

ΤΕΙ - Πάτρας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ - ΕΡΓΑΣΙΑ

"Προστασία γραμμών μεταφοράς έναντι κεραυνών"

Εισηγητές:  
Ε. Πυργιώτη

Σπουδαστές:  
Ν. Πλατανιά  
Θ. Σαλταούρας

Πάτρα - Φρ.96



## Πρόλογος.

Στην σημερινή εποχή για την προστασία των γραμμών μεταφοράς έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι. Πολλές από αυτές προυπήρχαν και τώρα έχουν εξελιχθεί.

Η εργασία αυτή ασχολείται με τους τωρινούς τρόπους προστασίας των γραμμών. Περιλαμβάνει ένα μεγάλο φάσμα που διαπραγματεύεται την διαδρομή της γραμμής, την μόνωση, τους αγωγούς γείωσης και τα αλεξικέραυνα.

Μ' αυτή την εργασία προσπαθήσαμε να καλύψουμε κατά το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό τα θέματα γύρω από την προστασία των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

ΑΡΙΘΜΟΣ  
ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

3015

## Περιεχόμενα

	Σελ.
Εισαγωγή	5
<b>Κεφάλαιο 1</b>	
Επιλογή διαδρομής γραμμής μεταφοράς	9
Τα αποτελέσματα της προστασίας διαμέσω δέντρα	
Απόσπασμα	14
Εισαγωγή	15
Αποτελέσματα της μελέτης	
Εσώκλειστες πληροφορίες	17
Επίδραση του ύψους των δέντρων	19
Επίδραση του πλάτους της διαδρομής στον αριθμό των κεραυνών	20
Η μέση εμβέλεια των συλλεγομένων κεραυνών	21
Επίδραση της τάξης του δυναμικού στη γραμμή ισχύος	23
Περίληψη και συμπεράσματα	25
<b>Κεφάλαιο 2</b>	
Θωράκιση	27
<b>Κεφάλαιο 3</b>	
Μόνωση	35
Επίδραση των κυματομορφών τάσης	36
Επίδραση των Επιπέδων Μόνωσης και του τύπου του Μονωτήρα	40
Το Ξύλο σε σειρά με την Πορσελάνη	43
Επίδραση της Βιομηχανικής Συχνότητας της Γραμμής	45

#### **Κεφάλαιο 4**

Γείωση	46
Συμπεριφορά γείωσης	48
Συμπληρωματική γείωση	50
Αντιστάθμιση δι' αντιβάρου	52
Γενική προσέγγιση στον υπολογισμό της αντίστασης του ηλεκτροδίου	55

#### **Κεφάλαιο 5**

Ειδικές μέθοδοι για τη βελτίωση της συμπεριφοράς έναντι των κεραυνών	58
Αγωγοί γείωσης κάτωθεν των αγωγών φάσης	59
Αλεξικέραυνα ή αποχετευτές υπερτάσεων γραμμής	61
Σχεδιασμός συλλεκτών οξειδίου του Ψευδαργύρου σε γραμμές μεταφοράς	
Περίληψη	62
Εισαγωγή	63
Αρχές εφαρμογής	65
Δοκιμές πρωτοτύπου	
Χαρακτηριστικά προστασίας	68
Πολλαπλή Διέγερση	73
Δοκιμές μόλυνσης	74
60 Hz ρεύμα ακολούθου	75
Αντιμετώπιση υψηλού ρεύματος σφάλματος	76
Δοκιμή ηλεκτρικής ζωής	78
Δοκιμές μηχανικής αντοχής	79
Δοκιμές θερμικού κύκλου	80
Δοκιμές ποιοτικού ελέγχου	81

Συμπεράσματα	82
Μη Ισοσταθμισμένη Μόνωση σε Γραμμές Διπλού Κυκλώματος	85
Αγωγοί γείωσης σε ξεχωριστές κατασκευές	86
Βιβλιογραφία	87

## Εισαγωγή.

Για τις περισσότερες γραμμές μεταφοράς, οι κεραυνοί είναι η πρωτεύουσα αιτία για τις απρογραμμάτιστες διακοπές παροχής ισχύος. Έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι για την εκτίμηση των ρυθμών πτώσης των κεραυνών στο παρελθόν, και έχει γραφεί ένας αριθμός εκδόσεων σχετικά με το σχεδιασμό γραμμών μεταφοράς για ελάχιστες διακοπές (1, 2, 3, 4, 5).

Τα τελευταία χρόνια βελτιώθηκαν οι γνώσεις μας σε τέτοιους τομείς όπως στο σχεδιασμό θωράκισης, τα χαρακτηριστικά των κεραυνών, την συμπεριφορά των γειώσεων σε κρουστικά ρεύματα και την πυκνότητα των πληγμάτων του κεραυνού. Αν και οι εργασίες συνεχίζονται σ'αυτούς τους τομείς, όπως και σε άλλους, υπάρχει άμεση ανάγκη για έναν σχετικά απλό οδηγό σχεδιασμού. Ο σκοπός αυτού του κειμένου είναι να παρέχει έναν απλοποιημένο οδηγό για χρήση από τους σχεδιαστές γραμμών μεταφοράς ο οποίος συμπεριλαμβάνει τις νέες "αποκαλύψεις" σ'αυτόν τον τομέα.

Μέθοδοι για την εκτίμηση της συμπεριφοράς των γραμμών μεταφοράς στους κεραυνούς είναι καλό παράδειγμα ενός πραγματικού προβλήματος, το οποίο είναι ασθενώς ορισμένο. Οι σταθερές είναι σπανίως γνωστές και συχνά δεν είναι πραγματικά σταθερές, τα δεδομένα εισόδου είναι δύσκολο να περιγραφούν μαθηματικώς εκτός στους ιδανικούς τρόπους, και οι έξοδοι (τα αποτελέσματα) μπορεί να απεικονίζουν μόνο τις πιθανότητες των μέσων τιμών. Ο κεραυνός, από την ίδια του την φύση, είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί. Τα χαρακτηριστικά του κεραυνού

ποικίλουν, οι περιοχές του κεραυνού στη γραμμή μεταφοράς ποικίλουν, η δομή της αντίστασης γείωσης ποικίλει με την αστραπή και τον χρόνο, η βαρεία κορόνα που δημιουργείται στον πύργο από τους κεραυνούς κάνουν τα αποτελέσματα διάδοσης μη-γραμμικά, και η απόκριση της μετάδοσης πύργου είναι σχετικά ευαίσθητη από το σχήμα του κύματος. Και για μεγαλύτερη περιπλοκή των πραγμάτων, η συχνότητα του κεραυνού μπορεί να ποικίλει πλατειά από έτος σε έτος και τα χαρακτηριστικά του μπορεί να αλλάζουν με τον τόπο και την εποχή.

Η οποιαδήποτε μέθοδος κρίσης της απόδοσης των γραμμών μεταφοράς στους κεραυνούς πρέπει να αντιπαρέρχεται μ'αυτές τις αβεβαιότητες, και είναι μάταιο και στην ουσία αποκαθοδηγητικό, να προωθηθεί μια μέθοδος της οποίας η ακρίβεια υπερβαίνει την ακρίβεια της γνώσης των δεδομένων που υπησέρχονται στο πρόβλημα. Οι αβεβαιότητες του προβλήματος όντως επιτρέπουν κάποια απλοποίηση της μέθοδου αφού, εκτός και αν λεπτομέρειες του προβλήματος είναι γνωστές με ακρίβεια, είναι δύσκολο και μικρής σημασίας να έχουμε ακριβείς υπολογισμούς. Αυστηρές εκτιμήσεις πιθανώς να είναι τόσο σωστές όσο και μία περισσότερο λεπτομερής επίλυση. Μ'αυτό το πνεύμα έχει προετοιμαστεί αυτός ο οδηγός.

Αν ο σχεδιαστής της γραμμής μεταφοράς διατηρεί στο μυαλό του αυτούς τους περιορισμούς, μπορούν να εκτιμηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο την συμπεριφορά των κεραυνών μίας δεδομένης γραμμής μεταφοράς.

Αυτός ο οδηγός σχεδιασμού περιέχει απλές μαθηματικές εξισώσεις, πίνακες και γραφήματα τα οποία περέχουν τις



πληροφορίες που χρειάζονται για το σχεδιασμό μίας γραμμής μεταφοράς με ελάχιστες διακοπές από κεραυνούς. Για τους σκοπούς αυτού του οδηγού, η γραμμή μεταφοράς ορίζεται ως κάθε γραμμή με πολική τάση που υπερβαίνει τα 69 [KV].

Ο σχεδιαστής γραμμής πρέπει να έχει υπόψην του ότι η συμπεριφορά των κεραυνών δεν είναι μεγάλης σπουδαιότητας στα οικονομικά του σχεδιασμού της γραμμής. Άλλοι παράγοντες, όπως το μήκος της γραμμής, το παρεκκλίνων κόστος, το κατασκευαστικό κόστος, το κόστος των υλικών και οι απώλειες επηρεάζουν τα οικονομικά του σχεδιασμού μίας γραμμής περισσότερο από την συμπεριφορά των κεραυνών. Οποτεδήποτε ο σχεδιαστής επιλέγει να αλλάξει το επίπεδο μόνωσης, να βελτιώσει την γείωση και την θωράκιση ή να επανορίσει την διαδρομή μίας γραμμής μεταφοράς, να βελτιώσει την απόκριση στους κεραυνούς θα πρέπει να γίνει και μιά εξέταση του αποτελέσματος αυτών των μεταβολών στο κόστος μίας γραμμής (κατασκευαστικά καθώς και λειτουργικά κόστη).

Ο οδηγός έχει γραφεί έχοντας υπόψην τον μελετητή της γραμμής μεταφοράς. Όταν δίδεται το πρόβλημα σχεδιασμού ή επανασχεδιασμού μίας γραμμής μεταφοράς ο μελετητής πρέπει να εργαστεί μ'αυτούς τους περιορισμούς . Αυτοί συνήθως είναι το επίπεδο τάσης, τα σημεία αρχής και τέλους για την γραμμή, και τη επιθυμητή χωρητικότητα της γραμμής. Μερικές φορές έχει ήδη καθοριστεί η ακριβής διαδρομή καθώς επίσης και ο τύπος του αγωγού και η δομή του. Αλλά συνήθως ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες και τη γεωμετρία της κατασκευής, το ύψος της κατασκευής, την ακριβή

τοποθέτηση των εναερίων γραμμών, το ποσό και τον τύπο της μόνωσης, τον τύπο της γείωσης, και τα άλλα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά μίας γραμμής. Αυτός ο οδηγός έχει γραφεί υποθέτοντας ότι ο μελετητής έχει κάποια δυνατότητα μεταβολής της επιλογής της διαδρομής, του τύπου της κατασκευής, και του τύπου των αγωγών. Τμήματα του οδηγού σχολιάζουν τα αποτελέσματα της διαδρομής, του τύπου της κατασκευής, της μόνωσης, της θωράκισης και της γείωσης της ολικής συμπεριφοράς στις αστραπές των γραμμών μεταφοράς. Ένα πρόσθετο τμήμα σχολιάζει αρκετές ειδικές μεθόδους που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση της απόδοσης στους κεραυνούς.

## Κεφάλαιο 1

### Επιλογή διαδρομής γραμμής μεταφοράς.

Η επιλογή της αρμόζουσας διαδρομής για μία γραμμή μεταφοράς μπορεί να επηρεάσει την λειτουργία / απόδοση στους κεραυνούς. Προφανώς, είναι αντιληπτό, ότι άλλοι παράγοντες παίζουν σπουδαιότερο ρόλο στην επιλογή της διαδρομής από ότι η απόδοση στους κεραυνούς. Λαμβάνοντας υπόψη την ισχύ του συστήματος υποδεικνύει το που πρέπει να αρχίζει και να τελειώνει η γραμμή. Ο οικονομικός παράγοντας απαιτεί να είναι η γραμμή όσο το δυνατόν μικρότερη λόγω του υψηλού κόστους της κατασκευής και των ηλεκτρικών απωλειών. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα έτσι ώστε να παρενοχληθεί όσο το δυνατόν λιγότερη ιδιωτική γη. Τελικά οι περιορισμοί του περιβάλλοντος υπαγορεύουν το που δε μπορεί να χτιστεί μία γραμμή ή δίνουν την κατεύθυνση ως προς το που πρέπει αυτή να χτιστεί. Ακόμη και με όλους αυτούς τους περιορισμούς, υπάρχουν ακόμα τρόποι για τον μελετητή γραμμής να πάρει αποφάσεις οι οποίες θα επηρεάσουν την απόδοση της γραμμής στους κεραυνούς. Και είναι ο σκοπός αυτού του τμήματος να καταδείξει τους τρόπους βελτίωσης της απόδοσης στις αστραπές με την αρμόζουσα επιλογή διαδρομής. Καθώς αυτό το κείμενο γράφεται, συστήματα εντοπισμού κεραυνού και δίκτυα μετρητών εκφορτίσεων αναπτύσσονται στην Βόρεια Αμερική και αλλού τα οποία, με αρκετή εμπειρία, μπορούν να παρέχουν λεπτομερές χάρτες πυκνότητας κεραυνών. Αυτοί οι χάρτες θα παρέχουν πολύ μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ακρίβεια

από ότι ήταν διαθέσιμο με τα δεδομένα ημερησίων βροντών. Ένας τέτοιος χάρτης πυκνότητας των κεραυνών φαίνεται από το σχήμα (1). Λεπτομερέστεροι χάρτες μπορούν να παρεσχεθούν οι οποίοι θα δίνουν στο μελετητή αρκετά δεδομένα για να του επιτρέπουν να επιλέγει την διαδρομή με την μικρότερη έκθεση σε κεραυνούς. Είναι επίσης δυνατό να είναι διαθέσιμοι χάρτες σφοδρότητας κεραυνών οι οποίοι θα καταδεικνύουν τις περιοχές όπου συμβαίνουν οι περισσότεροι καταστροφικοί κεραυνοί. Φυσικά, οι περιοχές με μεγαλύτερη συχνότητα και σφοδρότητα κεραυνών θα πρέπει να αποφεύγονται όπου είναι δυνατόν. Οι έξοδοι θα αυξάνονται άμεσα με την αύξηση της πυκνότητας των κεραυνών.

Ο μελετητής συχνά έχει να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της επιλογής της δρομολόγησης μίας γραμμής σε μιά κοιλάδα, κατά μήκος της πλευράς ενός βουνού, ή στην κορυφή ενός βουνού. Αυτή η απόφαση μπορεί να επηρεάσει την απόδοση σε κεραυνούς της γραμμής κατά δύο τρόπους. Πρώτα, η διαδρομή μπορεί να επηρεάσει την έκθεση της γραμμής σε κεραυνούς, όχι μόνο λόγω της πυκνότητας των κεραυνών, αλλά επίσης και λόγω του (μεγάλου) ποσοστού της γραμμής που είναι ο στόχος των κεραυνών. Μιά κατασκευή η οποία προεξέχει πάνω από τον περιβάλλοντα χώρο είναι περισσότερο ευάλωτη στο να χτυπηθεί από κεραυνούς συγκρινόμενη με μία η οποία είναι "θωρακισμένη" μέσω του φυσικού περιβάλλοντος. Κατασκευές που βρίσκονται κατά μήκος των κορυφών των βουνών, κορυφογραμμών ή λόφων θα είναι πιθανός στόχος των κεραυνών. Αυτές οι περιοχές θα πρέπει να αποφεύγονται όσο το δυνατόν περισσότερο. Είναι πολύ καλύτερο να τοποθετήσουμε τις κατασκευές κατά μήκος των

πλαγιών του βουνού όπου η κορυφή της κατασκευής δεν εμφανίζεται ψηλότερη από την κορυφή του βουνού ή της κορυφογραμμής. Η τοποθέτηση των γραμμών στο έδαφος μίας στενής κοιλάδας μπορεί να παρέχει στην γραμμή καλή προστασία από κεραυνούς.

Το αποτέλεσμα, μίας υψηλής κατασκευής που προεξέχει από τον περιβάλλοντα χώρο, πάνω στην απόδοση της γραμμής στους κεραυνούς είναι σημαντικό. Η αύξηση του ύψους του πύργου βασικά επηρεάζει την απαιτούμενη γωνία θωράκισης (δες τμήμα 2) και αυξάνει το ρυθμό του ανάστροφου βραχυκυκλώματος αφού περισσότερες εκτονώσεις συλλέγονται από τα υψηλότερα τμήματα της κατασκευής. Ο μέσος αριθμός των πληγμάτων που συλλέγονται από μία γραμμή,  $N_s$ , είναι περίπου (7) :

$$N_s = \frac{N_g (28h^{0.6} + b)}{10}$$

(1)

Όπου:

$h$ =το ύψος του πύργου, m

$b$ =απόσταση διαχωρισμού εναερίου αγωγού γείωσης, m

$N_g$ =πυκνότητα κεραυνών, κεραυνοί/ $Km^2$ /έτος

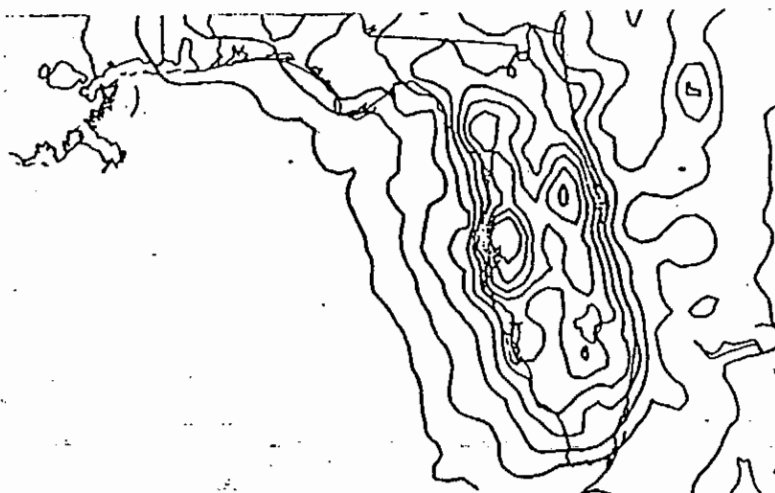
$N_s$ =πλήγματα/100Km/έτος

Αν μία μετρούμενη τιμή του  $N_g$  δεν είναι διαθέσιμη, μπορεί να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση:(7)

$$N_g = 0.04 T_d^{1.25} \quad (2)$$

Όπου  $T_d$  ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες έχουμε καταιγίδες με αστραπές ανά έτος ή το κεραυνικό επίπεδο.

Από την εξίσωση (1), αν το ύψος του πύργου αυξηθεί κατά 20%.  
Τα πλήγματα θα αυξηθούν κατά 12%.



### Ανάλυση σχήματος 1.

**Σχήμα 1** - Χάρτης πυκνότητας κεραυνών της Florida για το έτος 1986. Η πυκνότητα των κεραυνών δεικνύεται σε μονάδες ενός κεραυνού /Km<sup>2</sup>/έτος. ( Πανεπιστήμιο Νέας Υόρκης -Albany ).

Ο δεύτερος συντελεστής για τον καθορισμό της διαδρομής μιας γραμμής που επηρεάζει την απόδοση στους κεραυνούς είναι η αντίσταση γείωσης. Σε κατασκευές με υψηλές αντιστάσεις γείωσης προκαλείται αύξηση των σφαλμάτων των κεραυνών λόγω των μεγαλύτερων τάσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των αγωγών και των γειωμένων μελών της κατασκευής όταν είτε ο εναέριος αγωγός γείωσης ή η κατασκευή χτυπηθεί από κεραυνούς. Οι υψηλές αντιστάσεις γείωσης εμφανίζονται σε βραχώδη περιβάλλοντα τα οποία θα πρέπει να αποφεύγονται όσο το δυνατόν περισσότερο. Όταν το βραχώδες περιβάλλον δε μπορεί

να αποφευχθεί, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν βελτιωμένες μέθοδοι γείωσης, τέτοιες όπως αντιστάθμισμα για μείωση των αντιστάσεων γείωσης σε αποδεκτές τιμές. Αφού το βραχύδες περιβάλλον συνήθως συναντάται σε κορυφές βουνών και στις πλαγιές των βουνών, υπάρχει και ένας δεύτερος λόγος για να τα απόφεύγουμε. Οι καλύτερες αντιστάσεις γείωσης μπορούν να απαντηθούν σε κοιλάδες ποταμών και οπουδήποτε υπάρχει υψηλά αγώγιμο χώμα. Οι κατασκευές θα πρέπει να τοποθετούνται σ'αυτές τις περιοχές όσο το δυνατόν περισσότερο. Βασικά οι αντιστάσεις γείωσης θα πρέπει πάντα να ελέγχονται και θα πρέπει να γίνονται προσπάθειες για να διατηρούμε την αντίσταση σε χαμηλές τιμές. Μερικά βοηθήματα προσπαθούν να διατηρούν τις χαμηλών συχνοτήτων αντιστάσεις κάτω των 20 [Ω].

Ένας τρόπος για να εμποδίσουμε τις κατασκευές από το να είναι καλός για τους κεραυνούς είναι να εκμεταλλευτούμε τον περιβάλλοντα χώρο. Ψηλά δέντρα που βρίσκονται κοντά σε μια γραμμή μεταφοράς μπορούν να "πιάσουν" τον κεραυνό ο οποίος μπορεί να είχε προκαλέσει σφάλμα αν το δέντρο δεν ήταν εκεί. Όταν είναι δυνατόν δρομολογούμε τις γραμμές μέσω των δασών και αφήνουμε τα ψηλά δέντρα σε θέσεις κοντά στη γραμμή. Φυσικά ακόμα όλα τα επικίνδυνα δέντρα που μπορεί να πέσουν στη γραμμή θα πρέπει να καθαριστούν

## **Το αποτέλεσμα της προστασίας διαμέσω δέντρων**

### **Απόσπασμα**

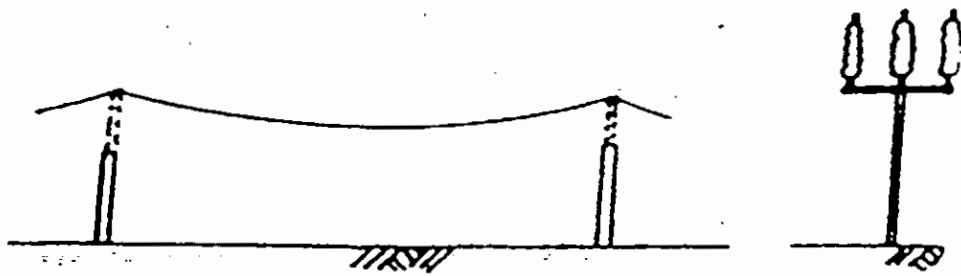
Καμία ποσοτική ανάλυση της επίδρασης των δέντρων στην πτώση των κεραυνών στις γραμμές ισχύος δεν είναι διαθέσιμη στη βιβλιογραφία, μόνο σύντομες ποιοτικές αναφορές υπάρχουν. Αυτό το κείμενο αναλύει την επίδραση των δέντρων χρησιμοποιώντας ένα τρισδιάστατο ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο, με έμφαση στην περίπτωση των γραμμών της τάξεως των 500 KV. Οι συνέπειες του ύψους των δέντρων, του πλάτους της διαδρομής και τάξεως του δυναμικού της γραμμής ισχύος πάνω στον αριθμό των κεραυνών που συλλέγονται από τη γραμμή και η μέση της εμβέλειας συζητούνται.



## Εισαγωγή

Η συχνότητα και τα χαρακτηριστικά των κεραυνών που συλλέγονται από γραμμές ισχύος οι οποίες διατρέχουν δάση, διαφέρουν από την πληροφορία που σχετίζεται με γραμμές ισχύος οι οποίες διασταυρώνονται με γυμνή γή. Αυτές οι διαφορές είναι πολύτιμες ειδικά για συστήματα σαν εκείνο της British Columbia όπου η διαδρομή των περισσότερων γραμμών ισχύος είναι μέσω δασών. Καμία ποσοτική ανάλυση δεν είναι κατάλληλη στην επίδραση των δέντρων πάνω στην πρόπτωση των κεραυνών στις γραμμές ισχύος δεν είναι διαθέσιμη στη βιβλιογραφία, μόνο σύντομες ποιοτικές αναφορές υπάρχουν. Πρόσφατα ο Mousa (1983) χρησιμοποίησε ένα απλοποιημένο δισδιάστατο μοντέλο για να δείξει ότι η ύπαρξη δέντρων μπορεί να μειώσει δραστικά τον αριθμό των κεραυνών που τερματίζουν ( χτυπούν ) σε μία γραμμή ισχύος. Σ' αυτή τη μελέτη, μια ανάλογη λύση βασιζόμενη σ' ένα τρισδιάστατο ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο χρησιμοποιείται για να αναλύσει την επίδραση των δέντρων στη συχνότητα και τα χαρακτηριστικά των κεραυνών που συλλέγονται από την γραμμή. Ο πύργος διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στην ανάλυση, απεικονίζεται στο σχήμα 2. Αυτό επιλέχτηκε να επιτρέψει έναν ακριβή καθορισμό της προστατευτικής επίδρασης των δέντρων χωρίς να έχει ταυτόχρονα να κάνει με τις πολυπλοκότητες που παρουσιάζονται από τον πύργο στη περίπτωση των άλλων πύργων διαμόρφωσης. Η ύπαρξη δέντρων στο άκρο της διαδρομής αναφέρεται εδώ να αυξάνει αποτελεσματικά το σχέδιο εδάφους στο επίπεδο της κορυφής των δέντρων. Αυτή η υπόθεση διατυπώθηκε σε μια δημοσίευση του 1971 by Whitehead και

φαίνεται να υποστηρίζεται από μία διαθέσιμη κοντινή φωτογραφία ενός κεραυνού σ' ένα δέντρο ( Orville, 1968 ) .



## **Αποτελέσματα της μελέτης**

### **Εσώκλειστες πληροφορίες**

Οι τυπικές παράμετροι σχεδιασμού γραμμής που φαίνονται στον πίνακα 1 χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη. Αυτές καλύπτουν 4 τάξεις δυναμικού: 138KV, 230KV, 500KV, 765KV. Οι πληροφορίες στην περίπτωση των 500KV χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση των επιδράσεων του ύψους των δέντρων και πλάτους της διαδρομής. Δύο διαφορετικές διανομές συχνότητας της εμβέλειας των ηλεκτρικών ρευμάτων στο επίπεδο εδάφους χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη:

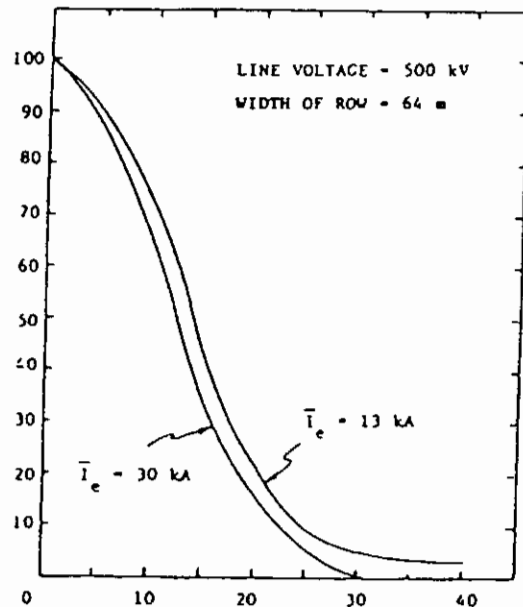
1. Μία διανομή με μέση αξία ισοδύναμη με 13 KA ( Sargent, 1972 )
2. Μία διανομή με μέση αξία ισοδύναμη με 30 KA ( Anderson and Eriksson, 1980 ).

Σύμφωνα με την εργασία των Mullins and McKnight 1981, το ύψος των δέντρων στη δεδομένη περίπτωση πάρθηκε ισοδύναμο με 30 μέτρα, ( το μέσο ύψος για τα δάση του Καναδά ) και η διακύμανση του ύψους των δέντρων πάρθηκε ισοδύναμη με 15 έως 40 μέτρα.

ΤΑΣΗ KV	ΑΝΟΙΓΜΑ m	ΜΕΣΟ ΑΝΟΙΓΜΑ ΥΨΟΥΣ m	ΥΨΟΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΣΕ ΥΠΟΣΤ/ΝΟ ΣΗΜΕΙΟ m	CONSTANTS OF CATENARY EQU. m		ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΕΞΟΤΕΡΙΚΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ m	ΠΛΑΤΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ m
				C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>		
138	180	8.00	13.00	810.83	802.83	8.5	30
230	200	9.00	16.00	715.45	706.45	11.0	38
500	400	11.00	22.00	1820.01	1809.0 <sup>1</sup>	22.0	64
765	400	14.00	29.00	1335.82	1321.8 <sup>2</sup>	30.0	86

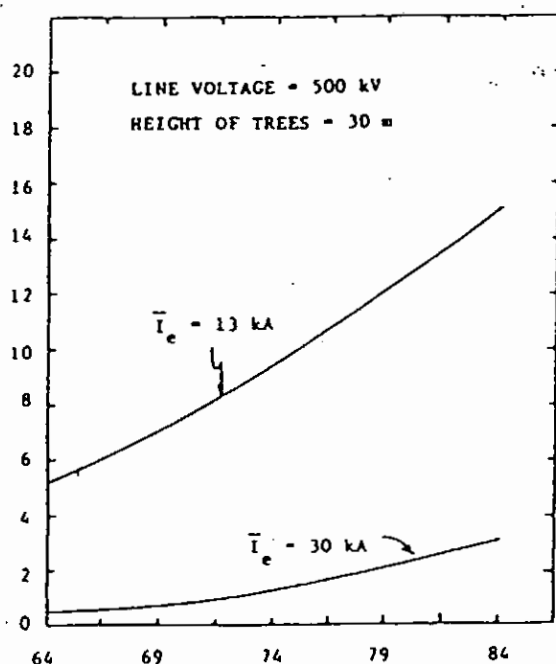
### Επίδραση του ύψους των δέντρων.

Το σχ.3 δείχνει την επίδραση του ύψους των δέντρων στον αριθμό των κεραυνών στη γραμμή. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σαν ποσοστό του αριθμού των κεραυνών σε μία γραμμή που διασταυρώνεται με γυμνή γη (όχι δέντρα). Για την περίπτωση των γραμμών των 500 KV, το ύψος των δέντρων του δάσους συνίστανται στο ύψος των 10 μέτρων μόνο, θα μειώσει τον αριθμό των κεραυνών στη γραμμή περίπου στο 30%. Αυξάνοντας το ύψος των δέντρων στα 20 μέτρα, μειώνεται ο αριθμός των κεραυνών στη γραμμή περίπου στο 80% σε σύγκριση με την περίπτωση της γυμνής έκτασης.



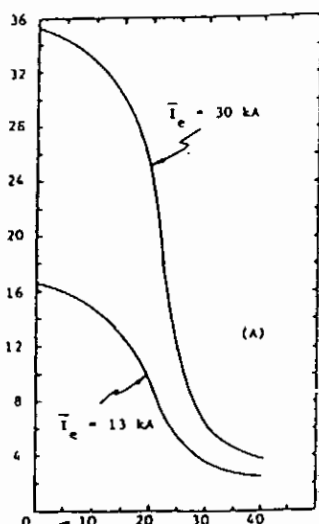
## Επίδραση του πλάτους της διαδρομής στον αριθμό των κεραυνών.

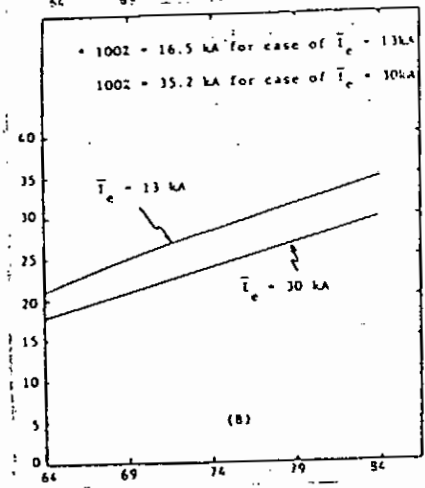
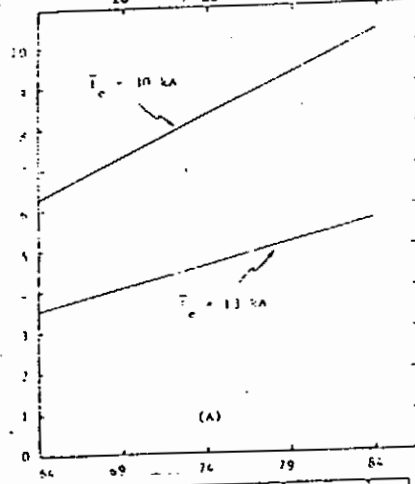
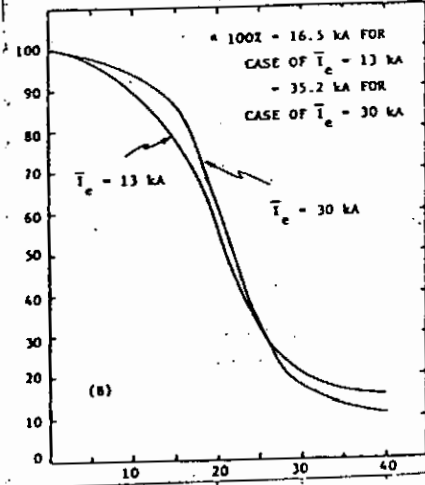
Το σχ. 4 δείχνει την επίδραση του πλάτους της διαδρομής στον αριθμό των κεραυνών στη γραμμή για την περίπτωση μιας γραμμής 500KV, που διασταυρώνονται με ένα δάσος που συνίσταται από δέντρα ύψους 30 μέτρων. Πάλι τα αποτελέσματα εκφράζονται σαν ένα ποσοστό του αριθμού των κεραυνών σε μία γραμμή που διασταυρώνεται με γυμνή γη. Φυσικά, αυξάνοντας το πλάτος της διαδρομής μειώνεται η προστατευτική επίδραση του δάσους. Ωστόσο, η προστατευτική επίδραση παραμένει πολύ ισχυρή σε σχέση με την πρακτική διακύμανση του πλάτους της διαδρομής.



### Η μέση εμβέλεια των συλλεγομένων κεραυνών

Το σχ. 5 δείχνει την επίδραση του ύψους των δέντρων στη μέση ισχύ της εμβέλειας των συλλεγομένων κεραυνών και το σχ. 6 δείχνει την επίδραση του πλάτους της διαδρομής. Τα τμήματα Α των σχ.5 και 6 δίνουν τη μέση εμβέλεια σε ΚΑ, ενώ τα τμήματα δίνουν τη μέση εμβέλεια σαν ένα ποσοστό της μέσης εμβέλειας των κεραυνών που συλλέγονται από μία γραμμή που διασταυρώνεται με γυμνή γη. Οι διαφορές ανάμεσα στα διαγράμματα που αντιστοιχούν σε  $I_e = 13 \text{ ΚΑ}$  &  $I_e = 30 \text{ ΚΑ}$  εκμηδενίζονται όταν τα αποτελέσματα εκφράζονται χρησιμοποιώντας τον δεύτερο τύπο. Το σχ.5β δείχνει που συνίσταται από δέντρα ύψους 15 μ.έτρων θα μειώσει τη μέση εμβέλεια των κεραυνών στη γραμμή περίπου στο 20%. Αυξάνοντας το ύψος των δέντρων στα 30 μέτρα μειώνεται η μέση εμβέλεια των συλλεγομένων κεραυνών γύρω στο 80% σε σύγκριση με την περίπτωση της γυμνής έκτασης.







### Επίδραση της τάξης του δυναμικού στη γραμμή ισχύος

Ο πίνακας I I δείχνει την επίδραση της προστασίας μέσω δέντρων στην πρόπτωση των κεραυνών σε γραμμές ισχύος διαφορετικών τάξεων δυναμικού. Αυτό δίνει αποτελέσματα που βασίζονται μόνο σε μία ισχύ  $I_e$  (13 KA) εφόσον τα σχήματα 3 και 5β εκδεικνύουν ότι η επίδραση του  $I_e$  είναι μικρή όταν τα αποτελέσματα εκφράζονται σαν ποσοστά της ισχύος για την περίπτωση της γυμνής έκτασης. Ο πίνακας II καθαρά εκδικνύει ότι η προστατευτική επίδραση των δέντρων, τόσο σε σχέση με τον αριθμό των κεραυνών όσο και με την μέση εμβέλεια των συλλεγόμενων κεραυνών, γρήγορα εκμηδενίζεται όταν το δυναμικό της γραμμής αυξάνεται. Για παράδειγμα, μία γραμμή 500 KV συλλέγει μόνο, 5.2% των κεραυνών που αντιστοιχούν στη περίπτωση της γυμνής έκτασης, ενώ μία γραμμή 765 KV που διατρέχει το ίδιο δάσος συλλέγει 21.4% των κεραυνών που αντιστοιχούν στην περίπτωση της γυμνής έκτασης. Επίσης, αντίστοιχες αυξήσεις συμβαίνουν σε σχέση με τη μέση εμβέλεια των συλλεγόμενων κεραυνών.

ΤΑΣΗ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ m	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΕΡΑΥΝΩΝ (1)				ΜΕΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΚΟΠΗΣ ΚΕΡΑΥΝΩΝ (2)			
		ΧΩΡΙΣ ΔΕΝΤΡΑ (N <sub>0</sub> )	ΜΕ ΔΕΝΤΡΑ (N <sub>1</sub> )	N <sub>1</sub> /N <sub>0</sub> %	ΧΩΡΙΣ ΔΕΝΤΡΑ (I <sub>SO</sub> ), KA	ΜΕ ΔΕΝΤΡΑ (I <sub>ST</sub> ) KA	I <sub>ST</sub> /I <sub>SO</sub> %		
138	9.67	7.22	0.0187	0.25	16.9	1.0	5.9		
230	11.33	7.94	0.0338	0.43	16.9	1.0	5.9		
500	14.67	9.78	0.508	5.20	16.5	3.5	21.2		
765	19.00	11.41	2.440	21.40	16.5	7.9	47.9		

### Περίληψη και συμπεράσματα .

1. Δίνεται μία περιγραφή ενός τρισδιάστατου ηλεκτρογεωμετρικού μοντέλου το οποίο είναι ικανό να αναλύει την προστατευτική επίδραση των δέντρων.
2. Διαγράμματα και ένας πίνακας παρατίθεται για τις επιδράσεις του ύψους των δέντρων, του πλάτους της διαδρομής και της τάξεως δυναμικού της γραμμής ισχύος σε σχέση τόσο με τον αριθμό των κεραυνών στη γραμμή όσο και με την μέση εμβέλεια των συλλεγόμενων κεραυνών.
3. Η επίδραση της ισχύος της μέσης εμβέλειας των ρευμάτων στο επίπεδο εδάφους  $I_0$  εκμηδενίζεται όταν η προστατευτική επίδραση των δέντρων σε ποσοστά της ισχύος για την περίπτωση της γυμνής έκτασης.
4. Ο αριθμός των αναφερόμενων εμπειριών στις γραμμές μεταφοράς που διατρέχουν δάση είναι γνωστό ότι είναι μικρότερος σε σχέση με τα αποτελέσματα που προμηνύονται χρησιμοποιώντας παρέχει την απαραίτητη ποσοτική εξήγηση : Το φαινόμενο συμβαίνει λόγω τεράστιας μείωσης τόσο στον αριθμό των κεραυνών στη γραμμή όσο και στη μέση εμβέλεια των συλλεγόμενων κεραυνών. Πίν. II
5. Η προστατευτική επίδραση του δάσους μειώνεται αξιοσημείωτα όπου γραμμές υψηλότερου δυναμικού αναφέρονται, τοιούτουτρόπους, ο μικρός αριθμός των μη προστατευόμενων γραμμών των 500KV δεν σημαίνει απαραίτητα ότι απροστάτευτες υψηλότερες γραμμές των (765 KV ή 1000 KV) θα έχει αποδέκτη παρουσίαση. Άρα ο σχεδιασμός τέτοιων γραμμών θα έπρεπε

να αναλυθεί προσεκτικά προτού ολοκληρωθεί. Ψηλές κατασκευές που βρίσκονται σε επίπεδα ανοικτά μέρη γίνονται εξαιρετικοί στόχοι για κεραυνούς. Αλλά, αν οι κατασκευές πρέπει να τοποθετηθούν σε επίπεδα, ανοικτά μέρη, κάνετε την μεγαλύτερη προσπάθεια να διατηρήσετε το ύψος της κατασκευής στο ελάχιστο και να μειώσετε την αντίσταση γείωσης της κατασκευής όσο το δυνατόν περισσότερο.

Ένας άλλος τρόπος για να χρησιμοποιήσουμε τον περιβάλλοντα χώρο για να θωρακίσουμε τη γραμμή μεταφοράς από τους κεραυνούς είναι να δρομολογήσουμε τη γραμμή κοντά στις υπάρχουσες ψηλότερες κατασκευές όπως κτίρια ή άλλες κατασκευές γραμμών μεταφοράς. Η εμπειρία έχει δείξει ότι μία γραμμή η οποία μοιράζεται την διαδρομή με μία άλλη που έχει ψηλότερες κατασκευές θα έχει λιγότερα σφάλματα από κεραυνούς αν ήταν μία ξεχωριστή διαδρομή. Δύο γραμμές με ίδιο σχεδιασμό που έχουν την ίδια διαδρομή "μοιράζονται" τους κεραυνούς και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα χαμηλότερους απ' ό τι κανονικά ρυθμούς σφαλμάτων από κεραυνούς. Η χρήση των "μοιρασμένων" διαδρομών πρέπει να ισοσταθμιστεί με τον κίνδυνο πολλαπλών σφαλμάτων γραμμών.

## Κεφάλαιο 2

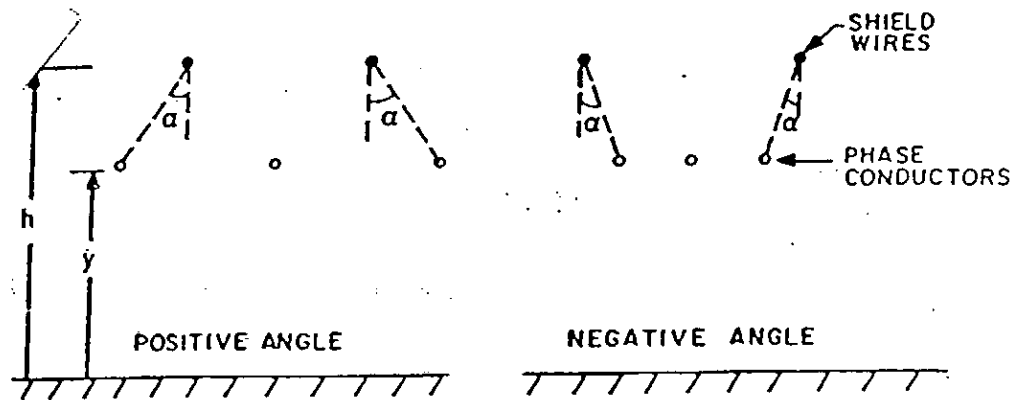
### Θωράκιση

Το χτύπημα του κεραυνού στους αγωγούς της φάσης συναντά μόνο την κυματική αντίσταση του αγωγού. Σχεδόν όλα τα ρεύματα των κεραυνών είναι ικανά να προκαλέσουν πλήγματα ( βραχυκυκλώματα ). Προεξέχοντες αγωγοί γείωσης αν τοποθετηθούν κατάλληλα μπορούν να εμποδίσουν το πλήγμα και να οδηγήσουν το ρεύμα στη γη μέσω της εμπέδησης του πύργου και της αντίστασης γείωσης . Έτσι οι τάσεις κατά μήκος της μόνωσης της γραμμής η πιθανότητα βραχυκυκλώματος μειώνεται σημαντικά.

Ένα από τα σπουδαιότερα ζητήματα των σχεδιαστών γραμμών μεταφοράς είναι να τοποθετήσουν τους προεξέχοντες αγωγούς γείωσης έτσι ώστε να μειωθεί σε ένα αποδεκτό επίπεδο η πιθανότητα να πλήξει ένας κεραυνός τους αγωγούς γείωσης και να προκαλέσει σπινθηρισμούς. Η κατάλληλη τοποθέτηση του προεξέχοντος εναερίου αγωγού γείωσης σχετικά με τους αγωγούς γείωσης, συνήθως ορίζεται από τη γωνία προστασίας, όπως ορίζεται στο σχ.7. Όπως φαίνεται στο σχ.7, αν οι προεξέχοντες αγωγοί γείωσης εκτίθενται οριζοντίως πέραν των αγωγών φάσης [ βγαίνουν πάρα έξω ], τότε η γωνία προστασίας ορίζεται ως αρνητική.

### Ανάλυση σχήματος 7

Ορισμός των γωνιών - SHIELD WIRES: Αγωγοί προστασίας,  
 PHASE CONDUCTORS: Αγωγοί φάσης, POSITIVE ANGLE:  
 Θετική γωνία, NEGATIVE ANGLE: Αρνητική γωνία.



Μέχρι το 1951, η γωνία προστασίας που χρησιμοποιούνταν ήταν  $30^\circ$ . Με τη γωνία αυτή ήταν αποδεκτή η συμπεριφορά έναντι των κεραυνών στις υπάρχουσες γραμμές για τάση μέχρι 230 [KV]. Περίπου εκείνο τον καιρό εισήχθησαν οι γραμμές των 345 [KV] και κατασκευάστηκαν ψηλές διπλού κυκλώματος γραμμές. Η συμπεριφορά έναντι των κεραυνών αυτών των γραμμών ήταν σημαντικά χειρότερη από ότι αναμενόταν. Ακολουθώντας θεωρητικές, στο χρόνο, και εργαστηριακές έρευνες, επιτεύχθηκε γενική συμφωνία ότι η συνηθισμένη γωνία θωράκισης των  $30^\circ$  θα πρέπει να μειώνεται καθώς αυξάνει το ύψος κατασκευής της γραμμής μεταφοράς.

Ακολουθώντας την ανάπτυξη ενός απλοποιημένου μοντέλου του τελευταίου βήματος του πρώτου πλήγματος ενός

κεραυνού ( απόσταση διάσπασης ) και την ανάπτυξη σχέσης ρεύματος-ταχύτητας του πλήγματος φτιάχτηκε από τον Young το γεωμετρικό μοντέλο του τελευταίου βήματος. Αυτό ακολουθήθηκε από βελτιστοποιήσεις στις σχέσεις απόστασης διάσπασης από τον Whitehead και τους συνεργάτες του και από τις προταθείσες τροποποιήσεις από τον Erikson. Αυτές οι εναλλακτικές σχέσεις για την απόσταση διάσπασης και η σχέση που χρησιμοποιήθηκε στην αναφορά του IEE Working Group, συγκρίθηκαν στη συζήτηση σε αναφορά όπου παρατηρήθηκε ότι η χρήση των εναλλακτικών σχέσεων απόστασης διάσπασης έδωσε ευρείας διασποράς "τέλειες" γωνίες προστασίας .

Ο ορισμός της "τέλειας" γωνίας προστασίας είναι μια γωνία που έχει σαν αποτέλεσμα μηδενικά σφάλματα θωράκισης ( SFFOR ). Αυτή η χρήση της "τέλειας" είναι ανεξάρτητη από την κεραυνική δραστηριότητα, το οποίο με την σειρά του δεικνύει ότι η ίδια "τέλεια" γωνία θα εφαρμοζόταν σε περιοχές χαμηλής ή υψηλής κεραυνικής δραστηριότητας. Αυτή η επιρρεπής σε λάθη σύλληψη μπορεί να συσχετηθεί αν χρησιμοποιηθεί ένας συγκεκριμένος SFFOR, επιτρέποντας έτσι στον μελετητή να εφαρμόσει την αντικειμενική τοποθέτηση του εναέριου αγωγού έτσι ώστε να παραλαμβάνει έναν αποδεκτό SFFOR της επιλογής του.

Επιλέγοντας SFFOR 0.5 βραχυκυκλώματα / 100Km / χρόνο και για απλότητα λαμβάνοντας υπόψη μόνο τα κάθετα πλήγματα σχεδιάζονται οι καμπύλες των σχ. 8 και 9 για να συσχετίσουν την γωνία προστασίας με το μέσο ύψος του εναέριου σύρματος,  $h$ , και του αγωγού  $y$ . Οι σταθερές για τις καμπύλες είναι 40 μέρες

καταιγίδα το χρόνο,  $T_d$ , και  $(h-y) =$  μέτρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η γωνία προστασίας είναι αναίσθητη σε πρακτικές τιμές του  $(h-y)$ . Οι καμπύλες του σχ.8 υποθέτουν κρίσιμο ρεύμα  $I_c = 10$  KA, αντιπροσωπευτικό των 345 KV και 500 KV γραμμών. Το κρίσιμο ρεύμα ορίζεται ως το στιγμιαίο ρεύμα ( ρεύμα κεραυνού ) κάτω από το οποίο δεν συμβαίνει καθόλου βραχυκύκλωμα και δίνεται από την εξίσωση:

$$I_c = \frac{2(CFO-)}{Z_c} \quad (3)$$

όπου CFO- είναι ο αρνητικής πολικότητας κεραυνός κρίσιμης κρουστικής τάσης βραχυκύκλωσης η οποία είναι ίση περίπου με 605 KV / m φορές της ελάχιστης απόστασης διάσπασης ή το μήκος του μονωτήρα, όταν είναι μικρότερο .  $Z_c$  είναι η σύνθετη αντίσταση του αγωγού φάσης.

Τα ύψη,  $h$  και  $y$  είναι τα μέσα ύψη του εναερίου σύρματος και ο περισσότερο εκτεθειμένος αγωγός φάσης.

Επίσης, η γωνία προστασίας είναι αυτή στα μέσα ύψη γραμμών, και επομένως θα είναι μεγαλύτερη στον πύργο.

Όπως παρατηρήθηκε στα σχ.8 και 9, η γωνία προστασίας ακαριαία μειώνει με το ύψος της γραμμής φτάνοντας μία γωνία  $11^\circ$  για  $I_c = 5$  KA και μία γωνία  $6^\circ$  για  $I_c = 10$ KA σε μία γραμμή ύψους 50 μέτρων.

Λόγω του ότι οι εξισώσεις Brown-Whitehead παρέχουν ένα λογικό ελάχιστο όριο, οι καμπύλες των σχ. 10 και 11 έχουν παραχθεί με τη χρήση αυτών των εξισώσεων για να δείξουν τα



αποτελέσματα του κρίσιμου ρεύματος  $I_c$  και τις ημέρες που πλήτονται από κεραυνούς. Στο σχ. 10, χρησιμοποιείται η εξίσωση του Errikson που συσχετίζει το  $T_d$  και την πυκνότητα πληγμάτων στο έδαφος.

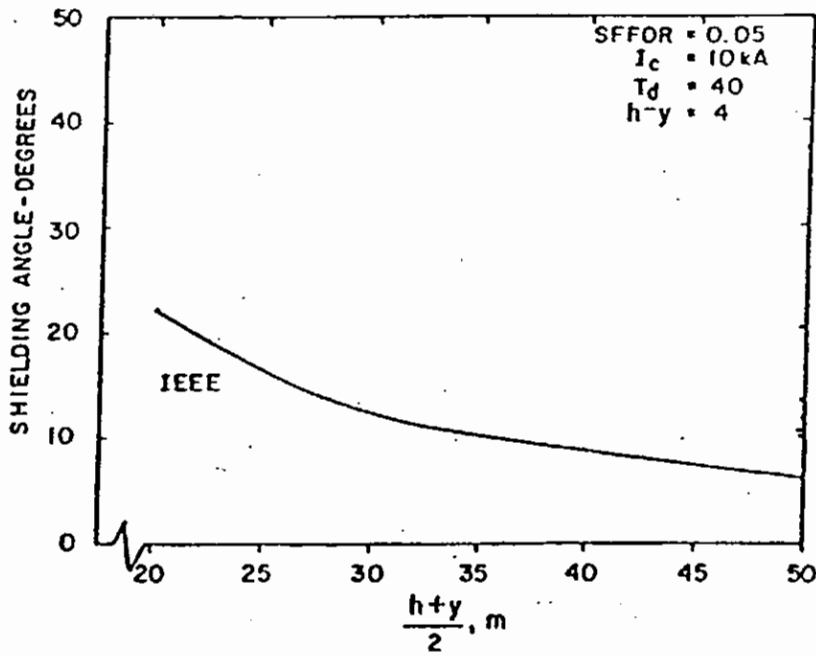
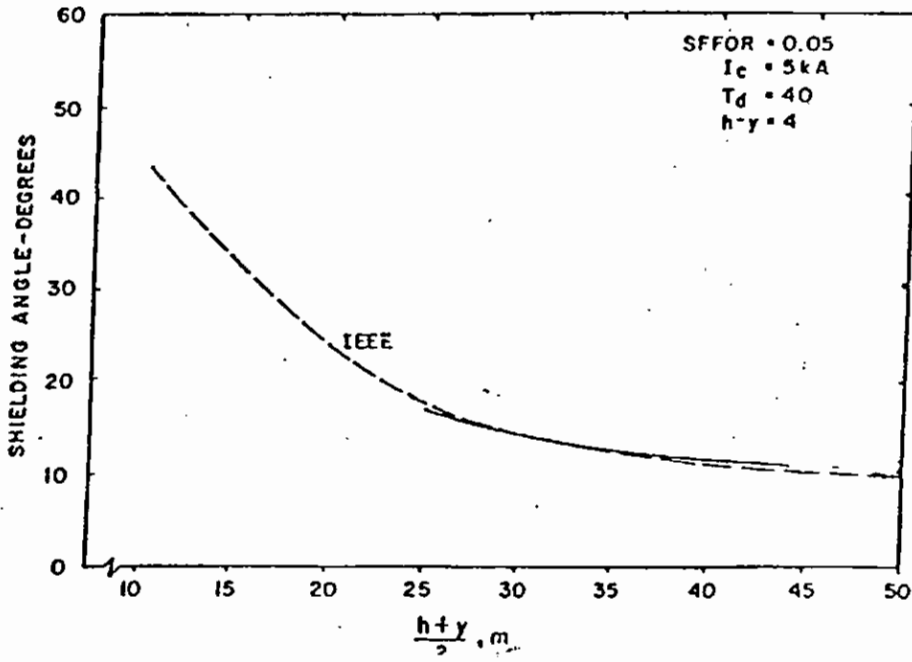
Οι καμπύλες του σχ. 6 δείχνουν τα πρακτικά αποτελέσματα του  $T_d$ . Για παράδειγμα, το  $I_c=10$  KA, η γωνία των  $15^\circ$  στο  $T_d=100$  αυξάνει στις  $32^\circ$  στο  $T_d=5$ .

Οι προηγούμενες καμπύλες οι οποίες παρέχουν εκτιμήσεις της γωνίας προστασίας υποθέτουν ότι η γραμμή είναι κατασκευασμένη σε επίπεδη γυμνή γη. Αν ένα συγκεκριμένο τμήμα της γραμμής είναι σε πλευρές βουνών, τότε η γωνία προστασίας θα πρέπει να μειωθεί από την γωνία της πλευράς του βουνού. Σε δασώδεις περιοχές παρακείμενες στη δεξιά του δρόμου είναι επωφελείς, και έτσι η γωνία προστασίας μπορεί να αυξηθεί.

### Ανάλυση σχημάτων 8,9

**Σχήμα 8-** Γωνίες προστασίας για SFFOR = 0.05  
βραχυκυκλώματα / 100 Km / έτος για  $I_c = 5$  KA  
Κάθετος άξονας: Γωνία προστασίας / μοίρες

**Σχήμα 9-** Γωνίες προστασίας για SFFOR = 0.05  
βραχυκυκλώματα / 100 Km / έτος για  $I_c = 10$ KA  
Κάθετος άξονας: Γωνία προστασίας / μοίρες



Τελικά, για να παρέχουμε κάποια κατεύθυνση διαφορετική απ' τις καμπύλες των σχ.8 έως 11, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω σχέσεις των Brown-Whitehead για την απόσταση διάσπασης με την υπόθεση ότι όλων των κάθετα χτυπημάτων και στόχο σχεδιασμού SFFOR ίσο με 0.05 σπινθηρισμούς / 100Km / χρόνο

$$r_g = 6.4 I_c^{0.75} \quad (4)$$

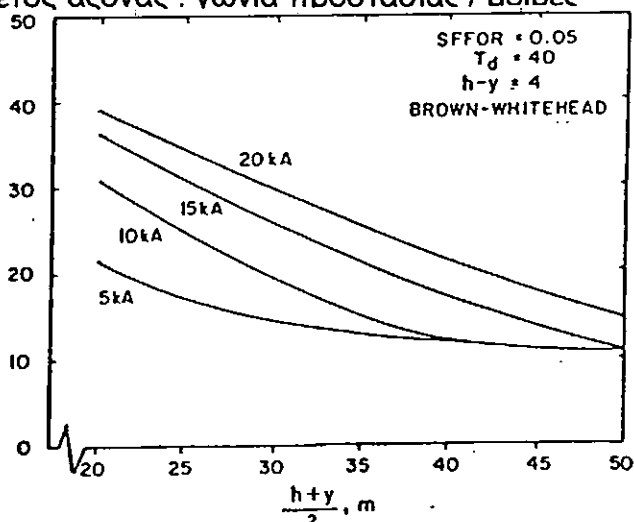
$$r_g = 7.1 I_c^{0.75} \quad (5)$$

όπου  $r_g$  = η απόσταση διάσπασης στη γη.

$r_c$  = η απόσταση διάσπασης στον αγωγό φάσης.

**Σχήμα 5** - Γωνίες προστασίας για εναλλακτικές του  $I_c$  και για SFFOR= 0.05, χρησιμοποιώντας την εξίσωση Brown-Whitehead

Κάθετος άξονας : γωνία προστασίας / μοίρες

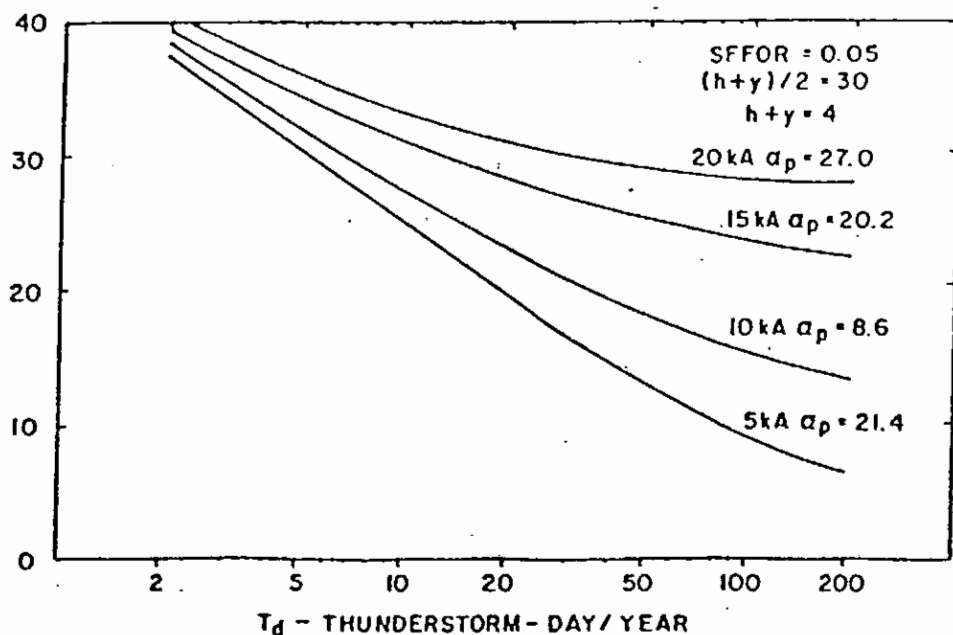


Ο μελετητής θα πρέπει να νοιάζεται όχι μόνο για την κατάλληλη τοποθέτηση των εναερίων συρμάτων, αλλά και για το κατάλληλο μέγεθος των αγωγών γείωσης. Οι αγωγοί γείωσης πρέπει να είναι ικανοί να αντέχουν τα επίπεδα ρεύματος που τοποθετούνται υπεράνω αυτών από τον σπινθηρισμό των κεραυνών. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος του αγωγού γείωσης είναι τα ρεύματα αστοχίας του συστήματος, οι απώλειες, και η χρήση των οπτικών ινών.

**Σχήμα 11:** Επίδραση της συχνότητας κεραυνών στην γωνία προστασίας SFFOR=0.05 χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις Brown-Whitehead

Οριζόντιος άξονας :  $T_d$  - ΜΕΡΕΣ ΚΕΡΑΥΝΩΝ / ΧΡΟΝΟ

Κάθετος άξονας : Γωνία προστασίας / μοίρες



## Κεφάλαιο 3

### Μόνωση

Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους ο κεραυνός μπορεί να προκαλέσει τους μονωτήρες μιάς γραμμής μεταφοράς να σπινθηρίσουν: ο σπινθηρισμός του κεραυνού που διακόπτεται από τον πύργο ή τους αγωγούς θωράκισης, ή το άμεσο σταμάτημα του κεραυνού πάνω σε έναν από τους αγωγούς της φάσης. Σ' οποιαδήποτε περίπτωση, υπάρχουν τρεις κύριοι παράγοντες οι οποίοι κυβερνούν το αν η μόνωση θα σπινθηρίσει. Αυτοί είναι: η κυματομορφή και η πολικότητα της κρουστικής τάσης του κεραυνού η οποία καταπονεί τον μονωτήρα, τα χαρακτηριστικά αντοχής των μονωτήρων όπως αυτά καθορίζονται από τον αριθμό των τυπικών δίσκων και τον τύπο του μονωτήρα και το συστατικό συχνότητας ισχύος της τάσης στον μονωτήρα. Αυτό το τμήμα διερευνά τις σχέσεις μεταξύ της απόδοσης των γραμμών μεταφοράς στους κεραυνούς και των προηγουμένων αναφερθέντων παραγόντων.

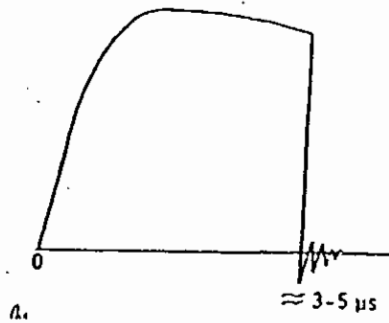
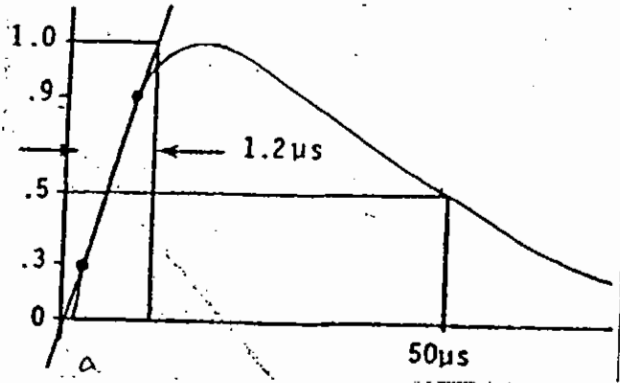
### Επίδραση των κυματομορφών τάσης

Η διηλεκτρική συμπεριφορά της μόνωσης της γραμμής της γραμμής όταν αυτή εκτίθεται σε κρούσεις κεραυνών εκτιμάται τυπικά με το να υποβάλουμε τη μόνωση σε εκκενώσεις με τιμή διπλάσια απ' αυτή των τυπικών αναμενομένων. Ο χρόνος μετώπου της εκκένωσης είναι γενικά 1.2 μς και ο χρόνος ουράς 50 μς, όπως φαίνεται στο σχ. 12. Αν το μέγεθος της τάσης είναι επαρκώς χαμηλό, ο μονωτήρας δεν σπινθηρίζει και αναπτύσσεται τάση κρούσης "πλήρους κύματος". Καθώς το επίπεδο της εκκένωσης αυξάνεται σταδιακά, υπάρχει μία τάση στην οποία η μόνωση αστοχεί στο 50 % των δοκιμών. Αυτή η τάση ορίζεται ως η κρίσιμη τάση σπινθηρισμού ( CFO ) και οι κυματομορφές που έπονται ως αποτέλεσμα της αστοχίας ονομάζονται "ψαλιδισμένα ή αποκομμένα κύματα", σχ. 12. Καθώς η τάση αυξάνεται, η αποκοπή συμβαίνει πιο επίμονα σε συντομότερους χρόνους. Καθώς η τάση αυξάνει ακόμα περισσότερο, οι αποκοπές συμβαίνουν πριν η τάση να έχει φτάσει στην αναμενόμενη τάση κορυφής της. Τις εκκενώσεις που επιφέρει αυτή η κατάσταση τις αναφέρουμε ως "εκκενώσεις" με απότομα μέτωπα. Οι καμπύλες του μεγέθους της τάσης αποκοπής ( κατάρρευσης ) προς τον χρόνο αποκοπής ονομάζονται καμπύλες "τάσης- χρόνου", σχ. 8

### Ανάλυση σχήματος 12

#### Σχήμα 12 - Τυπική Εκκένωση Κεραυνού

α). Πλήρη κύματα , β). Αποκομμένα κύματα



Το ποσό μέσω του οποίου η τάση υπερβαίνει την τάση CFO αναφέρεται ως κύρτωση τάσης-χρόνου.

Έτσι, είναι δυνατόν για μία τάση εκκένωσης κεραυνού να έχουμε μέγεθος το οποίο ξεπερνά την κρίσιμη τάση σπινθηρισμού όπως καθορίζεται από τις τυποποιημένες κρούσεις αλλά το οποίο δεν διαρκεί αρκετά για να συντηρήσει τους οχτούς σ' όλο το μήκος ώστε να συντελεστεί η διάσπαση της μόνωσης. Έτσι, η διηλεκτρική αντοχή των μονωτήρων της γραμμής κάτω από συνθήκες κεραυνών εξαρτάται κατά πολύ από το μέγεθος και την διάρκεια της εκκένωσης (κυματομορφή) καθώς επίσης και από την πολικότητά της.

### Ανάλυση σχήματος 13

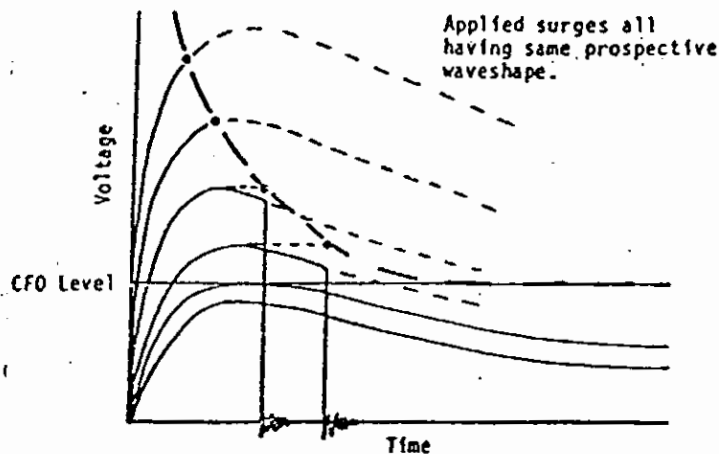
**Σχήμα 13** : Καμπύλες Τάσης -Χρόνου για σπινθηρισμό μονωτήρων

Applied surges. waveshape : Εφαρμοσθείσες εκκενώσεις που όλες έχουν το ίδιο αναμενόμενη (επίδοξη) κυματομορφή

CFO Level : Επίπεδο κρίσιμου σπινθηρισμού

Κάθετος άξονας: Τάση

Οριζόντιος άξονας:Χρόνος



Δεν υπάρχει ακόμη κάποιος διεξοδικά ικανοποιητικός τρόπος να εκτιμήσουμε την αντοχή των μονώσεων της γραμμής όταν εκτίθεται σε τυποποιημένα κύματα, εκτός από το να κάνουμε δοκιμές με εκκενώσεις που έχουν περίπου το σχήμα εκείνων που εξετάζουμε . Ο L. Thion έχει υποδείξει έναν εμπειρικό τύπο ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποικίλες τυποποιημένες εκκενώσεις για να παράγουμε καμπύλες τάσης- χρόνου παρόμοιες μ' αυτές του σχ. 13. Ωστόσο, τα πιά πολλά μοντέλα



περιγράφουν διάκενα από - ράβδο - σε - ράβδο ή από - ράβδο - στο - επίπεδο με απουσία των μονωτών. Οι μονωτές τροποποιούν τα ηλεκτρικά πεδία στο διάκενο και κάνουν την μοντελοποίηση περισσότερο δύσκολη. Τώρα αναπτύσσονται φυσικά μοντέλα τα οποία ίσως να παρέχουν επαρκή συμφωνία με τις παρατηρηθείσες καμπύλες τάσης - χρόνου για αλυσίδες μονωτήρων. Η διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα FLASH για να καθορισθεί ο σπινθηρισμός του μονωτήρα είναι αυτή κατά την οποία η τάση του μονωτήρα συγκρίνεται με την αντοχή του που εκτιμάται από την εξίσωση ( 6 ) παρακάτω. Μόλις η τάση του μονωτήρα υπερβεί την τιμή στην εξίσωση ( 6 ), έχει υποτεθεί ότι συμβαίνει σπινθηρισμός.

#### Εκκένωση Μονωτήρα

$$\text{Αντοχή Σπινθηρισμού} = V = \left( 400 + \frac{710}{t^{0.75}} \right) W \quad (6)$$

Όπου:

V = η αντοχή σπινθηρισμού σε KV.

t = χρόνος μέχρι τον σπινθηρισμό σε ms

(για  $0.2 \leq t \leq 6 \text{ms}$ )

W=διάκενο ή μήκος μονωτήρα σε μέτρα

## Επίδραση των Επιπέδων Μόνωσης και του τύπου του

### Μονωτήρα.

Ο σχεδιαστής εξωτερικής μόνωσης των γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης καθορίζεται από τις απαιτήσεις που τίθενται από την ισχύ των ρευμάτων συχνότητας, την ρύπανση, τις διακοπτικές υπερτάσεις και τις υπερτάσεις κεραυνών. Ο συνήθης αριθμός των τυπικών δίσκων ( 25.4 X 16.6cm ) που χρησιμοποιείται σε χορδές μονωτήρα για ποικίλα συστήματα τάσεων και οι ελέγχουσες παράμετροι σχεδιασμού φαίνονται στον πίνακα 1

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1

#### Συνήθης Μόνωσης Γραμμής

Τάση Γραμμής (KV)	Αριθμός Τυπικών Δίσκων	Ελεγχουσες παράμετροι (τυπικές)
115	7 - 9	Κεραυνοί ή ρύπανση
138	7 - 10	Κεραυνοί ή ρύπανση
161	10 - 12	Κεραυνοί ή ρύπανση
230	11 - 14	Κεραυνοί ή ρύπανση
345	15 - 18	Κεραυνοί ή υπερτάσεις χειρισμών & ρύπανσης
500	22 - 26	>>
765	30 - 37	>>

Η πλειοψηφία των παρόντων μονωτήρων φτιάχνεται από επυαλωμένη πορσελάνη και έχουν χρησιμοποιηθεί σε γραμμές μεταφοράς από 115 KV μέχρι 765.KV...Οι γυάλινοι μονωτήρες έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένα τμήματα των γραμμών μεταφοράς. Πιο πρόσφατα, οι συνθετικοί μονωτές έχουν γίνει περισσότερο ελκυστικοί αφού ο λόγος αντοχή προς βάρος που έχουν είναι σημαντικά υψηλότερος απ' αυτόν της πορσελάνης και μπορούμε να έχουμε μειωμένο κόστος πύργων. Η αναφορά περιέχει εκτεταμένα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών στις χαρακτηριστικές σπινθηρισμών εκκενώσεων για διάφορα μήκη και τύπους μονωτήρων. Ασχέτως του τύπου ή του μήκους του μονωτήρα οι χαρακτηριστικές αντοχής των μονωτήρων και των διάκενων του αέρα, επηρεάζονται από μετεωρολογικές συνθήκες, όπως τη σχετική πυκνότητα του αέρα και την απόλυτη υγρασία. Σε μεγάλα ύψη, καθώς η πυκνότητα του αέρα μειώνεται, μειώνεται επίσης και η αντοχή του αέρα. Όσο για την υγρασία, η αντοχή του διάκενου τείνει να αυξηθεί με την υγρασία εκτός και αν σχηματίζεται συμπύκνωση στις επιφάνειες του μονωτήρα. Η επίδραση του ξεπλύματος της βροχής φαίνεται να έχει μικρή επίδραση στην απόδοση των μονωτήρων στους κεραυνούς.

Γενικά, αν η απόδοση στους κεραυνούς μιάς γραμμής μεταφοράς είναι μη ικανοποιητική, είναι συχνά επαρκέστερο να βελτιώσουμε την τοποθέτηση του εναερίου αγωγού ή να μειώσουμε την αντίσταση γείωσης του πύργου από το να προσθέσουμε μόνωση. Τελικά, όταν οι μελετητές γραμμών καθορίζουν ή παραγγέλουν μονωτήρες θα πρέπει να συμβουλευονται τις

**Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ**  
**ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**

προδιαγραφές ANSI C29.1 - C29.9 ή άλλες σχετικές στη χώρα  
προδιαγραφές.

### **Το Ξύλο σε Σειρά με την Πορσελάνη.**

Το ξύλο σε σειρά με την μόνωση της πορσελάνης έχει δύο επωφελή ζητήματα : ( 1 ) η αντοχή της μόνωσης αυξάνεται πέρα από αυτή που έχει η πορσελάνη από μόνη της και ( 2 ) το ξύλο μπορεί να αποσβέσει ή να εκδιώξει ένα ρεύμα βιομηχανικής συχνότητας για να εμποδίσει ένα σφάλμα. Γενικά, για να κερδίσουμε μια σημαντική αύξηση στην αντοχή του μονωτήρα η αντοχή μόνωσης του ξύλου από - μόνωσης θα πρέπει να υπερβαίνει αυτήν της μόνωσης από πορσελάνη. Αυτό σημαίνει, ότι η συνδιασμένη αντοχή ξύλου - πορσελάνης είναι θεμελιωδώς μεγαλύτερη από την αντοχή του υγρού ξύλου από μόνο του ή της πορσελάνης από μόνη της. Η κρίσιμη τάση σπινθηρισμού του υγρού ξύλου ξύλου εμφανίζει να κυμαίνεται από λιγότερο των 250 KV / m μέχρι και πάνω από 650 KV / m το μήκος του ξύλου θα πρέπει να είναι 60 έως 140 % μεγαλύτερο από το μήκος της πορσελάνης. Σε μικρότερους χρόνους προς τον σπινθηρισμό , για παράδειγμα στα 2 μικροδευτερόλεπτα, η αντοχή του ξύλου αυξάνει πέραν από αυτή της πορσελάνης.

Η ικανότητα του ξύλου να διακόπτει επιτυχώς ένα τόξο ισχύος είναι συνάρτηση της πεδιακής έντασης που επικρατεί κατά μήκος του τόξου για βιομηχανικής συχνότητας τάση του μεγέθους του ρεύματος σφάλματος. Πεδιακές εντάσεις μικρότερες των 10 KV / m περίπου είναι αποτελεσματικές στο να παρέχουν μια θεμελιωδώς μηδενική πιθανότητα κατά την οποία ένας σπινθηρισμός κεραυνού θα έχει σαν αποτέλεσμα σφάλμα ( βλάβη ). Στην εκτίμηση της τιμής σφάλματος από κεραυνό για

μόνωση ξύλου-πορσελάνης, η τάση σφάλματος για ανάστροφα σφάλματα συνήθως πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή που κυμαίνεται από 0.35 - 0.50.

### Επίδραση της Βιομηχανικής Συχνότητας της γραμμής

Οι τάσεις βιομηχανικής συχνότητας κατά μήκος κάθε μονωτήρα συνεχώς προστίθενται στις, ή αφαιρούνται από τις, καταπονήσεις που δημιουργήθηκαν στον μονωτήρα από το πλήγμα του κεραυνού, και έτσι συνεχώς αλλάζουν το πλάτος του ρεύματος κρούσης που απαιτείται για την πρόκληση σπινθηρισμού. Αυτή η τάση βιομηχανικής συχνότητας μπορεί να δημιουργήσει σημαντική μεταβολή στο ρυθμό σφάλματος του κεραυνού και είναι ένας σημαντικός παράγοντας του γιατί τα παρατηρούμενα σφάλματα δεν είναι όλα στη φάση, που έχει το χαμηλότερο κρίσιμο ρεύμα.

Ευτυχώς, η τάση βιομηχανικής συχνότητας του μονωτήρα μπορεί να υπολογιστεί σ' οποιαδήποτε δοθείσα γωνία φάσης ( και από οποιοδήποτε σείτ συνθηκών σφάλματος ) ανεξάρτητα από το μέγεθος του ρεύματος κεραυνού που εισέρχεται στην κορυφή του πύργου. Ο κεραυνός και η τάση βιομηχανικής συχνότητας μπορούν μετά να υπερτεθούν. Στο πρόγραμμα FLASH οι στιγμιαίες τάσεις λειτουργίας εξετάζονται σε όλο το φάσμα των  $360^{\circ}$

## Κεφάλαιο 4

### Γείωση.

Όταν ένας κεραυνός έρθει σε επαφή με έναν πύργο, ένα τμήμα του ρεύματος κεραυνού ταξιδεύει προς τα κάτω στον πύργο. Το υπόλοιπο περνά απ' έξω κατά μήκος των εναερίων αγωγών γείωσης. Το αρχικό κλάσμα κατά μήκος των δύο μονοπατιών καθορίζεται από τις σχετικές σύνθετες αντιστάσεις ( εμπεδήσεις ) εκκενώσεις κάθε μονοπατιού. Το ρεύμα πύργου ρέει προς τη γη στη βάση του πύργου μέσω της αντίστασης γείωσης του πύργου. Η επιφερόμενη πτώση τάσης, και το μέγεθος του κύματος τάσης που ανακλάται πίσω πάνω στον πύργο, εξαρτώνται άμεσα από την τιμή της αντίστασης γείωσης που συναντά το ρεύμα. Η καταπόνηση τάσης στις αλυσίδες του μονωτήρα είναι η διαφορά μεταξύ της τάσης του πύργου και της στιγμιαίας κεραυνικής τιμής της τάσης των 60 Hz των αγωγών φάσεως. Μια επαρκώς υψηλή καταπόνηση τάσης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα έναν σπινθηρισμό από τον πύργο προς τους αγωγούς της φάσης το ανάστροφο σφάλμα. Αφού η τάση του πύργου έχει μεγάλη εξάρτηση από την αντίσταση γείωσης έπεται ότι η αντίσταση γείωσης είναι ένας εξαιρετικά σπουδαίος παράγοντας στον καθορισμό της απόδοσης στους κεραυνούς. Η αντίσταση γείωσης του πύργου εξαρτάται από την επιφάνεια του χάλυβα του πύργου (ή του αγωγού γείωσης) που είναι σε επαφή με τη γη, και με την αγωγιμότητα της γης. Η δεύτερη δεν είναι σταθερή - ποικίλει με το χρόνο και είναι συνάρτηση του τύπου της λάσπης, του ποσοστού υγρασίας, του μεγέθους του ρεύματος και της κυματομορφής.



Κατ' έθιμον της χαμηλής συχνότητας, χαμηλού ρεύματος τιμή της αντίστασης γείωσης χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς συμπεριφοράς καθώς αυτή η τιμή μπορεί να ληφθεί μ' έναν εύκολο τρόπο. Αυτή η αντίσταση δεν είναι πολύ διαφορετική από την υψηλού ρεύματος κρουστική σε τιμή πού χαμηλή ειδική αντίσταση του εδάφους αλλά μπορεί να είναι πολλές φορές υψηλότερη από την τιμή της εκκένωσης σε υψηλές ειδικές αντιστάσεις εδάφους.

### Συμπεριφορά γείωσης.

Η συνολική συμπεριφορά μιάς ολοκλήρης γραμμής μεταφοράς επηρεάζεται από την ξέχωρη συμπεριφορά των πύργων παρά μάλλον από τη μέση συμπεριφορά όλων των πύργων μαζί. Σε περιοχές μη ομοιογενούς γήινης αγωγιμότητας, ακόμη και λίγοι πύργοι τοποθετημένοι σε χαμηλής αγωγιμότητας έδαφος μπορούν να επιφέρουν ένα εμφανώς επιβλαβές αποτέλεσμα στην ολική απόδοση της γραμμής. Όταν τοποθετούμε σε σημεία τους πύργους, πρέπει να γίνεται κάθε προσπάθεια έτσι ώστε να τοποθετήσουμε τον καθέναν τους σε μέρος που η αγωγιμότητα στην πραγματική γη είναι υψηλή. Στην έκταση που αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί, οι υπολογισμοί της συμπεριφοράς της γραμμής θα πρέπει να γίνουν ξεχωριστά για κάθε διαφορετική τάξη αγωγιμότητας που συναντιέται. Τα αποτελέσματα τότε μπορούν να συνδυαστούν για να καθοριστεί η συνολική συμπεριφορά από τη σχέση

$$T = \frac{\sum T_N - L_N}{\sum L_N} \quad (7)$$

όπου  $T =$  ο συνολικός αριθμός σφαλμάτων

$T_N =$  ο αριθμός σφαλμάτων που υπολογίστηκε για το Νιοστό τμήμα της γραμμής μήκους  $L_N$ .

Αν η υπολογισθείσα ή η πραγματική συμπεριφορά στους κεραυνούς δεν είναι ικανοποιητική λόγω της υψηλής αντίστασης γείωσης σε έναν ή περισσότερους πύργους, πρέπει να ληφθούν

επιπρόσθετα μέτρα για να χαμηλώσουμε ( κατεβάσουμε ) την αντίσταση γείωσης.

### Συμπληρωματική Γείωση

Η ίδια η κατασκευή του πύργου μπορεί να επιφέρει σε μία σημαντική περιοχή της επιφάνειας του χάλυβατου πύργου καλή επαφή με τη γη. Αν ένας σχεδιασμός δεν δίνει φυσιολογικά μια ικανοποιητική αντίσταση, μπορεί να απαιτείται επιπρόσθετη του πύργου.

Το πιο κοινό ηλεκτρόδιο γείωσης είναι μία οδηγός ράβδος. Η αντίστασή της μπορεί να υπολογιστεί από την ( 2 )

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \left( \frac{4l}{a} \right) - 1 \right) \quad ( 8 )$$

όπου  $R$  είναι η αντίσταση σε ( $\Omega$ ),  $\rho$  είναι η ειδική αντίσταση της γης ( $\Omega \cdot m$ ),  $l$  είναι το μήκος της ράβδου που είναι σε επαφή με τη γη σε ( $m$ ) και  $a$  είναι η ακτίνα της ράβδου σε ( $m$ ).

Ενώ αυξάνοντας τη διάμετρο της ράβδου μειώνεται η αντίσταση, η αύξηση του μήκους της είναι πολύ περισσότερο επωφελής. Οι ράβδοι γείωσης μπορούν επίσης να συνδεθούν παράλληλα για να μειώσουν την ολική αντίσταση. Αν οι ράβδοι είναι σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους συγκρινόμενη με το μήκος τους, η ολική αντίστασή τους προσεγγίζει αυτή της μιας μόνο ράβδου. Καθώς αυξάνεται η μεταξύ των ράβδων απόσταση, η συνολική αντίσταση μειώνεται. Αν η απόσταση είναι μεγάλη συγκρινόμενη με το μήκος της ράβδου, η αντίσταση θα μειωθεί αντιστρόφως ανάλογα προς τον αριθμό των ράβδων. Το Σχ. 14 δείχνει την επίδραση της αύξησης του διαχωρισμού για μικρό αριθμό ράβδων εν παραλλήλω.

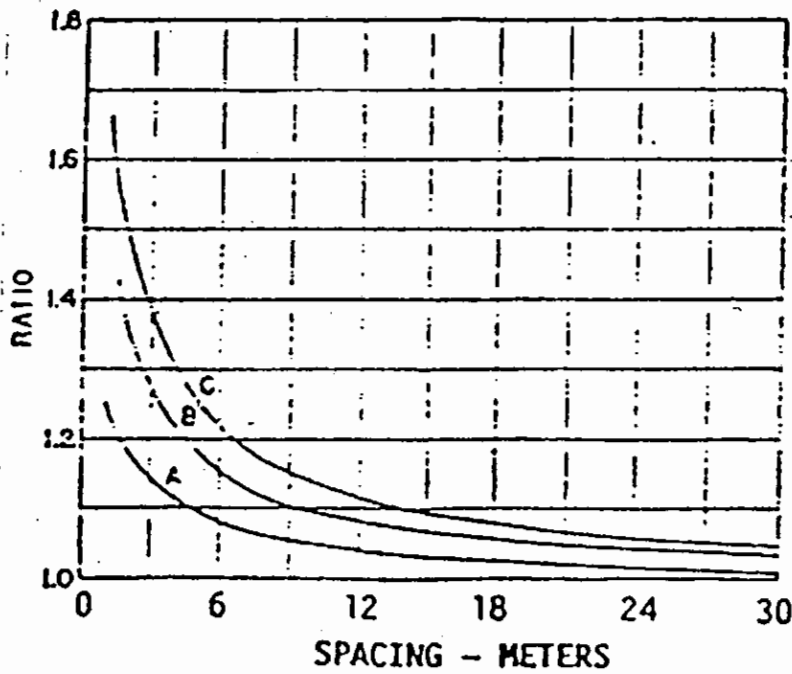
### Ανάλυση Σχ. 14

**Σχήμα 14:** Λόγος αντίστασης των ράβδων γείωσης εν παραλλήλω σε σύγκριση με μεμονωμένες ράβδους.

A - 2 ράβδοι, B - 3 ράβδοι, C - 4 ράβδοι. Οι ράβδοι έχουν διάμετρο 20 mm, βάθος 3 m.

Οριζόντιος άξονας: απόσταση - μέτρα

Κάθετος άξονας: λόγος



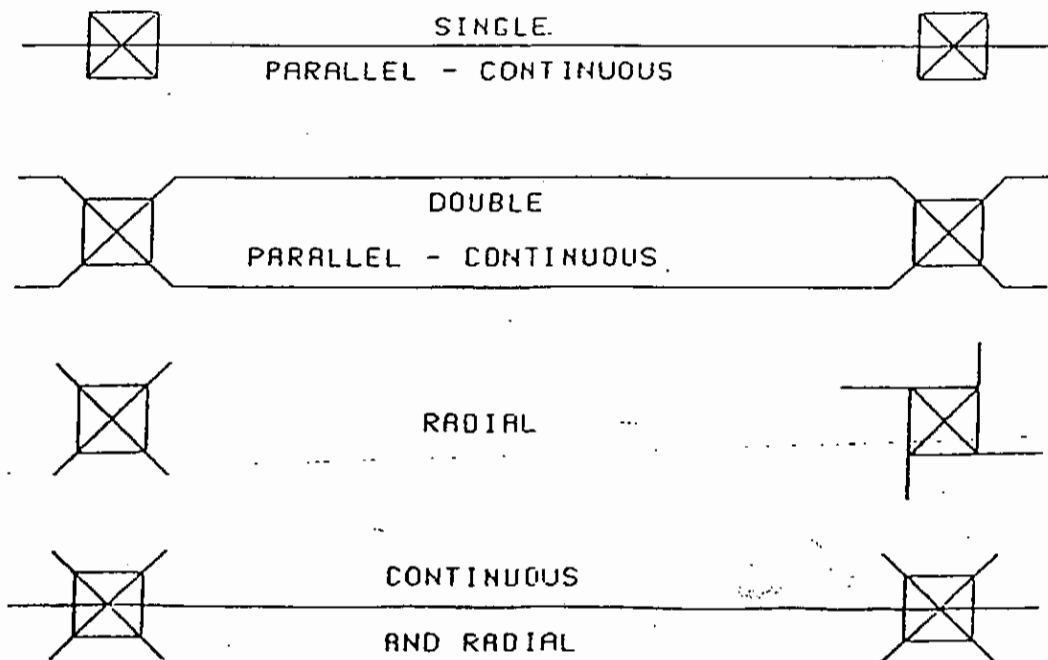
### Αντιστάθμιση δι' αντιβάρου

Μια άλλη μέθοδος για την αύξηση της περιοχής του συστήματος γείωσης που είναι σε επαφή με την γη είναι η εγκατάσταση ενός αντιβάρου. Το αντίβαρο είναι ένας αγωγός θαμένος στο χώμα σε διάταξη παράλληλη, ή υπό κάποια γωνία, προς τους αγωγούς γραμμής. Μπορεί να θεωρηθεί ως ένα οριζόντιο ηλεκτρόδιο που έχει δημιουργηθεί από τις οδηγούμενες ράβδους γείωσης. Κοινές διατάξεις φαίνονται στο Σχ. 15.

### Ανάλυση Σχ.15

#### Σχήμα 15

Διευθετήσεις των αντιβάρων



Όταν ένα ρεύμα εκκένωσης εφαρμόζεται σε ένα αντίβαρο, αρχικά συναντά την σύνθετη αντίσταση του αγωγού, περίπου 150 Ω. Η εκκένωση ταξιδεύει προς τα κάτω τον αγωγό περίπου στο 1/3 της ταχύτητας του φωτός, 100 m / μsec. Καθώς το ρεύμα καλύπτει περισσότερο τον αγωγό, αυτός δραστικά χρησιμοποιεί περισσότερη απ' την επαφή με τη γη. Η αντίσταση μειώνεται υπέρτατα φθάνοντας την τιμή διαρροής της, όταν το ρεύμα εκτείνεται σ' όλο τον αγωγό.

Η αντίσταση διαρροής μπορεί να υπολογιστεί ως ( 2 ).

$$R = \frac{\rho}{\pi l} \left( \ln \left( \frac{2l}{\sqrt{4ad}} - 1 \right) \right)$$

(9)

όπου d είναι το βάθος ταφής σε ( m ), υποτιθέμενο πάλι ως μικρότερο από το μήκος l.

Η αντίσταση διαρροής δεν επηρεάζεται πολύ είτε από την ακτίνα του αγωγού ή από το βάθος του. Κατ' έθιμον, το βάθος ταφής για αντίβαρα είναι γύρω στο μισό μέτρο. Για αγωγό διαμέτρου 0.02 μέτρα, αντίβαρο μήκους 100 μέτρων, η αύξηση του βάθους ταφής από 0.5 μέτρα στα 1.5 μέτρα θα μειώσει την αντίσταση κατά λιγότερο από 9%.

Περισσότεροι του ενός αγωγοί είναι πιο αποτελεσματικοί απ' ότι ένας μονός μακρύς αγωγός, ακόμη και αν το συνολικό μήκος και έτσι η αντίσταση διαρροής και των δύο είναι ίδια. Η αρχική σύνθετη αντίσταση εκκένωσης των πολλαπλών αγωγών είναι χαμηλότερη και η τελική αντίσταση διαρροής φθάνεται

γρηγορότερα. Πρακτικά, για ρεύματα κεραυνών στη γη τα πρώτα 80 έως 100 μέτρα του μήκους του αντιβάρου είναι τα περισσότερο αποτελεσματικά. Αφού το αντίβαρο είναι συνήθως σχετικά ρηχό, μπορεί να υπόκειται στην κλοπή ή το βανδαλισμό, ειδικά αν είναι φτιαγμένο από χαλκό. Θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη η τοποθέτηση ενός αντιβάρου με λιγότερη εμπορική αξία, όπως χάλυβα επενδεδυμένο με χαλκό, ο οποίος είναι σημαντικά δυσκολότερος να υποπέσει σε βανδαλισμό.



**Γενική προσέγγιση στον υπολογισμό της αντίστασης του ηλεκτροδίου.**

Η αντίσταση  $R$  του ηλεκτροδίου χαμηλής - συχνότητας, χαμηλού - ρεύματος, εξαρτάται κυρίως από τις διαστάσεις του ηλεκτροδίου και την ειδική αντίσταση του εδάφους. Μια μεταβλητή, η  $\Pi$ , μπορεί να οριστεί μ' αναφορά στο  $R$ , τη χαρακτηριστική διάσταση  $s$ , και την ειδική αντίσταση του εδάφους  $\rho$  ως ακολούθως:

$$\Pi = \frac{sR}{\rho} \quad (10)$$

Οι τιμές του  $\Pi$  μπορούν να καθοριστούν για οποιοδήποτε σχήμα ηλεκτροδίου χρησιμοποιώντας τύπους για την αντίσταση του σχήματος όπως αυτό δίνεται. Αυτή η αναφορά δείχνει τον ακριβή τύπο για την αντίσταση ενός ημισφαιρίου ως

$$R_{\text{ημισφαιρίου}} = \frac{\rho}{2\pi a} \quad (11)$$

Αφού, για το ημισφαίριο,  $s=a$ ,

$$\Pi_{\text{ημισφαιρίου}} = \frac{1}{2\pi} \quad (12)$$

Ομοίως, μια εξίσωση για μια οδηγούμενη ράβδο είναι

$$P_{\text{ράβδου}} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{2l}{a}\right) \quad (13)$$

Θέτοντας  $s=l$  έχουμε

$$P_{\text{ράβδου}} = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{2s}{a}\right) \quad (14)$$

Οι τιμές του  $\Pi$  μπορούν επίσης να εκφραστούν ως αναφορά την διάσταση  $s$  και την περιοχή επιφάνειας  $A$ . Η περιοχή επιφάνειας είναι ισοδύναμη με την περιοχή επαφής στο έδαφος του ηλεκτροδίου αν αυτό είναι τυλιγμένο σε χαρτί. Για παράδειγμα ένα ηλεκτρόδιο τεσσάρων ράβδων με διαχωρισμό  $R$  και βάθος  $D$ , το  $A$  θα ήταν  $R^2+4RD$  (υποθέτοντας ότι η επιφάνεια κορυφής δεν έρχεται σε επαφή με το έδαφος). Η περιοχή επιφάνειας ενός ηλεκτροδίου δύο ράβδων θα ήταν  $2RD$  για να λάβουμε υπόψη και τις δύο πλευρές.

Για περιοχές επιφανείων  $A_{\text{ράβδου}}=2 \Pi$  καθώς και  $A_{\text{ημισφαιρίου}}=2\Pi s^2$ , μπορούν να εξαχθούν οι παρακάτω εξισώσεις:

$$\Pi_{\text{ημισφαιρίου}} = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{2\pi e s^2}{A}\right) = 0.4517 + \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{s^2}{A}\right) \quad (15)$$

$$\Pi_{\text{ημισφαιρίου}} = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{4\pi s^2}{A}\right) = 0.4028 + \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{s^2}{A}\right) \quad (16)$$

Αν χρησιμοποιηθεί η σχέση ( 1 ) για ράβδους γείωσης, το λάθος στον υπολογισμό του R θα είναι μικρότερο του 5%. Έτσι η εξίσωση ( 13 ) θα πρέπει να εφαρμόζεται σ'όλο το πεδίο των σχημάτων των ηλεκτροδίων.

## Κεφάλαιο 5

### Ειδικές μέθοδοι για την βελτίωση της συμπεριφοράς έναντι των κεραυνών

Επιπροσθέτων των τυπικών μεθόδων για την βελτίωση της συμπεριφοράς έναντι των κεραυνών των γραμμών μεταφοράς ( μείωση της αντίστασης γείωσης, προσθήκη αντιβάρων , αύξηση της μόνωσης ) υπάρχουν πολλές μέθοδοι οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί με κάποια επιτυχία. Αυτό το τμήμα παρέχει μια σύντομη αναφορά των γνωστωτέρων αυτών ειδικών μεθόδων , αναγνωρίζοντας ,ωστόσο, ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις η βιομηχανική εμπειρία έχει περιοριστεί σε λιγοστές εφαρμογές και η πλειστή της εμπειρίας έχει συσσωρευθεί.

### **Αγωγοί γείωσης κάτωθεν των αγωγών φάσης.**

Από την δεκαετία του 1920 ή νωρίτερα, ήταν αναγνωρισμένο ότι οι εναέριοι αγωγοί γείωσης σε μία γραμμή μεταφοράς μειώνουν την τάση κεραυνού που δημιουργείται διαμέσου των μονωτήρων. αυτή η μείωση έρχεται ούτε πολύ με τρεις τρόπους:

1. Μέσω της παραλλαβής των κεραυνών οι οποίοι αλλιώς θα χτυπούσαν τους αγωγούς φάσης.
2. Μέσω εκροής τμήματος του ρεύματος του πλήγματος το οποίο αλλιώς θα έρεε μέσω της αντίστασης πεδίου.
3. Μέσω της αύξησης της "σύζευξης" ή της χωρητικότητας μεταξύ των αγωγών γείωσης και των αγωγών φάσης στην κορυφή του πύργου, προκαλώντας έτσι την τάση από τον αγωγό στον πύργο να μειωθεί. Η αυξημένη σύζευξη μειώνει την τάση στην μόνωση.

Μόνο ο πρώτος από τους τρεις αυτούς τρόπους απαιτεί οι αγωγοί γείωσης να είναι υπεράνω των αγωγών φάσεως. Ένας ή περισσότεροι αγωγοί γείωσης κάτω από τους αγωγούς φάσης δεν θα ανακόψουν τις διασπορές του κεραυνού αλλά μπορούν να βελτιώσουν και να μειώσουν τις τάσεις κεραυνού των μονωτήρων σχεδόν τόσο αποτελεσματικά όσο και αν ήταν πάνω από τους αγωγούς φάσης.

Αφού ο κατώτερος ( από τους αγωγούς φάσης ) αγωγός γείωσης μπορεί να αυξήσει σημαντικά τα φορτία του πύργου κατά τις περιόδους παγετού ή ανάμου και μπορεί, σε μερικές περιπτώσεις, να απαιτεί ψηλότερες κατασκευές υποστήριξης, οι κατώτεροι αγωγοί γείωσης φαίνεται να έχουν την καλύτερη εφαρμογή τους σε περιοχές υψηλής αντίστασης γείωσης ή όπου

συνήθως έχουν υπάρξει συχνοί σπινθηρισμοί. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα έτσι ώστε να επιτρέπεται η πιο μεγάλη κοιλιά του κοντινότερου αγωγού φάσης κάτω από συνθήκες φόρτισης κινδύνου.

### **Αλεξικέραυνα ή αποχτετευτές υπερτάσεων γραμμής.**

Όταν οι γραμμές μεταφοράς είναι σε κορυφογραμμές με υψηλή ειδική αντίσταση εδάφους ( συνήθως βράχοι ) και υψηλής έκθεσης σε κεραυνούς είναι συνήθες οι σπινθηρισμοί από κεραυνούς και οι φθορές των μονωτήρων. Αυτές οι περιοχές είναι δύσκολο να προσπελαστούν και από πληρώματα συντήρησης των γραμμών μεταφοράς, και έτσι η συντήρησή τους γίνεται δαπανηρή. συνήθως, η υψηλή ειδική αντίσταση του εδάφους και το βραχώδες έδαφος κάνουν την εγκατάσταση αντιβάρων ή των βαθέως οδηγούμενων ράβδων δαπανηρή και μικρής επωφελείας. Όπου διπλού κυκλώματος γραμμές διασχίζουν τέτοιες προβληματικές περιοχές, οι κρουστικές διπλού-κυκλώματος διαρροές έχουν υψηλότερη πιθανότητα να συμβούν, και αυτές μπορούν να προκαλέσουν σοβαρότερες επιδράσεις στο σύστημα από ότι οι σπινθηρισμοί μονού κυκλώματος. Για τέτοιες καταστάσεις, μπορεί να ληφθεί υπόψη η εφαρμογή των αλεξικέραυνων "τύπου-γραμμής".

## Σχεδιασμός συλλεκτών οξειδίου του Ψευδαργύρου σε

γραμμές μεταφοράς.

### Περίληψη.

Πειραματικοί ορθοστάτες συλλεκτών οξειδίου του ψευδαργύρου με σειρές κενών αέρα έχουν αναπτυχθεί να προστατεύσουν μονωτικά καλώδια γραμμής μεταφοράς από κεραυνούς. Αυτοί οι συλλέκτες σχεδιάστηκαν για εγκατάσταση σε υπάρχουσες γραμμές 138 KV. Η διαμόρφωση των ορθοστατών των συλληπτών μας δίνει μία επίδειξη της δυνατότητάς της, διατηρώντας αγωγό προς πύργο διάκενο σε υψηλές συνθήκες αέρα.

Πολλές ειδικές απαιτήσεις που τέθηκαν στους συλλέκτες υψηλής τάσης για υποσταθμούς έχουν ληφθεί υπόψη. Το άρθρο αναφέρει περιληπτικά τις αρχές εφαρμογής για συλλέκτες γραμμών μεταφοράς, περιγράφει δοκιμές οι οποίες εκτελούνται σε αναπτυξιακούς συλλέκτες και δίνει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των συλλεκτών που φτιάχτηκαν για ένα πρόγραμμα δοκιμών πειραματικού δικτύου.



## Εισαγωγή.

Η συχνότητα πτώσης των κεραυνών στις γραμμές μεταφοράς μπορεί να μειωθεί αυξάνοντας την μόνωση ή μειώνοντας την αντίσταση της βάσης του πύργου. Καμμία από αυτές τις μεθόδους είναι πρακτικό να εφαρμοστεί αν οι εκκενώσεις στον πύργο δεν είναι διαθέσιμες ή αν οι γραμμές έχουν τοποθετηθεί σε ορεινή περιοχή υψηλής αντίστασης .

Μία εναλλακτική προσέγγιση είναι να εγκαταστήσουμε ανυψωτικούς συλλέκτες γραμμής μεταφοράς παράλληλα με αγωγούς μόνωσης για αποφυγή διάσπασης του διηλεκτρικού. Η εφαρμογή συλλεκτών δεν έχει ερευνηθεί μέχρι σήμερα. Είναι μία εφαρμογή που έχει μεγάλες απαιτήσεις στην τεχνολογία των συλλεκτών και περιέχει ειδικά κριτήρια εφαρμογής όχι κοινά με τους συλλέκτες σταθμών. Αυτοί οι συλλέκτες πρέπει να υπακούουν στις βασικές ηλεκτρικές απαιτήσεις της προστασίας διάσπασης μονωτικών και αν σχεδιαστούν ως ορθοστάτες πρέπει να έχουν και την κατάλληλη μηχανική αντοχή.

Από το 1981 ένα εκτενές ερευνητικό πρόγραμμα έχει κάνει πρόοδο πάνω στο ΑΕΡ σύστημα στην εξέταση της τεχνολογίας εφαρμογής συλλεκτών στις γραμμές μεταφοράς, στην βελτίωση της απόδοσης φτωχών φωτισμών σε τοπικά προβληματικά σημεία. Αυτό το πρόγραμμα περιλάμβανε πρώτα την αναλυτική και υπολογιστική ανάπτυξη των κανόνων εφαρμογής ακολουθούμενες από την κατανόηση και ανάπτυξη πειραματικών συλλεκτών για εφαρμογή σε γραμμές μεταφοράς. Η επόμενη φάση ήταν η εγκατάσταση των συλλεκτών σε γραμμές που είχαν

εκτεταμένη κεραυνική καταπόνηση, και η ανάπτυξη και εφαρμογή εγκατάστασης παρακολούθησης των γεγονότων διάσπασης σε αυτά τα κομμάτια των γραμμών όπου υπήρχαν συλλέκτες. Εβδομήντα πέντε από αυτούς τους συλλέκτες εγκαταστάθηκαν σε γραμμές 138 KV της Appalachian Power Company της Virginia σε μεγάλη κλίμακα πειραμάτων για να δοκιμαστεί η εφαρμογή συλλεκτών για προστασία από κεραυνούς γραμμών μεταφοράς και περιορισμούς των αγωγών φάσης.

Μία σειρά άρθρων προετοιμάζεται να περιγράψει αυτή την ερευνητική εργασία. Αυτό το άρθρο έχει ειδικά αφιερωθεί στα ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των ειδικών συλλεκτών που χρησιμοποιούνται σε αυτή την προσπάθεια. Το πειραματικό πεδίο του προγράμματος δοκιμής θα περιγραφεί σε ξεχωριστό άρθρο.

### Αρχές εφαρμογής.

Η πλήρη ανάπτυξη της θεωρίας εφαρμογής των συλλεκτών γραμμών μεταφοράς είναι εντός των στόχων του άρθρου. Μόνο μία μικρή εξήγηση θα παρουσιαστεί εδώ με αναλυτική ανάπτυξη σε επόμενο άρθρο.

Υπάρχουν δύο βασικές απαιτήσεις χρήσεις των συλλεκτών γραμμών μεταφοράς για προστασία των μονωτών.

1. Αν οι κεραυνοί πέφτουν εντός της προστατευόμενης περιοχής της γραμμής, δεν πρέπει να δημιουργηθεί διάσπαση ούτε εντός ούτε εκτός της προστατευόμενης περιοχής.

2. Αν οι κεραυνοί πέφτουν εκτός της προστατευόμενης περιοχής δεν πρέπει να δημιουργηθεί διάσπαση εντός της προστατευόμενης περιοχής.

Αναφέροντας στο σχήμα 14α οι ανυψωτικές εμπεδήσεις που φαίνονται από ένα κεραυνό 60 KA σ' ένα προστατευτικό πύργο θα επαχθούν κατά προσέγγιση 4000 KV στην κορυφή του πύργου. Η τάση εκφόρτισης του συλλέκτη (υποθέτουμε 1000 KV) αναγκάζει την τάση του αγωγού του πύργου που χτυπήθηκε να γίνει 3000 KV. Τα 3000 KV υπό τη μορφή κυμάτων τάσης ταξιδεύουν δεξιά και αριστερά σε απροστάτευτους πύργους. Έτσι ενώ ο συλλέκτης προστατεύει τον χτυπημένο πύργο μεταφέρει τον κεραυνό σε άλλες δομές. Για αυτό το λόγο η εφαρμογή ενός συλλέκτη στις γραμμές μεταφοράς δεν θα βελτιώσει την κατά πολύ απόδοση της προστατευόμενης περιοχής. Η ανάλυσή μας δείχνει ότι οι τρεις προστατευόμενοι πύργοι είναι απαραίτητοι στις περισσότερες εφαρμογές.

Το σχήμα 14β δείχνει μία προστατευόμενη περιοχή με χαμηλές αντιστάσεις βάσης στους πύργους που είναι στα δύο άκρα της περιοχής. Σε αυτήν την περίπτωση αν ο κεραυνός χτυπήσει στη μέση της περιοχής, αποφεύγεται ο κεραυνός στους ακραίους πύργους με την αγωγή των συλλωκτών.

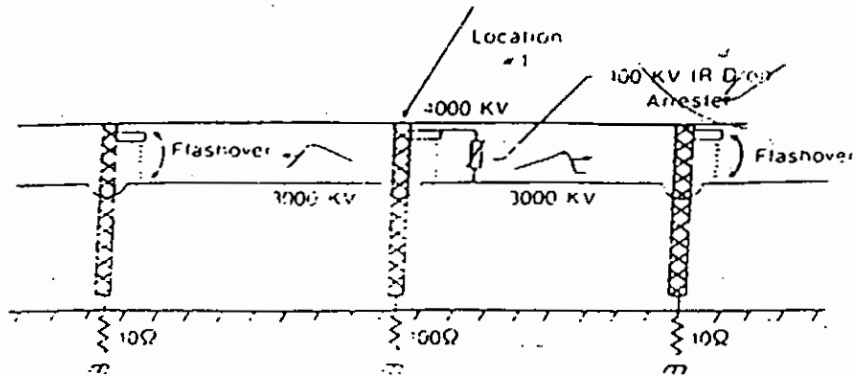
Αν και τα κύματα τάσης στον αγωγό φάσης περνούν πέραν της προστατευόμενης περιοχής και θα φτάσουν σε απροστάτευτους πύργους οι μικρές αντιστάσεις βάσης των ακρινών πύργων σε συνδυασμό με την συμπίεση της τάσης από τους συλλέκτες των ακρινών πύργων θα μειώσουν τα κύματα τάσης πέραν των ακρινών σε μέγεθος κάτω από την τάση διάσπασης των διηλεκτρικών. Κάθε πύργος στην προστατευτική περιοχή πρέπει να έχει συλλέκτη. Δέκα (  $10 \Omega$  ) αντίσταση βάσης στους ακρινούς πύργους φαίνεται αρκετά χαμηλή για αρκετή προστασία απομακρυσμένων πύργων όπως θα φανεί σε ξεχωριστό άρθρο.

Αν ο κεραυνός χτυπήσει ακρινό πύργο τα  $10 \Omega$  αντίσταση βάσης θα είναι αρκετά για να εμποδίσουν την διάσπαση σε έναν απροστάτευτο πύργο τον περισσότερο καιρό. Αυτή η χαμηλή αντίσταση βάσης απαιτείται για την ικανοποίηση των δύο βασικών απαιτήσεων που περιγράψαμε πιο πριν.

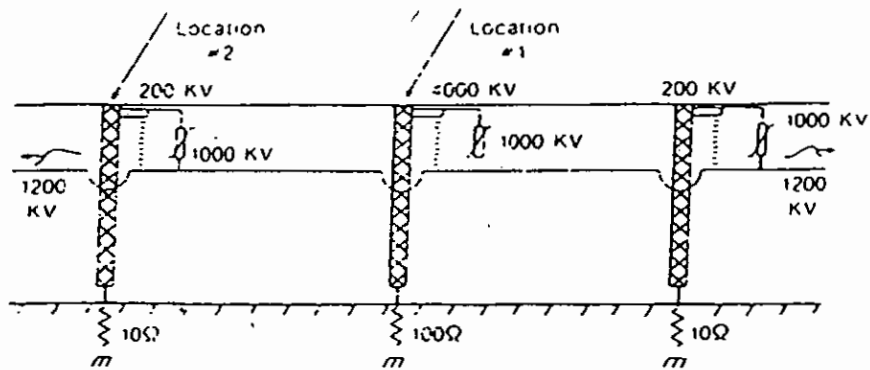
#### **Ανάλυση σχήματος 14**

**Σχήμα 14 (α).** Κεραυνός χτυπάει προστατευμένο πύργο. Ο συλλέκτης άγει εφάρμοζοντας 3000 KV στον αγωγό φάσης. Οι πύργοι χωρίς συλλέκτη διασπώνται.

**(β).** Οι συλλέκτες σε κάθε πύργο στην προστατευόμενη περιοχή μαζί με τις χαμηλές αντιστάσεις βάσης στους ακρινούς πύργους, φέρνουν όλες τις τάσεις σε χαμηλά ασφαλή επίπεδα.



A) Lightning strikes a protected tower. Arrestor conducts, applying 3000 KV to the phase conductor. Towers without arresters flashover.



B) Arresters at each tower in the protected section plus low footing resistances at the end towers bring all voltages down to safe level.

## Δοκιμές πρωτοτύπου.

### Χαρακτηριστικά προστασίας.

Η αρχική ηλεκτρική δοκιμή επικεντρώθηκε στην επίτευξη επιπέδου κεραυνών πάνω στους συλλέκτες που μπορούν να προστατεύσουν ένα μονωτικό καλώδιο φτιαγμένο από 8 συμβατικούς πορσελάνινους μονωτές με 5,75 inch X10 inch.

Οι δοκιμές έγιναν με θετικής και αρνητικής πολικότητας κύματα τάσης διεγείροντας και την γραμμή και τον πύργο χρησιμοποιώντας την εγκατάσταση όπως φαίνεται και στο σχήμα 3. Αρχικά, δακτύλιοι ίδιου τύπου συνδέθηκαν στην γραμμή, και άκρα οξειδίου του ψευδαργύρου του συλλέκτη σχημάτισαν ένα κενό εν σειρά. Η αρνητική τάση διέγερσης ήταν πολύ υψηλή για να προστατεύσει το μονωτικό καλώδιο καθώς ήταν 59% πάνω από την θετική τάση. Πειράματα με διάφορα μεγέθη κενών δεν εξασφαλίζουν χαρακτηριστικές κεραυνού τάσης-χρόνου για να ταιριάξουν σε όλες τις συνθήκες μονωτή. Η στήλη οξειδίου του ψευδαργύρου μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα RC κύκλωμα με μία μη γραμμικά μεταβλητή αντίσταση εν παραλλήλω με περίπου 30 pF χωρητικότητας. Λόγω του υψηλού βαθμού μη γραμμικότητας στην αντίσταση του οξειδίου του ψευδαργύρου λόγω της τάσης η RC χρονική σταθερά είναι πολύ μικρή για τάσεις πάνω από 200 KV και αρκετά μεγάλη για τάσεις κάτω από 200 KV. Για παράδειγμα στα 195 KV η χρονική σταθερά είναι περίπου 60μs ενώ στα 213 KV είναι περίπου 0.6 μs. Η στήλη οξειδίου του ψευδαργύρου δρα περίπου ως δίοδος για τάσεις

πάνω από 200 KV. Βρέθηκε ότι ένα μη ομοιόμορφο κενό δομής μειώνει την χωρητικότητα κενού και εξασφαλίζει χαρακτηριστικές κεραυνού τάσης-χρόνου περίπου παράλληλες σε αυτές των καλωδίων μόνωσης. Αυτό έγινε φτιάχνοντας δακτύλιους που ενώθηκαν με τις στήλες οξειδίου του ψευδαργύρου για μικρότερες διαμέτρους σωλήνων.

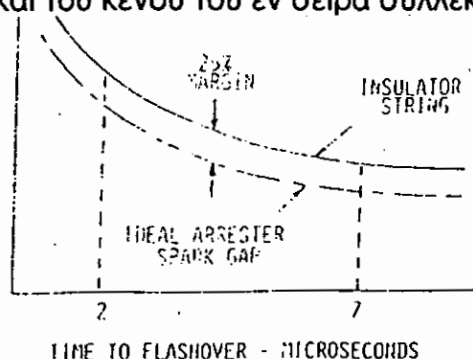
Οι δοκιμές έγιναν σύμφωνα με τα πρότυπα IEEE

4 - 1978 χρησιμοποιώντας διεγέρσεις κεραυνών, διακοπών και 60-Hz τάσεων. Οι τρεις πρότυποι συλλέκτες δοκιμάστηκαν μία περίοδο ανάπτυξης και πάνω από 1000 διεγέρσεις κυμάτων τάσης εφαρμόστηκαν. Οι καμπύλες κεραυνού-τάσης - χρόνου για τους συλλέκτες καθώς και οι καμπύλες για 8 συμβατικούς 5,75 X 10 inch πορσελάνινα μονωτικά καλώδια δείχνονται στα σχήματα 5 και 6.

Αυτές οι καμπύλες μας δείχνουν ένα περιθώριο προστασίας τουλάχιστον 25 %. Οι τάσεις κεραυνού των μονωτικών καλωδίων πάρθηκαν από δεδομένα των Rohlf's και Fiegel.

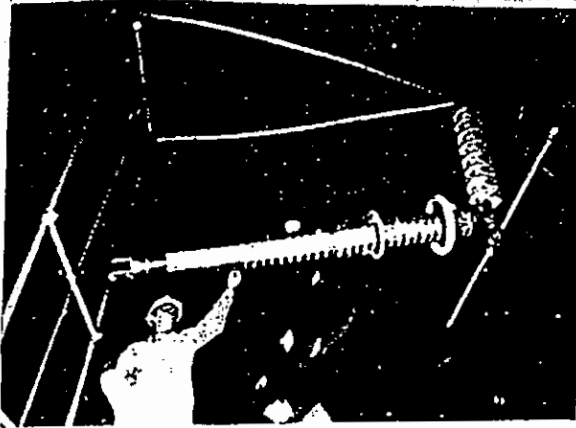
### Ανάλυση σχήματος 15

**Σχήμα 15 :** Ιδεατή χαρακτηριστική καμπύλη του μονωτή γραμμής και του κενού του εν σειρά συλλέκτη.



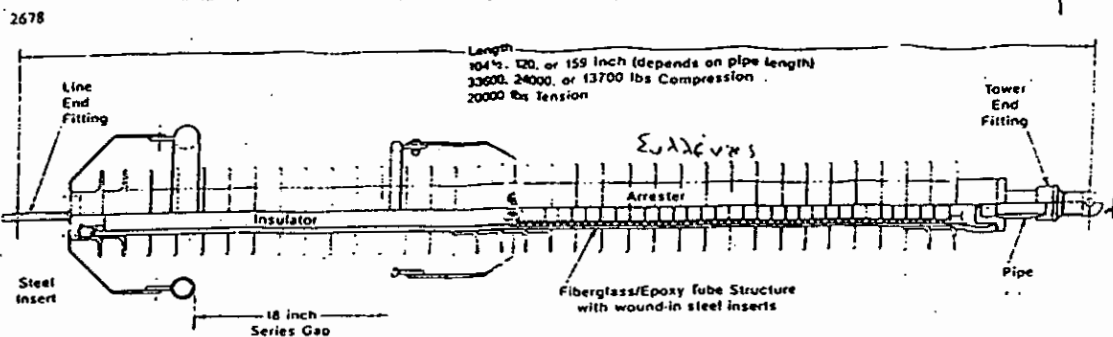
### Ανάλυση σχήματος 17

Σχήμα 17: Συλλέκτες πάνω σε εξομοιωμένο πύργο για δοκιμές υψηλών τάσεων

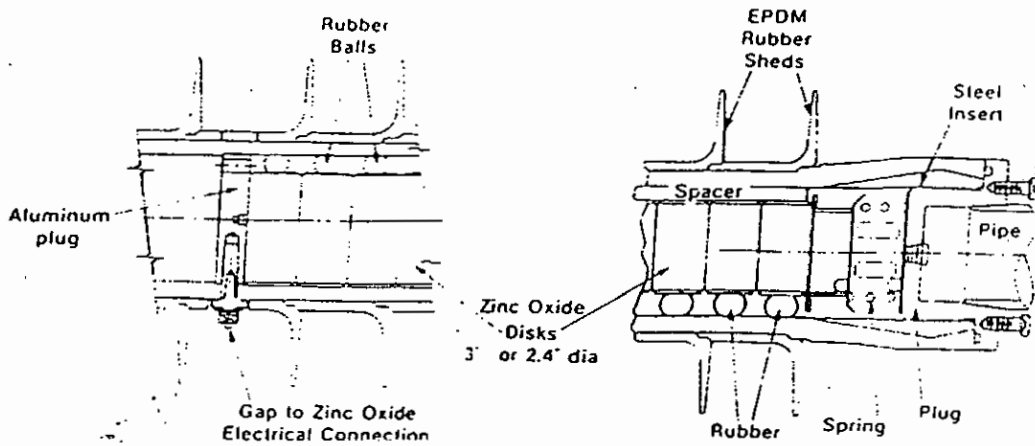


### Ανάλυση σχήματος 18

Σχήμα 18 : 138KV ορθοστατικός συλλέκτης συναρμολόγηση και τομές.

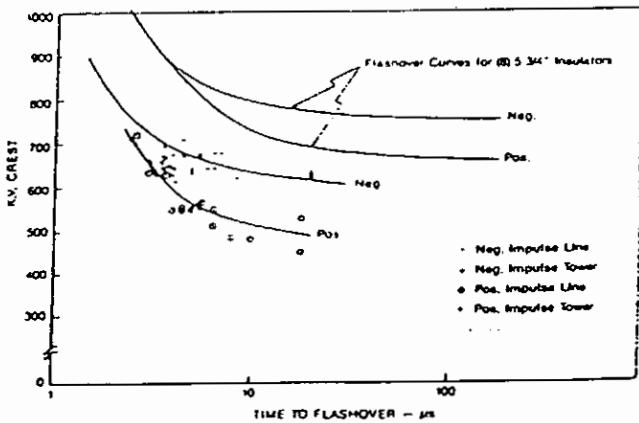






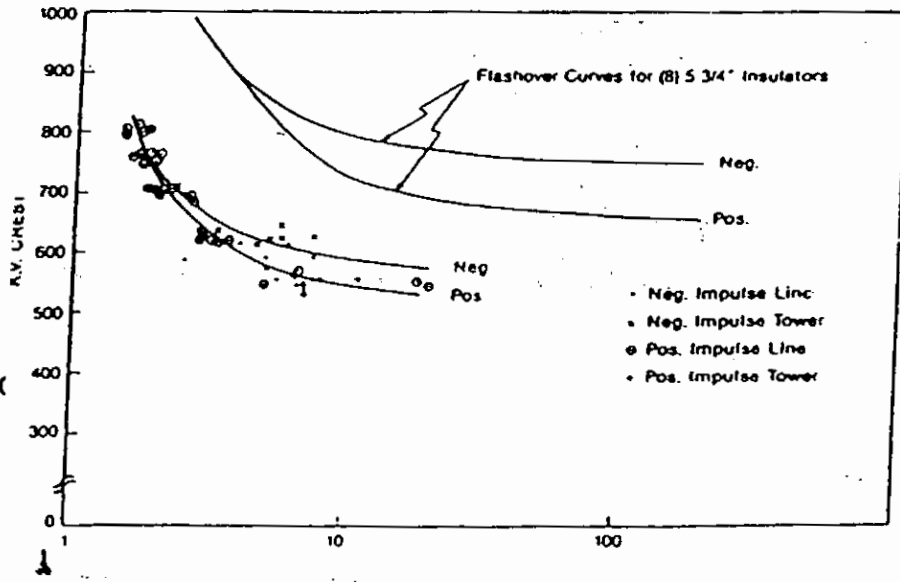
**Ανάλυση σχήματος 19**

**Σχήμα 19 :** Παρατηρούμενες καμπύλες τάσης - χρόνου για διεγέρσεις κεραυνών με δίσκους οξειδίου του ψευδαργύρου 2.4 inch διαμέτρου



**Ανάλυση σχήματος 20**

**Σχήμα 20 :** Παρατηρούμενες καμπύλες τάσης - χρόνου για διεγέρσεις κεραυνών με δίσκους οξειδίου του ψευδαργύρου 3.0 inch διαμέτρου



### Πολλαπλή Διέγερση.

Οι δοκιμές έγιναν επιπλέον για να διερευνηθεί η απόδοση προστασίας των συλλεκτών υπό δύο κύματων τάσης με χρονική σιαφορά 35 ms. Δύο γεννήτριες Marx ενώθηκαν στο συλλέκτη δοκιμής, ο πρώτος συλλέκτης δοκιμής μέσω κενού 36 inch και ένας άλλος μέσω 40 inch κενού έτσι ώστε ο σκανδαλισμός της πρώτης γεννήτριας δεν μπορεί να λειτουργήσει τη δεύτερη. Η δεύτερη γεννήτρια φορτίστηκε σε υψηλότερο δυναμικό και ο σκανδαλισμός καθυστέρησε 35 ms μετά τον σκανδαλισμό της πρώτης γεννήτριας. Όταν δοκιμάστηκαν ξεχωριστά ο λόγος των κορυφών τάσεων από την γεννήτρια 2 στη γεννήτρια 1 ήταν 1,23. Με διέγερση τάσης χρονικής απόστασης 35 ms ο λόγος μεταβλήθηκε από 1,21 μέχρι 1,26.

Η δοκιμή έδειξε ότι ένας κεραυνός πολλαπλών διεγέρσεων με χιλιοστά των δευτερολέπτων απόσταση το κενό των συλλεκτών θα προστατεύουν τα μονωτικά καλώδια.

### Δοκιμές μόλυνσης

Δοκιμές καθαρής ομίχλης, πάνω σε προ - μολυσμένους συλλέκτες έγιναν στην αίθουσα μόλυνσης στις εγκαταστάσεις Έρευνας Μεταφοράς Υψηλής τάσης του EPRI, στο Lenox, MA. Τρεις δίωρες δοκιμές ορθοστατών τάσης έγιναν σε δύο συλλέκτες. Η πυκνότητα αλάτων μεταβλήθηκε από .12 σε .20  $\text{mg} / \text{cm}^3$ . και τα επίπεδα τάσης ήταν 96 KV, 138 KV, και 159 KV.

### 60 Hz ρεύμα ακολούθου

Δοκιμές έγιναν για να αποδείξουν τη δυνατότητα του συλλέκτη να διακόψει 60 Hz ρεύμα το οποίο ρέει μέσα στον κεραυνό στο κενό σειράς. Μία πηγή τάσης 60 Hz που έχει τουλάχιστον δυνατότητα 10 A ρεύμα βραχυκύκλωσης χρησιμοποιήθηκε με ένα μετασχηματιστή ρεύματος Pearson 110 A στο ηλεκτρόδιο γείωσης. Μία μπάρα βραχυκύκλωσης τοποθετήθηκε στο εν σειρά κενό για να αρχίσει η καταστροφή του κενού. Μία δοκιμή έγινε στα 80 KV με τη στήλη οξειδίου του ψευδαργύρου βραχυκυκλωμένη. Το μεγάλο τόξο που προκλήθηκε άναψε 10 πόδια πριν διακοπεί από ένα διακόπτη μετά την διάρκεια ρεύματος περί του ενός sec. Οι δοκιμές στον πλήρες συλλέκτη έγιναν σε τάσεις από 80 KV μέχρι 143 KV με συμμετρικά rms, με μέγιστη συχνότητα 60 Hz με ρεύμα ακολούθου από 250 mA σε 900 mA αντίστοιχα. Η διάρκεια του ρεύματος μεταβλήθηκε από μερικούς κύκλους μέχρι 14 κύκλους. Το ρεύμα ακολούθου διακόπηκε από τον συλλέκτη σε όλες τις περιπτώσεις, με τόξα βραχυκύκλωσης ισχύος που δεν αυξάνονταν σε μέγεθος ή δεν αυξάνονταν κάθετα.

### Αντιμετώπιση υψηλού ρεύματος σφάλματος

Δοκιμές έγιναν να διερευνηθούν τα αποτελέσματα του ρεύματος σφάλματος 60 Hz που μπορεί να ρέει όταν η στήλη οξειδίου του ψευδαργύρου αποτύχει. Ένα 15 KA μη συμμετρικό 60 Hz τόξο με διάρκεια 8 κύκλων έγινε καταμήκος του κενού με βραχυκύκλωσή του με ένα διαμέτρου 0.009 inch ( 0.228 mm ) ασημένιο καλώδιο. Μία τρύπα μέχρι 0.625 inch ( 15.9 mm ) διαμέτρου δημιουργήθηκε σε κάθε δακτυλίδι κενού από το ρεύμα σφάλματος. Τα υπόστεγα απέναντι από το τόξο αποχρωματίστηκαν αλλά δεν διαβρώθηκαν. Οι συλλέκτες παρέμειναν σε καλή κατάσταση λειτουργίας.

Η ικανότητα του στηρίγματος του συλλέκτη να αντιστέκεται σε εσωτερικό τόξο ρεύματος από σφάλμα ερευνήθηκε επίσης. Το τόξο προκλήθηκε μεταξύ δίσκου της στήλης οξειδίου του ψευδαργύρου και του εσωτερικού του συλλέκτη με τη χρήση μιας μικρής ασφάλειας. Το ρεύμα του πρώτου κύκλου ήταν 7.3 KA και μετά 13 κύκλους η ηλεκτρική ένωση με την κορυφή της στήλης του οξειδίου του ψευδαργύρου έλιωσε μεταφέροντας το τόξο στο εξωτερικό του συλλέκτη από το εσωτερικό. Το τόξο ρεύματος στο εσωτερικό του συλλέκτη περιορίστηκε αυστηρά από το τόξο τάσης, έτσι ώστε το μέσο ρεύμα που προκάλεσε το λιώσιμο ήταν 2.3 KA για 234 ms. Ο συλλέκτης ήταν σε καλή μηχανική κατάσταση αλλά η εσωτερική επιφάνεια του φάιμπεργκλας ήταν σοβαρά καρβουνιασμένη. Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, χρειάζεται μόνο μισός κύκλος 15 KA συμμετρικό ρεύμα rms για ασφάλεια σ' αυτή τη σύνδεση η οποία ενεργεί

ασθενής δεσμός που εμποδίζει την υπέρβαση της εξωτερικής πίεσης του συλλέκτη και ελαχιστοποιεί τη ζημιά στο συλλέκτη.

### **Δοκιμή ηλεκτρικής ζωής.**

75 συλλέκτες δοκιμής πεδίου εγκαταστάθηκαν σε 25 πύργους και ενεργοποιήθηκαν στα 80 KV γραμμής προς έδαφος αρχίζοντας από το φθινόπωρο του 1982. Ένας συλλέκτης εγκαταστάθηκε τον Οκτώβριο του 1982 στην Αμερικανική Ηλεκτρική Εταιρία. Έγινε συνεχής παρακολούθηση του μέγιστου ρεύματος διαρροής που άρχισε τον Απρίλιο του 1983. Για μια περίοδο 208 ημερών το μέσο ρεύμα διαρροής επιφάνειας αυξήθηκε 7 %. Αυτή η ανεκτή αύξηση προκλήθηκε από συσσωρευμένους ρυπαντές επιφάνειας. Η ηλεκτρική και μηχανική απόδοση των συλλεκτών που εγκαταστάθηκαν στο πεδίο είναι άριστη μέχρι σήμερα και οι δοκιμές συνεχίζονται.



### **Δοκιμές μηχανικής αντοχής**

Ένα ολοκληρωμένο στήριγμα συλλέκτη αφέθηκε να πέσει και να μελετηθεί η μηχανική αντοχή. Έπεσε από ύψος 0.76 m ( 30 inch ) πάνω σε ένα ξύλινο 2 X 4 συμπαγές πάτωμα. Η δοκιμή επαναλήφθηκε 6 φορές έτσι που τα αποτελέσματα της πτώσης μπορούσαν να φανούν σε όλες τις κατευθύνσεις. Μετά ο συλλέκτης αποσυναρμολογήθηκε. Όλοι οι δίσκοι οξειδίου του ψευδαργύρου καθώς και τα άλλα μέρη βρέθηκαν σε καλή κατάσταση.

### Δοκιμές θερμικού κύκλου

Ένα μικρό κομμάτι του σωλήνα από fiberglass με τα μεταλλικά μέρη υποβλήθηκε σε θερμικό κύκλο από - 45<sup>0</sup> C σε + 70<sup>0</sup> C. Αποδείχθηκε η δομική ακεραιότητα μετά την δοκιμασία σε όλα τα μέρη.

### Δοκιμές ποιοτικού ελέγχου

Κάθε συλλέκτης που στάλθηκε για έλεγχο πεδίου υποβλήθηκε σε μια σειρά ελέγχου ποιότητας ως παρακάτω.

α) Δοκιμές διαρροής, χρησιμοποιώντας φασματογράφο μάζας από ήλιο. Καθένας από τους τρεις δεσμούς έχει ένα δακτύλιο και εποξικού τσιμέντου σφραγίδα. Δοκιμάστηκαν αρχικά χωρίς την σφραγίδα εποξικού τσιμέντου και μετά με την πρόσθεση της σφραγίδας αυτής.

β) Φορτίο εφελκυσμού 20.000 lbs ή 9100 Kg και σύνθλιψης 33.600 lbs ή 15.200 Kg υποβλήθηκε.

γ) Έγινε δοκιμή στο ρεύμα διαρροής στους δίσκους οξειδίου του ψευδαργύρου με το ανάμεσα κενό πιο μικρό. Η μέγιστη τιμή ήταν 1.8 mA στα 120 KV για δίσκους διαμέτρου 3 inch ( 76 mm ) και 124 KV για δίσκους διαμέτρου 2.4 inch ( 61 mm ).

δ) Έγινε δοκιμή για επηρεασμό από τάσεις ραδιοφωνικών συχνοτήτων με μέγιστο 5  $\mu$ V στα 138 KV.

ε) Έγινε δοκιμή για τάσεις αποφόρτισης στα 10 KA με τιμές  $302 \pm 2$  KV σε δίσκους διαμέτρου 3 inch ( 76 mm ) και  $319 \pm 2$  KV για δίσκους διαμέτρου 2.4.inch ( 61 mm ).

## Συμπεράσματα

1. Συλλέκτες γραμμών μεταφοράς που χρησιμοποιούν οξειδίο του ψευδαργύρου και εν σειρά κενό αέρα σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν να προστατεύσουν μονωτικά καλώδια από κεραυνούς σε συστήματα 138 KV.
2. Ο σχεδιασμός των συλλεκτών περιλαμβάνει μη πορσελάνινα ορθοστάτες με εν σειρά κενά αέρος, χρήση δίσκων οξειδίου του ψευδαργύρου ανάλογης διαμέτρου και μήκους. Κατέχει πολλές και ασυνήθιστες ηλεκτρικές και μηχανικές ιδιότητες που συνήθως δεν χρειάζονται για τους συλλέκτες σταθμών.
3. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των συλλεκτών γραμμών μεταφοράς, αποδείχθηκαν σε εργαστηριακές δοκιμές και εξασφαλίζουν ένα περιθώριο 25 % της τάσης προστασίας για τα μονωτικά καλώδια.
4. Η θεωρία εφαρμογής των συλλεκτών γραμμών μεταφοράς μελετήθηκε. Μια μικρή περίληψη αυτής της θεωρίας, δόθηκε και δείχθηκε ότι το πεδίο εγκατάστασης των συλλεκτών γραμμών μεταφοράς σε περιοχές με μεγάλη αντίσταση βάσης βελτιώνει την προστασία της γραμμής.

Η διάσχιση ποταμών αναπαριστούν μια άλλη συνθήκη όπου τα αλεξικέραυνα γραμμής, αν εφαρμοστούν κατάλληλα, μπορούν να μειώσουν τους ρυθμούς σπινθηρισμού. Η εφαρμογή του αλεξικέραυνου αυτού του τύπου είναι περιπλοκότερη από την εφαρμογή σε σταθμό, και πρέπει να γίνεται με προσοχή αν πρέπει να έχουμε κύρια βελτίωση στην συμπεριφορά. Μερικά

από τα σημεία που θα πρέπει να αναγνωρισθούν είναι ως ακολούθως:

### **(1). Ενέργεια αλεξικέραυνου και πιθανότητες Αστοχίας.**

Οι ικανότητες της ενέργειας του αλεξικέραυνου μπορούν να είναι πολύ υψηλές για άμεσο χτύπημα στον αγωγό της φάσης στον οποίο είναι συνδεδεμένος το αλεξικέραυνο. Η ικανότητα της ενέργειας που απαιτείται επηρεάζεται από την αντίσταση γείωσης και την παρουσία αλεξικέραυνων σε παρακείμενους πύργους για να διαμοιράζονται την απορρόφηση ενέργειας. Αν το αλεξικέραυνο αστοχήσει για οποιοδήποτε λόγο, θα πρέπει να αστοχήσει ανοικτός όχι βραχυκυκλωμένος για να αποφευχθεί η μόνιμη ή η πολύ καταστροφική αστοχία. Ένα διάκενο σειράς ικανό να αντέχει τη μέγιστη συνεχή τάση φάσης-προς-έδαφος μπορεί να κάνει αυτό δυνατό. Όσο η καμπύλη τάσης-χρόνου του διάκενου σειράς είναι του ίδιου σχήματος με την καμπύλη τάσης-χρόνου του μονωτήρα. Το αλεξικέραυνο προστατεύει αλλά με μικρότερο επίπεδο σπινθήρου από ότι ο μονωτήρας κατά ένα αποδεκτό περιθώριο το διάκενο σειράς έχει αποφασισθεί ως αποδεκτό.

### **(2). Κατασκευή αλεξικέραυνου .**

Αυτός ο τύπος του αλεξικέραυνου υπόκειται σε πιά οξείες καιρικές και μηχανικές καταπονήσεις απ' ότι το αλεξικέραυνο σταθμού. Θα πρέπει να είναι μηχανικά ανθεκτικός και μη - τμηματούμενος αν

είναι δυνατόν. Αφού πρέπει να εγκατασταθεί σε απόμακρες πειοχές, χρειάζεται να είναι ελαφρύς, εύκολος στην εγκατάσταση, και να ανθίστανται στους πυροβολισμούς. Αυτό μας οδηγεί στην τάση στο να μην συμπεριλαμβάνουμε τους τυπικούς σχεδιασμούς με πορσελάνη.

### **(3). Εφαρμογή.**

Η εφαρμογή των αλεξικέραυνων στους πύργους μεταφοράς για να περιορίσουμε τους σπινθηρισμούς από κεραυνούς είναι εντελώς διαφορετική υπόθεση απ' τους συλλήπτες των σταθμών. Για παράδειγμα, αν τα αλεξικέραυνα εφαρμοστούν μόνο σε ένα πύργο, το αποτέλεσμα μπορεί εξίσου καλά να είναι η μεταφορά των σπινθηρισμών σε παρακείμενους πύργους. Μια προσεκτικά αναλυτική εκτίμηση των επωφελειών που θα έχουμε από την τοποθέτηση των αλεξικέραυνων της αντίστασης πεδίου και των αγωγών θωράκισης καθώς και του διαμοιράσματος της ενέργειας των αλεξικέραυνων συνιστάται πριν να γίνει η εγκατάσταση.

## **Μη Ισοσταθμισμένη Μόνωση σε Γραμμές Διπλού**

### **Κυκλώματος.**

Η μη ισοσταθμισμένη μόνωση στις γραμμές διπλού κυκλώματος, πρώτα εφαρμόστηκε από τον Kawai είναι μία ηθηλημένη προσπάθεια να ωθήσουμε την πλειονότητα σπινθηρισμών πάνω σε ένα κύκλωμα, έτσι ώστε το άλλο κύκλωμα να υποστεί λίγους, αν υπάρχουν. Όταν το ασθενέστερο κύκλωμα σπινθηρίσει οι αγωγοί φάσης του ξαφνικά συνδέονται στον πύργο μέσω του μονοπατιού σπινθηρισμού, και έτσι μετατρέπονται σε αγωγούς γείωσης στιγμιαία μέχρι ο αποκοπέας να ανοίξει. Αυτό στιγμιαία αυξάνει τη σύζευξη στην ζωτική φάση του ισχυρότερα μονωμένου κυκλώματος μειώνοντας τις τάσεις του μονωτήρα και μειώνοντας την πιθανότητα του σπινθηρισμού του ισχυρότερου κυκλώματος. Στις υπάρχουσες γραμμές, δεν είναι πάντοτε δυνατόν να υπερμονώσουμε ένα κύκλωμα αρκετά έτσι ώστε να παρέχουμε αρκετή διαφορική μόνωση. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η αντοχή της μόνωσης στο άλλο κύκλωμα μπορεί να μειωθεί. Ενώ αυτό παρέχει επαρκές διαφορικό, θα αυξήσει τον αριθμό των σπινθηρισμών στο ασθενέστερο κύκλωμα πράγμα που μπορεί να μην είναι αποδεκτό. Ωστόσο η χρήση του κατώτερου ( από τη φάση ) αγωγού γείωσης μπορεί να θεωρηθεί ως η επαναφορά του ολικού ρυθμού σπινθηρισμού σε αποδεκτά επίπεδα, αν το επιτρέπει το ύψος του πύργου.

**Αγωγοί γείωσης σε ξεχωριστές κατασκευές.**

Σε μερικές περιπτώσεις, οι αγωγοί προστασίας έχουν υποστηριχθεί από ξεχωριστούς πόλους, παρά μάλλον από τον ίδιο πόλο που υποστηρίζει τους αγωγούς φάσης. Ενώ αυτό είναι μια ακριβή επιλογή, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την έξοχη απόδοση στους κεραυνούς με την προϋπόθεση ότι οι γωνίες προστασίας των  $20^{\circ}$  ή λιγότερο μπορούν να επιτευχθούν.



### Βιβλιογραφία

1. J. G. Aderson, Transmission Line Performance Book, 345 KV and Above, Secomd Edition, Charter 12, Electric Power Research Institude, Palo Alto, California, 1982.
2. A. M. Mousa, and K..D. Srivastava, "Effect of Shielding by Trees on the Frequency of Lightning Strokes to Power Lines", IEEE Transmactions on Power Delivery, April, 1988, pp. 717-724.
3. Koch, R.E. et ai "Desing of Zing Oxide Transmission Line Arresters for Application on 130 KV Towers", IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-104, No. 10, October, 1985, pp. 2675-2680

