



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ  
ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ  
ΔΙΑΝΟΜΗΣ (20kV) ΑΠΟ ΠΤΩΣΗ ΚΕΡΑΥΝΩΝ**

**ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΧΡΙΣΤΟΓΕΩΡΓΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ  
ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΠΥΡΓΙΩΤΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ  
ΠΑΤΡΑ 2014**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα γίνει μελέτη της συμπεριφοράς γραμμών διανομής σε καταπονήσεις από κεραυνούς. Ο σχεδιασμός όλης της διάταξης του δικτύου διανομής είναι συνυφασμένος με την αντικεραυνική προστασία των γραμμών μέσης τάσης. Σκοπός αυτής της μελέτης, είναι να εξετάσουμε κατά πόσο θεωρούνται προστατευμένες από πλήγματα κεραυνών οι γραμμές αυτές.

Η πτώση ενός κεραυνού είτε απευθείας πάνω στο δίκτυο, είτε κοντά σε αυτό, προκαλεί βίαιες μετακινήσεις φορτίων μέσα στο δίκτυο υπό την μορφή ρεύματος  $I$ , πολλών (kA). Ο σχεδιασμός της προστασίας από κεραυνούς σε γραμμές διανομής γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα εξής αποτελέσματα: 1<sup>ο</sup>) Τον αριθμό των βραχυκυκλωμάτων που θα συμβούν σε μια γραμμή διανομής όταν αυτή πλήττεται άμεσα από κεραυνούς και 2<sup>ο</sup>) Τον αριθμό των βραχυκυκλωμάτων που θα συμβούν εξαιτίας των πληγμάτων κεραυνών σε γειτονικό έδαφος.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να συγκρίνει τον αριθμό των βραχυκυκλωμάτων που προκαλούνται από κεραυνό στις γραμμές διανομής με τον αριθμό βραχυκυκλωμάτων που στο δίκτυο της Μ.Τ. σε μετασχηματιστές καθώς και στις γραμμές διανομής Μ.Τ. κατά την πενταετία 2007 έως 2011 στην περιοχή της Αττικής και θα γίνει η συσχέτισή τους με τις θεωρητικές εκτιμήσεις..

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### IEEE - ΟΔΗΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΕΡΑΥΝΙΚΩΝ ΠΛΗΓΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΝΑΕΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Αυτή η οδηγία περιέχει πληροφορίες για τη συμπεριφορά των εναέριων γραμμών διανομής έναντι κεραυνών, και είναι γραμμένη για τον μελετητή των γραμμών διανομής. Αναγνωρίζει ότι δεν υφίσταται το ιδανικό σχέδιο γραμμών, και ότι γίνεται μια σειρά συμβάσεων-συμβιβασμών σε κάθε σχεδιασμό γραμμών διανομής. Ενώ κάποιες παράμετροι όπως η τάση, η όδευση και η χωρητικότητα μπορούν να οριστούν εκ των προτέρων, άλλες αποφάσεις λαμβάνονται κατά το δοκούν του μελετητή. Ο μελετητής μπορεί να ελέγξει την δομή του υλικού και την γεωμετρία, την προστασία (εάν υπάρχει), το βαθμό της μόνωσης, την γείωση και την τοποθέτηση αλεξικέραυνων. Αυτή η οδηγία θα βοηθήσει το μελετητή να βελτιώσει τον σχεδιασμό γραμμών διανομής από άποψη οικονομικού κέρδους.

Οι οδηγίες της IEEE θα προσδιορίσουν τους παράγοντες που συμβάλουν στις βλάβες των εναέριων γραμμών διανομής από κεραυνικά πλήγματα καθώς και βελτιώσεις για νέες και υπάρχουσες κατασκευές. Οι οδηγίες αυτές περιορίζονται για προστασία της μόνωσης των γραμμών διανομής για συστήματα με τάση < 69 kV. Θεματικός κύκλος προστασίας του εξοπλισμού καλύπτεται από IEEE Std C62.22-2009.

Ο κύριος σκοπός των οδηγιών είναι η παρουσίαση εναλλακτικών λύσεων για την μείωση των υπερπηδήσεων που προκαλούνται από κεραυνικά πλήγματα στις εναέριες γραμμές.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΑ	ΣΕΛΙΔΕΣ
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΟΡΙΣΜΟΙ	12
2.1. Ανάστροφο Βραχυκύκλωμα	12
2.2. Βασικό Επίπεδο Μόνωσης Έναντι Κεραυνών (BIL)	12
2.3. Κρίσιμη Κρουστική Τάση Κεραυνών (CFO) (μονωτές)	12
2.4. Άμεσο Πλήγμα	12
2.5. Γραμμή Διανομής	12
2.6. Βραχυκύκλωμα (γενικά)	12
2.7. Ηλεκτρόδιο Εδάφους	13
2.8. Πυκνότητα Κεραυνών (GFD) (Ng)	13
2.9. Μονωτής Επιτόνων	13
2.10. Επίτονο	13
2.11. Έμμεσο Πλήγμα	13
2.12. Επαγόμενη Τάση (πλήγματα κεραυνού)	13
2.13. Πρώτο Πλήγμα Κεραυνού	13
2.14. Ακόλουθο Πλήγμα Κεραυνού	13
2.15. Κεραυνός	13
2.16. Σφάλμα λόγω Κεραυνού	13
2.17. Συμπεριφορά γραμμών σε κεραυνούς	13
2.18. Αλεξικέραυνο (ή απαγωγέας υπερτάσεων) από Μεταλλικά Οξείδια (MOSA)	14
2.19. Αγωγός Προστασίας (OHGW)	14

2.20.Γωνία Προστασίας	14
2.21.Αγωγός Προστασίας	14
2.22. Προστατευτικό Διάκενο	14
2.23. Αλεξικέραυνο	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	15
3.1 Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής	15
3.2 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής	17
3.3. Εναλλακτικοί σταθμοί παραγωγής	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	19
4.1 Τάσεις μεταφοράς	20
4.2 Αγωγοί, στύλοι και μονωτήρες γραμμών μεταφοράς	21
4.3. Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας	22
4.4. Προστασία συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Πτώση κεραυνών	24
5.1 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά του Κεραυνού	30
5.1.1 ΚΑΝΟΝΙΚΗ-ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ	30
5.1.1.1. Συμπεριφορά Εναέριων Γραμμών Διανομής σε Περίπτωση Κεραυνού	32
5.1.2. Πλήγματα Κεραυνών σε Εναέριες Γραμμές	33
5.2. Βραχυκυκλώματα από επαγόμενη τάση	36
5.3. Βραχυκυκλώματα από Απευθείας Κεραυνικά Πλήγματα	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Επίπεδο Μόνωσης Γραμμών Διανομής	39
6.1.CFO Τάση της Συνδυασμένης Μόνωσης	40
6.1.1. Τρόποι γείωσης στα δίκτυα διανομής (20kV, 15kV)	41
6.2 Κατασκευή των γειώσεων	42
6.3 Αντίσταση γειώσεων	43
6.4 Πραγματοποίηση γειώσεων στα δίκτυα διανομής και στους υποσταθμούς	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Προσδιορίζοντας την CFOτάση για κατασκευές με	47

μονώσεις σειράς	
7.1 Πρακτικά ζητήματα	50
7.1.1. Επίτονα	50
7.1.2. Διακοπή στους διακόπτες ασφάλειας	51
7.1.3. Ύψος ουδέτερου αγωγού	51
7.1.4. Αγωγή υποστηρίγματα και κατασκευές	51
7.1.5. Πολλαπλά κυκλώματα	52
7.1.6. Προστατευτικά διάκενα και σύνδεσμοι μονωτήρων	52
7.2 Ικανότητα Ξύλου για Διακοπή	53
7.3. Καταστροφή του Ξύλου λόγω Κεραυνικού Πλήγματος	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Προστασία των Γραμμών Διανομής με Προστατευτικό Αγωγό	55
8.1 Γωνία προστασίας	57
8.2. Απαιτήσεις Μόνωσης	58
8.3 Αποτελεσματικότητα επιπέδου στήριξης και μόνωσης	59
8.4. Τοποθέτηση κατασκευής συστήματος διανομής	60
8.5. Αγωγοί προστασίας και αλεξικέραυνα	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Προστασία γραμμών με αλεξικέραυνα	60
9.1. Τα καλώδια σύνδεσης των αλεξικέραυνων (οι αγωγοί)	61
9.2. Βραχυκυκλώματα από έμμεσα πλήγματα	62
9.3. Βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα	63
9.4 Ικανότητα απορρόφησης ενέργειας του αλεξικέραυνου	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ:	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12: ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	74

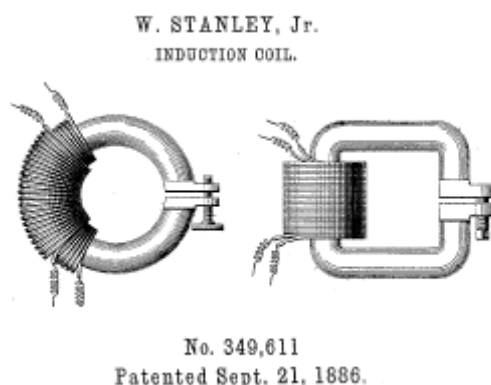




## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1. Ιστορική αναδρομή

Τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι τα συνολικά τμήματα των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν με ηλεκτρική ενέργεια ένα σύνολο καταναλωτών όπου χαρακτηρίζεται από τρεις βασικές λειτουργίες, την παραγωγή, την μεταφορά και την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις ήταν ένα μείζον πρόβλημα. Το 1880 ο Thomas Edison δημιούργησε ένα σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, Pearl Street New York City, παρέχοντας σε 59 πελάτες 110V (DC), συνεχούς ρεύματος. Ο πόλεμος των ρευμάτων μεταξύ George Westinghouse (AC) και Thomas Edison (DC) άρχισε και επικράτησε μετά από χρόνια λόγω των πλεονεκτημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας το εναλλασσόμενο σύστημα ρεύματος. Ο William Stanley (1858 – 1916) κατασκεύασε το πρώτο επαγωγικό πηνίο (σύγχρονος μετασχηματιστής) καθώς και το πρώτο πλήρες σύστημα υψηλής τάσης μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος δίνοντας την λύση και βάση για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας.



**Σχήμα.1.** Το πρωτότυπο του W.Stanley έγινε η βάση για τους σύγχρονους μετασχηματιστές (U.S Patent 349,611).

Στην σημερινή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας τα σύγχρονα συστήματα διακρίνονται σε:

(A) Σταθμούς Παραγωγής όπου παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια.

(B) Δίκτυο Μεταφοράς όπου γίνεται η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής στα κέντρα κατανάλωσης.

(Γ) Δίκτυο Διανομής όπου μέσω αυτού γίνεται η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από τα κέντρα κατανάλωσης στους καταναλωτές. Χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, στο δίκτυο διανομής μέσης τάσης (20kV) όπου γίνεται η μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύς από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής, και στο δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (220/380V) όπου γίνεται η μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύς από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται στους σταθμούς παραγωγής και οι μετασχηματιστές μετατρέπουν την χαμηλή τάση σε υψηλή για να μπορέσει να μεταφερθεί με τις γραμμές μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε υψηλή τάση ( έως 275kV ) και υπερύψηλη τάση ( έως 765kV ) λόγω λιγότερων απωλειών που εξαρτάται επίσης και από την απόσταση και την ποσότητα της ισχύος.

Τα κέντρα κατανάλωσης συνήθως δεν βρίσκονται κοντά στους σταθμούς παράγωγης που έχει ως αποτέλεσμα να παρίσταται ανάγκη μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις μέσω των γραμμών μεταφοράς, εναέρια ή υπόγεια. Η ηλεκτρική ενέργεια από την παραγωγή έως την κατανάλωση βρίσκεται συνεχώς σε ροή. Επομένως το δίκτυο μεταφοράς κατευθύνει την ηλεκτρική ενέργεια στους υποσταθμούς μέσης και χαμηλής τάσης (μετατροπή υψηλής τάσης σε μέση και χαμηλή) και με το δίκτυο διανομής την διανέμει στους καταναλωτές.

Στο ελλαδικό χώρο οι τιμές του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνονται στα 400kV/20 kV ή 150 kV/20 kV και η διάταξη του δικτύου διανομής είναι βροχοειδής ή ακτινική. Οι γραμμές μεταφοράς στην Ελλάδα είναι πάντα τριφασικές (AC ρεύμα) καθώς επίσης σπανίως υπάρχει και τέταρτος ουδέτερο αγωγός. Οι γραμμές διανομής για την μέση τάση, 20kV – 15kV, είναι επίσης τριφασικές. Κάθε ηλεκτρικός αγωγός προκαλεί μια πτώση τάση, δηλαδή μείωση της τάσης ανάμεσα στα σημεία άφιξης και αναχώρησης της ενεργειακής ροής, καθώς και ηλεκτρικές απώλειες που απορρέουν σε μείωση της καθαρής ενέργειας και είναι ανάλογες του τετραγώνου του ρεύματος. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αγωγών και χωρίζονται σε:

- Ø Αγωγοί εξ ολοκλήρου από αλουμίνιο (All- aluminiumconductors, AAC)
- Ø Αγωγοί εξ ολοκλήρου από κράμα αλουμινίου (All-aluminium – alloyconductors, AAAC)
- Ø Αγωγοί αλουμινίου ενισχυμένοι με χάλυβα (Aluminiumconductors, steel-reinforced, ACSR)
- Ø Αγωγοί αλουμινίου ενισχυμένοι με κράμα ( Aluminiumconductors, alloy-reinforced, ACAR)

Οι σταθμοί παραγωγής ανάλογα με την πρωτογενή πηγή ενέργειας χωρίζονται σε ατμοηλεκτρικούς, υδροηλεκτρικούς και πυρηνικούς σταθμούς μετατρέποντας την

κάθε μορφή σε ηλεκτρική ενέργεια.

Στην Ελλάδα πάνω από το 90% της θερμικής παραγωγής προέρχεται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς ενώ οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται για την επιπλέον κάλυψη σε περίπτωση αυξημένης ζήτησης. Στα μικρά νησιά υπεύθυνοι για την τροφοδότηση είναι οι ντιζελοηλεκτρικοί σταθμοί (πχ. Κρήτη, Ρόδος). Επίσης από άποψη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χρησιμοποιούνται η ηλιακή και αιολική ενέργεια.

Η διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται κατά το μεγαλύτερο βαθμό στην ικανότητα του συστήματος καθώς και στην αξιοπιστία του δικτύου μεταφοράς. Το δίκτυο μεταφοράς εξαρτάται κατά κύριο λόγο στην επίδοση των γραμμών διανομής.

ΔΙΚΤΥΟ	400kV	150 kV	66 kV	DC 400 kV	ΣΥΝΟΛΟ
<b>ΕΝΑΕΡΙΟ</b>	2309	7792	39	106	10246
<b>ΥΠΟΓΕΙΟ</b>	-	29	-	-	29
<b>ΘΑΛΑΣΣΙΟ</b>	-	123	15	-	138
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>2309</b>	<b>7944</b>	<b>54</b>	<b>106</b>	<b>10413</b>

**Πίνακας.1.** Δίκτυο μεταφοράς σε km (Data 31/12/2003)

ΔΙΚΤΥΟ	22, 20, 15, 6.6 kV	220kV	ΣΥΝΟΛΟ
<b>ΕΝΑΕΡΙΟ</b>	88500	95900	184400
<b>ΥΠΟΓΕΙΟ</b>	7285	9300	16585
<b>ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ</b>	1021	2	1023
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>96806</b>	<b>105202</b>	<b>202008</b>

**Πίνακας.2.** Δίκτυο διανομής σε km (Data 31/12/2003)

Ο κεραυνός είναι ένα φυσικό φαινόμενο που δημιουργείται συνήθως κατά την διάρκεια καταιγίδων από ηλεκτροστατικές εκκενώσεις που παράγουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Υπάρχουν τρία βασικά είδη δημιουργίας κεραυνών, από το σύννεφο στη γη, από σύννεφο σε σύννεφο και μεταξύ σύννεφων με την πρώτη κατηγορία να είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος που προκαλεί υπερτάσεις σε εναέριο γραμμές διανομής.

Επιπροσθέτως οι φάσεις εκκένωσης ενός κεραυνού αποτελούνται από τρία τμήματα προεκκένωση, εκκένωση αντίθετης φοράς και την κύρια εκκένωση. Ο κεραυνός ξεκινά από υψηλά σημεία πεδιακής έντασης. Επομένως όταν τα θετικά και αρνητικά φορτία βρίσκονται στο ίδιο σύννεφο ή γειτονικά σύννεφα ή μεταξύ σύννεφου και εδάφους τότε δημιουργείται μια τέτοια ζώνη υψηλής πεδιακής έντασης που προκαλεί την εκκένωση.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Ορισμοί**

**2.1. Ανάστροφο Βραχυκύκλωμα:** Ένα βραχυκύκλωμα στη μόνωση λόγω πλήγματος από κεραυνό σε μέρος ενός δικτύου ή μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης που συνήθως βρίσκεται στο δυναμικό του εδάφους.

**2.2. Βασικό Επίπεδο Μόνωσης Έναντι Κεραυνών (BIL):** Σημείο αναφοράς για την αντοχή της μόνωσης έναντι κεραυνών, το οποίο εκφράζεται αναφορικά με την μεγαλύτερη τιμή τάσης που αντέχει ένα δεδομένο κύμα (τάσης) πλήρους ώθησης.

**2.3. Κρίσιμη Κρουστική Τάση Κεραυνών (CFO) (μονωτές):** Η μεγαλύτερη τιμή της υπέρτασης που, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, προκαλεί υπερπήδηση στο 50% των περιπτώσεων.

**2.4. Άμεσο Πλήγμα:** Ένα χτύπημα κεραυνού απευθείας σε οποιοδήποτε μέρος ενός δικτύου ή μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης.

**2.5. Γραμμή Διανομής:** Γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος που διανέμουν το ρεύμα από έναν υποσταθμό κύριας πηγής στους καταναλωτές, συνήθως με τάση 34.5 kV ή λιγότερο. Σημειώστε ότι αυτή η οδηγία αφορά μόνο για τάσεις από 69 kV και λιγότερο.

**2.6. Βραχυκύκλωμα (γενικά):** Μια ανεπιθύμητη εκκένωση μέσω του αέρα γύρω ή πάνω στην επιφάνεια μιας στερεής ή υγρής μόνωσης, ανάμεσα σε μέρη διαφορετικού

δυναμικού ή πολικότητας, που παράγεται από την εφαρμογή της τάσης

**2.7. Ηλεκτρόδιο Εδάφους:** Ένας αγωγός ή μια ομάδα αγωγών σε στενή επαφή με τον έδαφος με σκοπό να παρέχει σύνδεση με το έδαφος.

**2.8. Πυκνότητα Κεραυνών (GFD) (Ng):** Ο μέσος αριθμός των πληγμάτων από κεραυνό ανά μονάδα τόπου ανά μονάδα χρόνου σε μια συγκεκριμένη θέση (κεραυνοί/km<sup>2</sup>/έτος).

**2.9. Μονωτής Επιτόνων:** Ένα μονωτικό στοιχείο, συνήθως επιμηκυμένης μορφής με εγκάρσιες τρύπες ή σχισμές, με σκοπό την μόνωση δύο μερών ενός επίτονου ή την παροχή μόνωσης ανάμεσα στην κατασκευή και το στήριγμα, καθώς και την προστασία σε περίπτωση σπασμένων καλωδίων. Οι πορσελάνινοι μονωτές καλωδίων γενικά σχεδιάζονται για να πιέζεται η πορσελάνη σε περίπτωση συμπίεσης, αλλά γενικά στην πίεση χρησιμοποιούνται ξύλινοι μονωτές εξοπλισμένοι με το κατάλληλο υλικό.

**2.10. Επίτονο:** Ένα απομονωμένο καλώδιο για στήριξη ημι-ελαστικής έντασης ανάμεσα στον πόλο ή την κατασκευή και την ράβδο στήριξης, ή ανάμεσα στις κατασκευές.

**2.11. Έμμεσο Πλήγμα:** Ένα χτύπημα κεραυνού που δεν χτυπά απευθείας σε κάποιο μέρος ενός δικτύου, αλλά προκαλεί υπέρταση σε αυτό.

**2.12. Επαγόμενη Τάση (πλήγματα κεραυνού):** Η τάση που προκαλείται σε ένα δίκτυο ή μια ηλεκτρική εγκατάσταση από ένα έμμεσο πλήγμα.

**2.13. Πρώτο Πλήγμα Κεραυνού:** Η πρώτη εκφόρτιση κεραυνού στο έδαφος.

**2.14. Ακόλουθο Πλήγμα Κεραυνού:** Μία εκφόρτιση κεραυνού που μπορεί να ακολουθήσει μία πορεία που έχει ήδη προδιαγράψει το πρώτο πλήγμα.

**2.15. Κεραυνός:** Η πλήρης εκφόρτιση κεραυνού, που συνήθως δημιουργείται από αγωγούς ενός σύννεφου που ακολουθούνται από ένα ή περισσότερα πλήγματα επιστροφής.

**2.16. Σφάλμα λόγω Κεραυνού:** Μια διακοπή ρεύματος που ακολουθείται από έναν κεραυνό που προκαλεί βλάβη στο ρεύμα του συστήματος, απαιτώντας έτσι την λειτουργία μιας συσκευής μετατροπής για την επιδιόρθωση της βλάβης.

**2.17. Συμπεριφορά γραμμών σε κεραυνούς:** Η απόδοση μιας γραμμής που εκφράζεται ως ο ετήσιος αριθμός των βραχυκυκλωμάτων από κεραυνούς σε μβάση κυκλώματος μιλίου ή πύργου γραμμών μιλίου. Δες επίσης: προστασία από άμεσο

πλήγμα.

**2.18. Αλεξικέραυνο (ή απαγωγέας υπερτάσεων) από Μεταλλικά Οξείδια (MOSA):** Ένα αλεξικέραυνο που χρησιμοποιεί βαλβίδες κατασκευασμένες από υλικά μεταλλικών οξειδίων μη γραμμικής αντίστασης.

**2.19. Αγωγός Προστασίας (OHGW):** Αγωγός γης ή αγωγοί τοποθετημένοι πάνω από τους αγωγούς φάσης με σκοπό την διακοπή άμεσων πληγμάτων για την προστασία των αγωγών φάσης από άμεσα πλήγματα. Μπορεί να είναι γειώνονται άμεσα ή έμμεσα μέσω μικρών διακένων. Δες επίσης: προστασία από άμεσο πλήγμα.

**2.20. Γωνία Προστασίας:** Η γωνία ανάμεσα στην κατακόρυφη γραμμή μέσω του εναέριου αγωγού εδάφους και μιας γραμμής που συνδέει τον εναέριο αγωγό εδάφους με τον προστατευτικό αγωγό. Δες επίσης: προστασία από άμεσο πλήγμα.

**2.21. Αγωγός Προστασίας:** Αγωγοί τοποθετημένοι κοντά στους αγωγούς φάσης για τους εξής σκοπούς:

α) Προστασία των αγωγών φάσης από άμεσα πλήγματα κεραυνών.

β) Μείωση των τάσεων που προκαλούνται από εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

γ) Μείωση της κυματικής αντίστασης ενός συστήματος OHGW.

δ) Αύξηση της αμοιβαίας αντίστασης κύματος ενός συστήματος OHGW στους

προστατευμένους αγωγούς φάσης.

Μπορούν να είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένοι απευθείας στην κατασκευή ή έμμεσα μέσω μικρών ανοιγμάτων.

**2.22. Προστατευτικό Διάκενο:** Οποιοδήποτε διάστημα αέρα ανάμεσα σε δύο αγωγούς που είναι ηλεκτρικά μονωμένοι μεταξύ τους ή ηλεκτρικά συνδεδεμένοι από απόσταση.

**2.23. Αλεξικέραυνο:** Μία προστατευτική συσκευή για τον περιορισμό των υπερτάσεων στον εξοπλισμό, η οποία παρεκκλίνει το ρεύμα κύματος και επαναφέρει την συσκευή στην αρχική της κατάσταση. Μπορεί να επαναλάβει αυτές τις λειτουργίες όπως έχουν προσδιοριστεί.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας**

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζεται η διαδικασία που απαιτείται για την μετατροπή μιας μορφής πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική. Σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως η μετατροπή κάποιας άλλης μορφής πρώτα σε μηχανική (κινητήριες μηχανές, στρόβιλοι) και στη συνέχεια σε ηλεκτρική μέσω των γεννητριών. Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στον καταναλωτή σήμερα, προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), από υδροηλεκτρικούς σταθμούς με την ροή ή την πτώση των υδάτων και από πυρηνικούς σταθμούς με την πυρηνική σχάση διαφόρων σωματιδίων (ουράνιο, θόριο, πλουτόνιο).

Την τελευταία δεκαετία ο άνθρωπος προσπάθησε να βρει νέες πηγές ενέργειας, καθώς τα γνωστά αποθέματα ενέργειας ολοένα και μειώνονταν. Έτσι, τα τελευταία χρόνια οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ο άνεμος (αιολική ενέργεια), η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία, η βιομάζα, κ.α. αποτελούν μια σημαντικότερη περιοχή έρευνας και εφαρμογών

#### **3.1 Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής**

Η θερμότητα που προέρχεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων ή την πυρηνική σχάση μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια μέσω κινητήριων μηχανών (στροβίλων) και στη συνέχεια σε ηλεκτρική μέσω γεννητριών.

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί χρησιμοποιούν τον ατμό που παράγεται από την καύση του καυσίμου μέσα στον λέβητα, ο οποίος στη συνέχεια κινεί τον ατμοστρόβιλο, ο οποίος με τη σειρά του κινεί την ηλεκτρογεννήτρια (εικόνα .1.). Ο βαθμός απόδοσης του παραπάνω θερμοδυναμικού κύκλου αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης του ατμού στην είσοδο του στροβίλου. Αντίθετα στους ντιζελοηλεκτρικούς σταθμούς η θερμότητα παράγεται από μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK) που είναι είτε εμβολοφόρες ντιζελομηχανές, είτε αεροστρόβιλοι (gasturbines). Οι εμβολοφόρες είναι μικρής εγκαταστημένης ισχύος και χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Από την άλλη οι αεροστρόβιλοι είναι πολύ μεγαλύτερης ισχύος και χρησιμοποιούνται συνήθως για την κάλυψη φορτίου κατά τις περιόδους μεγάλης ζήτησης. Αυτό συμβαίνει επειδή έχουν τη δυνατότητα να αποδίδουν γρήγορα τη μέγιστη παραγωγή τους. Τα κύρια μέρη ενός αεροστρόβιλου είναι ο συμπιεστής, ο θάλαμος καύσης, ο στρόβιλος και η γεννήτρια. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι το πετρέλαιο DIESEL, με τους πιο σύγχρονους αεροστρόβιλους να χρησιμοποιούν και φυσικό αέριο.

Ο πυρηνικός σταθμός είναι ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός με τη διαφορά ότι η παραγωγή ατμού γίνεται χρησιμοποιώντας τη θερμική ενέργεια που ελκύεται από ένα πυρηνικό αντιδραστήρα. Ο πυρηνικός αντιδραστήρας είναι ένα σύστημα το οποίο περιέχει σχάσιμους πυρήνες (το πυρηνικό καύσιμο), σε κατάλληλη γεωμετρική διάταξη και συγκέντρωση και στην οποία μπορεί να επιτευχθεί ελεγχόμενη αλυσωτή αντίδραση σχάσεων. Η ενέργεια που εκλύεται κατά τις σχάσεις χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού είτε απευθείας στον αντιδραστήρα, είτε σε βοηθητικά συστήματα, τις λεγόμενες γεννήτριες ατμού.



**Εικόνα.1.** Λιγνιτοθερμικός σταθμός Πτολεμαΐδας

Βασικά χαρακτηριστικά των αντιδραστήρων, με βάση τα οποία και γίνεται ο χαρακτηρισμός τους είναι :

- Ø Μέση ενέργεια των νετρονίων, και διακρίνονται σε αντιδραστήρες θερμικών νετρονίων, νετρονίων μέσης ενέργειας και ταχέων νετρονίων.
- Ø Καύσιμο, και διακρίνονται σε αντιδραστήρες φυσικού ουρανίου, πλουτωνίου, ουρανίου U-233 και με μίγμα σχάσιμων πυρήνων.
- Ø Χρησιμοποιούμενο υλικό για την επιβράδυνση των νετρονίων, και διακρίνονται σε αντιδραστήρες ελαφρού ύδατος, βαρέως ύδατος, γραφίτου κ.α.
- Ø Ψυκτικό μέσο για τη μεταφορά της θερμότητας εκτός του αντιδραστήρα, και διακρίνονται σε υδρόψυκτους, αερόψυκτους (αέρας, CO<sub>2</sub>, He) και σε ψυχόμενους με τηγμένο μέταλλο (Na, K).



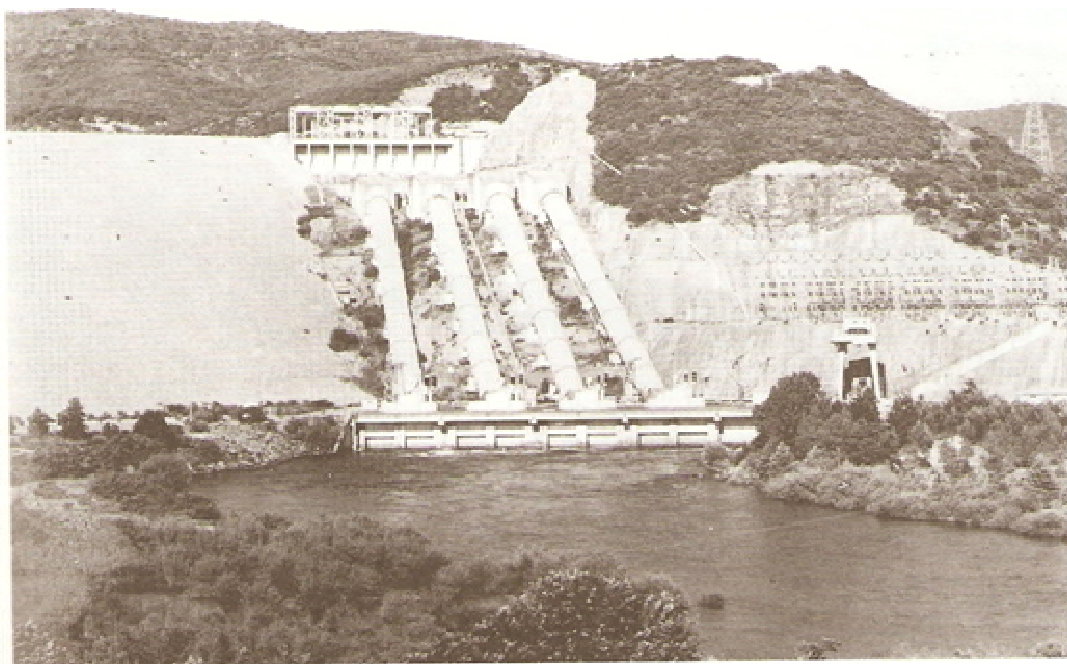
Σήμερα οι περισσότερο εξελιγμένοι τεχνολογικά αντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι αντιδραστήρες θερμικών νετρονίων, φυσικού ή ελαφρώς εμπλουτισμένου ουρανίου.

### 3.2 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής

Στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής γίνεται εκμετάλλευση της υδραυλικής ενέργειας του νερού, η οποία μέσω καταλλήλων διατάξεων (υδροστρόβιλος-γεννήτρια) μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγόμενη ενέργεια από έναν υδροηλεκτρικό σταθμό είναι ανάλογη της παροχής νερού, του χρόνου λειτουργίας, της καθαρής υψομετρικής διαφοράς της υδατόπτωσης (αφαιρουμένων των υδραυλικών απωλειών) και του βαθμού απόδοσης της μονάδας.

Ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του νερού, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες :

- Ø Φυσικής ροής, που χρησιμοποιούν την ενέργεια διερχομένου υδάτινου ρεύματος (ροή ποταμού).
- Ø Ρυθμιζόμενης ροής, που χρησιμοποιούν το νερό, το οποίο συλλέγεται σε ταμιευτήρες (τεχνητές λίμνες-φράγματα), ώστε να δημιουργείται υψομετρική διαφορά και να γίνεται εκμετάλλευση ελεγχόμενης υδατοπτώσεως. Τα φράγματα που χρησιμοποιούνται είναι είτε φράγματα σκυροδέματος, είτε φράγματα γαιώδη (εικόνα .2.).
- Ø Αντλητικοί, οι οποίοι λειτουργούν όπως και οι ρυθμιζόμενης ροής με τη διαφορά ότι έχουν δύο φράγματα, ένα σε υψηλότερη και ένα σε χαμηλότερη στάθμη από το σταθμό και χρησιμοποιούν χαμηλού κόστους ηλεκτρική ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου, για να αποταμιεύσουν νερό που θα χρησιμοποιηθεί σε ώρες αιχμής για την παραγωγή ενέργειας με υψηλό εναλλακτικό κόστος παραγωγής από άλλες πηγές. Έχουν σχετικά μικρότερο βαθμό απόδοσης λόγω του κύκλου άντλησης-παραγωγής, αλλά είναι πολύ χρήσιμοι για την βελτίωση του συντελεστή φορτίου του συστήματος.



Εικόνα .2. Υδροηλεκτρικό έργο Καστρακίου

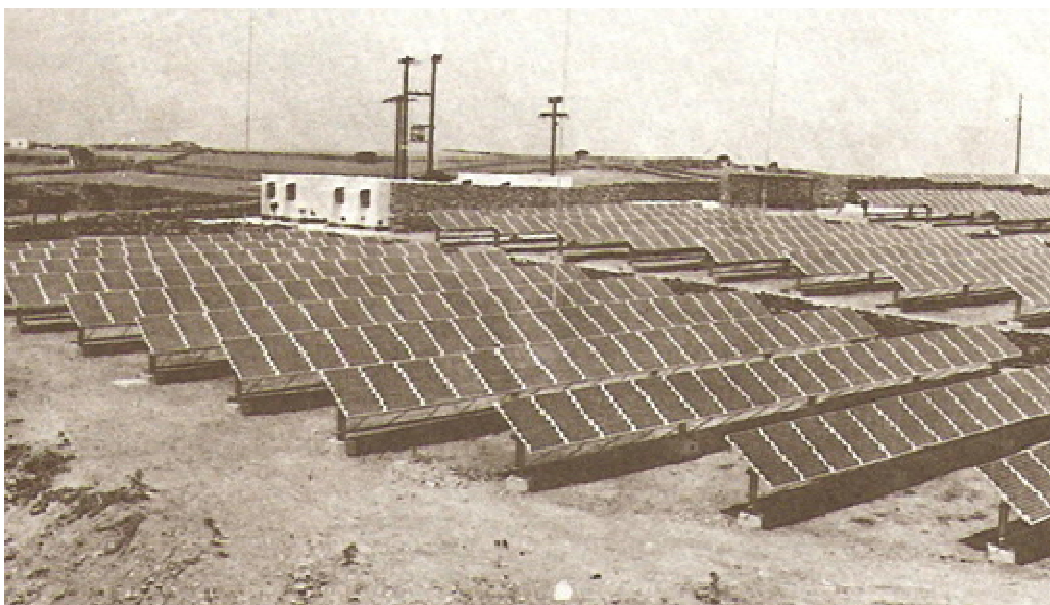
### 3.3. Εναλλακτικοί σταθμοί παραγωγής

Στους εναλλακτικούς σταθμούς παραγωγής χρησιμοποιούνται πηγές ενέργειας που βρίσκονται στη φύση πρακτικά ανεξάντλητες, οι λεγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια, θαλάσσια κύματα κλπ.). Χρησιμοποιούνται κυρίως για ηλεκτροδότηση απομονωμένων οικισμών ή αυτόνομων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περισσότερο διαδομένοι τύποι είναι οι φωτοβολταϊκοί και τα αιολικά πάρκα.

Ένας φωτοβολταϊκός σταθμός (εικόνα .3.) αποτελείται από ένα σύνολο φωτοβολταϊκών πλαισίων και μπορεί να περιλαμβάνει, ανάλογα με τη χρήση του, ένα μετατροπέα του συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα, ρυθμιστές τάσης και ρεύματος, διατάξεις ελέγχου και συστοιχίες συσσωρευτών για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Κάθε πλαίσιο περιλαμβάνει ένα πλήθος ηλιακών κυψελών (solarcells) που μπορούν να μετατρέψουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Η ηλιακή κυψέλη αποτελείται από ένα ημιαγωγό συνήθως από μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο με υψηλό κόστος κατασκευής. Οι διαστάσεις μιας τυπικής κυψέλης είναι  $100\text{cm}^2$  και μπορεί να παράγει περίπου  $1\text{Watt}$ . Ομάδες από ηλιακές κυψέλες συγκροτούν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο με διαστάσεις  $1\text{m}^2$  ή και μικρότερες και με

ισχύ που κυμαίνεται μεταξύ 30W και 120W. Σειρές φωτοβολταϊκών πλαισίων αποτελούν το φωτοβολταϊκό σταθμό.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι δύο ειδών: τα επίπεδα, τα οποία είναι τα πιο συνηθισμένα και αυτά που χρησιμοποιούν συσκευές συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας για την αύξηση του βαθμού απόδοσης. Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες: στους σταθμούς που τροφοδοτούν αυτόνομα μικρά συστήματα με ισχύ από 100W έως 200W (π.χ. κάλυψη αναγκών απομακρυσμένων περιοχών, κατοικίες, φάροι κ.α.) και στους σταθμούς που συνδέονται σε ηλεκτρικά συστήματα και έχουν ισχύ από λίγα kilowatts έως 6MW.



**Εικόνα.3.**Φωτοβολταϊκός σταθμός Κύθνου

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας (στην Ελλάδα είναι 400 kV και 150 kV) εννοούμε το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου των εγκαταστάσεων και μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς υψηλής/μέσης τάσης που τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης και από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης. Επίσης τροφοδοτούν τους μεγάλους καταναλωτές υψηλής τάσης, που κατασκευάζουν δικό τους υποσταθμό υποβιβασμού υψηλής σε μέση τάση και

εσωτερικά δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης, και είναι κυρίως μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ισχύ πάνω από 10MW (εργοστάσια αλουμινίου, τσιμέντου, αυτοκινητοβιομηχανίες κ.α.).

Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσης τους υποσταθμούς ζεύξεως των δικτύων αυτών και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσεων που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο μεταφοράς. Με το σύστημα μεταφοράς η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από τους σταθμούς παραγωγής προς τις περιοχές καταναλώσεως .

#### **4.1 Τάσεις μεταφοράς**

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με υψηλή τάση, διότι αυτό συνεπάγεται μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες και άρα οικονομικότερη λειτουργία. Χρησιμοποιούνται διάφορες τάσεις μεταφοράς, αναλόγως της αποστάσεως και της ποσότητας της ισχύος που πρέπει να μεταφερθεί. Οι εμφανιζόμενες τάσεις μεταφοράς έχουν σήμερα τιμές 66kV, 110kV, 132kV, 138kV, 150kV, 220kV, 275kV, 345kV, 400kV, 500kV, 750kV, 1100kV και 1500kV. Το ελληνικό δίκτυο μεταφοράς είναι 400kV/20kV ή 150kV/20kV. Η μορφή των δικτύων μεταφοράς μπορεί να είναι διαμήκης ή κυκλική, αναλόγως της σχετικής θέσεως των σταθμών παραγωγής ως προς τα κέντρα καταναλώσεως. Το ελληνικό δίκτυο διανομής είναι κυρίως 20kV (υπάρχουν και δίκτυα διανομής των 15kV). Η διάταξη των δικτύων διανομής είναι βροχοειδής ή ακτινική.

Η ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί από μια γραμμή μεταφοράς είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της τάσεως και επομένως είναι προφανής ο λόγος των υπερύψηλων τάσεων στην επίτευξη μεγάλων ισχύων μεταφοράς. Επί πλέον οι μειωμένες απώλειες, τις οποίες συνεπάγεται η μεταφορά με υπερύψηλες τάσεις, καθιστούν οικονομικότερη τη λειτουργία με τις τάσεις αυτές. Το κόστος μεταφοράς αποτελεί τη συνισταμένη του κόστους εγκαταστάσεως, του κόστους απωλειών και του κόστους συντηρήσεως της γραμμής. Κριτήριο για την εκλογή μιας τάσης μεταφοράς είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους. Αυτό σημαίνει ότι η εξοικονόμηση κόστους λειτουργίας από μια περαιτέρω αύξηση της τάσης που επιλέγεται, αντισταθμίζεται από τις αναγκαίες πρόσθετες επενδύσεις στη γραμμή και στον λοιπό εξοπλισμό. Μέχρι ορισμένου σημείου, η αύξηση της τάσεως έχει αποτέλεσμα μικρότερες απώλειες λειτουργίας για δεδομένο μέγεθος αγωγού ή μικρότερο αγωγό για δεδομένες απώλειες. Αλλά, ένα μέρος της επιτευχθείσας οικο-νομίας στο κόστος του αγωγού λόγω εφαρμογής υψηλότερης τάσεως χάνεται αφ' ενός από αυξημένες απώλειες στον περιβάλλοντα αέρα, ο οποίος ionίζεται από τις υψηλές πεδιακές εντάσεις των αγωγών και αφ' ετέρου λόγω αυξημένου κόστους μονωτήρων, μετασχηματιστών, διακοπών, κ.α. Το κόστος του εξοπλισμού αυξάνει τόσο γρήγορα στις υψηλές τάσεις, ώστε να υπάρχει κάποια

μέγιστη τιμή της τάσεως, επάνω από την οποία γίνεται αντικοινομική η μεταφορά με τα σημερινά δεδομένα .

#### 4.2 Αγωγοί, στύλοι και μονωτήρες γραμμών μεταφοράς

Τα υλικά που γενικά χρησιμοποιούνται στους αγωγούς των γραμμών μεταφοράς είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο. Ένας σύνθετος αγωγός, το ACSR(Aluminum Conductor Steel Reinforced: αγωγός αλουμινίου ενισχυμένος με χάλυβα) αποτελείται από κλώνους αλουμινίου, τοποθετημένους γύρω από ένα χαλύβδινο κεντρικό πυρήνα, ο οποίος παρέχει μηχανική αντοχή στον αγωγό. Οι κύριες απαιτήσεις από τα αγωγή υλικά είναι:

1. η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα
2. η υψηλή μηχανική αντοχή
3. το μικρό ειδικό βάρος
4. η χαμηλή οξείδωση στον αέρα
5. η ευχέρεια συνδέσεως των αγωγών

Ως ποσοστό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του χαλκού ελαφριάς έλξης, η αγωγιμότητα του χαλκού ισχυρής έλξης είναι 97% και του αλουμινίου 60% περίπου.

Η απαιτούμενη διατομή ενός αγωγού καθορίζεται από το ρεύμα που τον διαρρέει, αφού η ωμική αντίσταση της γραμμής μεταφοράς είναι αντιστρόφως ανάλογη της διατομής του αγωγού. Ο αγωγός της γραμμής μεταφοράς θερμαίνεται από τις ωμικές απώλειες και η θερμότητα αυτή ακτινοβολείται στον αέρα, αναπτύσσοντας μια θερμοκρασία ισορροπίας στον αγωγό. Σε υψηλές θερμοκρασίες η μηχανική αντοχή του αγωγού μειώνεται και έτσι η θερμοκρασία ισορροπίας του δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα ορισμένο όριο, το οποίο είναι συνήθως 100°C. Για να υπάρχει και ένα περιθώριο ασφαλείας, η σχεδίαση γίνεται συνήθως για 90°C. Το αντίστοιχο ρεύμα αποτελεί το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο φορτίσεως του αγωγού και ονομάζεται ικανότητα μεταφοράς ρεύματος του αγωγού .

Οι αγωγοί υψηλής τάσεως των εναέριων γραμμών μεταφοράς αναρτώνται από τους πυλώνες ή πύργους της γραμμής δια μέσου σειράς μονωτήρων, ο καθένας από τους οποίους αποτελείται από μια αλυσίδα δίσκων από πορσελάνη ή γυαλί. Η αύξηση της μονώσεως για υψηλότερες τάσεις μεταφοράς αντιμετωπίζεται με την προσθήκη περισσότερων δίσκων στους αλυσοειδείς αυτούς μονωτήρες. Η μόνωση μεταξύ αγωγών και μεταξύ αγωγών και γης, στις εναέριες γραμμές αποτελείται από τον αέρα που υπάρχει μεταξύ τους. Η απόσταση πρέπει να είναι τέτοια που να μην επιτρέπει στους αγωγούς να πλησιάσουν πολύ μεταξύ τους, κατά τις ταλαντώσεις που υφίστανται από τον άνεμο, ώστε να αποφεύγεται τυχόν διάσπαση της μόνωσης και

δημιουργία σπινθηρισμών. Οι στύλοι ή πυλώνες, στους οποίους στηρίζονται οι αγωγοί των εναέριων γραμμών μεταφοράς, είναι συνήθως χαλύβδινοι πυλώνες, οι οποίοι καλούνται και πύργοι.

Οι κλιματικές διαφορές απαιτούν ποικίλες σχεδιάσεις στους πύργους μεταφοράς. Σε μερικές περιοχές οι γραμμές πρέπει να αντέχουν σε θύελλες, ενώ σε άλλες πρέπει να αντέχουν σε χιονοθύελλες, σε πάγο κ.λ.π. Η ένταση των κεραυνών διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Η σχεδίαση της γραμμής πρέπει να λαμβάνει υπόψη την τοπογραφία της περιοχής που διατρέχει η γραμμή, η οποία μπορεί να ποικίλει από ανοιχτές πεδιάδες μέχρι δασωμένα βουνά. Μεγαλύτερη αξιοπιστία μεταφοράς έχουν, όπως είναι φυσικό, οι γραμμές απλού κυκλώματος, όταν οι ζώνες διελεύσεως των γραμμών χωρίζονται μεταξύ τους με σημαντική απόσταση κατά το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής. Όπου όμως είναι δύσκολη η εξεύρεση επαρκών διαδρομών διελεύσεως, όπως σε διαδρομές ορεινού χαρακτήρα, ή και για λόγους μικρότερου κόστους μεταφοράς, εις βάρος όμως της αξιοπιστίας, χρησιμοποιούνται γραμμές διπλού κυκλώματος, στις οποίες δύο ανεξάρτητα τριφασικά κυκλώματα φέρονται σε κοινούς πυλώνες .

### **4.3.Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας**

Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω των οποίων αυτή φτάνει έως τους καταναλωτές και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης, οι οποίοι τις συνδέουν με το σύστημα μεταφοράς.

Τα Δίκτυα Διανομής (Δ.Δ.) φθάνουν μέχρι το μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας. Μετά το μετρητή της αρχίζει η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση, που περιλαμβάνει το εσωτερικό δίκτυο διανομής και τις συσκευές κατανάλωσης.

Η κατασκευαστική διαμόρφωση των δικτύων διανομής συνδέεται άμεσα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά δόμησης των πόλεων και, γενικότερα, του τρόπου χωροταξικής διαμόρφωσης κάθε χώρας. Αυτό διαπιστώνεται και από το γεγονός ότι τα δίκτυα διανομής κάθε χώρας έχουν κατά γενικό κανόνα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, σε αντίθεση με τα δίκτυα μεταφοράς που είναι διεθνώς όμοια. Τα δίκτυα διανομής διακρίνονται γενικά, ανάλογα με την τάση, σε δίκτυα υψηλής τάσης (35-150kV), δίκτυα μέσης τάσης (1-35kV) και δίκτυα χαμηλής τάσης (100-1000V). Οι αναφερόμενες τάσεις είναι οι πολικές (μεταξύ φάσεων) τριφασικού συστήματος. Ανάλογα με την κατασκευαστική τους διαμόρφωση, τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε εναέρια και σε υπόγεια. Πλεονέκτημα των εναέριων δικτύων έναντι

των υπογείων είναι ότι είναι λιγότερο δαπανηρά και η αποκατάσταση των βλαβών ταχύτερη . Στην Ελλάδα τα δίκτυα μέσης τάσης είναι 20kV (και 15kV).

Οι χρησιμοποιούμενοι στύλοι είναι συνήθως ξύλινοι. Υπάρχουν επίσης τσιμεντένιοι στύλοι και, σπανιότερα χρησιμοποιούνται και μεταλλικοί. Οι χρησιμοποιούμενοι αγωγοί είναι συνήθως στη χαμηλή τάση από αλουμίνιο, και στη μέση τάση από αλουμίνιο με χαλύβδινη ψυχή (αγωγοί ACSR). Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν αγωγοί χαλκού, σήμερα όμως η χρήση τους περιορίζεται σε περιοχές έντονης διάβρωσης. Τα τελευταία χρόνια, οι εναέριες γραμμές χαμηλής τάσης κατασκευάζονται, σε ολοένα αυξανόμενο ποσοστό, με μονωμένους αγωγούς (τα λεγόμενα συνεστραμμένα καλώδια), με τάση κατάργησης των γυμνών αγωγών. Κατ' αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται η ασφάλεια λειτουργίας.

Στις πυκνοκατοικημένες περιοχές των πόλεων, τα δίκτυα διανομής κατασκευάζονται συνήθως υπόγεια, διότι δεν υπάρχει ο αιτούμενος χώρος, ώστε να τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας από τα κτίρια, αλλά και για λόγους αισθητικής. Η εγκατάσταση των υπόγειων γραμμών γίνεται κατά κανόνα κάτω από τα πεζοδρόμια, μέσα σε κατάλληλα διαμορφωμένα χαντάκια, ώστε να προστατεύονται από μηχανικές καταπονήσεις. Όταν ο χώρος του πεζοδρομίου δεν επαρκεί, η εγκατάσταση γίνεται κάτω από το οδόστρωμα .

#### **4.4. Προστασία συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας**

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να προστατεύεται από τις ανωμαλίες που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία του και κυρίως από τα κάθε είδους βραχυκυκλώματα, από ειδικό σύστημα προστασίας, το οποίο είναι το κυριότερο από τα βοηθητικά συστήματα με τα οποία είναι εφοδιασμένες οι εγκαταστάσεις του. Το σύστημα προστασίας διεγείρεται αυτόματα κατά την εμφάνιση ενός βραχυκυκλώματος και προκαλεί άνοιγμα των πλησιέστερων προς αυτό διακοπών ισχύος, οι οποίοι απομονώνουν το στοιχείο που υπέστη τη βλάβη (γραμμή, μετασχηματιστής, κ.α.) εξουδετερώνοντας το βραχυκύκλωμα με διακοπή της τροφοδότησής του.

Προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων έχουν όλες οι σημαντικές μονάδες του συστήματος, δηλαδή οι μονάδες παραγωγής, οι μετασχηματιστές, οι εναέριες και υπόγειες γραμμές και οι ζυγοί υψηλής τάσεως. Κυριότεροι τύποι προστασίας είναι η προστασία υπερεντάσεως, η προστασία αποστάσεως για τις γραμμές μεταφοράς και η διαφορική προστασία, για τις γεννήτριες, τους μετασχηματιστές και τα καλώδια. Το σύστημα προστασίας περιλαμβάνει ηλεκτρονόμους (relay), οι οποίοι ανιχνεύουν το σφάλμα και ενεργοποιούν εξ αποστάσεως τους διακόπτες ισχύος .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΤΩΣΗ ΚΕΡΑΥΝΩΝ

Ο κεραυνός συμβαίνει κατά τη διάρκεια καταιγίδων, χιονοθύελλων και άλλων φυσικών φαινομένων. Παρόλα αυτά, στις περισσότερες περιοχές, οι καταιγίδες είναι η κύρια αιτία κεραυνών. Οι καταιγίδες προκαλούν κεραυνούς μέσα στο σύννεφο, μεταξύ σύννεφων και ανάμεσα σε σύννεφο και έδαφος. Οι κεραυνοί μέσα στα σύννεφα είναι οι πιο συνηθισμένοι, αλλά ο κεραυνός ανάμεσα σε σύννεφο και έδαφος επηρεάζει τις εναέριες γραμμές διανομής. Κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας προκαλούνται διακοπές ρεύματος από τον άνεμο και τους κεραυνούς. Διακοπές που προκαλούνται από άνεμο, τα δένδρα και κατεστραμμένο εξοπλισμό, κάποιες φορές θεωρούνται αποτέλεσμα κεραυνών. Αυτό κάνει τον αριθμό των διακοπών από κεραυνούς να φαίνεται πλαστά υψηλός.

Στις περισσότερες περιοχές του κόσμου, μία ένδειξη δραστηριότητας κεραυνών μπορεί να αποκτηθεί από κεραυνικά δεδομένα (ημέρες καταιγίδων με κεραυνούς ανά έτος). Ένα παγκόσμιος ισοκεραυνικός χάρτης υπάρχει στο (Σχήμα .2.). Το κεραυνικό επίπεδο είναι μία ένδειξη από τοπική δραστηριότητα κεραυνών που βασίζεται στις μέσες ποσότητες, οι οποίες προκύπτουν από ιστορικά διαθέσιμες εδαφικές παρατηρήσεις. Υπάρχουν και πιο λεπτομερή κεραυνικά δεδομένα ή χάρτες συγκεκριμένων περιοχών του κόσμου. Μια πιο λεπτομερής απεικόνιση της δραστηριότητας των κεραυνών μπορεί να αποκτηθεί από χάρτες για την πυκνότητα πληγμάτων κεραυνών στο έδαφος (GFD) που δημιουργούνται από πληροφορίες που λαμβάνονται μέσω δικτύων εντοπισμού των κεραυνών.

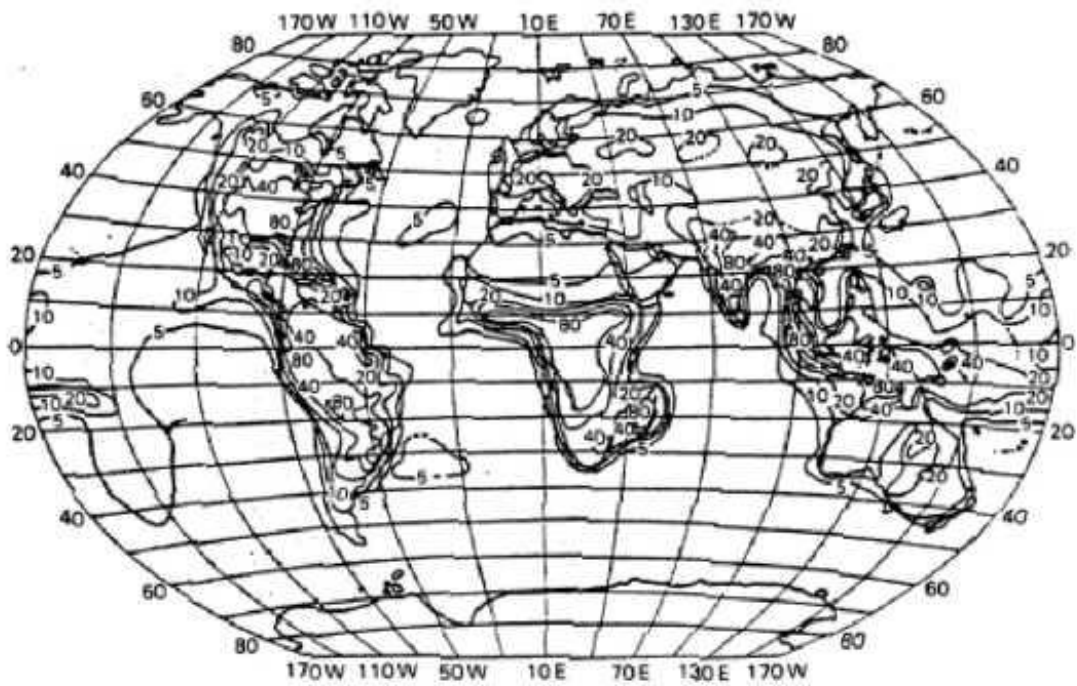
Συστήματα θέσεων κεραυνών και δικτύων μέτρησης των κεραυνών έχουν τοποθετηθεί στην Β. Αμερική και σε άλλα σημεία του κόσμου. Έχοντας αρκετή εμπειρία, αυτά τα δίκτυα μπορούν να παράσχουν λεπτομερείς GFDχάρτες. Οι GFDχάρτες μπορούν να παρέχουν μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ακρίβεια από αυτήν των στοιχείων βροντών. Τα συστήματα θέσης δίνουν επίσης ποσότητες από μετρήσεις, που είναι πιο χρήσιμες και λεπτομερείς από τα κεραυνικά δεδομένα. Εκτός από το να δίνουν την συχνότητα των κεραυνών, τα δίκτυα μπορούν επίσης να παρέχουν την ημερομηνία, την ώρα, την θέση, τον αριθμό των πληγμάτων, την εκτίμηση του ρεύματος του μεγαλύτερου πλήγματος και την πολικότητα.

Σε κάποιες περιοχές του κόσμου, αυτά τα συστήματα έχουν ή πλησιάζουν στο να έχουν αρκετά δεδομένα (τουλάχιστον 7 χρόνων) για σχεδιαστικούς σκοπούς. Οι χάρτες GFD προς το παρόν χρησιμοποιούνται για σχεδιασμό γραμμών διανομής, για τον υπολογισμό βραχυκυκλωμάτων που προκαλούνται από κεραυνούς, και για πολλούς άλλους τύπους αναλύσεων των κεραυνών.

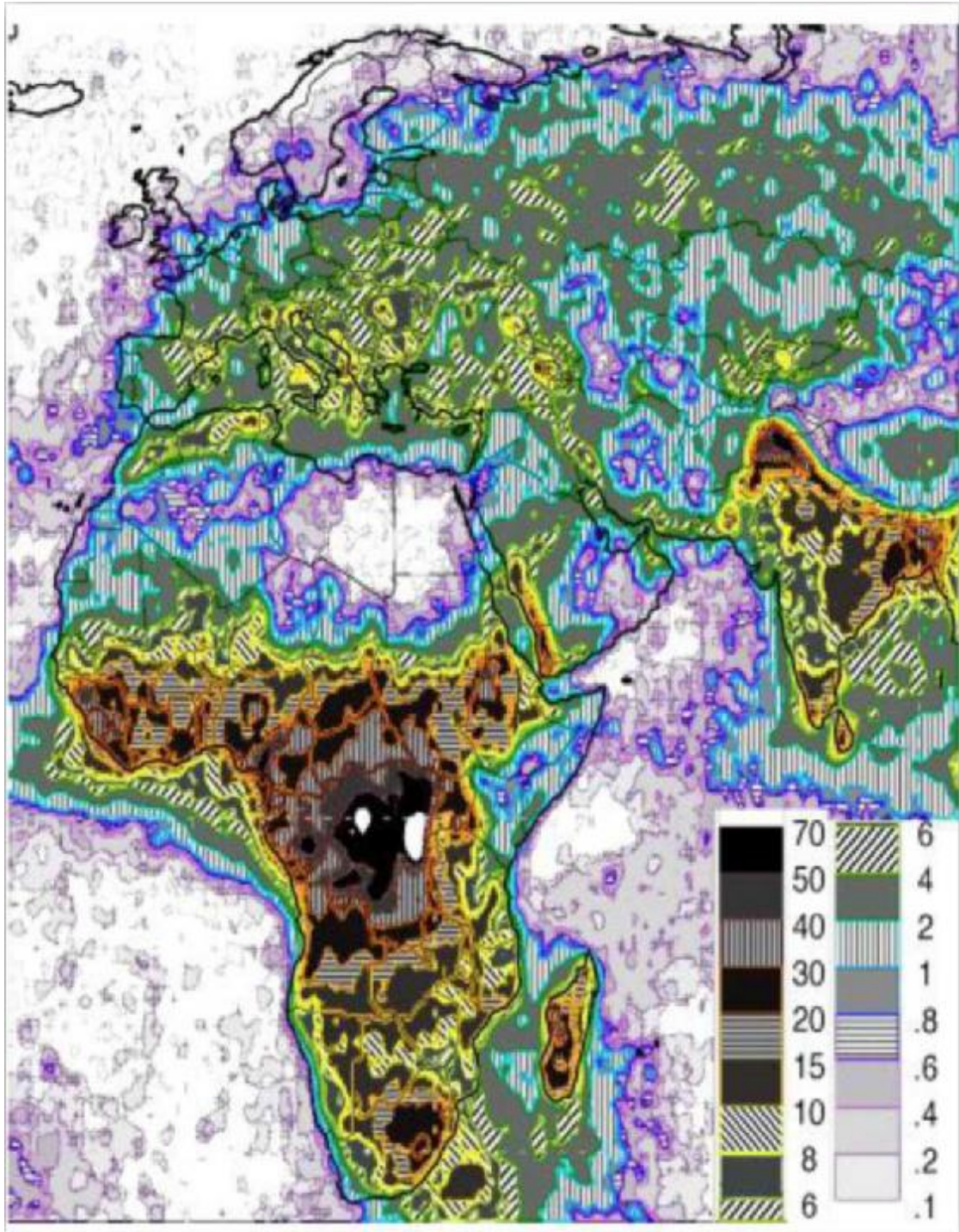
Η αξιοπιστία μιας γραμμής διανομής εξαρτάται από την έκθεσή της στον κεραυνό. Για να προσδιοριστεί η έκθεση, ο μελετητής γραμμών διανομής πρέπει να γνωρίζει τον ετήσιο αριθμό κεραυνών ανά μονάδα περιοχής ανά μονάδα χρόνου. Αυτό το



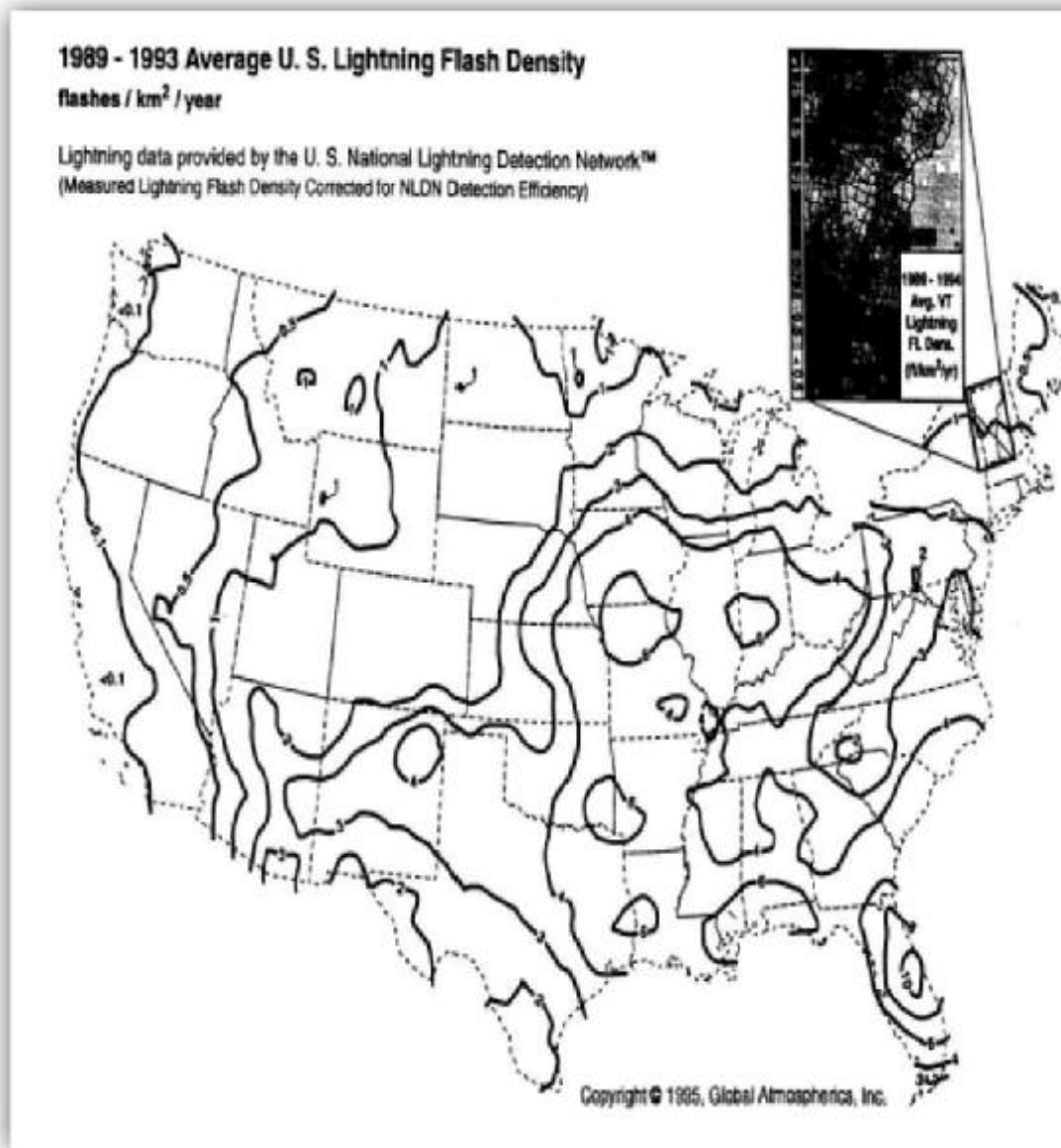
GFD μπορεί να υπολογιστεί με πολλούς τρόπους.



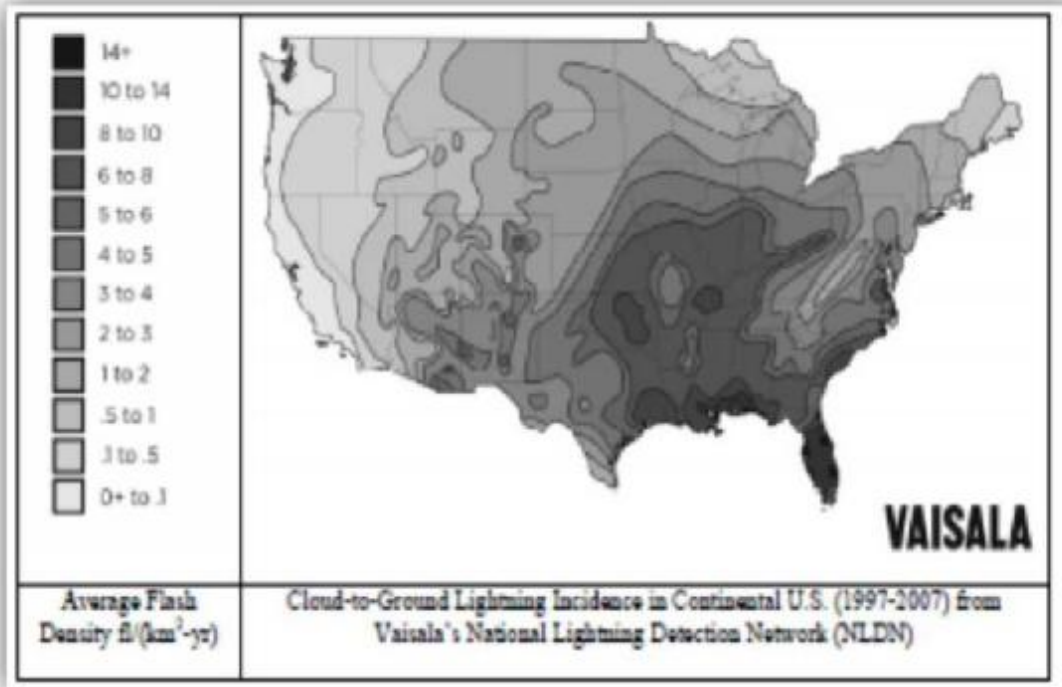
Σχήμα.2. : Παγκόσμιος Ισοθερμικός Χάρτης[IEEE Std1410 - 2010].



Σχήμα .3. Ολική κεραυνική δραστηριότητα (σύννεφου και εδάφους) για Αφρική και Ευρασία [Christianetal.], Nt, ( $\text{km}^2\cdot\text{έτος}^{-1}$ ) [IEEESTd 1410 - 2010].



Σχήμα .4. : Χάρτης GFD1989-1993 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής [IEEEStd1410 - 2010].



**Σχήμα .5.:** Χάρτης GFD1997-2007 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής[VAISALA,NationallightningDetectionNetwork] [IEEEStd 1410 - 2010].

Οι συγκεκριμένοι χάρτες δημιουργούνται από δίκτυα όπως NLDN που παρέχουν χάρτες GFD με μεγαλύτερη ακρίβεια και λεπτομέρειες σε σύγκριση με οτιδήποτε άλλο. Τα συστήματα περιοχών παρέχουν πολλές σημαντικές παραμέτρους εκτός των κεραυνικών δεδομένων όπως ημερομηνία, ώρα, τοποθεσία, αριθμός πληγμάτων, μέγιστο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και εκτίμηση του μεγίστου του ρεύματος από το κεραυνικό πλήγμα.

Το GFD μπορεί να υπολογιστεί από το κεραυνικό επίπεδο:

$$N_g = 0.04 * T_d^{1,25} \text{ [κεραυνοί/km}^2\text{/έτος]} \quad [1]$$

Όπου

$T_d$  = αριθμός των ημερών με κεραυνούς ανά χρόνο

ΧΩΡΑ	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ	ΕΚΦΡΑΣΗ
ΜΕΞΙΚΟ	$Ng=0.024 * Td^{1.12}$	
ΒΡΑΖΙΛΙΑ	$Ng=0.030 * Td^{1.12}$	
ΚΟΛΟΜΒΙΑ	$Ng=0.0017 * Td^{1.56}$	

**Πίνακας .3.** Διαφορετικές εκφράσεις συνάρτησης λόγω τροπικών κλιμάτων σε συγκεκριμένες περιοχές [ Torresetal. ]

Μια εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού για το GFD είναι από τα αρχεία ωρών καταιγίδας :

$$Ng = 0.054 * T_h^{1.1} [2]$$

Επίσης ένας άλλος τρόπος υπολογισμού για το GFD είναι απευθείας από τα στοιχεία των δικτύων εντοπισμού των κεραυνών ή καταγραφείς κεραυνών. Εάν υπάρχουν δεδομένα πολλών ετών, αυτός ο τρόπος έχει το πλεονέκτημα και την ιδιαιτερότητα να αναγνωρίσει διαφοροποιήσεις τοπικά. Σε περιοχές που δεν υπάρχουν δίκτυα εντοπισμού των κεραυνών ή καταγραφείς κεραυνών, η προτεινόμενη εκτίμηση της πυκνότητας των κεραυνών είναι:

$$Ng = Nt/3 \quad [3]$$

**Όπου**

$Nt =$  Ολική πυκνότητα κεραυνών ανά  $km^2$  ανά χρόνο

Κάθε χρόνο υπάρχει διαφοροποίηση των ποσοστών των κεραυνών και των διακοπών ρεύματος σε σύγκριση με άλλα έτη. Η σταθερή απόκλιση για ετήσιες μετρήσεις δραστηριοτήτων κεραυνών βρίσκεται μεταξύ 20% και 50% από το μέσο όρο. Συγκεκριμένα ένας υπολογισμός GFD για μια μικρή περιοχή, 10 x 10 km, έχει μεγαλύτερη σταθερή απόκλιση μεταξύ 30% και 50% από το μέσο όρο ενώ μεγαλύτερες περιοχές, 500 x 500 km, έχουν μικρότερη απόκλιση (20%-25%).

Σε περιοχές με χαμηλά επίπεδα κεραυνικής δραστηριότητας, η σταθερή απόκλιση είναι μεγαλύτερη.

Επομένως χρειάζονται δεδομένα πολλών ετών για γίνει ένας ακριβής υπολογισμός του μέσου όρου. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται δεδομένα για κεραυνούς στο έδαφος μιας μεμονωμένης περιοχής καθώς και για το υπολογισμό των ποσοστών διακοπών από κεραυνούς σε μια γραμμή διανομής από τα στοιχεία διακοπής λειτουργίας.

## 5.1 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά του Κεραυνού

### 5.1.1 ΚΑΝΟΝΙΚΗ-ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Στο Σχήμα .5. παρουσιάζονται περιληπτικά οι παράμετροι κεραυνών για τα πρώτα πλήγματα και η διαφοροποίηση του ρεύματος κορυφής ενός κεραυνού **I<sub>0</sub>** μπορεί να προσεγγιστεί από μια λογαριθμική-κανονική κατανομή. Η συνάρτηση που αντιπροσωπεύει την συγκεκριμένη κατανομή για οποιαδήποτε παράμετρο χείναι:

$$f(x) = \frac{1}{\beta \cdot x \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \quad [4]$$
$$z = \frac{\ln\left(\frac{x}{M}\right)}{\beta}$$

Όπου

- $f(x)$  = πυκνότητα πιθανότητας
- $M$  = η μέση τιμή του  $x$
- $\beta$  = κανονική λογαριθμική απόκλιση

Οι κεραυνοί αποτελούνται από το πρώτο πλήγμα αλλά μπορεί να επακολουθούν και άλλα πλήγματα, με το ίδιο «μονοπάτι» καταλήγοντας στο ίδιο μέρος πάνω στην γραμμή.

Τα πρώτα πλήγματα έχουν την μέγιστη τιμή ρεύματος ενώ τα πλήγματα που επακολουθούν έχουν πιο γρήγορο ρυθμό ανύψωσης ρεύματος όπως φαίνεται και από το σχήμα.



Parameters of log-normal distribution for negative downward flashes				
Parameter	First stroke		Subsequent stroke	
	M, Median	P. logarithmic standard deviation	σ, Median	σ, logarithmic standard deviation
<b>FRONT TIME (μs)</b>				
$t_{50\%}$	5 (51)	0.576	0.75	0.521
$t_{90\%}$	3.51	0.551	0.8	1.013
$t_{95\%}$	2t	0.611	0.10s	0.70S
<b>STEEPNESS (kA/iis)</b>				
Maximum	24.1	0.5fi9	39.fi	0.552
σ at 10%	2.6	0.921	15.fi	1.404
S/O/Ofr 10-iKHf	5.10	0.645	15.4	0.941
Siiiipo 30-90Φ4	7.2	c.ez:	20.1	0.9S7
<b>CREST CURRENT (kA)</b>				
h initial	27.7	0.461	11.3	0.530
IE final	11.	0.434	12.3	0.530
P-ario. I/If	<L9	0.230	0.9	0.207
<b>OTHER RELEVANT PARAMETERS</b>				
Taj] Tune to Half Value	77.5	0.577	30.2	0.533
Number of strokes per flash	1	0	2 A	0.5i based 01
Stroke CbugE, Q (Coulomb)	4.65	0.3İ2	0.91E	0.5S2
iTdfstkA^)	0.057	1.371	0.0055	13»
Imer-stioke interval (zus)	—	—	35	l.oas

**Πίνακας.4.** CIGRE Working Group 33.01, παράμετροι του ρεύματος του κεραυνού [IEEE Std 1410 - 2010].

Για να υπολογίσουμε με ένα απλό τρόπο την πιθανολογική κατανομή των κορυφαίων τιμών ρεύματος χρησιμοποιούμε την παρακάτω συνάρτηση [Anderson] που μας δίνει την πιθανότητα το μέγιστο ρεύμα του κεραυνού  $I_0$  να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από μια συγκεκριμένη τιμή  $i_0$  [kA]:

$$P(I_0 \geq i_0) = 1 / (1 + (i_0/31)^{2.6}) [5]$$

Όπου

- $P(I_0 > i_0)$  = η πιθανότητα ότι το πρώτο πλήγμα που επιστρέφει να έχει μέγιστη τιμή ρεύματος  $I_0$  που υπερβαίνει  $i_0$ .
- $i_0$  = η μέγιστη τιμή ρεύματος του πρώτου πλήγματος που επιστρέφει.

Όταν η μέση μέγιστη τιμή ρεύματος του πρώτου πλήγματος kA, χρησιμοποιηθεί για ισοστην εξίσωση [5], τότε η πιθανότητα της μέγιστης τιμής ρεύματος του κεραυνού  $I_{0p}$  υπερβαίνει το μέσο είναι περίπου 0.5. Η εξίσωση εφαρμόζεται για τιμές  $I_{0p}$  μικρότερες των 200kA [Borghetti et al.].

Η διανομή της μέγιστης τιμής των επακόλουθων πληγμάτων υπολογίζεται από [IEEE Std 1243-1997]:

$$P(I_{0p} > i_0) = 1 / (1 + (i_0 / 12)^{2.7}) \quad [6]$$

Όταν η μέση μέγιστη τιμή ρεύματος των επακόλουθων πληγμάτων από το Πίνακα 4.12.3 kA, χρησιμοποιηθεί για ισοστην εξίσωση [6], τότε η πιθανότητα της μέγιστης τιμής ρεύματος του κεραυνού  $I_{0p}$  υπερβαίνει το μέσο είναι περίπου 0.5. Γενικά όλα τα σφάλματα στην προστασία καταλήγουν σε βραχυκυκλώματα στην μόνωση ανεξαρτήτως του χαμηλού επιπέδου της μέγιστης τιμής ρεύματος ή της απόστασης του πλήγματος.

#### 5.1.1.1. Συμπεριφορά Εναέριων Γραμμών Διανομής σε Περίπτωση Κεραυνού

Αυτό το τμήμα περιγράφει πώς να υπολογίσει κανείς τον αριθμό των άμεσων και επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων σε κυκλώματα διανομής. Οι κεραυνοί μπορεί να ευθύνονται για πολλές διακοπές ρεύματος σε γραμμές διανομής. Ο κεραυνός μπορεί να προκαλέσει βραχυκυκλώματα από:

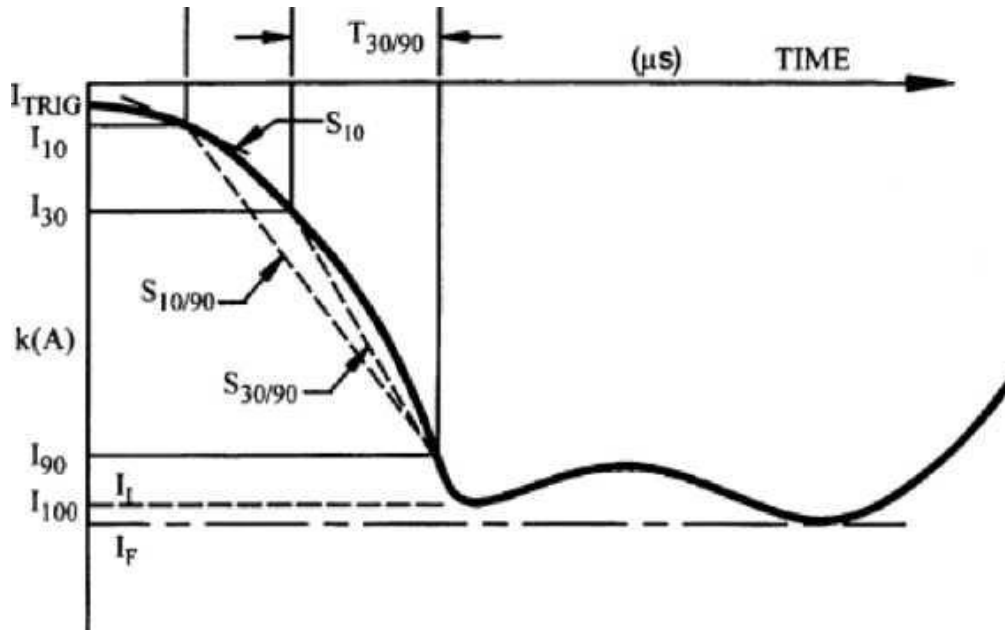
α) Άμεσα πλήγματα

β) Μεταβολή τάσης από κοντινά πλήγματα

Απευθείας κεραυνός σε γραμμές διανομής ενέργειας προκαλεί βραχυκυκλώματα στις μονώσεις στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Για παράδειγμα, ένα πλήγμα 10 kA θα μπορούσε να παράγει μία υπέρταση περίπου 2000 kV, πέρα από τα επίπεδα μόνωσης των εναέριων γραμμών διανομής ονομαστικής τάσης 69 kV. Παρόλα αυτά, η εμπειρία και οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι πολλές από τις διακοπές λειτουργίας, που σχετίζονται με κεραυνούς, σε γραμμές με μικρή μόνωση οφείλονται στον κεραυνό που πέφτει στο έδαφος κοντά στην γραμμή. Οι περισσότερες τάσεις που προκαλούνται σε μια γραμμή διανομής από εκκενώσεις κεραυνών που καταλήγουν κοντά στην γραμμή είναι μικρότερες από 300 kV. Οι κεραυνοί μπορούν να συγκεντρωθούν από ψηλότερα αντικείμενα, και έτσι το ύψος και η απόσταση από



την γραμμή διανομής των προστατευτικών αντικειμένων, όπως τα δέντρα και τα κτίρια, θα επηρεάσουν την συμπεριφορά της γραμμής σε περίπτωση κεραυνού.



Σχήμα .6. Περιγραφή των παραμέτρων των κεραυνών σε σχήμα κύματο

### 5.1.2. Πλήγματα Κεραυνών σε Εναέριες Γραμμές

Η αξιοπιστία μια γραμμής διανομής εξαρτάται από τον κεραυνό ειδικότερα εάν οι πόλοι της είναι σε υψηλότερα σημεία από την περιβάλλουσα τοποθεσία.

Από την παρακάτω εξίσωση [Eriksson] υπολογίζεται το ποσοστό των κεραυνών  $N$  που πλήττουν μια ανοιχτή περιοχή :

$$N = Ng(28 * h^{0.6} + b/10) [7]$$

Όπου

- $h$  = ύψος του πόλου, m

- $b$  = το πλάτος της κατασκευής,  $m$  (για τις περισσότερες γραμμές διανομής είναι αμελητέο)
- $N_g$  = πυκνότητα των κεραυνών, κεραυνοί/ $km^2$ /έτος
- $N$  = κεραυνοί/ $100 km^2$ /έτος

Εάν το ύψος του στύλου αυξηθεί κατά 20%, τότε το ποσοστό των κεραυνών στις εναέρια γραμμή διανομής θα αυξηθεί κατά 12%. Η έκθεση της γραμμής διανομής στο κεραυνικό πλήγμα εξαρτάται από το πόσο προεξέχουν οι κατασκευές πάνω από την γύρω περιοχή. Τα φυσικά στοιχεία όπως τα βουνά, δέντρα δρουν σαν προστασία από πλήγματα από κεραυνούς για τις γραμμές διανομής. Επομένως ο παράγοντας προστασίας  $S_f$ , ορίζεται ως το τμήμα ανά μονάδα των γραμμών διανομής που προστατεύεται από κοντινά στοιχεία. Ο αριθμός των κεραυνικών πληγμάτων είναι :

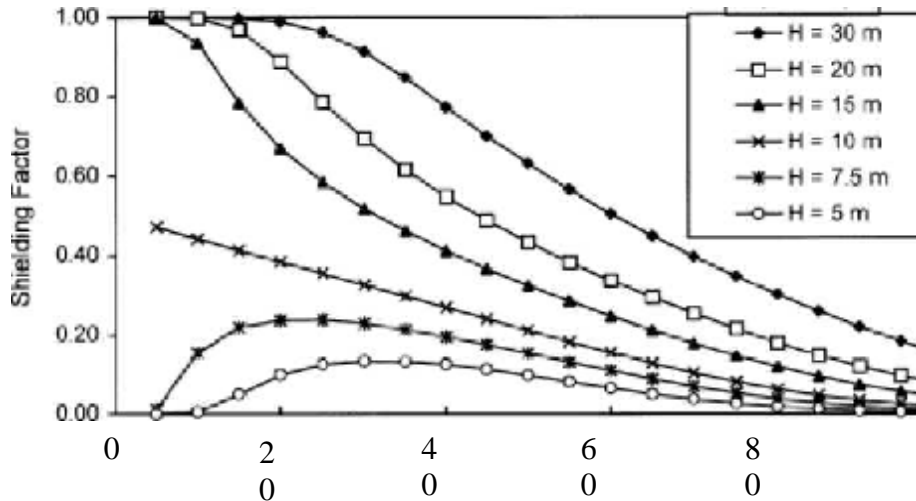
$$N = N(1 - S_f)^2 [8]$$

Όπου

- $N_s$  = αριθμός των κεραυνών που συλλέγεται από μια προστατευμένη γραμμή (κεραυνοί/ $100 km$ /έτος)
- $N$  = ποσοστό κεραυνών σε μια γραμμή σε ανοιχτό έδαφος (κεραυνοί/ $100 km$ /έτος)
- $S_f$  = παράγοντας προστασίας του περιβάλλοντος

Ένας παράγοντας θωράκισης, 0.0, σημαίνει ότι η γραμμή διανομής είναι σε ανοιχτό χώρο χωρίς προστασία από κοντινές κατασκευές, ενώ ο παράγοντας θωράκισης, 1.0, σημαίνει ότι η γραμμή διανομής είναι πλήρως καλυμμένη από έμμεσα πλήγματα κεραυνών.

Το Σχήμα .7. παρουσιάζει ένα τρόπο υπολογισμού του παράγοντα θωράκισης για μια γραμμή διανομής ύψους 10m ,όπου υποθέτουμε ότι τα αντικείμενα βρίσκονται μια ευθεία παράλληλη προς την γραμμή διανομής(μια σειρά από δέντρα ή κτιρίων).



**Σχήμα.7.** Παράγοντες θωράκισης λόγω κοντινών αντικειμένων σε διαφορετικά ύψηγια γραμμή διανομής 10 m

Το συγκεκριμένο σχήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τις δυο πλευρές της γραμμής διανομής, εφόσον ο παράγοντας θωράκισης από δεξιά και αριστερά προστεθούν. Παραδείγματος χάρη , έστω μια γραμμή διανομής 10 m με μια σειρά από κτίρια ύψους 7.5m, 30m από την αριστερή πλευρά της γραμμής διανομής(  $S_{LEFT}=0.23$  ) και μια σειρά από κτίρια ύψους 15m,40m από την δεξιά πλευρά της γραμμής διανομής(  $S_{RIGHT}=0.4$  ).

Η πυκνότητα κεραυνών, GFD, είναι 1 κεραυνός/ $km^2/έτος$  και χρησιμοποιώντας την Εξίσωση [7] ,ο αριθμός άμεσων πληγμάτων στην εναέρια γραμμή διανομής σε ανοιχτό έδαφος είναι 11.15 κεραυνοί/100 km/έτος.

Ο αριθμός των έμμεσων κεραυνικών πληγμάτων δεδομένου των προηγούμενων στοιχείων θα μειωνόταν σε :

$$N_s = N \cdot [1 - (S_{LEFT} + S_{RIGHT})] =$$

$$(11.15 \text{ κεραυνοί} / 100 \text{ km} / \text{έτος}) * [1 - (0,23 + 0,4)] = \quad [9]$$

4,12 κεραυνοί /100km/ έτος

Όλα τα απευθείας κεραυνικά πλήγματα θα προκαλέσουν βραχυκυκλώματα στην γραμμή ανεξαρτήτως του επιπέδου μόνωσης ή διαστήματος αγωγών εκτός εάν η μόνωση της γραμμής διανομής προστατεύεται από αγωγό προστασίας.

## 5.2. Βραχυκυκλώματα από επαγόμενη τάση

Η θεωρία του Rusck εξηγεί ότι η μέγιστη τάση που προκαλείται σε μια γραμμή μεταφοράς ενέργειας στο πιο κοντινό σημείο του πλήγματος πάνω στην γραμμή υπολογίζεται από :

$$V_{max}=38.8*(I_0*h_a)/y[10]$$

Όπου

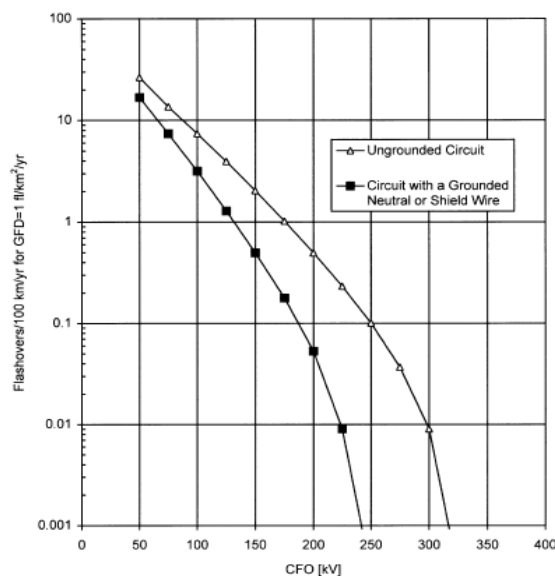
- $I_0$  = μέγιστη τιμή ρεύματος του κεραυνού
- $h_a$  = μέσο ύψος της γραμμής πάνω από το επίπεδο του εδάφους
- $y$  = η πιο κοντινή απόσταση ανάμεσα στο κεραυνικό πλήγμα και την γραμμή

Η παραπάνω εξίσωση χρησιμοποιείται για ένα απείρως μακρύ ,μονό αγωγό πάνω από ένα τέλεια αγώγιμο έδαφος. Ένας εναέριος αγωγός προστασίας ή ένας γειωμένος ουδέτερος αγωγός θα μειώσει την τάση στην μόνωση έως ένα σημείο που εξαρτάται από την γείωση και την απόσταση του γειωμένου αγωγού από τους αγωγούς φάσης (0.6 - 0.9).

Όταν τα επίπεδα της μόνωσης βρίσκονται σε χαμηλό επίπεδο το ποσοστό των βραχυκυκλωμάτων από επαγόμενη τάση αυξάνεται σημαντικά. Στο Σχήμα .8. παρουσιάζεται η συχνότητα των βραχυκυκλωμάτων ως συνάρτηση της κρίσιμης τάσης διάσπασης (CFO) μιας γραμμής σε δυο διατάξεις γείωσης.

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα η μια γραμμή αντιπροσωπεύει ένα μη- γειωμένο κύκλωμα που δεν έχει ούτε ουδέτερο ούτε αγωγό προστασίας ενώ η άλλη γραμμή αντιπροσωπεύει ένα γειωμένο κύκλωμα με γειωμένο ουδέτερο αγωγό ή εναέριο αγωγό προστασίας. Η γείωση στο αγωγό , για μια δεδομένη τιμή CFO, μειώνει την τάση που εμφανίζεται στη μόνωση που έχει ως απόρροια λιγότερα βραχυκυκλώματα.

Κατασκευές με κοινή γείωση και μη-μειωμένες κατασκευές έχουν μεγαλύτερο CFO σε σύγκριση με μια κατασκευή πολλαπλής γείωσης λόγω απουσίας του γειωμένου ουδέτερου αγωγού.



**Σχήμα .8.** Αριθμός βραχυκυκλωμάτων από επαγόμενη τάση έναντι του επιπέδου μόνωσης της γραμμής διανομής

Τα αποτελέσματα του Σχήματος δαναφέρονται σε γραμμή ανοιχτού εδάφους χωρίς προστασία από δέντρα ή κτίρια που έχει άμεση επιρροή στο αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων. Επομένως για μια γραμμή διανομής ύψους 10 m σε ανοιχτό έδαφος με GFD= 1 κεραυνό/km<sup>2</sup>/έτος από την εξίσωση [5] :

$$N=N_g*(28*h^{0.6}+b/10)$$

Έχουμε μια προσέγγιση της τάξεως των 11 κεραυνών/100 km/έτος λόγω των άμεσων πληγμάτων ενώ οι επαγόμενες τάσεις θα δημιουργήσουν πρόβλημα όταν υπάρχουν χαμηλά επίπεδα μόνωσης στις γραμμές. Εάν το CFO είναι λιγότερο από 75kV σε ένα μη-γειωμένο δίκτυο, τα επαγόμενα βραχυκυκλώματα θα είναι πολύ περισσότερα από

τα αντίστοιχα άμεσα. Σε περίπτωση που το CFO αυξηθεί σε 300 kV ή περισσότερο περιορίζεται ο αριθμός των βραχυκυκλωμάτων αρκετά.

Επιπλέον σε μεγάλη πλειοψηφία των γραμμών διανομής έχουν τοποθετηθεί αλεξικέραυνα στους μετασχηματιστές που έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της επαγόμενης τάσης από κεραυνικό πλήγμα που όμως επηρεάζει σε μικρό βαθμό σε αγροτικά και αστικά κέντρα.

### 5.3. Βραχυκυκλώματα από Απευθείας Κεραυνικά Πλήγματα

Οι επιδράσεις των ατελειών εδάφους και του φαινομένου Corona έχουν μικρή επιρροή στην κυματική αντίσταση του αγωγού φάσεως, που απορρέει σε αλλαγές μικρότερες του 30% της τιμής. Εκτός εάν η μόνωση της γραμμής διανομής έχει αγωγό προστασίας (OHGW) ή αλεξικέραυνα, περισσότερο από 99% των απευθείας πληγμάτων θα καταλήξουν σε βραχυκυκλώματα της γραμμής διανομής ανεξαρτήτως του επιπέδου μόνωσης, των διαστημάτων των αγωγών ή της γείωσης.

Η κυματική αντίσταση ενός μονού καλωδίου πάνω από το επίπεδο εδάφους είναι:

$$Z_0 = 60 \cdot \ln \left( \frac{2000 \cdot h}{r} \right)$$

Όπου

- $Z_0$  = κυματική αντίσταση ( $\Omega$ )
- $h$  = ύψος του αγωγού από το επίπεδο του εδάφους (m) [11]
- $r$  = ακτίνα του αγωγού (m)

Η κυματική αντίσταση ενός αγωγού που τροφοδοτείται από την μέση έχει το μισό της τιμής αυτής, και το ρεύμα του κεραυνού θα χωριστεί ισομερώς για κάθε μονοπάτι πάνω από το έδαφος. Ένας απροστάτευτος αγωγός φάσεως με ακτίνα  $r = 10$  mm και ύψος  $h = 10$  m σε τέλειο έδαφος έχει αντίσταση των 456  $\Omega$  από την μια άκρη ή 228  $\Omega$  σε μια κανονική περίπτωση για απευθείας κεραυνικό πλήγμα που καταλήγει κάπου πάνω στην γραμμή.

## ΚΑΕΦΑΛΑΙΟ 6. Επίπεδο Μόνωσης Γραμμών Διανομής

Αυτή η οδηγία είναι μια προσπάθεια για να βοηθηθεί ο μηχανικός του συστήματος διανομής στο να βελτιώσει την μόνωση από κεραυνό των εναέριων γραμμών διανομής. Οι περισσότερες εναέριες κατασκευές χρησιμοποιούν περισσότερους από έναν τύπους μονωτικών υλικών για προστασία από κεραυνό.

Τα πιο συνηθισμένα μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές εναέριων γραμμών διανομής είναι η πορσελάνη, ο αέρας, το ξύλο, τα πολυμερή και το fiberglass. Το κάθε στοιχείο έχει την δική του μονωτική ισχύ. Όταν τα μονωτικά υλικά χρησιμοποιούνται στη σειρά, το επίπεδο μόνωσης που προκύπτει δεν είναι το άθροισμα των επιπέδων που σχετίζονται με το κάθε συστατικό, αλλά κάτι λιγότερο από αυτήν την τιμή.

Οι ακόλουθοι παράγοντες επηρεάζουν τα επίπεδα βραχυκυκλωμάτων από κεραυνό στις γραμμές διανομής και καθιστούν δύσκολη την εκτίμηση για το επίπεδο της τελικής μόνωσης:

α) Ατμοσφαιρικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων της πυκνότητας του αέρα, της υγρασίας, της βροχόπτωσης και της ατμοσφαιρικής μόλυνσης.

β) Η πολικότητα και ο ρυθμός ανόδου της τάσης.

γ) Φυσικοί παράγοντες όπως το σχήμα του μονωτήρα, το σχήμα του μεταλλικού υλικού, και η διαμόρφωση του μονωτήρα (που τοποθετείται κάθετα, οριζόντια ή με κάποια γωνία).

Εάν το ξύλο είναι στην πορεία εκφόρτισης του πλήγματος του κεραυνού, το αποτέλεσμα του πλήγματος στην ισχύ της μόνωσης μπορεί να είναι σχετικά ποικίλο, εξαρτώμενο κυρίως από την υγρασία επάνω στην επιφάνεια του ξύλου. Η ισχύς της μόνωσης εξαρτάται σε μικρότερο βαθμό από τις φυσικές διαστάσεις του ξύλου.

Παρόλο που ο μελετητής- μηχανικός μπορεί να είναι περισσότερο εξοικειωμένος με το βασικό επίπεδο μόνωσης έναντι κεραυνών (BIL) ενός δεδομένου συνδυασμού μονωτικών υλικών, το αποτέλεσμα αυτής της οδηγίας δίνεται με βάση το CFOαυτών των συνδυασμών. Το CFOπροσδιορίζεται από το επίπεδο τάσης στο οποίο στατιστικά υπάρχει 50% πιθανότητα για βραχυκύκλωμα και 50% πιθανότητα αντοχής-αντίστασης. Αυτή η τιμή προσδιορίζεται σε εργαστηριακές συνθήκες. Εάν υποθεθεί μια Gaussianδιανομή δεδομένων βραχυκυκλώματος, τότε κάθε συγκεκριμένη πιθανότητα αντίστασης μπορεί να υπολογιστεί στατιστικά από την τιμή CFOκαι την σταθερή απόκλιση.

Καθώς γίνονταν διαθέσιμα τα εργαστηριακά δεδομένα, μελετήθηκαν διάφορες

μέθοδοι στην προσπάθεια να αναπτυχθεί μια διαδικασία για τον προσδιορισμό του αναμενόμενου CFO ενός συγκεκριμένου συνδυασμού από μονωτικά υλικά. Η προσέγγιση «επιπρόσθετη αντοχή μόνωσης» μπορεί να είναι η πιο πρακτική.

Αυτή η μέθοδος υιοθετήθηκε από μια παρόμοια διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε νωρίτερα στο σχεδιασμό των γραμμών μεταφοράς, αλλά έχει επεκταθεί στην εφαρμογή της σε πολλά μονωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή γραμμών διανομής. Χρησιμοποιεί το CFO του βασικού ή πρωτεύοντος μονωτικού υλικού και προσθέτει σε αυτήν την τιμή την αύξηση του CFO που προσφέρεται από ένα επιπλέον υλικό (έχοντας υπόψη ότι η επιπλέον μονωτική ισχύς είναι πάντα μικρότερη από αυτή που έχει μόνο το στοιχείο που προστίθεται).

### **6.1.CFO Τάση της Συνδυασμένης Μόνωσης**

Από πολύ νωρίς, οι ηλεκτρολόγοι μηχανικοί έχουν κατασκευάσει γραμμές διανομής χρησιμοποιώντας ξύλινους βραχίονες και πόλους σε σειρά με βασικούς μονωτήρες για να αυξήσουν την ισχύ της μόνωσης των γραμμών διανομής ενάντια του κεραυνού. Στις αρχές του 1930, σε μια σειρά μελετών παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν όταν μονωτήρες δοκιμάστηκαν σε συνδυασμό με ξύλο. Προκύπτει ένα ζήτημα για το πόση επιπλέον μόνωση έναντι της τάσης του κεραυνού προέκυπτε στην αρχική μόνωση (τον μονωτήρα).

Ένα μέρος της απάντησης προέκυψε μέσα από την έρευνα σε πολλά εργαστήρια, και κάποια αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν το 1940 και το 1950. Μια γενική περίληψη προηγούμενων εργασιών πάνω στο CFO παρουσιάστηκε στην AIEECommitteeReport του 1950 και μια εκτενής αναφορά το 1956.

Παρόλα αυτά, αυτά τα αποτελέσματα εφαρμόστηκαν περισσότερο στην κατασκευή γραμμών μεταφοράς και όχι σε γραμμές διανομής. Στις εναέριες γραμμές διανομής, η πιο αδύναμη μόνωση γενικά τοποθετείται σε μια πολική κατασκευή και όχι ανάμεσα στους αγωγούς μέσω του αέρα.

Πιο πρόσφατα, η έρευνα συνεχίστηκε σε πολυ-διηλεκτρικούς συνδυασμούς που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι έρευνες αφορούσαν στις γραμμές διανομής και μεταφοράς και στο βαθμό αντοχής του ξύλου, όταν αυτό εκτίθεται σε κεραυνό, σε κρουστικές τάσεις χειρισμών και σε κρουστικές τάσεις με απότομο μέτωπο. Πρόσφατα, στις γραμμές διανομής χρησιμοποιούνται οι μονωτήρες πολυμερών και οι βραχίονες από fiberglass.

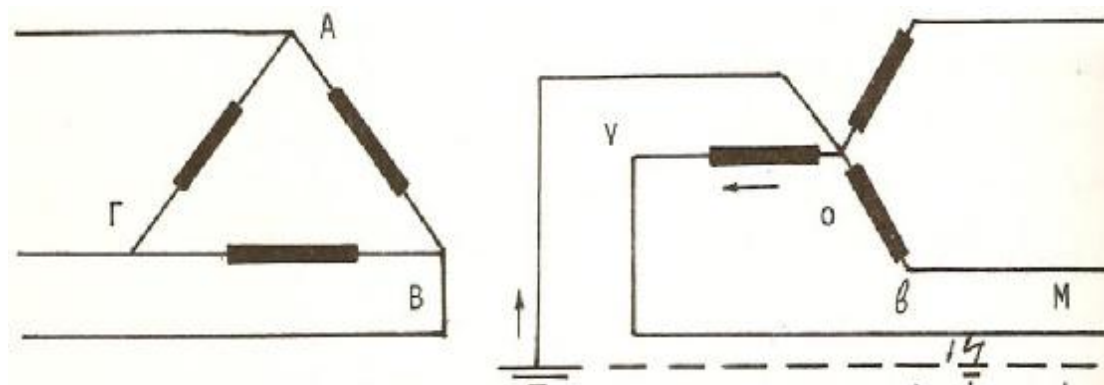


### 6.1.1. Τρόποι γείωσης στα δίκτυα διανομής (20kV, 15kV)

Στα εναέρια δίκτυα διανομής έχουμε τους τρεις κάτωθι τρόπους γείωσης :

#### α) Γείωση του ουδέτερου κόμβου στα δίκτυα υψηλής τάσης

Οι μετασχηματιστές που τροφοδοτούν τα δίκτυα διανομής (π.χ. 20kV/ 400V, 240V) έχουν το δευτερεύον τύλιγμά τους, δηλαδή τα 400V, συνδεδεμένο σε αστέρα και ο ουδέτερος κόμβος συνδέεται αγωγία με τη γη (σχήμα .9.). Η γείωση αυτή βοηθά ώστε όταν γίνει ένα σφάλμα (π.χ. στο σημείο Μ του δικτύου) η ένταση του ρεύματος του σφάλματος να βρίσκει εύκολο δρόμο επιστροφής. Η ένταση του ρεύματος παίρνει μεγάλη τιμή οπότε επεμβαίνει το όργανο προστασίας του δικτύου (η ασφάλεια χαμηλής τάσης) και διακόπτει την τροφοδότηση της γραμμής. Αυτή είναι η λειτουργία της γείωσης προστασίας. Διευκρινίζεται ότι στα δίκτυα χαμηλής τάσης ο ουδέτερος γειώνεται πάντοτε στην αρχή και στο τέλος της γραμμής και πολλές φορές κάθε 300 μέτρα ή κάθε δεύτερο στύλο. Έτσι ο ουδέτερος είναι καλά γειωμένος και εξασφαλίζεται χαμηλή αντίσταση γείωσης.



Σχήμα .9. Τύλιγμα μετασχηματιστή 20kV/400V

## **β) Γείωση στα αλεξικέραυνα**

Κατά τη διάρκεια των καταιγίδων το ηλεκτροστατικό πεδίο των νεφών αυξάνει, με αποτέλεσμα να δημιουργείται τεράστια διαφορά δυναμικού, τόσο ανάμεσα σε διαφορετικά σύννεφα, όσο κι ανάμεσα σε ένα σύννεφο και το έδαφος. Αυτές οι μεγάλες τάσεις προκαλούν τις αστραπές ανάμεσα στα ίδια τα σύννεφα και τους κεραυνούς ανάμεσα σε ένα νέφος και τη γη. Η μεταφορά του ηλεκτρικού φορτίου ενός νέφους στη γη, ή αντίστροφα, συνοδεύεται από τεράστια λάμψη. Όλο αυτό το φαινόμενο είναι ο κεραυνός. Τα εναέρια δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας δεχόμενα μεγάλες τάσεις και εντάσεις, πολλές φορές καταστρέφονται τόσο από υπερθερμάνσεις, όσο και από διάσπαση των μονωτικών τους. Για αυτό το λόγο τα αλεξικέραυνα γειώνονται για να μπορούν να διοχετεύουν τους κεραυνούς που πέφτουν πάνω στη γραμμή προς τη γη και να προστατεύεται έτσι ο εξοπλισμός της γραμμής

## **γ) Γείωση των μεταλλικών μερών**

Όλα τα μεταλλικά μέρη και κυρίως των υποσταθμών γειώνονται. Επίσης γειώνονται και όλες οι συσκευές κατανάλωσης. Αυτό γίνεται για την περίπτωση βραχυκυκλώματος, ώστε να είναι η τάση των μεταλλικών μερών περίπου όση της γης και να μην κινδυνεύει κανείς όταν έρθει σε επαφή με αυτά κατά την διάρκεια του βραχυκυκλώματος. Οι γειώσεις των μεταλλικών μερών της υψηλής τάσης και της χαμηλής τάσης γίνονται είτε χωριστά, είτε μαζί. Αυτή είναι γείωση προστασία

## **6.2 Κατασκευή των γειώσεων**

Οι τρόποι που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των γειώσεων είναι :

### **α) Γείωση με το δίκτυο ύδρευσης ή τους μανδύες των υπόγειων καλωδίων**

Στις πόλεις υπήρχαν μόνο μεταλλικοί σωλήνες για την ύδρευση και το μεγάλο μήκος τους ήταν ιδανικό ως ηλεκτρόδιο γείωσης. Τα τελευταία χρόνια έχουν εγκατασταθεί πολλά δίκτυα ύδρευσης με πλαστικούς σωλήνες, ενώ μόνο οι κεντρικοί αγωγοί μεγάλης διαμέτρου και οι αγωγοί μεγάλων πιέσεων γίνονται με μεταλλικούς σωλήνες, που κι αυτών η αγωγιμότητα διακόπτεται από τα ενδιάμεσα πλαστικά δίκτυα. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να αποφεύγεται η χρησιμοποίηση του δικτύου ύδρευσης σαν αποκλειστικού μέσου γείωσης.

Στις πόλεις που υπάρχει εκτεταμένο δίκτυο υπόγειων καλωδίων με μολύβδινο μανδύα, συνδέονται οι γειώσεις στους μανδύες αυτούς. Η γείωση στην περίπτωση αυτή γίνεται με αγωγό χάλκινο που συνδέεται με ειδικά κολάρα. Σπάνια, αντί για

αγωγός χαλκού χρησιμοποιείται λάμα χαλύβδινη επιψευδαργυ-ρομένη. Το κολάρο συνήθως στερεώνεται με σύσφιξη και επικασσιτερώνεται. Ποτέ δεν χρησιμοποιούνται για γείωση οι σωλήνες φωταερίου και οι μανδύες των τηλεφωνικών καλωδίων.

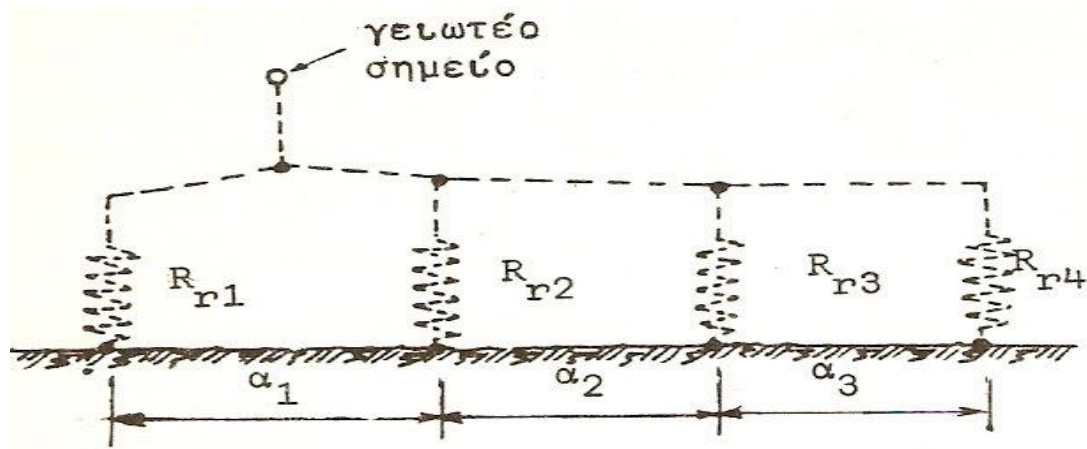
### **β) Τεχνητές γειώσεις**

Οι τεχνητές γειώσεις γίνονται με τη χρήση κατάλληλων ηλεκτροδίων ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη αγωγιμότητα με τη μικρή αντίσταση γείωσης. Ένας τρόπος γείωσης είναι με σωλήνες χαλύβδινους (1 1/2" ή 2"), μήκους από τρία έως πέντε μέτρα. Για να επιτύχουμε την επιθυμητή γείωση σχηματίζονται και τρίγωνα γειώσεων. Άλλος τρόπος είναι να τοποθετηθούν μέσα στο χώμα πλάκες ή πλέγματα χαλκού σε βάθος περίπου 50 cm. Οι πλάκες έχουν συνήθως επιφάνεια 50 cm<sup>2</sup>. Οι αγωγοί γείωσης πρέπει να είναι μονοκόμματοι και να αποφεύγονται οι συνδετήρες, γιατί αποτελούν τα ασθενή σημεία των γειώσεων.

### **6.3 Αντίσταση γειώσεων**

Η αντίσταση γείωσης έχει μεγάλη σημασία για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Έτσι π.χ. όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση γείωσης του ουδέτερου κόμβου ενός μετασχηματιστή, τόσο μικρότερη θα είναι η ένταση μονοφασικού (προς γη) βραχυκυκλώματος, γιατί η αντίσταση γειώσεως παρεμβάλλεται στο κύκλωμα μέσα από το οποίο περνάει η ένταση του σφάλματος. Αντίθετα, όταν γειώνουμε ένα μεταλλικό περίβλημα μιας ηλεκτρικής συσκευής για λόγους ασφάλειας, η αντίσταση γειώσεως πρέπει να έχει χαμηλή τιμή, αλλιώς δεν προστατεύει τους ανθρώπους.

Πολλές φορές για να μειώσουμε την αντίσταση γειώσεως τοποθετούμε πολλές ράβδους ή σύρματα κλπ. γειώσεως. Σε αυτή τη περίπτωση, αν η απόσταση μεταξύ των δύο ή περισσότερων γειώσεων είναι σημαντική, η αντίσταση γειώσεως υπολογίζεται σαν οι δύο ή περισσότερες αντιστάσεις των διαφόρων ηλεκτροδίων να είναι παράλληλες (σχήμα 10). Αυτό βέβαια ισχύει αν οι αποστάσεις  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  είναι μεγάλες, π.χ. για κατακόρυφες ράβδους γειώσεως μήκους δυο μέτρων να είναι  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3 > 20m$ . Αντίθετα αν βάλουμε πολύ κοντά τα ηλεκτρόδια γειώσεως, τότε θα έχουμε μικρή μείωση της αντίστασης γείωσης.



Σχήμα .10. Αποστάσεις των ηλεκτροδίων

Το μεταλλικό πλέγμα κατασκευάζεται από αγωγούς χαλκού ή επιψευδαργυρωμένες χαλύβδινες λάμες. Μεταλλικά πλέγματα κατασκευάζονται συνήθως σε εγκαταστάσεις μέσης και υψηλής τάσης για να αποφευχθεί η λεγόμενη βηματική τάση. Όπως είδαμε παραπάνω η αντίσταση γειώσεως οφείλεται κυρίως στην αντίσταση του χώματος που βρίσκεται γύρω από το ηλεκτρόδιο γειώσεως. Έτσι μέσα σε αυτή την αντίσταση έχουμε μια πτώση τάσης που συνολικά ισούται προς  $U_f$ .

Η διαφορά δυναμικού που παρουσιάζεται μεταξύ δύο σημείων της επιφάνειας του εδάφους λέγεται βηματική τάση, γιατί μπορεί ένας άνθρωπος που βηματίζει εκεί, να βρεθεί σε αυτή την τάση. Όταν λοιπόν έχουμε βηματική τάση επικίνδυνη, εγκαθιστούμε ένα πλέγμα γείωσης και έτσι το έδαφος γίνεται ισοδυναμική επιφάνεια. Πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι η διαφορά δυναμικού αρχίζει να γίνεται επικίνδυνη για τον άνθρωπο όταν ξεπερνάει τα 50 V.

#### 6.4 Πραγματοποίηση γειώσεων στα δίκτυα διανομής και στους υποσταθμούς

Για τη γείωση του ουδέτερου κόμβου και των μεταλλικών περιβλημάτων στους υποσταθμούς που τροφοδοτούν τις γραμμές διανομής χρησιμοποιούμε κυρίως πλέγμα γειώσεως από οριζόντια ηλεκτρόδια. Το πλέγμα αυτό συνήθως πιάνει μεγάλη έκταση και χρησιμεύει και για τη μείωση της αντίστασης γειώσεώς του και για την ελάττωση των βηματικών τάσεων και σαν ισοδυναμική επιφάνεια, ώστε να μην είναι επικίνδυνη η επαφή των μεταλλικών περιβλημάτων των συσκευών του υποσταθμού.

Για τη γείωση του ουδέτερου στα δίκτυα χαμηλής τάσης χρησιμοποιούμε κυρίως, δύο μεθόδους, δηλαδή είτε γείωση σε 2-3 σημεία κάθε γραμμής, είτε σε πάρα πολλά σημεία της π.χ. σε κάθε στύλο. Επίσης στους υποσταθμούς διανομής γειώνουμε τον ουδέτερο κόμβο και τα μεταλλικά μέρη των συσκευών υψηλής και χαμηλής τάσης μαζί, άλλοτε πάλι ξεχωρίζουμε τις γειώσεις σε γείωση ουδέτερου και γείωση μεταλλικών μερών. Στην τελευταία περίπτωση οι δύο γειώσεις πρέπει να απέχουν μεταξύ τους τουλάχιστον 15-20 μέτρα και ο αγωγός που συνδέει τη μια τουλάχιστον γείωση (π.χ. τον ουδέτερο με τα ηλεκτρόδια γειώσεως) να είναι μεμονωμένος. Στους υποσταθμούς διανομής αναγκάζομαστε πολλές φορές (ιδίως σε κτιστούς) να κατασκευάζουμε πλέγμα γειώσεως .

Εφόσον απαιτούνται γειώσεις πρόσθετες, πέρα π.χ. της ίδιας γείωσης που έχει ένας μεταλλικός στύλος, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν γειωτές. Αυτοί είναι:

- Ø πάσσαλοι γείωσης πακτωμένοι κατακόρυφα
- Ø πολλοί παράλληλοι πακτωμένοι πάσσαλοι (τρίγωνα γειώσεως)
- Ø ταινίες γείωσης θαμμένες σε βάθος 0,6-1,0m, όπου το έδαφος δεν ξεραίνεται
- Ø αστέρες γείωσης, ή αλλιώς ακτινικοί γειωτές
- Ø πλέγματα γείωσης, με ανοίγματα τετραγωνικά 5x5m-10x10m

Σε όλους τους γειωτές η αντίσταση είναι ανάλογη της ειδικής αντίστασης του εδάφους ( $\Omega\text{m}$ ). Είναι: από  $\rho=20\Omega\text{m}$  σε υγρό οργανικό έδαφος (Humus), έως  $\rho=3000\Omega\text{m}$  σε βραχώδη εδάφη και χαλίκια. Προκειμένου περί ταινιών, αυτές μπορεί να είναι χάλυβας γαλβανισμένος ελάχιστης διατομής  $100\text{mm}^2$  και ελάχιστου πάχους 3mm, π.χ.  $30\times 4\text{mm}^2$ . Σε πασσάλους γίνεται η χρήση γαλβανισμένων σωλήνων, διαμέτρου 1'' έως 16''. Αντί γαλβανισμένου χάλυβα μπορεί να χρησιμοποιηθεί χαλκός, ελάχιστης διατομής  $50\text{mm}^2$ .

Τα αλεξικέραυνα γειώνονται συνήθως με μια ράβδο ή πλάκα γειώσεως ή με μια σύνδεση σε σωλήνα υδρεύσεως. Τέλος στους πελάτες ακολουθείται είτε το σύστημα της άμεσης γείωσης, είτε το σύστημα της ουδετερώσεως.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι διάφοροι τύποι γειώσεων στα δίκτυα μέσης τάσης και στους εναέριους υποσταθμούς:

#### A) Γείωση μεταλλικών τμημάτων σε δίκτυα μέσης τάσης (M.T.)

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο γείωσης προστασίας που εφαρμόζεται στα δίκτυα χαμηλής τάσης της περιοχής, για τις γειώσεις των μεταλλικών τμημάτων στην πλευρά της μέσης τάσης ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

- α) Στις εναέριες γραμμές μέσης τάσης με ξύλινους στύλους :

Σ' αυτή την περίπτωση τοποθετούνται γειώσεις μόνο στις θέσεις ορισμένων οργάνων ή συσκευών (διακόπτες, αλεξικέραυνα γραμμής, πυκνωτές κ.α.). Κάθε τέτοια γείωση πρέπει να έχει αντίσταση μικρότερη από 40Ω. Η αντίσταση αυτή θεωρείται αρκετή για τη λειτουργία των μέσων προστασίας της μέσης τάσης, στην περίπτωση βλάβης της μόνωσης.

Στην περίπτωση που κάποιο όργανο έχει χειριστήριο ή πίνακα ελέγχου για το χειρισμό του από το έδαφος, η γείωση πρέπει να έχει τη μορφή πλέγματος, κατά τρόπο που να αποκλεισθεί η εμφάνιση επικίνδυνης τάσης επαφής. Το πλέγμα επιβάλλεται διότι θα ήταν πολύ δύσκολο να φτιάξουμε γείωση με αντίσταση μικρότερη από 1Ω. Το χειριστήριο ή το περίβλημα του πίνακα μέσης τάσης πρέπει να συνδέεται αγωγία με το πλέγμα γείωσης. Σε γραμμές μέσης τάσης με ξύλινους στύλους, δεν τοποθετείται αγωγός γης.

β) Στις εναέριες γραμμές μέσης τάσης με τσιμεντένιους στύλους :

Οι στύλοι πρέπει να είναι γειωμένοι και η αντίσταση γείωσης δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 40 Ω. Τούτο γίνεται ώστε σε περίπτωση υπερπήδησης ή διαρροής των μονωτήρων, να λειτουργήσουν τα όργανα προστασίας. Αν η φυσική γείωση του στύλου παραμένει μεγαλύτερη από 40 Ω, απαιτείται η τοποθέτηση αγωγού γης. Ο αγωγός γης που συνδέεται στο σώμα κάθε τσιμεντένιου στύλου, παραλληλίζει τις αντιστάσεις των στύλων και μειώνει σημαντικά την αντίσταση γείωσης. Η πείρα έχει αποδείξει, ότι πολύ σπάνια παρουσιάζεται αντίσταση γείωσης στύλων μεγαλύτερη από 40 Ω, όταν υπάρχει κατά μήκος της γραμμής αγωγός γης. Σ' αυτή τη σπάνια περίπτωση δεν τοποθετείται αγωγός γης και οι στύλοι παραμένουν αγείοι.

Στην περίπτωση που ένας τσιμεντένιος στύλος στη βάση του (στο λάκκο) περιβάλλεται από ομοιογενές έδαφος παρουσιάζει αντίσταση μικρότερη κατά 35% από εκείνη που θα παρουσίαζε ένα τυποποιημένο ηλεκτρόδιο γείωσης. Ένας γειωμένος στύλος (συνδυασμός στύλου-ηλεκτροδίου) παρουσιάζει το 55% της αντίστασης του τυποποιημένου ηλεκτροδίου. Στην πράξη κάθε τσιμεντένιος στύλος υπολογίζεται ότι έχει αντίσταση γείωσης κατά 50% μεγαλύτερη από εκείνη που παρουσιάζει ένα τυποποιημένο ηλεκτρόδιο. Ο συνδυασμός τσιμεντένιου στύλου και ηλεκτροδίου γείωσης υπολογίζεται ότι παρουσιάζει το 80% της αντίστασης ενός τυποποιημένου ηλεκτροδίου γείωσης.

Σε ένα δίκτυο με τσιμεντένιους στύλους και αγωγό γείωσης η ολική αντίσταση του αγωγού γείωσης δίδεται από τη σχέση:

$$R_{o\lambda} = R / \nu$$

όπου  $R$  είναι η αντίσταση γείωσης του ενός στύλου και  $n$  ο αριθμός των τσιμεντένιων στύλων.

γ) Στις εναέριες γραμμές Μ.Τ. με τσιμεντένιους και ξύλινους στύλους :

Σε αυτές τοποθετούμε αγωγό γης για την κάλυψη των αναγκών (σε γείωση) των τσιμεντένιων στύλων. Όταν από τη γραμμή μέσης τάσης τροφοδοτείται μετασχηματιστής που βρίσκεται πάνω σε ξύλινους στύλους, ο αγωγός γης πρέπει να τερματίζεται στο στύλο που βρίσκεται πριν από το μετασχηματιστή, ώστε να μη φθάνει στον υποσταθμό. Όταν ανάμεσα στην εναέρια γραμμή μέσης τάσης και στον υποσταθμό Μ.Τ./Χ.Τ. μεσολαβεί καλώδιο υπόγειο και ο τερματικός στύλος της εναέριας γραμμής είναι ξύλινος, ο αγωγός γης πρέπει να τερματίζεται σε προηγούμενο στύλο.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Προσδιορίζοντας την CFOτάση για κατασκευές με μονώσεις σειράς**

Σύμφωνα με μελέτες όταν προστεθεί 1 mξύλου ή fiberglassαναβαθμίζει κατά 330-500kVστην αντοχή της μόνωσης κατά των κεραυνικών πληγμάτων. Η μόνωση εναλλασσόμενου ρεύματος λαμβάνεται από το μονωτήρα καθώς ο ξύλινος ή fiberglassβραχίονας θεωρείται ως επιπλέον μονωτικό στοιχείο για την τάση του κεραυνού.

Όταν κατά την διαδικασία πορείας του κεραυνικού πλήγματος στο έδαφος δεν συναντά ξύλινο ή fiberglassβραχίονα, αλλά δύο ή περισσότερους μονωτήρες στη σειρά τότε το CFOαυτών των συνδυαστικών μονωτήρων λαμβάνεται από μια σειρά διαφορετικών παραγόντων με ξεχωριστή ανάλυση. Πολλές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τέτοιους συνδυασμούς από μια τεράστια «βιβλιοθήκη».

Βεβαίως η εκτεταμένη μέθοδος πρόσθετων CFOμπορεί να χρησιμοποιηθεί για το υπολογισμό του συνολικού CFOμιας κατασκευής διανομής από:

α ) Προσδιορισμό της συμβολής του κάθε ξεχωριστού στοιχείου μόνωσης στο συνολικό συνδυαστικού CFO

β ) Υπολογισμό του συνολικού συνδυαστικού CFO, έχοντας γνώση της τιμής CFOτων στοιχείων μόνωσης

Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση πινάκων ή καμπυλών πειραματικών δεδομένων,

και την μετέπειτα αξιοποίηση για την συσχέτιση αποτελεσμάτων ενός μονωτικού στοιχείου που προστίθεται σε ένα άλλο. Βασικά στοιχεία της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι τα ενδεικτικά δεδομένα CFO της βασικής μόνωσης καθώς και σε ένα επιπρόσθετο σύνολο δεδομένων.

Όταν εμπλέκονται δύο στοιχεία σε ένα σχηματισμό, το CFO του συνδυασμού είναι μικρότερης κλίμακας από το σύνολο των μεμονωμένων CFO. Η βασική μόνωση θεωρείται ο μονωτήρας. Η συνολική CFO τάση για δύο στοιχεία είναι :

$$CFO_{total} = CFO_{insulator} + CFO_{add.second}$$

Όπου

- $CFO_{total}$  = κρίσιμη τάση βραχυκυκλώματος του κύριου στοιχείου
- $CFO_{add.second}$  = κρίσιμη τάση βραχυκυκλώματος που προστίθεται από το δεύτερο στοιχείο

Ενώ η συνολική κρίσιμη τάση βραχυκυκλώματος για περισσότερα από δυο στοιχεία υπολογίζεται από :

$$CFO_{total} = CFO_{insulator} + CFO_{add.second} + CFO_{add.third} + \dots + CFO_{add.nth}$$

Όπου

- $CFO_{add.third}$  = κρίσιμη τάση βραχυκυκλώματος που προστίθεται από το τρίτο στοιχείο  $CFO_{add.nth}$  = κρίσιμη τάση βραχυκυκλώματος που προστίθεται από το n-οστό στοιχείο



Παρακάτω παρουσιάζονται σε πίνακες οι πιο συχνές τιμές CFO και τα πρόσθετα στοιχεία όπου αναφέρονται σε υγρές συνθήκες. Από εργαστηριακές διαδικασίες ή από τους κατασκευαστές συλλέγονται οι ξηρές συνθήκες που πολλαπλασιάζοντας με ένα συντελεστή 0,8 έχουμε μια εκτίμηση των τιμών CFO υπό υγρές συνθήκες. Οι συντελεστές κυμαίνονται μεταξύ 0,7 - 0,9.

Οι τιμές των παρακάτω πινάκων είναι για επίπεδα υγρού CFO. Επίσης οι τιμές είναι το ελάχιστο των τιμών αρνητικής και θετικής πολικότητας καθώς και για περισσότερες πληροφορίες για τους μονωτήρες πρέπει να διασταυρωθούν με τις ακριβείς τιμές των κατασκευαστών.

CFO <sup>1,2</sup> of Primary Insulation			Added CFO of second component		Added CFO of third component
Description	Type <sup>3</sup>	CFO <sub>ins</sub> (kV)	Description	CFO <sub>add,sec</sub> (kV/m)	Description and CFO <sub>add,third</sub> (kV/m)
Polymer Insulator	15 kV to 35 kV		Wood pole	210	Wood Pole 65 Fiberglass Standoff 200
			Fiberglass pole	410	
Ceramic Pin-Type Insulator	ANSI 55-4 ANSI 55-5 ANSI 55-6	105 120 140	Wood pole	235	
			Wood crossarm	250	
			Fiberglass pole	400	
			Fiberglass crossarm	250	
			Fiberglass standoff	315	
Vertical Ceramic Insulator String	1x102mm 2x102mm 3x102 mm (4")	75 165 250	Wood pole	90	
			Wood crossarm	160	
			Fiberglass crossarm	250	
			Fiberglass standoff	315	
Horizontal Ceramic Insulator String	1x102mm 2x102mm 3x102 mm (4")	75 165 250	Wood pole	90	
			Wood crossarm	295	
			Fiberglass crossarm	250	
			Fiberglass standoff	315	
Description	Type	CFO <sub>ins</sub> (kV/m)	Description and CFO <sub>add,sec</sub> (kV/m)		
Wood	Pole	330	Wood Pole 65		
	Crossarm	360	Fiberglass Standoff 200		
Fiberglass	Pole	470			
	Standoff	500			
Air		600			

NOTE 1—All values are CFO levels obtained in standard wet tests.

NOTE 2—Values are the minimum of the negative and positive polarity values.

NOTE 3—Insulators are shown as examples only. Refer to manufacturer's data for more exact values.

**Πίνακας 5.** Κυρία Μόνωση (CFO<sub>insulator</sub>), CFOδεύτερων εξαρτημάτων (CFO<sub>add,second</sub>), CFOτρίτων εξαρτημάτων (CFO<sub>add,third</sub>) [IEEEStd1410 - 2010].

Για εξαρτήματα που δεν περιέχονται στους παραπάνω πίνακες το συνολικό CFO υπολογίζεται με μειώσεις για το δεύτερο και τρίτο εξάρτημα :

$$CFO_{add.second} = 0.45 * CFO_{insulator}$$

$$CFO_{add.third} = 0.20 * CFO_{insulator}$$

Αυτή η μέθοδος έχει ποσοστό σφάλματος  $\pm 20\%$  ενώ πιο ακριβείς μέθοδοι είναι:

1. Εργαστηριακές δοκιμές από κεραυνικό πλήγμα στην κατασκευή κατά από υγρές συνθήκες.
2. Δοκιμές από κεραυνικό πλήγμα κάτω από ξηρές συνθήκες και πολλαπλασιασμός των τιμών με συντελεστή 0,8 για το υπολογισμό του CFO σε υγρές συνθήκες.
3. Χρήση λεπτομερειακών CFOs εξαρτημάτων.
4. Παραπομπή σε άλλα αποτελέσματα από δοκιμές σε κατασκευές διανομής.

## 7.1 Πρακτικά ζητήματα

Εξοπλισμός και υλικό υποστήριξης σε κατασκευές διανομής μπορούν να μειώσουν σημαντικά το CFO. Αυτές οι κατασκευές «αδύναμων-συνδέσεων» (“weak-link”) μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τις υπερπηδήσεις από προκληθείσες τάσεις. Παρακάτω περιγράφονται διάφορες περιπτώσεις.

### 7.1.1. Επίτονα

Τα επίτονα μπορεί να είναι καθοριστικός παράγοντας στην μείωση του CFO μιας κατασκευής. Για μηχανικό πλεονέκτημα, τα επίτονα γενικά προσκολλώνται ψηλά στον πόλο πλησίον των κύριων μονωτικών στοιχείων. Επειδή τα επίτονα παρέχουν διαδρομή προς το έδαφος, η παρουσία τους γενικά θα μειώσει τον σχηματισμό του CFO. Οι μικροί πορσελάνινοι μονωτές επιτόνων που συχνά χρησιμοποιούνται, αποδίδουν πολύ λίγη επιπλέον μόνωση (γενικά λιγότερο από 30kV του CFO).

Ένας μονωτήρας από fiberglass μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αξιόλογο κέρδος στην αντοχή της μόνωσης. Ένας μονωτήρας 50cm από fiberglass έχει CFO περίπου 250kV.

### **7.1.2. Διακοπή στους διακόπτες ασφαλείας**

Η εγκατάσταση διακοπών ασφαλείας είναι το κύριο παράδειγμα για τον απροστάτευτο εξοπλισμό που μπορεί να μειώσει το CFO ενός πόλου. Για συστήματα κατηγορίας 15kV, ο τρόπος εγκατάστασης του διακόπτη μπορεί να έχει 95kVBIL. Ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης του διακόπτη, μπορεί να μειωθεί το CFO ολόκληρης της κατασκευής περίπου στα 95 kV (περίπου, επειδή το BIL κάθε μονωτικού συστήματος είναι πάντα μικρότερο από το CFO αυτού του συστήματος).

Σε ξύλινους πόλους το πρόβλημα των βλαβών στους διακόπτες μπορεί συνήθως να βελτιωθεί με την διεύθυνση της βλάβης έτσι ώστε το υποστήριγμα της σύνδεσης να τοποθετείται μακριά από τους γειωμένους αγωγούς (επίτονα, γειωμένα αγωγοί, και ουδέτεροι αγωγοί). Αυτό επίσης αφορά και διακόπτες και άλλα μέρη εξοπλισμού που δεν προστατεύονται από αλεξικέραυνα.

### **7.1.3. Ύψος ουδέτερου αγωγού**

Σε κάθε γραμμή, το ύψος του ουδέτερου αγωγού μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον εξοπλισμό με τον οποίο συνδέεται. Σε ξύλινους πόλους, όσο πιο κοντά είναι ο ουδέτερος αγωγός στους αγωγούς φάσης, τόσο πιο χαμηλό είναι το CFO.

### **7.1.4. Αγωγή υποστηρίγματα και κατασκευές**

Η χρήση τσιμεντένιων και ασάλινων κατασκευών σε εναέριες γραμμές διανομής αυξάνεται, γεγονός που μειώνει σημαντικά το CFO. Μεταλλικοί βραχίονες και μεταλλικά υλικά χρησιμοποιούνται επίσης σε ξύλινες πολικές κατασκευές. Εάν ένα τέτοιο υλικό είναι γειωμένο, το αποτέλεσμα μπορεί να είναι το ίδιο με αυτό μιας κατασκευής εξ ολοκλήρου από μέταλλο. Σε τέτοιες κατασκευές, το συνολικό CFO παρέχεται από τον μονωτήρα, και μονωτήρες με μεγαλύτερο CFO θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για να αντισταθμίσουν την απώλεια της μόνωσης του ξύλου. Προφανώς, θα πρέπει να γίνονται παραχωρήσεις ανάμεσα στην συμπεριφορά έναντι του κεραυνού και άλλα ζητήματα, όπως ο μηχανικός σχεδιασμός ή η τιμή. Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι υπάρχουν παραχωρήσεις. Ο μελετητής θα πρέπει να γνωρίζει τα αρνητικά αποτελέσματα που μπορεί να έχει το μεταλλικό υλικό στην

συμπεριφορά έναντι του κεραυνού και να προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει αυτά τα αποτελέσματα. Σε ξύλινους πόλους και στο σχεδιασμό βραχιόνων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υποστηρίγματα από ξύλο ή fiberglass για να διατηρηθούν τα καλά επίπεδα μόνωσης.

#### **7.1.5. Πολλαπλά κυκλώματα:**

Πολλαπλά κυκλώματα σε έναν πόλο συχνά προκαλούν μειωμένη μόνωση. Αυστηρά καθορισμένες αποστάσεις φάσεων και λιγότερο ξύλο εν σειρά συνήθως μειώνουν τα επίπεδα μόνωσης. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για γραμμές διανομής που στηρίζονται κάτω από γραμμές μεταφοράς σε ξύλινους πόλους. Οι γραμμές μεταφοράς συχνά έχουν ένα προστατευτικό αγωγό γείωσης σε κάθε πόλο. Ο αγωγός γείωσης μπορεί να μειώσει την μόνωση. Αυτό μπορεί να βελτιωθεί με την απομάκρυνση του γειωμένου αγωγού από τον πόλο με διαχωριστήρες από fiberglass.

#### **7.1.6. Προστατευτικά διάκενα και σύνδεσμοι μονωτήρων**

Η σύνδεση των μονωτήρων γίνεται μερικές φορές για να αποτραπεί η πρόκληση βλάβης από κεραυνικό πλήγμα στους ξύλινους πόλους ή βραχίονες καθώς και αποτροπή φωτιάς στο κορυφή των πόλων. Μια επιπλέον χρησιμότητα των προστατευτικών διακένων είναι να αποτρέπουν καταστροφές από κεραυνούς στα ξύλινα στοιχεία της κατασκευής. Χρησιμοποιήθηκαν στην πράξη από την Rural Utility Service distributions specifications στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1983 αλλά δεν προβλέπεται πλέον. Σε ορισμένα σημεία στο κόσμο χρησιμοποιούνται έναντι των αλεξικέραυνων για την προστασία του εξοπλισμού.

Οι σύνδεσμοι μονωτήρων και τα προστατευτικά διάκενα μειώνουν σημαντικά το CFO της κατασκευής. Βέβαια δεν είναι η βέλτιστη αντιμετώπιση έναντι στη πρόληψη βλάβης σε ξύλινα τμήματα όπως για παράδειγμα οι σύνδεσμοι μονωτήρα- ξύλου στη βάση του μονωτήρα.

Γραμμές με διαχωριστήρες αγωγών: Οι συγκεκριμένες γραμμές είναι εναέριες γραμμές διανομής με μικρά διαχωριστικά διαστήματα. Οι επικαλυμμένοι αγωγοί και διαχωριστήρες (15 - 40cm) που κρέμονται από ένα μεταβιβαστικό αγωγό παρέχουν στήριξη και ικανότητα μόνωσης. Ένα τέτοιος σχηματισμός από διαχωρισμένους αγωγούς θα έχει σταθερό CFO (150-200kV). Επειδή το επίπεδο μόνωσης είναι χαμηλό, οι επιδόσεις έναντι των κεραυνών θα είναι μειωμένη σε σύγκριση με μια παραδοσιακή ανοιχτή κατασκευή [Powell R. - April 1965].

Οι συγκεκριμένες κατασκευές έχουν το πλεονέκτημα του μεταβιβαστικού αγωγού που δρα στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ως αγωγός προστασίας το οποίο μειώνει κατά ένα βαθμό τα βραχυκυκλώματα από απευθείας κεραυνικό πλήγμα. Σε αντίθεση βέβαια με ανάστροφα βραχυκυκλώματα που έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβούν λόγω του χαμηλού επιπέδου μόνωσης. Μια βελτιωμένη γείωση θα μπορούσα να βελτιώσει την επίδοση έναντι στα κεραυνικά πλήγματα εάν η αγωγιμότητα του εδάφους είναι μεγάλη και ο διαχωρισμός μεταξύ των ουδετέρων είναι μικρότερη από 30 m.

Οι γραμμές με διαχωριστήρες αγωγών τοποθετούνται σε περιοχές όπου υπάρχουν επαφές με δέντρα και δημιουργούν βλάβες. Το διαχωριστικό καλώδιο (spacercable) προστατεύεται από απευθείας κεραυνικά πλήγματα. Επίσης η αναλογία από επαγόμενα βραχυκυκλώματα μειώνεται επειδή εφαρμόζεται ίδιο δυναμικό σε κάθε διαχωριστήρα αγωγό όταν διαφωτίζονται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία από το κοντινό κεραυνικό πλήγμα.

## 7.2 Ικανότητα Ξύλου για Διακοπή

Οι ξύλινοι πόλοι και οι βραχίονες έχουν επιδείξει ικανότητα να καταστέλλουν το τόξο που προκαλείται από κεραυνό και να το προλαμβάνουν από την πρόκληση βλάβης στην συχνότητα του ρεύματος

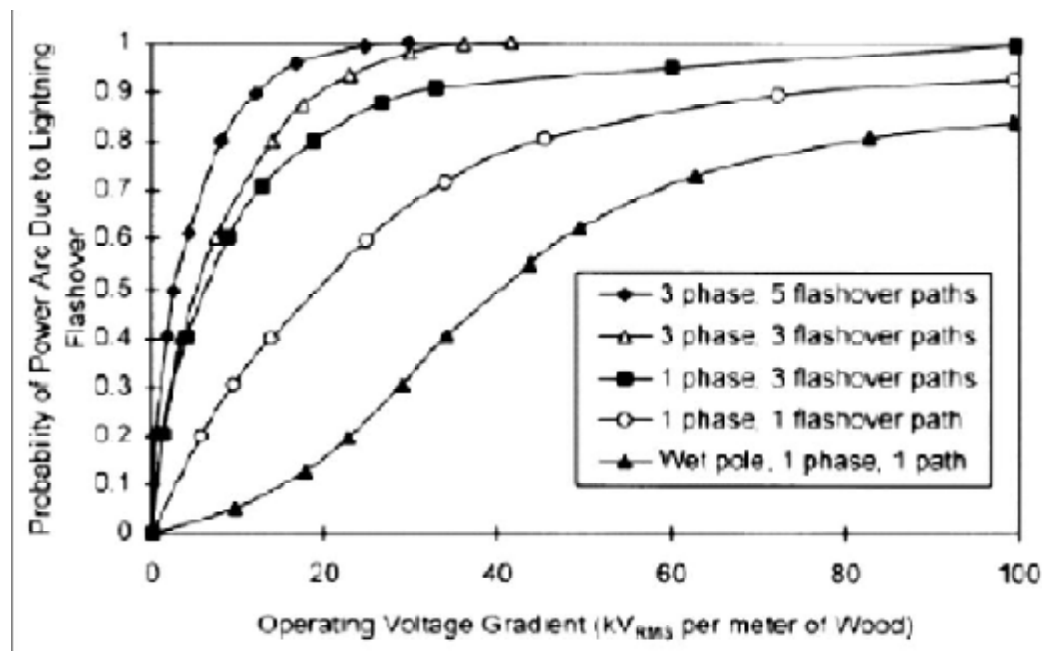
Οι ικανότητες του ξύλου για διακοπή είναι κατά κύριο λόγο μια λειτουργία της στιγμιαίας τάσης στη συχνότητα του ρεύματος την στιγμή του βραχυκυκλώματος λόγω του κεραυνού. Εάν η τάση είναι κοντά σε μηδενική τιμή, είναι πολύ πιθανό η διακοπή να μην προκαλέσει βλάβη. Εάν η ονομαστική τάση κατά μήκος του ξύλινου βραχίονα διατηρείται κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο, η πιθανότητα για την πρόκληση βλάβης μπορεί να μειωθεί πολύ σημαντικά.

Εάν συμβούν πολλαπλά βραχυκυκλώματα, η διακοπή δεν είναι τόσο πιθανή (δες σχέδιο 5.2). Οι περισσότερες γραμμές διανομής θα υποστούν πολλαπλά βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα. Σε κατασκευές διανομής που έχουν στο ξύλο πεδιακή ένταση RMSτάσης περισσότερο από 10kV/mτου ξύλου, η διακοπή μπορεί να μη αποδώσει ικανοποιητικό όφελος. Για παράδειγμα, μία γραμμή διανομής 13.2 kVμε 0.5 mξύλου (σε θέση βραχίονα) ανάμεσα στο μονωτήρα φάσης και τον ουδέτερο αγωγό έχει κλίση τάσης RMSστο ξύλο

$$132\text{kV} / \sqrt{3} / 0.5\text{m} = 15.2\text{Kv/m}$$

Για αυτήν την τάση, εάν επιτυγχάνονται κενά ξύλου 1mανάμεσα σε όλους τους αγωγούς φάσης και όλα τα γειωμένα αντικείμενα στον πόλο, τότε η διακοπή μπορεί

να γίνει ένας σημαντικός παράγοντας. Αυτό μπορεί ήδη να επιτευχθεί στα κυκλώματα με υψηλά επίπεδα μόνωσης και μακρινές αποστάσεις ξύλου. Για αυτή την οδηγία, γίνεται μια συγκρατημένη υπόθεση πως όλα τα βραχυκυκλώματα προκαλούν βλάβες.



**Σχήμα .11.** Πιθανότητα ενός τόξου ρεύματος λόγω βραχυκυκλώματος από κεραυνό σε ξύλινο βραχίονα υπό υγρές συνθήκες [IEEEStd1410 - 2010].

### 7.3. Καταστροφή του Ξύλου λόγω Κεραυνικού Πλήγματος

Σύμφωνα με εμπειρικά δεδομένα, οι βλάβες στους πόλους ή βραχίονες από κεραυνούς είναι σχετικά σπάνιες, βεβαίως όμως σε ορισμένες περιοχές με υψηλή συχνότητα κεραυνών μπορεί να προκαλέσει ανησυχία. Υπάρχει πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την πιθανότητα βλάβης από κεραυνό ειδικότερα η υγρασία και η ηλικία του ξύλου. Η καταστροφή και ο θρυμματισμός του ξύλου συμβαίνει όταν η βλάβη είναι εσωτερική στο ξύλο και όχι στην επιφάνεια του. Εάν το ξύλο είναι πράσινο, είναι πολύ πιθανό η βλάβη να είναι εσωτερική.

Για την προστασία του ξύλου χρησιμοποιείται η σύνδεση των μονωτήρων που έχει ως απόρροια να βραχυκυκλώνεται ο ξύλινος βραχίονας. Μια καλύτερη εναλλακτική

λύση είναι η χρήση επιφανειακών ηλεκτροδίων που προσαρμίζονται κοντά στην άκρη των μονωτήρων τα οποία μπορεί να είναι καλύμματα αγωγών, ταινίες, μεταλλικές προεκτάσεις προσαρμοσμένες κοντά στο μονωτήρα στη πιθανή κατεύθυνση του βραχυκυκλώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διακοπή κοντά στην επιφάνεια αντί εσωτερικά του ξύλου.

Παίρνοντας προληπτικά μέτρα για την καταστροφή του ξύλου από κεραυνικά πλήγματα, μειώνουμε επίσης την πιθανότητα για ανάφλεξη στην κορυφή του πόλου όπου προκαλούνται από διαρροές ρεύματος στις συνδέσεις μετάλλων με ξύλο. Η βέλτιστη προσέγγιση είναι μια τοπική σύνδεση των μονωτήρων με ταινίες ή καλύμματα αγωγών στο τμήμα που είναι πιο πιθανό ξεκινήσει.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Προστασία των Γραμμών Διανομής με Προστατευτικό Αγωγό**

Οι βασικές αρχές για την προστασία των εναέριων γραμμών διανομής από απευθείας κεραυνικό πλήγμα λαμβάνουν υπόψιν ότι :

- 1) Η χρήση OHGW (OverheadGroundwire) μειώνουν την πιθανότητα των απευθείας πληγμάτων στους αγωγούς φάσης αλλά αυξάνουν την πιθανότητα των ανάστροφων βραχυκυκλωμάτων. Επίσης μπορεί να μειώσει το κίνδυνο διακοπών από κεραυνούς εάν η αγωγιμότητα του εδάφους είναι υψηλή. Η επιθυμητή τιμή της αντίστασης του εδάφους εξαρτάται από το CFO της γραμμής, και γενικότερα η αντίσταση κάθε πόλου πρέπει να είναι λιγότερο από  $CFO (kV) / (15kA)$  για να είναι 25% πιο αποτελεσματικό ενάντια στα ανάστροφα βραχυκυκλώματα από απευθείας κεραυνικά πλήγματα. Πρακτικά είναι σχεδόν απίθανο να έχουμε τέτοιες τιμές στις αντιστάσεις των πόλων στις περισσότερες περιοχές.
- 2) Η χρήση αλεξικέραυνων σε όλες τις φάσεις σε ένα τριφασικό σύστημα και εφαρμοσμένες στο ίδιο πόλο μπορεί να μειώσει την αναλογία των βραχυκυκλωμάτων από απευθείας κεραυνικά πλήγματα εάν γίνει σωστή επιλογή αυτών. Η απόσταση των αλεξικέραυνων δεν πρέπει να είναι περισσότερο από ένα ή δύο ανοίγματα πόλων.
- 3) Η χρήση και των δύο προστατευτικών μεθόδων παρέχει επιπλέον προστασία στις γραμμές διανομής. Οι OHGW κατευθύνουν το μεγαλύτερο ποσοστό της κεραυνικής ενέργειας μακριά από τους αγωγούς φάσεως και του εξοπλισμού, και τα αλεξικέραυνα περιορίζουν την κορυφή της τάσης και μειώνουν τα ανάστροφα βραχυκυκλώματα πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με την γείωση σε κάθε πόλο. Ακόμα και μετά την χρήση αυτού του υβριδικού συστήματος, βραχυκυκλώματα θα συμβούν αλλά σε μειωμένο αριθμό.

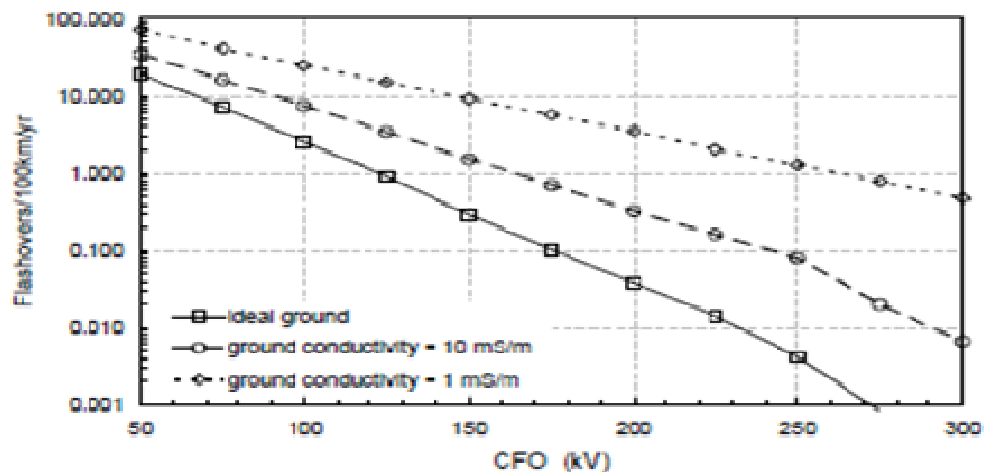
Συγκεκριμένα οι αγωγοί προστασίας είναι γειωμένοι και τοποθετούνται πάνω στους

αγωγούς φάσης για την διακοπή των κεραυνικών πληγμάτων και μέσω του γειωμένου πόλου, το ρεύμα του κεραυνού κατευθύνεται στο έδαφος. Το ρεύμα του κεραυνού διατρέχει την γειωμένη αντίσταση του πόλου προκαλώντας μια πιθανή αύξηση, με αποτέλεσμα μια διαφορά στην τάση μεταξύ του γειωμένου πόλου και των αγωγών φάσεων. Αυτή η διαφορά στην τάση μπορεί να προκαλέσει ένα ανάστροφο βραχυκύκλωμα στην μόνωση από το γειωμένο πόλο σε ένα από τους αγωγούς φάσεως.

Το φαινόμενο του ανάστροφου βραχυκυκλώματος είναι ένας ουσιαστικός περιορισμός για την αποτελεσματικότητα των εφαρμογών των προστατευτικών αγωγών σε γραμμές διανομής. Οι προστατευτικοί αγωγοί παρέχουν αποτελεσματική προστασία μόνο εάν :

- Ø Χρησιμοποιούνται πρακτικές σχεδίασης καλής μόνωσης για να παρέχεται ικανοποιητικό CFO ανάμεσα στο γειωμένο καθοδικό πόλο και τους αγωγούς φάσεως
- Ø Αποκτηθούν χαμηλές αντιστάσεις γείωσης.

Το παρακάτω σχήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μπορέσουμε να κάνουμε μια εκτίμηση των βραχυκυκλωμάτων που δημιουργούνται για τον σχεδιασμό ενός προστατευτικού αγωγού (OHGW).



Σχήμα .12.Αριθμός των βραχυκυκλωμάτων από επαγόμενες τάσεις που δημιουργούνται προς το επίπεδο μόνωσης των γραμμών διανομής [Borghettietal.][IEEEStd 1410 - 2010].



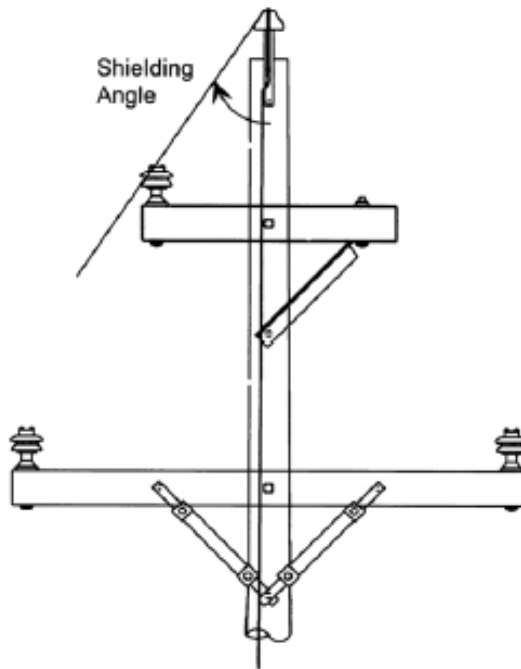
Για κυκλώματα διανομής με τρεις αγωγούς, η προσθήκη ενός προστατευτικού αγωγού θα μειώσει το αριθμό των βραχυκυκλωμάτων που προκαλούνται. Επειδή ο προστατευτικός αγωγός είναι γειωμένος, καταστέλλονται οι τάσεις στους αγωγούς φάσεως μέσω της χωρητικής σύζευξης. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση μεταξύ των αγωγών φάσεων με τον προστατευτικό αγωγό, τόσο καλύτερη είναι η σύζευξη με αποτέλεσμα να προκαλούνται μικρότερες τάσεις. Προσθέτοντας ένα γειωμένο αγωγό κάτω από τους αγωγούς φάσης θα έχει τα ίδιο αποτέλεσμα με ένα εναέριο προστατευτικό αγωγό.

Για κυκλώματα διανομής με τέσσερις αγωγούς και σύστημα πολλαπλής γείωσης, αντικαθιστώντας τον ουδέτερο αγωγό που βρίσκεται από κάτω με έναν εναέριο προστατευτικό αγωγό δεν θα μειώσει τον αριθμό βραχυκυκλωμάτων. Παρόλα αυτά ο συνδυασμός του προστατευτικού και του ουδέτερου αγωγού θα αυξήσει την επίδοση έως ένα επίπεδο επειδή ο συντελεστής σύζευξης θα είναι μεγαλύτερος.

Από άποψη κόστους, η πρόσθεση ενός OHGW στον σχεδιασμό γραμμών διανομής μπορεί να είναι ουσιώδες. Επιπροσθέτως στο κόστος του αγωγού, των πόλων γείωσης και της επιπλέον μόνωσης, το ύψος των στύλων πρέπει να είναι μεγαλύτερο για να στηρίζουν τους αγωγούς προστασίας έτσι ώστε να είναι επαρκής η γωνία προστασίας ανάμεσα στο προστατευτικό αγωγό και τους εξωτερικούς αγωγούς φάσης. Όμως από την άλλη πλευρά το μεγαλύτερο ύψος των κατασκευών προσελκύει περισσότερα κεραυνικά πλήγματα που αντισταθμίζει αμυδρά την μείωση του ποσοστού βραχυκυκλωμάτων που παρέχει η προστασία.

## **8.1 Γωνία προστασίας**

Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι όλα τα πλήγματα από κεραυνό καταλήγουν στον προστατευτικό αγωγό και όχι στους αγωγούς φάσης, προτείνεται μια γωνία προστασίας  $45^\circ$  ή λιγότερο (όπως φαίνεται στο σχήμα 13). Αυτό ισχύει μόνο για γραμμές με ύψος μικρότερο από 15m με αποστάσεις μεταξύ αγωγών κάτω από 2m. Ψηλότερες γραμμές απαιτούν μικρότερη γωνία προστασίας. [IEEEStd 1243-1997]



**Σχήμα .13.** Γωνία προστασίας προστατευτικού αγωγού(OHGW) [IEEEStd1410 - 2010].

## 8.2. Απαιτήσεις Μόνωσης

Η αποτελεσματικότητα των προστατευτικών αγωγών εξαρτάται σημαντικά από την μόνωση που παρέχεται ανάμεσα στον γειωμένο αγωγό και τους αγωγούς φάσης. Εάν ο γειωμένος αγωγός είναι σε επαφή με τον πόλο σε ολόκληρο το ύψος του, είναι δύσκολο να παρασχεθεί επαρκής μόνωση. Σε έναν ξύλινο στύλο, είναι συνήθως αναγκαίο να απομονωθεί ο γειωμένος πόλος από τον στύλο κοντά στους μονωτήρες φάσης και τους βραχίονες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ράβδους fiberglass, ή στηρίγματα που τοποθετούνται οριζόντια στον στύλο για να κρατήσουν τον γειωμένο αγωγό 30-60 cm μακριά από τον στύλο.

Το CFO από τον γειωμένο αγωγό στην κοντινότερη φάση είναι η πιο μικρή τιμή από πολλές πορείες. Θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην μόνωση επιτόνων προκειμένου να αποκτηθεί το απαραίτητο CFO.

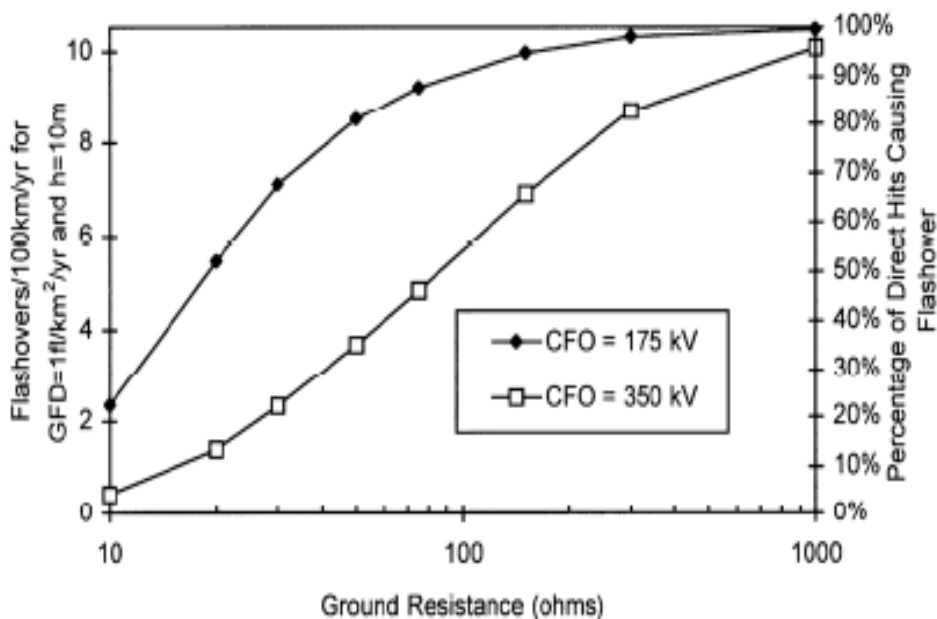
Ένα CFO πάνω από 250-330 kV είναι απαραίτητο να καταστήσει αποτελεσματική την εφαρμογή προστατευτικών αγωγών. Χρησιμοποιώντας στηρίγματα με γειωμένους πόλους, δεν είναι δύσκολο να επιτευχθεί αυτό το επίπεδο μόνωσης στις γραμμές

διανομής.

### 8.3 Αποτελεσματικότητα επιπέδου στήριξης και μόνωσης

Η αποτελεσματικότητα του προστατευτικού αγωγού εξαρτάται από την στήριξη. Προκειμένου να είναι αποτελεσματικός ο σχεδιασμός ενός προστατευτικού αγωγού, οι αντιστάσεις του εδάφους πρέπει να είναι μικρότερες από 10Ω εάν το CFO είναι μικρότερο από 200 kV. Εάν δοθεί προσοχή στο επίπεδο μόνωσης και το CFO είναι 300-350 kV, μία αντίσταση γείωσης 40Ω θα έχει παρόμοια απόδοση. Ο προστατευτικός αγωγός θα πρέπει να γειώνεται σε κάθε στύλο για επαρκή αποτελέσματα. Το σχήμα 14 δείχνει την συμπεριφορά σε άμεσο πλήγμα και την επίδραση της γείωσης με ένα παράδειγμα προσομοίωσης από υπολογιστή ενός προστατευτικού αγωγού με CFOs 175 kV και 350 kV.

Γραμμές διανομής εγκατεστημένες κάτω από γραμμές μεταφοράς μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευπαθείς σε ανάστροφα βραχυκυκλώματα. Μεγαλύτερο ύψος κατασκευής και εγκαταστάσεις μεγαλύτερου πλάτους θα προκαλέσουν περισσότερα άμεσα πλήγματα στις κατασκευές. Θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην διατήρηση υψηλών επιπέδων μόνωσης, προκειμένου να αποφευχθούν υπερβολικά μεγάλα ποσοστά βραχυκυκλωμάτων.



**Σχήμα.14.** Επίδραση της αντίστασης εδάφους σε ένα προστατευτικού αγωγού(OHGW) με CFO 175kVκαι 350kV [IEEEStd1410 - 2010].

#### **8.4. Τοποθέτηση κατασκευής συστήματος διανομής**

Όταν έχουμε τοποθετημένες τις γραμμές διανομής κάτω από τις γραμμές μεταφοράς, γίνονται πιο ευπαθείς σε ανάστροφα βραχυκυκλώματα. Όσο μεγαλύτερα σε ύψος και πλάτος είναι οι κατασκευές, τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα έχουν να πληγούν από άμεσα κεραυνικά πλήγματα.

Η πιθανότητα ενός ανάστροφου βραχυκυκλώματος είναι μεγαλύτερη στα κυκλώματα διανομής παρά στα κυκλώματα μεταφοράς. Αυτό συμβαίνει γιατί οι αγωγοί διανομής είναι πιο μακριά από τους προστατευτικούς αγωγούς που καταλήγει σε χαμηλότερο συνδυασμό τάσεως και μεγαλύτερη τάση στη μόνωση σε σύγκριση με τους αγωγούς μεταφοράς. Η αντοχή της μόνωσης στα κυκλώματα διανομής είναι συνήθως μικρότερα από τα κυκλώματα μεταφοράς. Πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή για να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα η αντίσταση γείωσης και σε υψηλά επίπεδα η μόνωση για να αποφευχθούν μεγάλες τιμές βραχυκυκλωμάτων στα κυκλώματα διανομής.

#### **8.5. Αγωγοί προστασίας και αλεξικέραυνα**

Για να ελαχιστοποιηθούν κατ' ουσίαν τα βραχυκυκλώματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλεξικέραυνα σε κάθε στύλο και κάθε φάση, σε συνδυασμό με έναν προστατευτικό αγωγό. Τα αλεξικέραυνα προστατεύουν την μόνωση από ανάστροφο βραχυκύκλωμα. Ο προστατευτικός αγωγός διοχετεύει το περισσότερο από το ρεύμα στο έδαφος, και έτσι τα αλεξικέραυνα δεν υπόκεινται μεγάλη είσοδο ρεύματος. Τα αλεξικέραυνα καθιστούν τον σχεδιασμό προστατευτικών αγωγών λιγότερο εξαρτημένο από το επίπεδο μόνωσης και γείωσης.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9.Προστασία γραμμών με αλεξικέραυνα**

Για την προστασία της μόνωσης εξοπλισμών χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά αλεξικέραυνα διανομής, όπως μετασχηματιστές και ρυθμιστές. Αυτά τα αλεξικέραυνα λειτουργούν ως υψηλές αντιστάσεις σε τάσεις κανονικής λειτουργίας και ως χαμηλές αντιστάσεις σε συνθήκες κεραυνών. Τα αλεξικέραυνα οδηγούν το ρεύμα στο έδαφος, περιορίζοντας την τάση της κατασκευής στο άθροισμα της τάσης εκφόρτισης του αλεξικέραυνου συν το επαγωγικό ρεύμα στις γραμμές του

αλεξικέρανου και των γειωμένων αγωγών.

Τα αλεξικέρανα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προστασία της μόνωσης σε γραμμές διανομής για την πρόληψη βραχυκυκλωμάτων και διακοπών του κυκλώματος. Διατίθενται πολλοί διαφορετικοί τύποι από αλεξικέρανα (π.χ. με διάκενο, από καρβίδιο σιλικόνης, απαγωγείς υπερτάσεων με διάκενο ή χωρίς διάκενο από οξειδίο μετάλλου). Από την άποψη της προστασίας της μόνωσης των γραμμών διανομής, όλα έχουν ανάλογη απόδοση. Διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά εκφόρτισης της τάσης προκαλούν μόνο μικρή διαφοροποίηση στην προστασία της μόνωσης, εφόσον υπάρχει σημαντικό περιθώριο.

Για κατάλογο εκτίμησης αλεξικέρανων, [IEEEStdC62.22-1991] ή τις οδηγίες του κατασκευαστή. Για την προστασία εξοπλισμών (ειδικά σε υπόγεια καλώδια) είναι συχνά απαραίτητη η επιλογή ενός αλεξικέρανου με το μικρότερο δυνατό προστατευτικό επίπεδο. Παρόλα αυτά, για την προστασία της μόνωσης των γραμμών, αυτό συνήθως δεν είναι απαραίτητο, επειδή το προστατευτικό επίπεδο ενός αλεξικέρανου είναι γενικά αρκετά πιο χαμηλό από το επίπεδο μόνωσης της γραμμής.

Όταν εφαρμόζονται αλεξικέρανα για προστασία, το ποσοστό αποτυχίας των επιπλέον αλεξικέρανων θα πρέπει να εξεταστεί σε αντιπαράθεση με την βελτίωση της γραμμής που εξασφαλίζεται από την προσθήκη των αλεξικέρανων.

### **9.1. Τα καλώδια σύνδεσης των αλεξικέρανων (οι αγωγοί)**

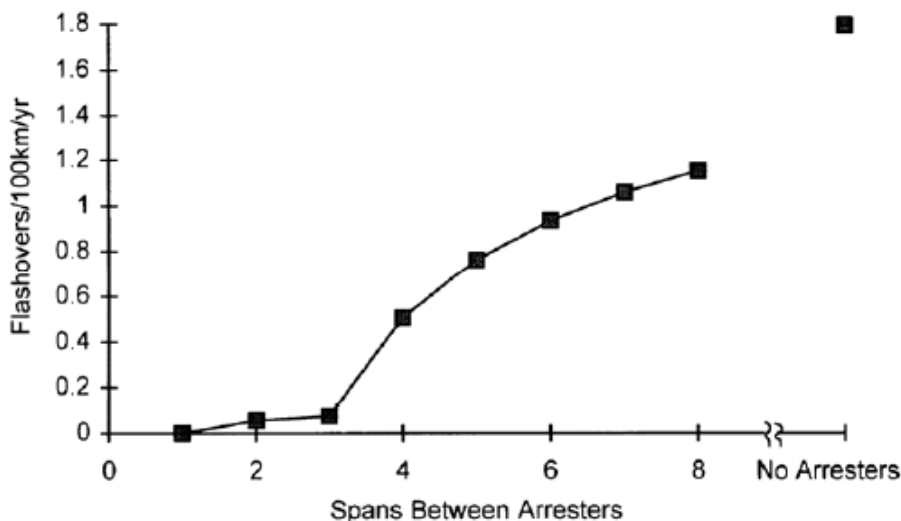
Οι αγωγοί αλεξικέρανων, που συνδέουν την γραμμή διανομής και τα τερματικά εδάφους των αλεξικέρανων στην κατασκευή, περιέχουν ένα μικρό ποσοστό εσωτερικής επαγωγής. Αυτή η επαγωγή μπορεί να προκαλέσει  $L^*$  ( $di/dt$ ) πτώσεις τάσης, που εμφανίζονται στους αγωγούς οι οποίοι κατευθύνουν το ρεύμα που προκαλείται από τους κεραυνούς. Κάθε πτώση τάσης σε έναν αγωγό αλεξικέρανου προσθέτει σε αυτό εκφόρτιση τάσης. Αυτό αυξάνει την τάση που εμφανίζεται στις συσκευές που προστατεύονται από τα αλεξικέρανα.

Η επίδραση του μήκους της γραμμής δεν είναι τόσο σημαντική στην προστασία της μόνωσής της όσο είναι στην προστασία του εξοπλισμού. Για εναέριο εξοπλισμό, το περιθώριο είναι γενικά πολύ ψηλό. Επίσης, η μόνωση της γραμμής είναι γενικά πολύ μεγαλύτερη από ένα δεδομένο BIL του εξοπλισμού. Βέβαια, μια καλή πρακτική είναι να διατηρούνται οι γραμμές διανομής με αλεξικέρανο και οι γειωμένοι αγωγοί όσο το δυνατό πιο κοντοί και ευθείς. [IEEEStdC62.22-1991 για περισσότερες πληροφορίες για τις θέσεις τοποθέτησης των αλεξικέρανων]

## 9.2. Βραχυκυκλώματα από έμμεσα πλήγματα

Τα αλεξικέραυνα μπορούν να μειώσουν σημαντικά το ποσοστό βραχυκυκλωμάτων λόγω των τάσεων που προκαλούνται από κοντινά πλήγματα. Το σχήμα 15 δείχνει τα αποτελέσματα για μόνωση επιπέδου 150kV για ένα μη-γειωμένο κύκλωμα. Σημειώστε ότι ακόμη και αραιή χρήση αλεξικέραυνων μπορεί να μειώσει σημαντικά τα βραχυκυκλώματα που προκαλούνται από την τάση (τοποθέτηση αλεξικέραυνων ανά 8 στύλους αποδίδουν τουλάχιστον 25% μείωση στα σφάλματα). Σε πολλά κυκλώματα διανομής με μεγάλο αριθμό μετασχηματιστών, τα αλεξικέραυνα που χρησιμοποιούνται για την προστασία των μετασχηματιστών μπορούν να παρέχουν σημαντική προστασία από βραχυκυκλώματα.

Τα αλεξικέραυνα μπορούν να είναι ακόμα πιο αποτελεσματικά στην μείωση των βραχυκυκλωμάτων, εάν χρησιμοποιηθούν για την προστασία των στύλων με μικρά επίπεδα μόνωσης. Αυτοί οι «αδύναμοι σύνδεσμοι» ('weak links') μπορεί να είναι διακόπτες, τερματικοί στύλοι ή στύλοι διασταυρώσεων. Η τοποθέτηση αλεξικέραυνων σε αυτούς τους στύλους μπορεί να είναι πιο οικονομική σε σχέση με την βελτίωση του επιπέδου μόνωσης.

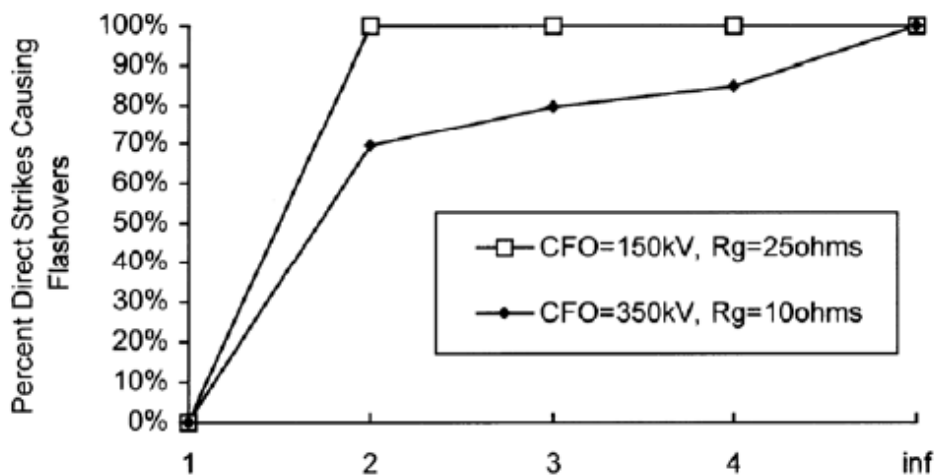


**Σχήμα .15.** Αποστάσεις αλεξικέραυνων για βραχυκυκλώματα από επαγόμενη τάση. (CFO= 150kV | h= 10m | Ng = 1 κεραυνός/km<sup>2</sup>/έτος | μήκος ανοίγματος = 75m)

### 9.3. Βραχυκυκλώματα από άμεσα πλήγματα

Η προστασία έναντι στα άμεσα πλήγματα είναι μεγάλη πρόκληση λόγω των υψηλών κρουστικών ρευμάτων, των μεγάλων κλίσεων μετώπου, και της υψηλής ενέργειας των κεραυνών. Για να μπορέσουν τα αλεξικέραυνα θεωρητικά να αποδώσουν, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλη συχνότητα, ουσιαστικά σε κάθε στύλο.

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει αποτελέσματα για διαστήματα αλεξικέραυνων για την προστασία από άμεσα πλήγματα. Υποθέτει ότι ο ουδέτερος αγωγός είναι γειωμένος σε κάθε στύλο. Μπορεί να είναι παραπλανητικός ο μεγάλος αριθμός βραχυκυκλωμάτων στο παρακάτω σχήμα όπου ο ουδέτερος αγωγός δεν είναι γειωμένος εκτός από τους στύλους όπου τα αλεξικέραυνα εφαρμόζονται σε όλες τις φάσεις και το επίπεδο μόνωσης από το ουδέτερο γειωμένο αγωγό είναι υψηλό.



Σχήμα.16. Απόσταση αλεξικέραυνων για προστασία από άμεσα πλήγματα. (το μήκος του ανοίγματος είναι 75 m)

### 9.4 Ικανότητα απορρόφησης ενέργειας του αλεξικέρανου

Τα αλεξικέραυνα διανομής χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες ταξινόμησης ενέργειας στο παρακάτω πίνακα :

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΛΕΞΙΚΕΡΑ ΥΝΟΥ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚ Η ΚΛΑΣΗ (kV/kJ MCOV)	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚ Η ΚΛΑΣΗ (J/cm <sup>3</sup> )	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΑΠΟ ΑΜΕΣΟ ΠΛΗΓΜΑ ΣΕ ΑΠΡΟΣΤΑΤΕ ΥΤΗ ΓΡΑΜΜΗ
ΜΙΚΡΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	25	3.0	170 - 200	33% - 100%
ΜΕΣΑΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	32	4.8	170 - 200	17% - 50%
ΜΕΓΑΛΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	40	6.7	170 - 200	12% - 33%

**ΠΙΝΑΚΑΣ.6.** Κατηγοριοποίηση των αλεξικέραυνων για σύστημα διανομής[IEEEStd1410 - 2010].

Το ποσοστό αποτυχίας για τα αλεξικέραυνα στο παραπάνω πίνακα είναι για τριφασικές γραμμές με ουδέτερο χωρίς προστατευτικό αγωγό, σε κάθε στύλο και κάθε φάση. Για γραμμές με αλεξικέραυνα μόνο στο εξοπλισμό και/ή προστασία γραμμής με δύο ή περισσότερα ανοίγματα μεταξύ αλεξικέραυνων, το ποσοστό αποτυχίας για κάθε άμεσο πλήγμα είναι αρκετά μειωμένο. Τα αλεξικέραυνα κατά μέσο όρο είναι σε μεγάλη απόσταση από την κατάληξη του πλήγματος (flashtermination) επομένως οι απροστάτευτοι μονωτές μεταξύ αυτών καταλήγουν σε βραχυκυκλώματα, διοχετεύοντας το μεγαλύτερο ποσοστό του ρεύματος στο έδαφος και μειώνοντας επίσης το ποσοστό ενέργειας της λειτουργίας. Η ενέργεια των αλεξικέραυνων από τις υπερτάσεις που δημιουργούνται ή τις καταλήξεις στους προστατευτικούς αγωγούς (OHGW) είναι επίσης μικρότερη από τις απευθείας καταλήξεις σε φάσεις.

Τα αλεξικέραυνα μικρής λειτουργίας χρησιμοποιούνται κανονικά σε ειδικές περιπτώσεις προστασίας υπόγειων εγκαταστάσεων. Η βιομηχανία γενικά χρησιμοποιεί τα αλεξικέραυνα μεσαίας ή μεγάλης λειτουργίας για την προστασία των εναέριων γραμμών διανομής. Όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια υπάρχει βελτίωση στην διάρκεια ζωής (5% - 15%) για τα αλεξικέραυνα μεγάλης λειτουργίας σε σύγκριση με αυτά της μεσαίας λειτουργίας.

Σε εφαρμογές που είναι εκτεθειμένα ( π.χ. γραμμή διανομής σε ανοιχτό χώρο χωρίς προστατευτικό αγωγό, OHGW), τα αλεξικέραυνα διανομής από οξειδία μετάλλου μπορούν να υποστούν μεγάλα ποσοστά αποτυχίας λόγω των απευθείας πληγμάτων.



Ένα σημαντικό μεγάλο ποσοστό των κεραυνικών πλήγμάτων στα αλεξικέραυνα καταλήγει σε ενέργεια η οποία υπερβαίνει την ικανότητα που έχει δημοσιευτεί από τους κατασκευαστές και τα 4/10 μs εκκένωσης του κύματος δοκιμής [McDermottetal].

Ένα άλλο μειονέκτημα στο σχεδιασμό των αλεξικεραύνων από οξειδίο του μετάλλου είναι η ύπαρξη βραχυκυκλωμάτων δίπλα στα μπλοκ όταν αυτά είναι κάτω από την επήρεια πολλαπλών πλήγμάτων. Έχουνε γίνει διάφορες μελέτες, σε εργαστηριακό και βιομηχανικό περιβάλλον, αξιολογώντας την αποδοτικότητα των αλεξικεραυνών σε μονά πλήγματα ή πολλαπλά πλήγματα [Darvenizaetal. , Fernandezetal. ,Schoeneetal.].

Η ενέργεια που διαχέεται σε ένα αλεξικέραυνο κατά την διάρκεια του απευθείας πλήγματος δεν είναι κανονικά η μέγιστη ενέργεια του πλήγματος. Μεγάλο ποσοστό της ενέργειας διαμοιράζεται με τα κοντινά αλεξικέραυνα ή διαχέεται στο έδαφος από το σύστημα διανομής. Επίσης παρά της μεγάλης πιθανότητας αποτυχίας ενός απομονωμένου αλεξικεραυνού από κεραυνικό πλήγμα, έχει καταγραφεί μικρότερο ποσοστό αποτυχίας λόγω της απορρόφησης τμήματος της ενέργειας από τα παρακείμενα αλεξικέραυνα.

Το αλεξικέραυνο που παθαίνει την βλάβη είναι συνήθως κοντά στο πλήγμα, αλλά δεν είναι πάντα κοντά στην κατάληξη του εκτεθειμένου αγωγού. Σε κανονικές συνθήκες, ένα μονό αλεξικέραυνο θα αποτύχει πρώτα ηλεκτρικά χωρίς να επηρεάσει τίποτα άλλο, αλλά κάποιες δοκιμές έχουν δείξει πολλαπλές βλάβες από ένα μονό πλήγμα.

Παραδείγματος χάριν σε ένα κύκλωμα διανομής 50kmτων 13.2kVμε ένα μείγμα από τριφασικούς τροφοδότες και μονοφασικά πλευρικούς, έχοντας αλεξικέραυνα σε κάθε φάση και στύλο, θα υπάρχουν περίπου 1000 στύλοι και 2000 αλεξικέραυνα. Σε ανοιχτό έδαφος, αυτή η γραμμή θα δέχεται 20 κεραυνικά πλήγματα ανά χρόνο σε μια περιοχή μεγάλης συχνότητας κεραυνών το οποίο θα καταλήξει σε σφάλματα 2 - 7 αλεξικέραυνα μεγάλης λειτουργίας ανά χρόνο.

Μετά από υπολογισμό της προστασίας του περιβάλλοντος και της μειωμένης κεραυνικής πιθανότητας σε μέτρια κλίματα, το καταγεγραμμένο ποσοστό αποτυχίας των αλεξικεραυνών μεγάλης κλίμακας του 1 - 2 ανά πενταετία στο NewYorkStatebyBarkeretal. μπορούν να συμβαδίσουν με τα δεδομένα του Πίνακα.

Υπάρχει μια ποικιλία αιτιών για τους οποίους τα αλεξικέραυνα μπορούν να παρουσιάσουν σφάλματα ( υπέρβαση ορίων υπέρτασης, μακροπρόθεσμη διεύθυνση υγρασίας, σφάλματα στα μηχανικά μέρη). Οι εναέριες γραμμές διανομής θα πρέπει να επιθεωρούνται και να επισκευάζονται τακτικά διαφορετικά η απόδοση τους έναντι στα κεραυνικά πλήγματα θα υποβαθμιστεί με το χρόνο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ:

Η γραμμές δεν προστατεύονται από αγωγούς προστασίας αλλά μόνο με αλεξικέραυνα τοποθετημένα στους μετασχηματιστές και σε διάφορες ενώσεις των γραμμών. Το συνολικό μήκος των γραμμών από το μονογραμμικό χάρτη της ΔΕΔΔΗΕ είναι:

P-310 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ – 24 km
P-270 ΚΑΛΑΜΟΥ -12 km
P-210 Ν.ΜΑΚΡΗΣ – 19,5 km
I-15 ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ – 14 km
P-230 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ -14 km
P-320 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ – 15 km

### ΠΙΝΑΚΑΣ.7. Μήκη γραμμών

Αρχικά, σύμφωνα με τον ισοκεραυνικό χάρτη της Ελλάδος για την περιοχή της Αθήνας η εκτίμηση των ημερών καταιγίδας ανά έτος εκτιμάται :

$T_d = 30$  ημέρες καταιγίδας / έτος

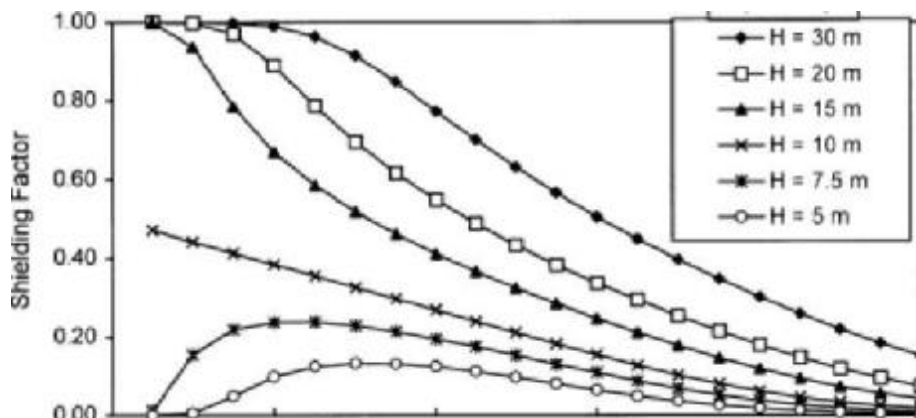
Η πυκνότητα κεραυνών στη Γη υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο :

$$N_g = 0.04 \cdot (30)^{1.25} = 2.81 \text{ κεραυνοί / km}^2 \text{ / έτος}$$

Η μέση τιμή για το ύψος της γραμμής είναι 12 m και το πλάτος είναι 2,5 m. Επομένως ο αριθμός σφαλμάτων που οφείλονται σε άμεσα πλήγματα κεραυνών, σε αθωράκιστη γραμμή υπολογίζεται από :

$$N = N_g \cdot \left( \frac{28 \cdot h^{0.6} + b}{10} \right) = 35,64 \text{ κεραυνοί / 100km / έτος}$$

Έπειτα υπολογίζεται ο προστατευτικός παράγοντας  $S_f$  όλης της διάταξης από άμεσα κεραυνικά πλήγματα ( κτίρια, δέντρα, βουνά παρέχουν προστασία). Στο παρακάτω σχήμα από τις οδηγίες IEEE υπολογίζουμε το συντελεστή προστασίας.



Σχήμα .17. Παράγοντες θωράκισης λόγω κοντινών αντικειμένων σε διαφορετικά

ύψηγια γραμμή διανομής 10 m.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που υπάρχουν προκύπτει ο συντελεστής προστασίας. Τα δεδομένα έχουν ως εξής:

P-310 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	Sf: 0.36
P-270 ΚΑΛΑΜΟΥ	Sf:0.60
P-210 Ν.ΜΑΚΡΗΣ	Sf:1.8
1-15 ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ	Sf:0.10
P-230 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	Sf:0.36
P-320 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	Sf:0.36

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ.8.** Συντελεστής προστασίας

Ο συνολικός αριθμός άμεσων πληγμάτων της γραμμής είναι:

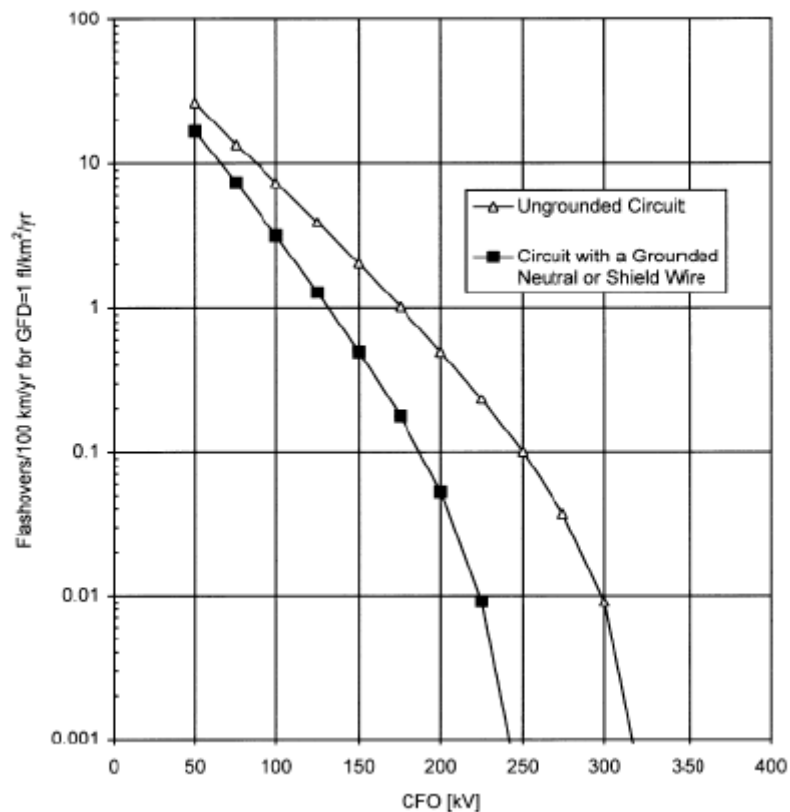
$$N_S = N \cdot (1 - S_f)$$

Οπότε για κάθε γραμμή τα αποτελέσματα είναι:

P-310 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	$N_S = 22,8$
P-270 ΚΑΛΑΜΟΥ	$N_S = 14,2$
P-210 Ν.ΜΑΚΡΗΣ	$N_S = -28,5$
1-15 ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ	$N_S = 32,07$
P-230 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	$N_S = 22,8$
P-320 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	$N_S = 22,8$

#### **ΠΙΝΑΚΑΣ.9.** Συνολικός αριθμός άμεσων πληγμάτων

Το επόμενο στάδιο είναι ο υπολογισμός των έμμεσων πληγμάτων από κεραυνικά πλήγματα στη γραμμή θεωρώντας το μικρότερο CFO path (125 kV) από το παρακάτω σχήμα. Κάνοντας μια θεώρηση για να καταλήξουμε στο συνολικό αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων, γίνεται μια προσαύξηση της τάξεως του 80% λόγω του μεγάλου συντελεστή προστασίας στο αριθμό των συγκεκριμένων βραχυκυκλωμάτων σε ανοιχτό έδαφος



**Σχήμα .18.** Αριθμός βραχυκυκλωμάτων από επαγόμενη τάση έναντι του επιπέδου μόνωσης της γραμμής διανομής

Επομένως θεωρούμε ότι έχουμε 3 επαγόμενα βραχυκυκλώματα από το σχήμα και χρησιμοποιώντας την πυκνότητα των κεραυνών στην επιφάνεια της γης έχουμε:

$$\text{Επαγόμενα βραχυκυκλώματα} = N_g \cdot 3 = 8.43 \text{ κεραυνοί} / 100\text{km} / \text{έτος}$$

Όταν μια γραμμή είναι προστατευμένη μειώνεται ο αριθμός άμεσων πληγμάτων αλλά αυξάνεται ο αριθμός των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων σε κοντινά σημεία της γραμμής διανομής. Επομένως θεωρούμε μια προσαύξηση της τάξεως του 80% λόγω του μεγάλου συντελεστή προστασίας στον αριθμό των επαγόμενων βραχυκυκλωμάτων σε ανοιχτό έδαφος. Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής προστασίας τόσο περισσότερα επαγόμενα κεραυνικά πλήγματα στην κοντινή περιοχή της γραμμής με απόρροια περισσότερα επαγόμενα βραχυκυκλώματα.

$$N_i = 8.43 \times 1.8 = 15.17 \text{ κεραυνοί} / 100\text{km} / \text{έτος}$$

$$N_p = 0$$

(μηδενικά σφάλματα για κακή λειτουργία των προστατευτικών διατάξεων)

$$N = N_s + N_i + N_p$$

P-310 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	N= 37.97 κεραυνοί /100km /έτος
P-270 ΚΑΛΑΜΟΥ	N= 29.37 κεραυνοί /100km /έτος
P-210 Ν.ΜΑΚΡΗΣ	N= -13.33 κεραυνοί /100km /έτος
1-15 ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ	N= 47.24 κεραυνοί /100km /έτος
P-230 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	N= 37.97 κεραυνοί /100km /έτος
P-320 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	N= 37.97 κεραυνοί /100km /έτος

**ΠΙΝΑΚΑΣ.9.** Αριθμός σφαλμάτων απο άμεσα πλήγματα κεραυνών σε αθωράκιστη γραμμή

Εφαρμόζοντας την αναγωγή στο πραγματικό μήκος της γραμμής , έχουμε :

P-310 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ – 24 km
P-270 ΚΑΛΑΜΟΥ -12 km
P-210 Ν.ΜΑΚΡΗΣ – 19,5 km
1-15 ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ – 14 km
P-230 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ -14 km
P-320 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ – 15 km

**ΠΙΝΑΚΑΣ.10.** Μήκη γραμμών

$$N_{total} = N \times \text{μήκος}$$

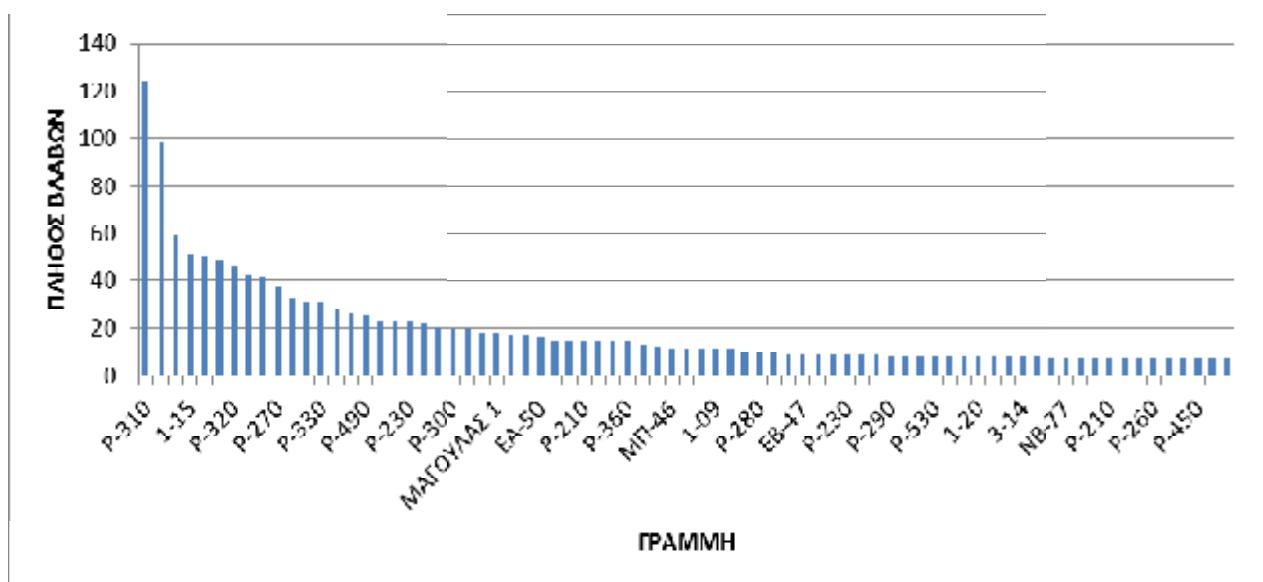
P-310 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	$N_{total} = 9,11$ σφάλματα/ ετος
P-270 ΚΑΛΑΜΟΥ	$N_{total} = 3,52$ σφάλματα/ ετος
P-210 Ν.ΜΑΚΡΗΣ	$N_{total} = 2,59$ σφάλματα/ ετος
1-15 ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ	$N_{total} = 6,61$ σφάλματα/ ετος
P-230 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	$N_{total} = 9,11$ σφάλματα/ ετος
P-320 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	$N_{total} = 9,11$ σφάλματα/ ετος
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	6,675 σφάλματα/ ετος

**ΠΙΝΑΚΑΣ.11.** Θεωρητικά σφάλματα ανά έτος

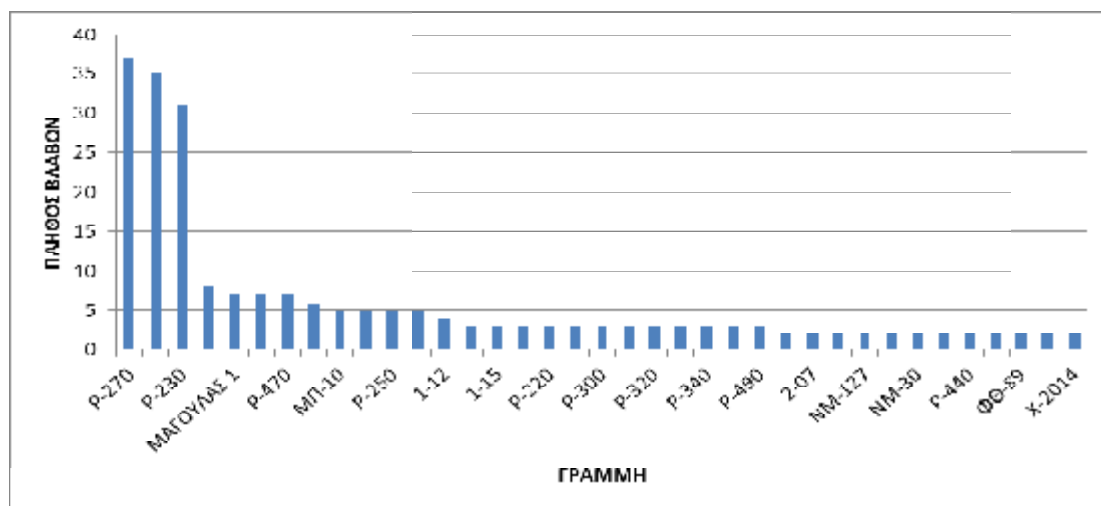
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Τα παρακάτω διαγράμματα αναφέρονται για όλες τις γραμμές διανομής που μελετώνται, παρουσιάζοντας συγκεντρωτικά τα σφάλματα από κεραυνικά πλήγματα. Από το πρόγραμμα καταγραφής σφαλμάτων της ΔΕΔΔΗΕ (ΣΑΒ , Σημείωμα Αποκατάστασης Βλαβών) συλλέξαμε τα σφάλματα με κατηγορία Κεραυνός από μια βάση δεδομένων 3363 σφαλμάτων. Επιπροσθέτως έχουμε συμπεριλάβει και άλλα αίτια βλαβών γιατί ο αριθμός των βλαβών της κατηγορίας Κεραυνός δεν είναι αντιπροσωπευτικός.

Δεν είναι εφικτό να γνωρίζουμε με ακρίβεια εάν η βλάβη στην μόνωση ή στο εξοπλισμό έχει προκληθεί από κεραυνικό πλήγμα που έχει ως απόρροια να εισάγουμε και άλλες κατηγορίες στο υπολογισμό Κακοκαιρίας, Άλλα Αίτια, (Δυσμενείς Καιρικές Συνθήκες) Άγνωστο. Το παρακάτω γράφημα παρουσιάζει τα συνολικά σφάλματα για μια πενταετία για τις γραμμές που εξετάζουμε ανα γραμμή και στο σύνολο της πενταετίας:



Σχήμα. 19. Συνολικός αριθμός βλαβών όλη την πενταετία



**Σχήμα. 20.** Αριθμός βλαβών ανα γραμμή

Όπως παρατηρούμε από τα παραπάνω διαγράμματα, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι τα θεωρητικά δεδομένα είναι μικρότερα από τα πραγματικά δεδομένα που δεν είναι καλό για την προστασία της γραμμής.

## Κεφαலைο 12. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σφάλματα ανά έτος	Πραγματικά	Θεωρητικά
P-310 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	24,8 σφάλματα/ έτος	$N_{total}= 9,11$ σφάλματα/ έτος
P-270 ΚΑΛΑΜΟΥ	19,6 σφάλματα/ έτος	$N_{total} = 3,52$ σφάλματα/ έτος
P-210 Ν.ΜΑΚΡΗΣ	11,8 σφάλματα/ έτος	$N_{total}= 2,59$ σφάλματα/ έτος
1-15 ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ	10,2 σφάλματα/ έτος	$N_{total}= 6,61$ σφάλματα/ έτος
P-230 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	9,8 σφάλματα/ έτος	$N_{total}= 9,11$ σφάλματα/ έτος
P-320 ΘΗΣ ΛΑΥΡΙΟΥ	9,2 σφάλματα/ έτος	$N_{total}= 9,11$ σφάλματα/ έτος
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ		6,675 σφάλματα/ έτος

### ΠΙΝΑΚΑΣ.12. Σύγκριση θεωρητικών και πραγματικών αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι τα θεωρητικά σφάλματα είναι μικρότερα από τα πραγματικά σφάλματα, το οποίο είναι αρνητικό γεγονός. Επομένως τα σφάλματα που αναμένουμε σε θεωρητικό επίπεδο για τις γραμμές διανομής είναι λιγότερα σε αριθμό από τα πραγματικά. Βεβαίως υπάρχει απόκλιση στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων η οποία εξαρτάται από διάφορους παράγοντες.

Αρχικά η ελλιπής πληροφόρηση για τον συντελεστή προστασίας της κάθε γραμμής διανομής καθώς έγινε προσεγγιστική υπόθεση της τιμής αυτής. Λόγω του μεγάλου μήκος και της γεωγραφικής θέσης της γραμμής η ακριβής προσέγγιση του συντελεστή προστασίας είναι αρκετά δύσκολη. Έπειτα τα καταγεγραμμένα στοιχεία της ΔΕΔΔΗΕ με τα οποία καταλήξαμε στους θεωρητικούς υπολογισμούς δεν είναι απόλυτα ακριβή. Η καταχώρηση καταγεγραμμένων πληγμάτων στην κατηγορία Άλλα

*Αίτια και Άνεν* καθώς και η μεταφορά από το χαρτί στο ηλεκτρονικό σύστημα μπορεί να οδήγησε σε αυτή την διαφορά.

Στην καταχώρηση των δεδομένων συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς τα σφάλματα που έχουν ειδική υποκατηγορία *Δυσμενείς Καιρικές Συνθήκες* ελέγχοντας ταυτόχρονα με την βάση δεδομένων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας.

Στις γραμμές Υψηλής Τάσης λόγω των άμεσων πληγμάτων εμφανίζονται υπερτάσεις οι οποίες μπορούν να διασπάσουν τη μόνωση δικτύων ονομαστικής τάσης μέχρι και 500kV λόγω του τεράστιου φορτίου του κεραυνού. Επομένως πρόσθετα μέτρα πρέπει να ληφθούν για να μπορέσει να προστατευτεί η γραμμή διανομής. Όταν υπάρχουν επαγόμενες υπερτάσεις, το επαγόμενο φορτίο είναι πάντα μικρότερο από το φορτίο του κεραυνού και εξαρτάται και από την απόσταση. Έτσι οι υπερτάσεις που δημιουργούνται δεν είναι υψηλές ώστε η επαγόμενη τάση να δημιουργήσει σφάλματα στις μονώσεις των υψηλών και υπερυψηλών τάσεων. Στις μικρές και μεσαίες τάσεις, κάτω από 69 kV, αυτές οι υπερτάσεις δημιουργούν προβλήματα στην μόνωση του δικτύου.

Επομένως πρέπει να υπολογιστεί η βέλτιστη λύση από οικονομική και τεχνική σκοπιά. Τοποθετώντας αγωγούς προστασίας σε όλες τις γραμμές μπορεί να μειώσει τα σφάλματα αλλά η συντήρηση και αντικατάσταση του εξοπλισμού δεν θα είναι οικονομική. Όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως είναι αρκετά δύσκολη η επίτευξη της αντίστασης γείωσης μικρότερη του 10Ω. Ένας κεραυνός ρεύματος  $I = 10\text{kA}$  που πλήττει έναν πύργο προκαλεί ανύψωση τάσεως  $V = 200\text{kV}$ . Στις γραμμές με μικρότερη μόνωση από αυτήν την τάση θα προκαλέσει βραχυκύκλωμα ακόμα και εάν υπάρχουν οι αγωγοί προστασίας που έχει ως απόρροια ότι οι γραμμές χαμηλής τάσεως δεν μπορούν να προστατευτούν από αγωγούς προστασίας.

Από οικονομικού άποψη το όριο της τάσεως γραμμών για προστασία με αγωγούς προστασίας είναι τα 69kV. Στις γραμμές διανομής μέσης τάσης του ελληνικού δικτύου καθώς και οι γραμμές διανομής χαμηλής τάσης 220/380 V δεν χρησιμοποιούνται αγωγοί προστασίας.

Η συχνότητα των κεραυνών σε διάφορες περιοχές δημιουργεί κατηγορίες για την προστασία των εγκαταστάσεων διανομής από υπερτάσεις. Κάθε κατηγορία έχει και διαφορετικούς τρόπους προστασίας από υπερτάσεις.

Η προστασία των εγκαταστάσεων διανομής από υπερτάσεις στηρίζεται κυρίως στη τοποθέτηση αλεξικεραυνών. Η τοποθέτηση των αλεξικεραυνών είναι εξαιρετικά σημαντική αφού προστατεύει το εξοπλισμό και συσκευές του δικτύου (π.χ. μετασχηματιστές ισχύος, πυκνωτές, διακόπτες) καθώς και η τοποθέτηση Διακοπών αυτόματης επαναφοράς. Επιπροσθέτως η τοποθέτηση των αλεξικεραυνών στην αρχή του αγωγού γης γίνεται για να μειώσουμε την κορυφή των κυμάτων που οδεύουν στην γραμμή από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις στα τμήματα της γραμμής που δεν καλύπτονται από τον αγωγό γης.

Η προστασία των εγκαταστάσεων διανομής από υπερτάσεις στηρίζεται κυρίως στη τοποθέτηση αλεξικεραυνών. Η τοποθέτηση των αλεξικεραυνών είναι εξαιρετικά σημαντική αφού προστατεύει το εξοπλισμό και συσκευές του δικτύου (π.χ. μετασχηματιστές ισχύος, πυκνωτές, διακόπτες) καθώς και η τοποθέτηση Διακοπών



αυτόματης επαναφοράς. Επιπροσθέτως η τοποθέτηση των αλεξικεραύνων στην αρχή του αγωγού γης γίνεται για να μειώσουμε την κορυφή των κυμάτων που οδεύουν στην γραμμή από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις στα τμήματα της γραμμής που δεν καλύπτονται από τον αγωγό γης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines - IEEE Power & Energy Society [IEEE Std 1410 - 2010].
2. Υψηλές Τάσεις - Ελευθερία Πυργιώτη, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.
3. Πυργιώτη Ε., "Σχεδιασμός Προστασίας Κατασκευών από Κεραυνούς", Διδακτικό Βιβλίο, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 1994.
4. Εισαγωγή στις υψηλές τάσεις, Οικονόμου Λάμπρος, Φώτης Γεώργιος Π 2011. ΤΖΙΟΛΑ
5. Παραγωγή, μεταφορά, διανομή ηλεκτρικής ενέργειας Σύγγραμμα, Ξανθός Βασίλης Ν., 2003,
6. Ιστοσελίδα [www.hnms.gr](http://www.hnms.gr), Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY).
7. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Αττικής
8. Eriksson, "The Incidence of Lightning Strikes to Power Lines", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. PWRD-2, no. 2, pp. 859-870, July 1987
9. IEEE Working Group Report: "Estimating Lightning Performance of Transmission Lines II - Updates to Analytical Models," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, no. 3, pp. 1254-1267, Jul.1993
10. Electric Power Distribution Handbook - T.A Short [2004 CRC Press LLC].
11. Anderson, J. G., "Lightning Performance of Transmission Lines", *Transmission Line Reference Book, 345 kV and Above*, Electric Power Research Institute: Palo Alto, CA, 1982, ch. 12.
12. Anderson, R.B., Eriksson, A.J., Kroninger, H., Meal, D. V., and Smith, M.A., "Lightning and Thunderstorm Parameters", IEE Conference Publication No. 236, Lightning and Power Systems, London, June 1984, pp. 57-61.
13. De la Rosa, F., "Effects of Close Lightning on Electric Power Distribution Lines", Ph.D thesis, Uppsala University, 1985.
14. Armstrong, H.R., Stoelting, H.O., and Veverka, E.F., "Impulse Studies on Distribution Line Construction, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-86, no. 2, Feb. 1967.
15. Byerley, III, L.G., Cummins, K.L., Tuel, J., Hagberg, Jr, D.J., Bush, W., "The Measurement and Use of Lightning Ground Flash Density", Intl. Aerospace & Ground Conference of Lightning and Static Electricity, Williamsburg, VA, Sept. 26-28, 1995.
16. Cooray, V., "Calculating Lightning-Induced Overvoltages in Power Lines: A Comparison of Two Coupling Models", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 36, no. 3, Aug. 1994, pp. 179-182.