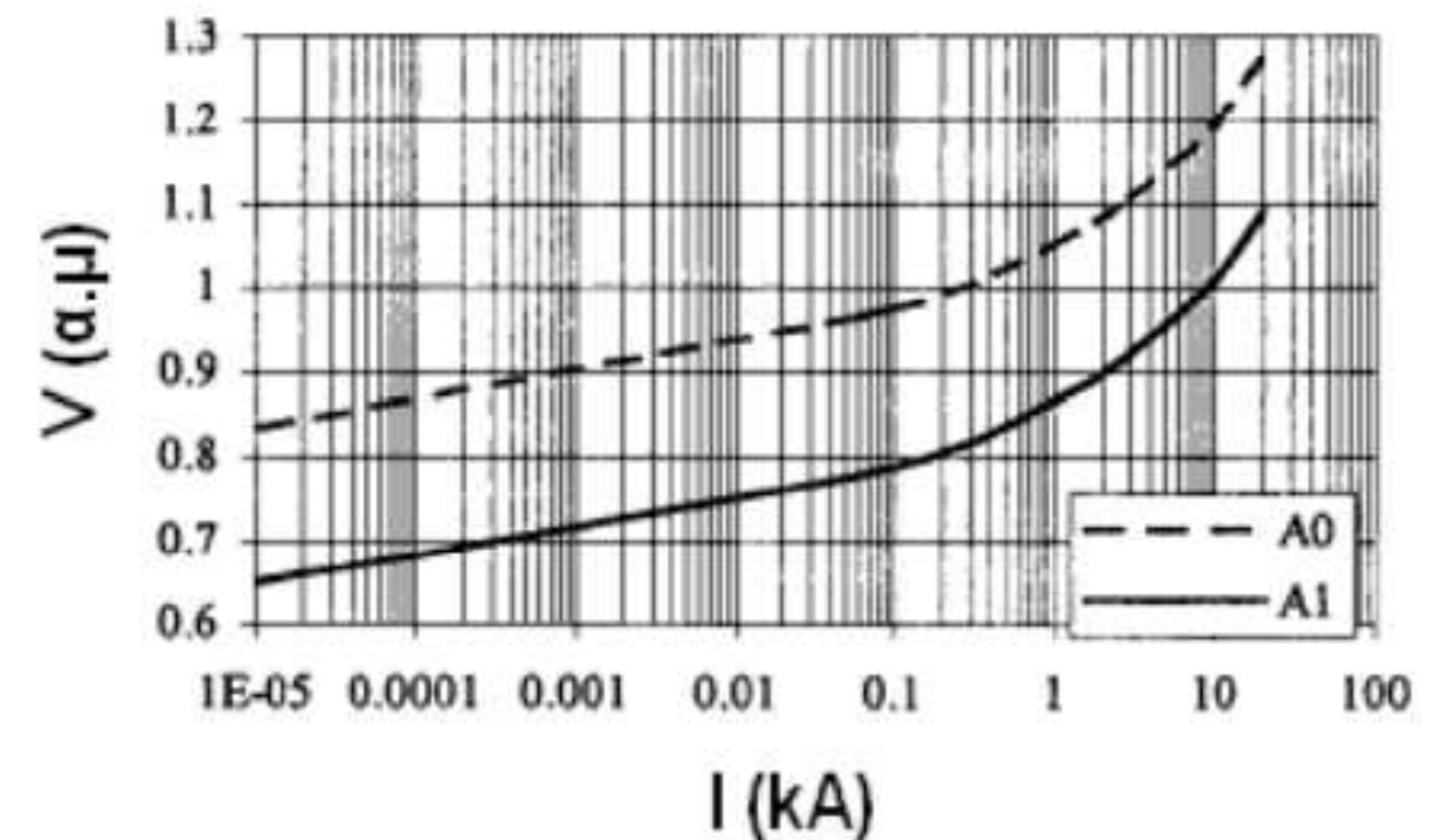
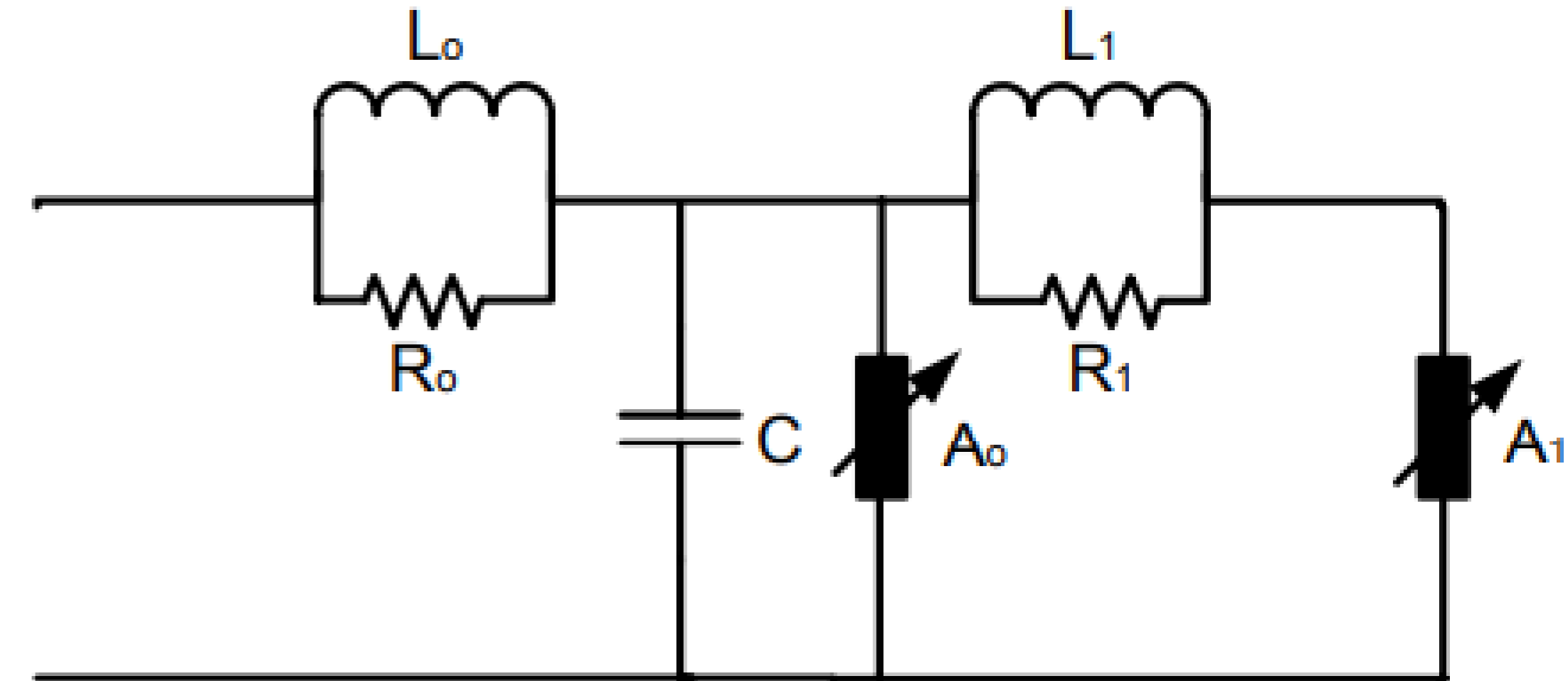
Κυκλωματικά μοντέλα καθοδικών αλεξικεραύνων



- Σε περίπτωση προσομοιώσεων εσωτερικών υπερτάσεων τα αλεξικέραυνα μπορούν να παρασταθούν μόνο με τη μη γραμμική V-I χαρακτηριστική τους, ωστόσο στην περίπτωση κεραυνικών ρευμάτων, που έχουν πιο μικρούς χρόνους σε σχέση με τις εσωτερικές υπερτάσεις, τα αλεξικέραυνα παρουσιάζουν δυναμική συμπεριφορά, καθώς η κυματομορφή της παραμένουσας τάσης παρουσιάζει έντονη εξάρτηση από το χρόνο μετώπου του εγχεόμενου κεραυνικού ρεύματος.
- Συγκεκριμένα, η παραμένουσα τάση στα άκρα του αλεξικεραύνου
 - ✓ αυξάνει όσο ο χρόνος μετώπου του ρεύματος μειώνεται
 - ✓ φθάνει το μέγιστό της πριν το μέγιστο του κεραυνικού ρεύματος.
- Υπάρχει, λοιπόν, η ανάγκη κυκλωματικής αναπαράστασης του αλεξικεραύνου, που να προσομοιώνει την εξάρτηση της παραμένουσας τάσης από τα χαρακτηριστικά του ρεύματος. Η δυναμική συμπεριφορά του αλεξικεραύνου είναι πιο έντονη για χρόνους μετώπου του ρεύματος μικρότερους από 8μs. Η παραμένουσα τάση για ένα δεδομένο μέγιστο ρεύματος αυξάνεται κατά 6% περίπου καθώς ο χρόνος μετώπου μειώνεται από 8μsec σε 1.3μs.

Μοντέλο IEEE

- Η μη γραμμική αντίσταση του αλεξικεραύνου αναπαρίσταται με δύο μη γραμμικές αντιστάσεις A_0 και A_1 , οι οποίες διαχωρίζονται από ένα φίλτρο R-L.
- Για υπερτάσεις με μεγάλο χρόνο ανόδου, το φίλτρο έχει πολύ μικρή αντίσταση και τα δύο μη γραμμικά στοιχεία του μοντέλου είναι παράλληλα. Για υπερτάσεις με γρήγορο χρόνο ανόδου, η αντίσταση του φίλτρου αυξάνει σημαντικά, με αποτέλεσμα το περισσότερο ρεύμα να περνά από την A_0 .
- Καθώς η χαρακτηριστική της A_0 βρίσκεται πιο πάνω από αυτή της A_1 , το μοντέλο δίνει μεγαλύτερη τάση, γεγονός που αντιστοιχεί στη δυναμική συμπεριφορά του αλεξικεραύνου.





Κυκλωματικά μοντέλα καθοδικών αλεξικεραύνων



Μοντέλο IEEE

- Η επαγωγή L_0 αναπαριστά την επαγωγή που σχετίζεται με τα μαγνητικά πεδία πολύ κοντά στο αλεξικέραυνο.
- Η αντίσταση R_0 χρησιμοποιείται για να σταθεροποιεί τη μαθηματική επεξεργασία όταν το μοντέλο αναλύεται σε πρόγραμμα υπολογιστή.
- Η χωρητικότητα C αναπαριστά την χωρητικότητα μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων του αλεξικεραύνου.
- Για τον υπολογισμό των παραμέτρων χρησιμοποιούνται λαμβάνονται υπόψιν το ύψος του αλεξικεραύνου και ο αριθμός των παράλληλων στηλών του βαρίστορ.

Καμπύλη A_0		Καμπύλη A_1	
I (kA)	V (αμ)	I (kA)	V (αμ)
0.01	1.40	0.1	1.23
0.1	1.54	1	1.36
1	1.68	2	1.43
2	1.74	4	1.48
4	1.80	6	1.50
6	1.82	8	1.53
8	1.87	10	1.55
10	1.90	12	1.56
12	1.93	14	1.58
14	1.97	16	1.59
16	2.00	18	1.60
18	2.05	20	1.61
20	2.10		

Βιβλιογραφία



- Ι.Α. Σταθόπουλος, «Προστασία τεχνικών εγκαταστάσεων έναντι υπερτάσεων», Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα 1989
- Χ. Μαινεμενλής, «Μόνωση Ηλεκτρικών Δικτύων Υψηλής Τάσης», Εκδόσεις Παν. Πατρών, Πάτρα 2008
- Ε. Λεκατσάς, «Θέματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας», ΔΕΗ, Αθήνα 1985
- Λ. Οικονόμου, Γ. Φώτης, Χ. Χριστοδούλου, «Υψηλές Τάσεις», Εκδόσεις Τζιόλα, 3^η Έκδοση, 2021
- ABB Technical Note 2.2, Protective distance, Overvoltage protection, August 2019