

Τ.Ε.Ι. – Πάτρας
Τμήμα: Ηλεκτρολογίας

Πτυχιακή εργασία
Αριθμός 456

**Σύγχρονα αλεξικέραυνα: παράδειγμα υπολογισμού
προστασία σε ένα υποσταθμό 400kV**

Εισηγητές:
Ε. Πυργιώτη

Σπουδαστές:
Δημήτρης Καρβέλης

Πάτρα Φ99



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
2962



Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Κεφάλαιο 1.....	2
Σύγχρονα Αλεξικέραυνα- Χαρακτηριστικά και δοκιμές.....	2
1.2 Εισαγωγή.....	2
1.2. Χαρακτηριστικά του αλεξικέραунου.....	4
1.3. Διάκενα σαν προστατευτικοί μηχανισμοί για κρουστικά ρεύματα.....	5
1.4. Στοιχεία των βαλβίδων αλεξικέραυνων.....	7
1.5. Διάκενα αλεξικέραυνων.....	9
1.6. Διάκενα εκκαθάρισης.....	12
1.7. Απαγωγείς υπέρτασεων με μη περιορισμό ρεύματος.....	14
1.8. Διάκενα αλεξικέραυνων με περιορισμό ρεύματος.....	15
1.9. Αλεξικέραυνα κατασκευασμένα με στοιχεία βαλβίδων από οξείδια μετάλλων.....	17
1.10. Δοκιμή σε αλεξικέραυνα.....	18
1.10.1. Δοκιμές αντοχής τάσης της μόνωσης του αλεξικεραύνου.....	18
1.10.2. Δοκιμές στην εναλλασσόμενη τάση (50 Hz).....	19
1.10.3. Δοκιμές για τον σχεδιασμό του ρεύματος αντοχής.....	19
1.10.4. Δοκιμή σε κρουστική τάση χειρισμών.....	19
1.10.6. Χαρακτηριστικές κρουστικής τάσης γεφύρωσης – χρόνου.....	20
1.10.7. Δοκιμές τάσης εκφόρτισης.....	21
1.10.8. Δοκιμές ελέγχου του κύκλου λειτουργίας.....	21
1.10.9. Δοκιμές για τάση ιονισμού και τάση ραδιοφωνικών παρεμβολών.....	22
1.10.10. Δοκιμές αποζευκτήρα αλεξικέραυνων διανομής.....	22
1.10.11. Δοκιμές ρύπανσης.....	23
Κεφάλαιο 2.....	24
Επιλογή αλεξικέραυνων.....	24
Περίληψη.....	24
2.1. Μελέτες εφαρμογών αλεξικέραυνων.....	24
2.2. Λειτουργία των αλεξικέραυνων.....	24
2.3. Προσωρινή υπέρταση κατά την διάρκεια σφάλματος.....	25
2.4. Άλλες συνθήκες υπέρτασης.....	26
2.5. Επιλογή ονομαστικής τιμής του αλεξικέραунου.....	26
2.5.1. Ειδικές συνθήκες λειτουργίας.....	26

2.6. Επιλογή τάξεων των αλεξικέραυνων.....	30
2.6.1. Επιλογή τάξης αλεξικέρανου.....	30
2.7. Προστατευτικά χαρακτηριστικά των αλεξικέραυνων.....	31
2.7.1. Τα χαρακτηριστικά της διάσπασης.....	32
2.7.2. Τα χαρακτηριστικά εκφόρτισης.....	32
2.7.3. Μέγεθος ρευμάτων εκφόρτισης.....	32
2.7.4. Προστατευτικά επίπεδα.....	34
2.8. Επίπεδα κρουστικής μόνωσης.....	34
2.8.1. Αντοχές μόνωσης για εξοπλισμό.....	34
2.9. Τοποθέτηση των αλεξικέραυνων σε σχέση με τον προστατευμένο εξοπλισμό.....	35
2.10. Επιδράσεις απόσπασης.....	35
2.10.1. Απλοποιημένη μέθοδος εκτίμησης επιδράσεων απόσπασης.....	36
2.10.2. Βασική περίπτωση.....	36
2.10.3. Αναγωγή σύνθετων υποσταθμών στη βασική περίπτωση.....	37
2.10.4. Παράμετροι για την επίλυση της βασικής περίπτωσης.....	40
2.10.5. Εκτίμηση επιδράσεων απόσπασης.....	40
2.10.6. Επιτρεπόμενη απόσταση.....	41
2.10.7. Τυποποίηση της επίδρασης της απόστασης.....	42
2.10.8. Πίνακας επιτρεπτών αποστάσεων απόσπασης.....	43
2.11. Εκτίμηση επιδράσεων της απόστασης από μελέτες μοντέλων.....	43
2.11.1. Ερμηνεία αποτελεσμάτων των μοντέλων των μελετών.....	44
2.12. Διαβάθμιση μόνωσης.....	44
2.12.1. Μέθοδος τριών σημείων.....	44
2.12.2. Μέθοδος της καμπύλης.....	45
2.12.3. Μέθοδος εφικτής διαβάθμισης.....	47
2.13. Παράδειγμα επιλογής αλεξικέρανου.....	47
2.14. Έλεγχος συντονισμού της μόνωσης.....	51
2.16. Εφαρμογή Ε.Η.Υ. αλεξικέρανου.....	52
2.17. Αιτίες υπερτάσεων χειρισμού που επηρεάζουν τις εφαρμογές των αλεξικέραυνων.....	52
2.17.1. Υπερτάσεις εκεί που μερικές γεφυρώσεις επιτρέπονται.....	53
2.17.2. Υπερτάσεις όταν ένα ή δύο γεφυρώσεις επιτρέπονται.....	53
2.17.3. Υπερτάσεις, όταν οι προσωρινές υπερτάσεις φθάνουν σε ξανακλείσιμο των διακοπών.....	54
2.18. Μέγιστη επιτρεπτή υπέρταση χειρισμών.....	54
2.19. Το ΤΟΝ μεγαλύτερο από την ονομαστική τιμή του αλεξικέρανου.....	55
2.19.1. Επανακλείσιμο.....	55
2.20. Περιπτώσεις όπου ένας αριθμός διασπάσεων επιτρέπεται.....	57
2.21. Ικανότητες Ε.Η.Υ. αλεξικέρανου.....	58

2.22. Προστατευτικά χαρακτηριστικά.....	58
2.22.1. Ανάγκη για υψηλότερα ρεύματα εκφόρτισης.....	58
2.22.2. Απότομος ρυθμός ανόδου.....	59
Παράρτημα.....	60
Βιβλιογραφία.....	63

Περίληψη

Μία από τις παραμέτρους που καθορίζουν την ικανότητα φορτίσεως μιας συσκευής ενός συστήματος ισχύος είναι το ύψος των διηλεκτρικών καταπονήσεων που μπορεί αυτή να αντέξει χωρίς βλάβη ή διατάραξη της ομαλής λειτουργίας της.

Οι διηλεκτρικές καταπονήσεις των συσκευών προέρχονται από τις τάσεις που αναπτύσσονται κατά την λειτουργία τους, ανάμεσα στα διάφορα στοιχεία τους, ή ανάμεσα σε στοιχεία της συσκευής αυτής και στοιχεία μιας άλλης συσκευής ή τη γη. Οι τάσεις που αναπτύσσονται υπό ομαλές συνθήκες λειτουργίας και ονομάζονται «τάσεις ομαλής λειτουργίας» και αυτές που αναπτύσσονται σε εξαιρετικές μόνο περιπτώσεις ή ανωμαλίες, οι οποίες, επειδή κατά κανόνα είναι υψηλότερες από τις τάσεις ομαλής λειτουργίας ονομάζονται «υπερτάσεις».

Επειδή μερικές από τις υπερτάσεις μπορούν να λάβουν εξαιρετικά υψηλές τιμές, όπως π.χ. αυτές που προέρχονται από κεραυνούς, οπότε η μόνωση έναντι αυτών να γίνεται πολύ δαπανηρή ή ακόμα και αδύνατη, λαμβάνοντας κατά κανόνα μέτρα μείωσης του μεγέθους των υπερτάσεων. Τα μέτρα αυτά καλούνται «έλεγχος των υπερτάσεων».

Μια προστατευτική διάταξη για να περιορίσει τις κρουστικές τάσεις του εξοπλισμού, το οποίο εκφορτίζοντας ή γεφυρώνοντας το κρουστικό ρεύμα, προλαβαίνει την συνεχή ροή του συνεχούς ρεύματος στο έδαφος και είναι ικανό να επαναλάβει αυτές τις λειτουργίες όπως προσδιορίζονται, είναι το αλεξικέραυνο ή απαγωγές. Διάφορα είδη των κρουστικών αλεξικέραυνων έχουν παραχθεί για να προστατεύουν μια λειτουργία της μόνωσης. Οι διαφορές στο σχεδιασμό αλεξικέραυνων διαφορετικών τάξεων καθορίζονται από τις διαφορές τους στις προστατευτικές απαιτήσεις της ενέργειας, τις προστατευτικές ικανότητες εκτόνωσης και από τα φυσικά χαρακτηριστικά.

Κεφάλαιο 1

Σύγχρονα Αλεξικέραυνα- Χαρακτηριστικά και δοκιμές.

1.1 Εισαγωγή

Μια προστατευτική διάταξη για να περιορίσει τις κρουστικές τάσεις του εξοπλισμού, το οποίο εκφορτίζοντας ή γεφυρώνοντας το κρουστικό ρεύμα προλαβαίνει την συνεχή ροή του συνεχούς ρεύματος στο έδαφος και είναι ικανό να επαναλάβει αυτές τις λειτουργίες όπως προσδιορίζονται, είναι το αλεξικέραυνο ή απαγωγές υπέρτασης. Διάφορα είδη των κρουστικών αλεξικέραυνων έχουν παραχθεί για να προστατεύουν μια λειτουργία της μόνωσης. Οι διαφορές στο σχεδιασμό αλεξικέραυνων διαφορετικών τάξεων καθορίζονται από τις διαφορές τους στις προστατευτικές απαιτήσεις: την ενέργεια, τις προστατευτικές ικανότητες εκτόνωσης και από τα φυσικά χαρακτηριστικά.

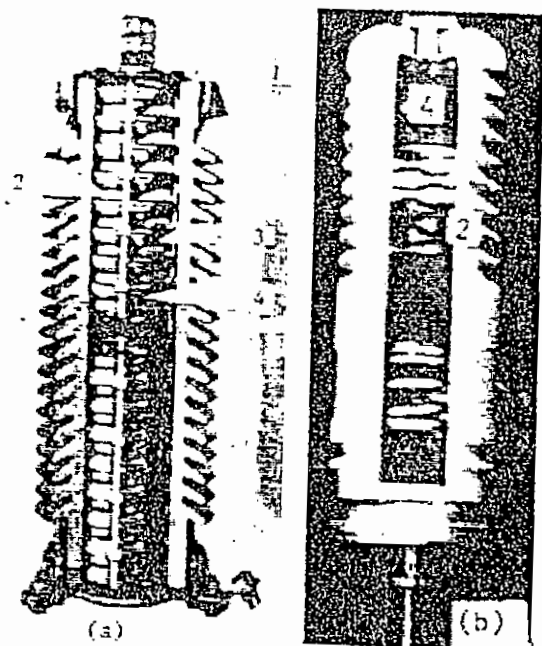
Το σώμα των αλεξικέραυνων αποτελείται από ένα στοιχείο βαλβίδας ή μία μη γραμμική αντίσταση (καρβιδικού πυριτίου), σε σειρά με μονωτικά διάκενα. Εξαρτημένα από την τάση του αλεξικέραυνου και την ποιότητα παραγωγής τα διάκενα μπορεί ή δεν μπορεί να έχουν ικανότητα μείωσης του ρεύματος. Επίσης τα στοιχεία βαλβίδας από οξειδίο μετάλλου – τα οποία είναι σε λειτουργία έχουν κατασκευαστεί χωρίς διάκενα μονωτικού.

Οι δοκιμές για τον σχεδιασμό των κρουστικών αλεξικέραυνων περιέχονται στον ANSI C62.1 με λεπτομέρειες. Μια σύντομη αναφορά για τον σκοπό των δοκιμών θα σχολιαστεί εδώ σε σχέση με την τάση αντοχής της μόνωσης των αλεξικέραυνων, την συχνότητα διάσπασης, τον σχεδιασμό του ρεύματος αντοχής, την τάση διάσπασης σε κρουστική τάση χειρισμών, την τάση διάσπασης σε κρουστική τάση κεραυνών, την χαρακτηριστική κρουστικής τάσης διάσπασης- χρόνου, την τάση εκφόρτισης, τον κύκλο λειτουργίας, την εσωτερική τάση ιονισμού και την τάση που δημιουργεί παρενοχλήσεις στις ραδιοφωνικές συχνότητες, την εκτόνωση πίεσης, τους διακόπτες αλεξικέραυνων διανομής και την ρύπανση. Εφ' όσον δεν υπάρχουν διάκενα αέρα σε σειρά στα αλεξικέραυνα τύπου «οξειδίου μετάλλου», δεν δοκιμάζονται όπως τα αντίστοιχα με διάκενα.

Υπάρχουν τρεις γενικά τάξεις κρουστικών αλεξικέραυνων:

- Αλεξικέραυνα σταθμών, σχεδιασμένα για μεγάλη αντοχή, που έχουν μια σειρά εφαρμογών από 2,4 kV μέχρι 80 kV.
- Μεσαίας τάξης που σχεδιάζονται για μεσαία αντοχή και για εφαρμογές από 138 kV και κάτω, και τέλος
- Αλεξικέραυνα διανομής που σχεδιάζονται για ελαφριά αντοχή και για εφαρμογές από 34,5 kV και κάτω.

Τα αλεξικέραυνα τύπου σταθμών, καθώς και τα μεσαίας τάξης, είναι όλα τύπου βαλβίδας για πρακτικούς σκοπούς. Σχεδιάζονται δηλαδή χρησιμοποιώντας τις μη γραμμικές αντιστάσεις σαν στοιχεία βαλβίδας, για τον έλεγχο του ρεύματος και με εν σειρά διάκενα, ώστε να αντέχουν την συνηθισμένη εφαρμοζόμενη τάση, να γεφυρώνουν σε μια συγκεκριμένη κρουστική τάση και να αποκαθιστούν την τάση του κυκλώματος, μετά την ροή του κρουστικού ρεύματος. Μερικά αλεξικέραυνα διανομής, χρησιμοποιούν μια «αρχή εκτόνωσης», κατά την οποία το ρεύμα του αλεξικέραυνου, ρέει ανάμεσα από τα ηλεκτρόδια τα οποία είναι κλεισμένα μέσα σε ένα οργανικό σωλήνα. Το αέριο που παράγεται από την εξάτμιση μερικών οργανικών υλικών, χρησιμοποιείται για να προκαλέσει το αλεξικέραυνο, να εκκαθαρίσει την τάση του κυκλώματος. Παρ' ότι τα αλεξικέραυνα εκτόνωσης είναι ένα ενδιαφέρον θέμα, δεν αναφέρονται στην παρούσα εργασία, μια και τα αλεξικέραυνα με βαλβίδα είναι ο τύπος που υπερέχει σε λειτουργία. Μια άποψη ενός ειδικού σχεδίου των αλεξικέραυνων σταθμών, καθώς και των διανομής, φαίνονται στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1. Τομή ενός αλεξικέραυνου.

- α) Αλεξικέραυνο σταθμού.
 - β) Αλεξικέραυνο διανομής.
- 1) Εκτονωτής πίεσης.
 - 2) Διάκενο.
 - 3) Διαβαθμισμένη αντίσταση.
 - 4) Δίσκος βαλβίδας.

1.2. Χαρακτηριστικά του αλεξικέραυτου

Πίνακας 1.1. Προσέγγιση.

Περιοχή των κρουστικών αλεξικέραυνων. Προστατευτικά χαρακτηριστικά.					
Τάξη	Ονομαστική επιτρεπόμενη kV	Διάσπαση στο μέτωπο κύματος ru ονομαστικό	Διάσπαση σε 1,5/50 ru ονομαστικό	Διάσπαση σε υπερτάσεις χειρισμού ru ονομαστικό	Τάση εκφόρτισης στα 10 kA για κύμα 8/20 ru ονομαστικό
Διανομής	3 έως 30	2 έως 6			2,5 έως 3,25
Μεσαία	3 έως 120	1,9 έως 3,65	1,5 έως 2,6	1,9 έως 2,5	1,82 έως 2,55
Σταθμού	3 έως 612	1,8 έως 2,8	1,55 έως 1,9	1,45 έως 2	1,54 έως 2,24

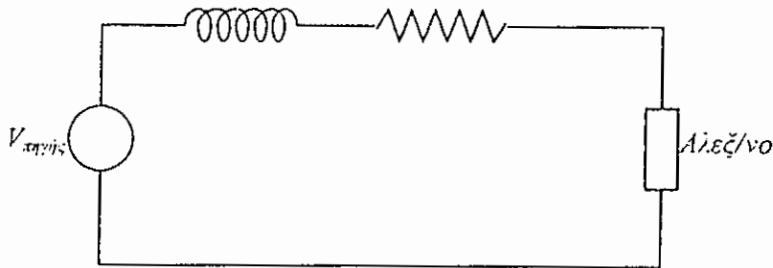
Οι διαφορές στο σχεδιασμό των διαφόρων αλεξικέραυνων, είναι μια λειτουργία της μόνωσης της οποίας η προστασία περιγράφεται στο κεφάλαιο 2. Η σειρά των προστατευτικών χαρακτηριστικών των διαφόρων τάξεων των αλεξικέραυνων, είναι περίπου όπως δίνονται στον πίνακα 1.1, με το επίπεδο προστασίας να ενδεικνύεται ανά μονάδα της ονομαστικής τιμής του αλεξικέραυτου έναντι τάσης κεραυνών. Γενικά αναφέρουμε, ότι τα αλεξικέραυνα διανομής έχουν προστατευτικά επίπεδα περίπου τρεις φορές την ονομαστική μέγιστη τιμή. Τα μεσαία τάξης αλεξικέραυνα, περίπου 2-2,5 φορές της ονομαστικής τιμής και τα τύπου σταθμών περίπου 1,5-2,5 φορές. Επιπλέον τα τύπου σταθμών έχουν προστατευτικά επίπεδα έναντι κρούσεων χειρισμών, περίπου 1,6 φορές της ονομαστικής τιμής ενώ τα μεσαία τάξης 2 φορές της ονομαστικής τιμής. Για τα αλεξικέραυνα διανομής δεν ορίζονται συνήθως προστατευτικά επίπεδα, έναντι κρούσεων χειρισμών. Αυτά τα χαρακτηριστικά, μαζί με την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας, ικανότητα εκτόνωσης της πίεσης και τα απαιτούμενα φυσικά χαρακτηριστικά, εξηγούν τις πολλές διαφορές στο σχεδιασμό των αλεξικέραυνων των διαφόρων τάξεων.

Ένα βασικό σημείο που μερικές φορές παραβλέπεται την ανάλυση της απόδοσης των χαρακτηριστικών του αλεξικέραυτου, είναι ότι δεν πρέπει να το θεωρούμε σαν μια ξεχωριστή συσκευή που περιορίζει την τάση, αλλά σαν ένα τμήμα μεταβλητής αντίστασης ενός ηλεκτρικού δικτύου.

Τα περισσότερα από τα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της απόδοσης των αλεξικέραυνων, μπορούν να εξομοιωθούν με μια πηγή τάσεως, την αντίστοιχη εμπέδηση, και το αλεξικέραυνο όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2. Οι στο κύκλωμα του σχήματος 1.2 είναι:

$$V_{\text{πηγής}} = V_{\text{αλεξ/νου}} + V_{\text{της εν σειρά εμπέδησης}}$$

$$V_{\text{αλεξ/νου}} = V_{\text{πηγής}} - i \times \text{την εν σειρά εμπέδηση.}$$



Σχήμα 1.2. Ισοδύναμο κύκλωμα αλεξικέραυτου.

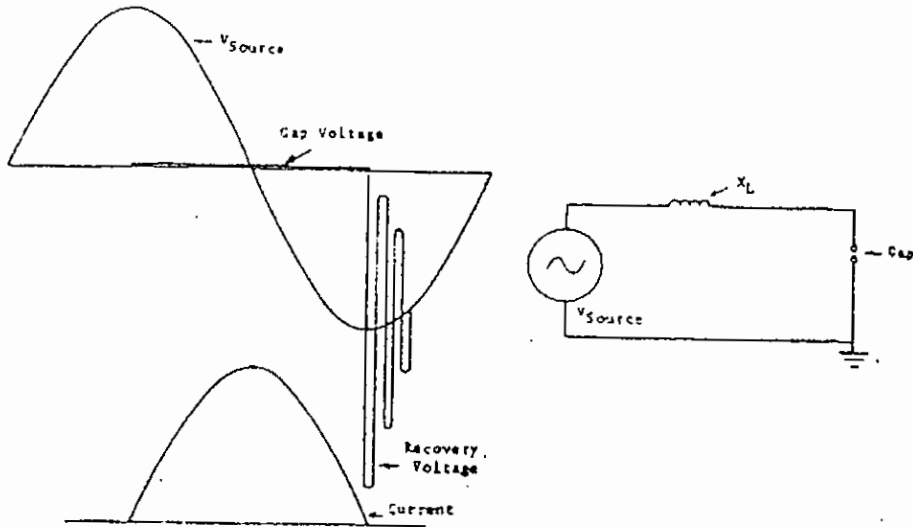
Αν μια πηγή τάσεως μηδενικής εμπέδησης, συνδεθεί δια μέσου ενός αλεξικέραυτου, χρησιμοποιώντας αγωγούς μηδενικής εμπέδησης, είναι προφανές ότι η τάση δια μέσου του αλεξικέραυτου, πρέπει να είναι η τάση της πηγής. Στην περίπτωση μας όπου η πηγή τάσεως και οι αγωγοί έχουν κάποια εμπέδηση, η τάση της πηγής διαιρείται μεταξύ του αλεξικέραυτου και της εν σειρά εμπέδησης. Συχνά θεωρούμε βολικό ότι η λειτουργία του αλεξικέραυτου αφορά στον έλεγχο του ρεύματος κατά μήκος μιας σειράς εμπεδήσεων, ώστε η επιθυμητή πτώση τάσης να παράγεται δια μέσου της εμπέδησης. Η εν σειρά εμπέδηση, συνήθως περιλαμβάνει και στοιχεία αντιστάσεως και επαγωγής, γι' αυτό η ένδειξη της πτώσης τάσης δια μέσου μιας εμπέδησης μπορεί να αλλάξει κατά την λειτουργία του αλεξικέραυτου. Τέτοιο παράδειγμα, είναι η λειτουργία ενός αλεξικέραυτου σε επαγωγικό κύκλωμα με περιορισμένο ρεύμα, στην οποία θα αναφερθούμε πιο κάτω αναλυτικότερα.

1.3. Διάκενα σαν προστατευτικοί μηχανισμοί για κρουστικά ρεύματα.

Η λειτουργία εκφόρτισης ή της παράκαμψης του κρουστικού ρεύματος, μπορεί να πραγματοποιηθεί αν συνδέσουμε ένα διάκενο αέρος κατά μήκος (ή παράλληλα) στην προστατευόμενη μόνωση. Παρ' όλα αυτά όταν το διάκενο γεφυρώνεται από μια εισερχόμενη ένταση ρεύματος και κατευθύνει το κρουστικό ρεύμα στο έδαφος, είναι αδύνατο να εκκαθαρίσει την τάση του δικτύου και τότε ένας διακόπτης ή κάποιος άλλος προστατευτικός μηχανισμός πρέπει να λειτουργήσει. Ένα διάκενο αέρος δεν μπορεί να «εκκαθαρίσει» ένα βραχυκύκλωμα ρεύματος από

μια σημαντική τάση επειδή αυτό υποβάλλεται σ' έναν ταχύ ρυθμό ανόδου της τάσης με μηδενικό ρεύμα.

Το σχήμα 1.3 στην επόμενη σελίδα, δείχνει την λειτουργία των διακένων αέρος σ' ένα επαγωγικό κύκλωμα. Αν το διάκενο γεφυρώνεται μέσω μιας κρουστικής τάσης ονομαστικής μέγιστης τιμής, ένα συμμετρικό ρεύμα σφάλματος ρέει από την πηγή. Επειδή η τάση διαμέσου ενός απλού διακένου αέρος που μεταφέρει ρεύμα τόξου είναι μόνο μερικά δέκατα του volt, το μέγεθος του ρεύματος σφάλματος, διαιρείται από την επαγωγική αντίσταση και έτσι είναι:



Σχήμα 1.3. Λειτουργία ενός διακένου αέρα, σε ένα επαγωγικό κύκλωμα με λειτουργία που ξεκινά με κρούση στην ονομαστική μέγιστη τιμή της τάσης.

$$V_{\text{πηγής}} - V_{\text{διακένου}} = iX_L = L di/dt \quad (1.2)$$

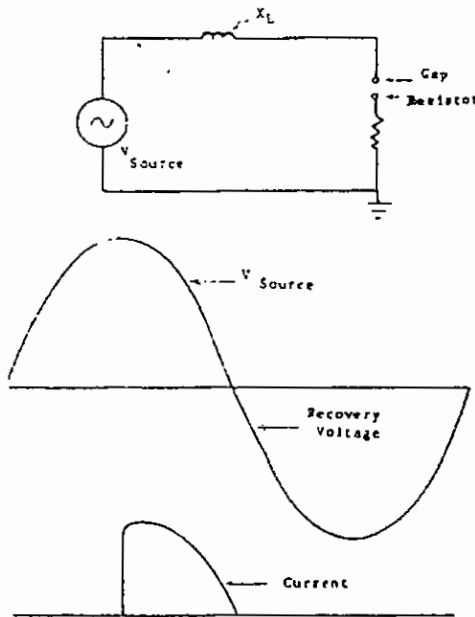
Η ροή του ρεύματος σταματάει προσωρινά σε κάθε μηδενικό φυσικό ρεύμα, αλλά αν το διάκενο δεν εφοδιάζεται με μερικά μέσα για την γρήγορη ανάκτηση της διηλεκτρικής του ικανότητας, αυτό θα γεφυρωθεί πάλι. Ο βασικός λόγος είναι ότι όταν το ρεύμα μηδενίζεται, η τάση διαμέσου του διακένου, πρέπει να αλλάζει γρήγορα, από το μηδέν περίπου, ως την ονομαστική τάση της πηγής. Η παρασιτική χωρητικότητα του κυκλώματος, προκαλεί την τάση να υπερβεί περίπου κατά δύο φορές την ονομαστική μέγιστη τάση της πηγής και το διάκενο να ξαναδιασπαστεί. Στην τιμή κατά την οποία η τάση αλλάζει, ο ρυθμός ανόδου της τάσης εξαρτάται από την επαγωγή και την χωρητικότητα του κυκλώματος. Είναι ένας κύριος κανόνας της εσφαλμένης διακοπής που μας επιβάλλει την ανάκτηση της διηλεκτρικής ικανότητας του διακόπτη σε μια ονομαστική τιμή, γρηγορότερα από τον ρυθμό ανόδου ανάκτησης της τάσης του κυκλώματος. Οι διακόπτες που μπορούν να

χρησιμεύσουν γι' αυτή τη λειτουργία, κατασκευάζονται αλλά είναι πολύπλοκοι, όπως οι διακόπτες κυκλώματος, οι ασφάλειες υψηλών τάσεων ή τα προστατευτικά διάκενα.

1.4. Στοιχεία των βαλβίδων αλεξικέραυνων.

Εάν έχουμε μια αντίσταση υψηλότερη από το X_L εν σειρά με το διάκενο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4, η εκκαθάριση της τάσης του κυκλώματος γίνεται πιο απλά για δύο λόγους:

- 1) Το ρεύμα βραχυκυκλώματος μειώνεται.
- 2) Το ρεύμα και η τάση είναι σχεδόν σε φάση, έτσι ώστε η τάση ανάκτησης κατά μήκος του διακένου έχει το ρυθμό ανόδου της τάσης συχνότητας.



Σχήμα 1.4. Λειτουργία του διακένου του σχήματος 1.3 αλλά με αντίσταση αρκετές φορές ψηλότερη από X_L σε σειρά με διάκενο. Η λειτουργία ξεκινά με κρούση στην ονομαστική μέγιστη τιμή της τάσης.

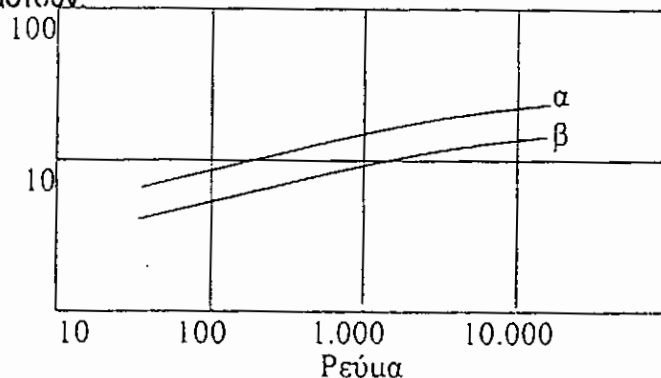
Αν το αλεξικέραυνο τεθεί σε λειτουργία με φασική τάση κυκλώματος 6 kV για παράδειγμα, ενώ το ρεύμα κορυφής των 50 Hz είναι 100 Amperes, η μέγιστη αντίσταση την στιγμή της κορυφής της τάσης $6 \times (\text{ρίζα}2) = 8,5$ kV, πρέπει να είναι $8500/100 = 85$ ohms αν το διάκενο αναπτύσσεται σε ουσιαστικά μηδενική τάση κατά τη ροή του ρεύματος. Σ' ένα κρουστικό ρεύμα των 10.000 amperes το αλεξικέραυνο θα είχε 85

$\times 10.000 = 850$ kV κορυφής κατά μήκος των τερματικών γραμμών, σε σύστήματα διανομής όμως, το συνηθισμένο επίπεδο μόνωσης που προστατεύεται από ένα αλεξικέραυνο ονομαστικής τιμής 6 kV, είναι 95kV. Η λύση είναι να χρησιμοποιούμε μη γραμμικές αντιστάσεις βαλβίδας, οι οποίες έχουν χαρακτηριστικές volt-ampere της γενικής μορφής, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5 α. Η εξίσωση που συνήθως χρησιμοποιούμε για να περιγράψουμε την καμπύλη των Volt – Ampere είναι:

$$i = kV^a$$

όπου i είναι το ρεύμα κορυφής, k είναι σταθερά, V είναι η τάση κορυφής και a είναι ο εκθέτης του δίσκου.

Οι αντιστάσεις βαλβίδας συνήθως κατασκευάζονται με καρβιδική σύνδεση πυριτίου, χρησιμοποιώντας ένα συνδυαστικό σύστημα από πορσελάνη ή ένα ορυκτό αλουμ. Σιδήρου & μαγνησίου υψηλής θερμοκρασίας. Η αντίσταση βαλβίδας κατασκευάζεται σε πολλά μεγέθη που το καθ' ένα εξαρτάται από την ενέργεια που η αντίσταση μπορεί να απορροφήσει. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος, είναι το ανώτατο όριο ανεκτής πυκνότητας ρεύματος σε εκκένωση υψηλού ρεύματος όπως και το μήκος των αντιστάσεων βαλβίδων που απαιτείται να αντέξουν αυτές, την εκκένωση υψηλού ρεύματος χωρίς μονωτήρα. Για παράδειγμα οι αντιστάσεις βαλβίδας για αλεξικέραυνα σταθμού, έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από τις αντιστάσεις αλεξικέραυνων διανομής, αλλά είναι συνήθως κοντύτερες μια και εκθέτουν μικρότερη τάση σε εκκενώσεις υψηλού ρεύματος και επομένως είναι λιγότερο πιθανόν να διασπαστούν.



Σχήμα 1.5. Χαρακτηριστικά τάσης ρεύματος για βαλβίδα αντιστάτη με ονομαστική τιμή 6 kV.

- α) Το ρεύμα στα 8,5 kV είναι 100 A και στα 24 kV είναι 10000 A.
β) Το ρεύμα στα 8,5 kV είναι 400 A και στα 15 kV είναι 10000 A.

Η συνηθισμένη περιοχή εκθετών, a , των αντιστάσεων βαλβίδας από καρβιδική σύνθεση πυριτίου είναι 4-6. Πρόσφατα έχουν κατασκευαστεί στοιχεία βαλβίδας από οξειδίο ψευδαργύρου ενωμένα με διάφορα μεταλλικά οξείδια με περιοχή εκθετών 25-30.

Όταν χρησιμοποιούμε αντιστάσεις βαλβίδας από καρβιδική σιλικόνη, με καμπύλη τάσεως όπως αυτή του σχ. 1.4, για αλεξικέραυνα, μπορούμε να μειώσουμε την τάση εκφόρτισης, αν το ρεύμα αυξημένης συχνότητας ισχύος είναι ανεκτό. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5 α, αν η αντίσταση μειώνεται μικραίνοντας το στοιχείο, μια άλλη καμπύλη παράγεται παράλληλα προς την πρώτη. Η τάση εκφόρτισης σε 10.000 amperes είναι τώρα 15 kV, αλλά το συνεχές ρεύμα κορυφής είναι 400 amperes. Γενικά, έτσι μπορούμε να βελτιώσουμε τα χαρακτηριστικά της τάσης, εκφόρτισης, αλλά πρέπει να γνωρίζουμε ότι:

1. Καθώς η αντίσταση του στοιχείου βαλβίδας μειώνεται, τα διάκενα πρέπει να γίνουν ικανά να διακόπτουν υψηλότερο ρεύμα.
2. Τα κυκλώματα διανομής συνήθως αντέχουν ένα πλήρες βραχυκυκλωμένο σύστημα, στο μισό κύκλο, ώστε να προσαρμόσουν την λειτουργία των βαλβίδων εκτόνωσης, αλλά τοποθετώντας τα σε συστήματα μεταβίβασης, είναι ευαίσθητα σε υπερβολικό ρέον ρεύμα, έτσι η λειτουργία του διακόπτη επιτυγχάνεται για πολύ υψηλά ρεύματα.
3. Το ποσό της ενέργειας που πρέπει να απορροφηθεί από την αντίσταση βαλβίδας κατά την διάρκεια ροής του ρεύματος, μπορεί να υπερβεί την ενέργεια που απορροφάται κατά την διάρκεια υπερτάσεων χειρισμών ή κεραυνών σε τέτοια έκταση που η αντίσταση πρέπει να είναι πολύ μεγάλη για να είναι οικονομική.

Γι' αυτούς τους λόγους, τα είδη διακένων περιορισμένης έντασης, αναπτύχθηκαν για αλεξικέραυνα τύπου σταθμών και μεσαίας τάξης.

Η λειτουργία των διακένων περιορισμένης έντασης στα αλεξικέραυνα σε σχέση με αυτή των μη περιορισμένης έντασης διαφέρει στο ότι τα δεύτερα, είναι ικανά να μειώσουν το ρεύμα χωρίς να επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά της τάσης εκκένωσης των αλεξικέραυνων. Αυτή η ικανότητα επιτρέπει να χρησιμοποιούνται στοιχεία βαλβίδων χαμηλότερης αντίστασης, σε αλεξικέραυνα περιορισμένης έντασης ρεύματος, απ' ότι σε άλλα είδη.

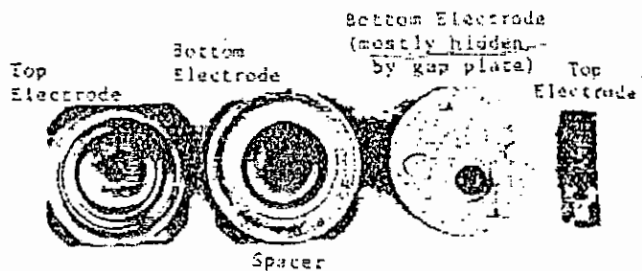
1.5. Διάκενα αλεξικέραυνων

Η λειτουργία τους έχει σκοπό:

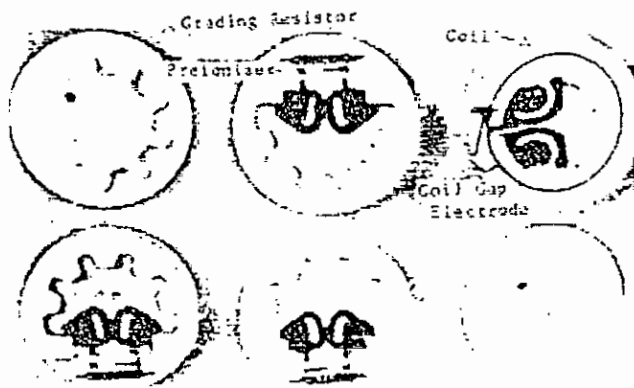
1. Να αντέχουν κανονική τάση λειτουργίας χωρίς γεφύρωση, κάτω απ' όλες τις συνθήκες λειτουργίας, συμπεριλαμβανόμενων αυτών των οποίων η επιφάνεια του αλεξικέραυνου μπορεί να ρυπανθεί.

2. Να γεφυρώνονται στην τάση διασπάσεως ώστε να δημιουργείται δρόμος για την εκκένωση ρεύματος διαμέσου του στοιχείου βαλβίδας στο έδαφος.
3. Να έχουμε εκκαθάριση στο σύστημα τάσης, μετά από κάθε εκκένωση κρουστικού ρεύματος.

Τα τμήματα των διακένων των αλεξικέραυνων, συνήθως αποτελούνται από επιμέρους διάκενα που συνδέονται εν σειρά. Η τοποθέτηση κατά διαστήματα των επιμέρους διακένων, είναι συνήθως στην περιοχή των 0,04 ιντσών έως 0,1 ιντσών. Παραδείγματα διακένων αλεξικέραυνων διανομής και σταθμού, φαίνονται στο σχήμα 1.6 που ακολουθεί.



Σχήμα 1.6. (Α) Δύο παραδείγματα από διάκενα διανομής που το καθένα έχει ονομαστική τιμή 1,5 kV.



Σχήμα 1.6. (Β) 6kV αποσυναρμολογημένο διάκενο περιορισμού ρεύματος.

Το κάθε διάκενο ενός αλεξικέραυνου διανομής, του σχήματος 1.6 έχει ονομαστική τιμή 1,5 kV, έτσι ώστε σ' ένα αλεξικέραυνο 9 kV να χρησιμοποιούνται 6 διάκενα. Παρομοίως κάθε διάκενο αλεξικέραυνου σταθμών, έχει ονομαστική τιμή 1,5 kV και μια διάταξη τεσσάρων κυρίων διακένων έχει ονομαστική τιμή 6 kV.

Η κατανομή της τάσης σ' ένα σύνολο εν σειρά διακένων, μπορεί να ελέγχεται από την χωρητικότητα των διακένων, συνδέοντας σε σειρά μερικά από αυτά και εάν είναι επιτρεπτό ένα διάκενο υψηλής δυνατότητας γεφύρωσης όπως φαίνεται στον πίνακα 1.1 για αλεξικέραυνα διανομής. Για αλεξικέραυνα υψηλότερης τάσης, πυκνωτές ή και αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες κατά μήκος επιμέρους διακένων

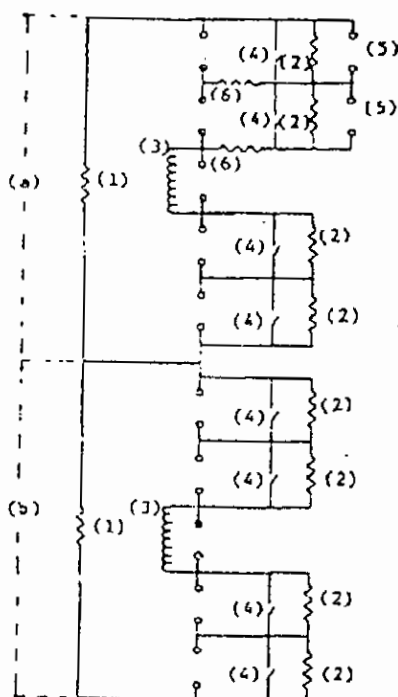
και όπως φαίνεται στο σχήμα 1.7, σύνολα διακένων τοποθετούνται για να έχουμε την επιθυμητή κατανομή τάσης.

Όσο πιο χαμηλό γίνεται το επίπεδο προστασίας του αλεξικέραυτου σε σχέση με την ονομαστική τιμή του, τόσο πιο σημαντικό είναι να διατηρεί μια σταθερή κατανομή τάσης στα εν σειρά διάκενα, για να είμαστε σίγουροι ότι δεν θα γεφυρωθεί στην τάση λειτουργίας του, μια και θα διατηρεί την ικανότητα να γεφυρώνεται στο επιθυμητό επίπεδο τάσης. Για το λόγο αυτό, τα περισσότερα αλεξικέραυνα σταθμών, είναι εξοπλισμένα με αντιστάσεις διαβάθμισης, ικανές να μεταφέρουν από 1 mA και άνω στην τάση λειτουργίας, ενώ πυκνωτές μπορούν να προστεθούν ώστε να βελτιώσουν την κατανομή της τάσης.

Συνήθως ένα διάκενο μπορεί να εκκαθαρίσει τάση 60 Hz, λιγότερο από τη μισή τάση 60 Hz γεφύρωσης ενός διακένου. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ο λόγος της κρουστικής τάσης γεφύρωσης, προς τη μέγιστη 60 Hz για ένα διάκενο, είναι μεγαλύτερη από 1, πρέπει το προστατευτικό του επίπεδο, να είναι δύο φορές μεγαλύτερο από την τάση εκκαθάρισης του. Όπως γνωρίζουμε η ονομαστική τιμή πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την τάση εκκαθάρισης, έτσι για να επιτύχουμε τα χαρακτηριστικά του πίνακα 1.1, πρέπει να μειώσουμε την κρουστική τάση γεφύρωσης. Αυτό το πετυχαίνουμε με διάφορες τροποποιήσεις όπως φαίνεται στα σχήματα 1.6 και 1.7.

1. Η τάση διασπάσεως, γίνεται πιο αξιόπιστη σ' ένα δεδομένο επίπεδο, ιονίζοντας το κενό μεταξύ των διακένων, χρησιμοποιώντας επίσης πολλές μεθόδους προΐονισμού. Οι περισσότερες απ' αυτές αφορούν στην παραγωγή της εκκένωσης κορόνα, δια μέσου μιας μονωτικής επιφάνειας σ' ένα επίπεδο κάτω από το επιθυμητό επίπεδο γεφύρωσης.
2. Η αντίσταση και η χωρητικότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόκτηση υπερβολικής τάσης, σ' ένα ή περισσότερα διάκενα, καθώς η τάση αυξάνεται πάνω από την ονομαστική τιμή της. Μια συνηθισμένη μέθοδος, χρησιμοποιεί τις γραμμικές αντιστάσεις κατά μήκος μερικών διακένων και μη γραμμικές αντιστάσεις κατά μήκος άλλων, με τις αντιστάσεις ισορροπημένες να λαμβάνουν την ονομαστική τιμή της τάσης, καθώς η τάση αυξάνεται προς την τάση διάσπασης, και ο ρυθμός ανόδου του ρεύματος αυξάνεται. Περισσότερη τάση εμφανίζεται κατά μήκος των γραμμικών αντιστάσεων απ' ότι στις μη γραμμικές αντιστάσεις. Η υπερβολική τάση εξαναγκάζει τα διάκενα, να γεφυρωθούν μέσω των γραμμικών αντιστάσεων, ενώ τα υπόλοιπα διάκενα βραχυκυκλώνονται μιας και υποβάλλονται στην ολική τάση.
3. Τα διάκενα έναυσης που μεταφέρουν ρεύμα βάρμωσης, αλλά όχι ρεύμα εκφόρτισης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για να βραχυκυκλώσουν μερικά διάκενα, ώστε τα άλλα να υποβάλλονται σε υπερβολική τάση. Στο σχήμα 1.7 φαίνεται ένα παράδειγμα ρύθμισης διακένων έναυσης, το οποίο όταν

γεφυρώνεται, το ρεύμα του είναι μειωμένο από τα αλεξικέραυνα, ζεύξης και διαβάθμισης, αλλά βραχυκυκλώνει αποτελεσματικά το μισό τμήμα του διακένου, ενώ η υπερβολική τάση προκαλεί γεφύρωση στο άλλο μισό.



Σχήμα 1.7. Σημαντικό διάγραμμα των διακένων του αλεξικέραυνου. Το διάκενο (α) θέτει σε λειτουργία το διάκενο (β), είναι ένα διατεταγμένο διάκενο το οποίο σπινθηρίζει στην υπερβολική τάση μετά την διάσπαση του πρώτου διακένου.

(1) Κύριες αντιστάσεις διαβάθμισης.

(2) Δευτερεύουσες αντιστάσεις διαβάθμισης.

(3) Επαγωγικά διάκενα.

(4) Προϊονιστές.

(5) Διάκενα έναυσης.

(6) Αντιστάσεις σύζευξης.

Τα διάκενα φαίνονται ως ζ

1.6. Διάκενα εκκαθάρισης

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4, η διαδικασία εκκαθάρισης του διακένου είναι σχετικά απλοποιημένη με την χρήση των εν σειρά αντιστάσεων, επειδή η εκκαθάριση γίνεται σε ένα κύκλωμα με συντελεστή ισχύος ίσο με τη μονάδα.

Λόγω του ότι τα μη γραμμικά στοιχεία βαλβίδας είναι τόσο ανθεκτικά σε χαμηλή τάση, η περίοδος κατά την οποία η τάση κατά μήκος του διακένου είναι μηδενική ή σχεδόν μηδενική, παρατείνεται. Έτσι, ένα διάκενο αλεξικέραυνου μπορεί να είναι μια σχετικά πολύπλοκη συσκευή όταν η απαιτούμενη υπέρταση είναι υψηλή σε σχέση με την τάση διάσπασης ή όταν το διάκενο πρέπει να ελαττώσει το ρεύμα. Μερικά

βασικά σημεία που λαμβάνονται υπ' όψιν στο σχεδιασμό των διακένων είναι:

1. Καθώς το ρεύμα περνάει απ' το μηδέν, ένα διάκενο, επιτυγχάνει γρήγορα μια διηλεκτρική αντοχή της τάξης της καθοδικής πτώσης τάσης, η οποία συνεχώς αυξάνεται. Έτσι ένας αριθμός διακένων εν σειρά χρησιμοποιείται ώστε να αποκτήσουν αντοχή διάσπασης, η οποία είναι το σύνολο της καθοδικής πτώσης τάσης και την επακόλουθη αύξηση της τάσης.
2. Η διάσπαση των διακένων εξαρτάται από τον ιονισμό που περιέχεται στο διάκενο, η οποία παραμένει μετά την ροή ρεύματος και είναι συνάρτηση της τοπικής πυκνότητας του αέρα η οποία εξαρτάται από την τοπική θερμοκρασία. Είναι επομένως πλεονέκτημα, να κινούμε το τόξο απ' το αρχικό σημείο έναυσης, έτσι ώστε η περισσότερη από τη θερμότητα που προκαλεί η ροή του ρεύματος, να εκλύεται σε μια απόσταση από το αρχικό σημείο. Η κίνηση αυτή επιτυγχάνεται με διάφορα μαγνητικά μέσα.
3. Αν ένα τόξο κινείται σ' ένα σχετικά ψυχρό αέριο, κι υποβάλλεται σε μια διαδικασία αποιονισμού τότε η τάση επανέναυσης αυξάνεται καθώς το ρεύμα μηδενίζεται.
4. Η τάση που απαιτείται για να συγκρατηθεί το τόξο ανάμεσα σε μονωτικές πλάκες με μικρή απόσταση μεταξύ τους, αυξάνεται καθώς το μήκος του τόξου αυξάνεται και καθώς το τόξο μεταφέρει θερμότητα στις πλάκες. Επομένως όταν ένα τόξο οδηγηθεί μεταξύ μονωτικών πλακών με μικρή απόσταση με μαγνητικό τρόπο, τότε ένα υψηλό τόξο τάσης μπορεί να παραχθεί.

Διάκενα με μειωμένο ρεύμα μπορούν να αποκτηθούν λαμβάνοντας υπ' όψιν μια λειτουργία του κυκλώματος του σχήματος 1.8. Κάτω από μερικές συνθήκες λειτουργίας, η γραμμή ανάμεσα στο αλεξικέραυνο και στην πηγή, μπορεί να είναι αρκετά μακριά, ώστε να συμπεριλάβουν μια αισθητή κρουστική εμπέδηση και σε αυτή την περίπτωση, η κρουστική τάση εμπέδησης μπορεί να αφαιρεθεί από την τάση της πηγής. Έτσι αν έχουμε ένα αλεξικέραυνο κοντά σ' ένα ζυγό, έτσι ώστε μια πηγή εμπέδησης να είναι επαγωγική κυρίως, οι τάσεις όπως δίνονται από την εξίσωση είναι:

$$V_{πηγής} = V_{αλεξικέρανου} + L di/dt$$

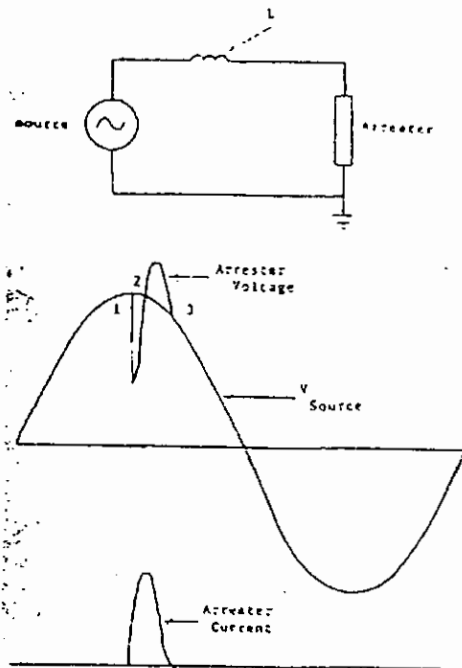
$$i = (1/L) (V_{πηγής} - V_{αλεξικέρανου}) dt$$

και το ρεύμα μηδενίζεται όταν:

$$(V_{πηγής} - V_{αλεξικέρανου}) dt = (V_{αλεξικέρανου} - V_{πηγής}) dt ??$$

Η εξίσωση αυτή επισημαίνει δύο στοιχεία του σχ. 1.8:

1. Όταν η τάση του αλεξικέραυνου, είναι λιγότερη από την τάση της πηγής, το ρεύμα αυξάνεται σαν μια λειτουργία της επαγωγικότητας του κυκλώματος.
2. Για να μηδενιστεί το ρεύμα, πρέπει το ολοκλήρωμα τάσης-χρόνου, κατά το οποίο η τάση του αλεξικέραυνου υπερβαίνει την τάση της πηγής, να έχει την ίδια τιμή με το ολοκλήρωμα όταν η τάση της πηγής υπερβαίνει την τάση του αλεξικέραυνου.



Σχήμα 1.8. Λειτουργία ενός διακένου περιορισμού ρεύματος σε αλεξικέραυνο, σε ένα επαγωγικό κύκλωμα με έναρξη λειτουργίας μέσω κρούσης στην μέγιστη τιμή της τάσης. Το ρεύμα αυξάνεται 1-2 όταν η πηγή τάσης είναι πάνω από την τάση του αλεξικέραυνου και μειώνεται 2-3 όταν η τάση του αλεξικέραυνου υπερβαίνει την τάση της πηγής. (Τα 1, 2, 3 είναι θέσεις, δηλαδή χρονικές στιγμές).

1.7. Απαγωγείς υπερτάσεων με μη περιορισμό ρεύματος.

Τα περισσότερα, αν όχι όλα τα αλεξικέραυνα διανομής, είναι σχεδιασμένα να χρησιμοποιούν διάκενα χωρίς δυνατότητα περιορισμού ρεύματος γιατί τα επίπεδα προστασίας από κεραυνούς, είναι συνήθως αρκετά υψηλά, ώστε να επιτρέπουν την χρήση στοιχείων βαλβίδας – τα οποία έχουν αρκετή δυσκολία να περιορίζουν το ακόλουθο ρεύμα των 50 Hz –, σ' ένα χαμηλό επίπεδο. Τα διάκενα αλεξικέραυνων διανομής

είναι συνήθως διακόπτες που παράγουν πολύ λίγη τάση τόξου. Ο περιορισμός του ρεύματος γίνεται από τα εν σειρά στοιχεία βαλβίδας όπως είδαμε στο σχήμα 1.4. Τα διάκενα που χρησιμοποιούνται είναι σχετικά απλά, μια και η τάση γεφύρωσής των μπορεί να είναι υψηλή και επειδή η αντίσταση των μη γραμμικών στοιχείων βαλβίδων μπορεί να είναι μεγάλη.

1.8. Διάκενα αλεξικέραυνων με περιορισμό ρεύματος

Η χρήση διακένων με περιορισμό ρεύματος, φαίνεται να πλεονεκτεί σε τρία κυρίως σημεία, στις εφαρμογές αλεξικέραυνων υποσταθμών:

1. Οι τάσεις διάσπασης μειώνονται μια και τα στοιχεία βαλβίδας επιτρέπουν διέλευση υψηλού ρεύματος ισχύος.
2. Τα διάκενα απορροφούν τμήμα από την γραμμική ενέργεια της διάσπασης, που το αλεξικέραυνο απαιτείται να καταναλώσει, και έτσι μπορούν να κατασκευαστούν μικρότερα απ' ότι αυτά του μη περιορισμού ρεύματος, ενώ η ικανότητα εκφόρτισής τους παραμένει η ίδια.
3. Επειδή τα διάκενα με περιορισμό ρεύματος αναπτύσσουν σχετικά υψηλές τάσεις κατά την διάσπαση, είναι συνήθως λιγότερο ευαίσθητα σε επιδράσεις υπέρτασης· έχουν δηλαδή μια «έμφυτη» ικανότητα διάσπασης.

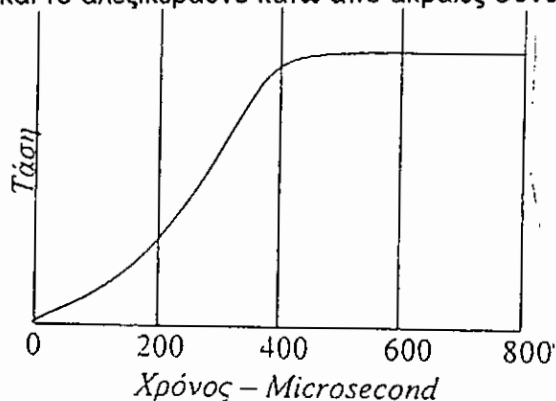
Αυτά τα διάκενα εκμεταλλεύονται όλα τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην παράγραφο 1.6. Στο σχήμα 1.6 b φαίνεται ένα τυπικό τμήμα διακένου με ονομαστική τιμή 6 kV (rms). Αποτελείται από τέσσερα κύρια διάκενα εν σειρά, με ονομαστικές τιμές 1-1½ kV ώστε να εκμεταλλευτεί την ικανότητα διάσπασης ενός αριθμού εν σειρά διακένων. Το ρεύμα ρέει ανάμεσα στις συνδέσεις διακένων και ηλεκτροδίων, ώστε να επιβάλλει γρήγορη κίνηση του τόξου, μακριά από τα σημεία κλειστών ηλεκτροδίων στο θάλαμο του τόξου. Ένα πηνίο παρέχει μαγνητική ροή, η οποία επιφέρει γρήγορη επιμήκυνση των τόξων, ανάμεσα στις μονωτικές πλάκες οι οποίες απέχουν λίγο μεταξύ τους. Το πηνίο πρέπει να προστατεύεται από την υπέρταση κατά την ροή του κρουστικού ρεύματος και γι' αυτό το λόγο, χρησιμοποιούμε ένα διάκενο ή μια μη γραμμική αντίσταση.

Στο σχήμα 1.9 φαίνεται μια καμπύλη τάσης-χρόνου για ένα διάκενο με περιορισμό ρεύματος, μέσα σε μια περιοχή. Σε μια γεφύρωση, η τάση διακένου είναι το άθροισμα των καθοδικών και ανοδικών πτώσεων τάσεων πέντε διακένων εν σειρά. Μετά από την πάροδο κάποιου

χρόνου, που εξαρτάται από την κατασκευή του διακένου, τα διάκενα επιμηκύνονται για να παράγουν περισσότερη τάση. Είναι σημαντικό, να σχεδιάζονται τα διάκενα έτσι ώστε να μειώνεται στο ελάχιστο ο χρόνος κατά τον οποίο η τάση τους είναι χαμηλή, γιατί σε κύκλωμα χαμηλής επαγωγής, το ρεύμα του αλεξικέραυτου μπορεί να γίνει πολύ υψηλό. Αυτό φαίνεται από την εξίσωση 1.2, όπου η ονομαστική τιμή αύξησης του ρεύματος είναι:

$$(V_{\text{πηγής}} - V_{\text{αλεξικέραυτου}})/L$$

και όταν η επαγωγή είναι χαμηλή όπως μπορεί να είναι σε χειρισμούς με πυκνωτές, ο ρυθμός ανόδου του ρεύματος μπορεί να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να προκαλέσει συγκόλληση 1. Αν τα τόξα κολλήσουν σε σημεία με μικρή απόσταση ηλεκτροδίων, τα διάκενα μπορεί να αλλάξουν απόσταση, λόγω της διάβρωσης του υλικού των ηλεκτροδίων και το αλεξικέραυτο κάτω από ακραίες συνθήκες, μπορεί να αστοχήσει.



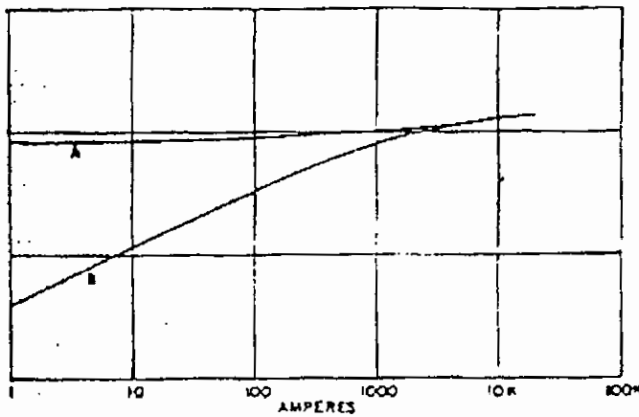
Σχήμα 1.9. Καμπύλη τάσης-χρόνου για διάκενο περιορισμού ρεύματος.

Υπάρχουν περιορισμοί στο τελικό επίπεδο τάσης που μπορεί να επιτύχει ένα διάκενο. Αυτό συνδέεται με το ανώτατο όριο μήκους που πετυχαίνει το τόξο, τον περιορισμό του τόξου καθώς και τις ιδιότητες απορρόφησης θερμότητας των πλακών του διακένου. Όπως είδαμε, το μηδενικό ρεύμα μπορεί να επιβληθεί γρήγορα, και η ενέργεια που το αλεξικέραυτο πρέπει να απορροφήσει κατά την λειτουργία του, μπορεί να μειωθεί στο ελάχιστο αυξάνοντας την τάση του διακένου, στο υψηλότερο δυνατό επίπεδο. Επιπλέον, η τάση του διακένου όταν αυτό μεταφέρει ρεύμα, δεν περιορίζεται από τη γεφύρωσή του, γιατί τα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της γεφύρωσης δεν είναι αποτελεσματικά, μια και τα διάκενα είναι ελεγχόμενα. Είναι όμως προφανές, ότι το αλεξικέραυτο πρέπει να επιτρέψει σχετικά υψηλό ρεύμα να ρέει ώστε να παρέχει προστασία, εάν η εν σειρά εμπέδηση είναι χαμηλή, ή εάν η τάση πηγής είναι υψηλή. Η τάση στο μη γραμμικό στοιχείο βαλβίδας ενός αλεξικέραυτου αυξάνεται με το ρεύμα και γι' αυτό πρέπει στα αλεξικέραυτα με περιορισμό ρεύματος με κάποιο

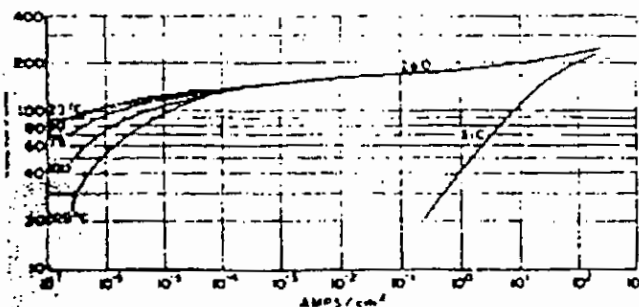
τρόπο, να περιοριστεί το ανώτατο όριο τάσης του διακένου ή να μειωθεί η τάση του, καθώς το ρεύμα αυξάνεται.

Το διάκενο του σχήματος 1.6 b έχει στην περιφέρειά του, μια οδοντωτή κατασκευή· η απόσταση και το βάθος των δοντιών, είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να επιτρέπουν χαμηλά ρεύματα να εισέρχονται και για το λόγο αυτό, η μέγιστη τάση διακένων παράγεται σε μέτριο ρεύμα.

1.9. Αλεξικέραυνα κατασκευασμένα με στοιχεία βαλβίδων από οξειδία μετάλλων



Σχήμα 1.10.
Χαρακτηριστική τάσης
-ρεύματος για
στοιχεία βαλβίδας
6kV.
A = οξείδιο
ψευδαργύρου.
B = καρβιδικό πυρίτιο.



Σχήμα 1.11.
Ομαλοποιημένα
χαρακτηριστικά τάσης
ρεύματος, στο οξείδιο
του ψευδαργύρου και
του καρβιδικού
πυρίτιου, στοιχείων
βαλβίδας.

Η συνηθισμένη περιοχή των εκθετών που δίνεται για στοιχεία βαλβίδων από οξειδία μετάλλων, είναι 25-30, ενώ αυτών από καρβιδικό πυρίτιο 4-

6, τα οποία χρησιμοποιούνται σε κρουστικά αλεξικέραυνα. Μια σύγκριση της μη γραμμικότητας μιας συγκεκριμένης αντίστασης από οξειδίο μετάλλου, στην οποία το βασικό οξειδίο είναι του ψευδάργυρου, με ένα στοιχείο βαλβίδας από καρβιδικό πυρίτιο φαίνεται στα σχήματα 1.10 και 1.11. Στο σχήμα 1.11, βλέπουμε ότι για μια αλλαγή σε ρεύμα από 10^{-3} amps/cm² έως 102 amps/cm², η αλλαγή τάσεως είναι μόνο 56%. Με τέτοιο υψηλό βαθμό μη γραμμικότητας, είναι πιθανό να διατηρήσουμε ένα προστατευτικό επίπεδο έναντι μικρού ρεύματος κεραυνού – όπως 10 kA–, ίσο με αυτό που αποκτάται μ' ένα αλεξικέραυνο διακένων καρβιδικού πυριτίου, καθώς επιτρέπει την ροή περίπου 1 mA σε ονομαστική τάση. Επειδή 1 mA είναι η συνηθισμένη περιοχή ρεύματος διαβάθμισης για ένα αλεξικέραυνο τύπου σταθμών, είναι προφανές ότι δεν απαιτούνται διάκενα εν σειρά για να εμποδίζουν την ροή υπερβολικού ρεύματος, σε ονομαστική τάση αλεξικέραυνου. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την εξάλειψη των εν σειρά διακένων είναι:

1. Ο αριθμός των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται σε ένα αλεξικέραυνο, μειώνεται σχετικά, με αποτέλεσμα μείωση της περιπλοκότητας και βελτίωση της αξιοπιστίας.
2. Το προστατευτικό επίπεδο, είναι μια λειτουργία του στοιχείου βαλβίδας και μόνον, και δεν εξαρτάται από την διάσπαση του διακένου που συχνά είναι πιο ασταθής από την τάση του στοιχείου βαλβίδας.
3. Η απόδοση κάτω από συνθήκες μόλυνσης, βελτιώνεται.
4. Το αλεξικέραυνο μπαίνει μέσα και έξω από την περιοχή αγωγής απαλά, καθώς η υπέρταση αυξάνεται και μετά εξαφανίζεται, με αποτέλεσμα αυτό να απορροφά μόνο την ενέργεια που απαιτείται για την παροχή της επιθυμητής προστασίας.

Επίσης τα στοιχεία βαλβίδας από οξειδίο μετάλλων έχουν δείξει αρκετή βελτίωση στην σταθερότητα σε κρουστική καταπόνηση και βελτιωμένη αντίδραση σε γρήγορα κύματα, σε σχέση με αυτά από καρβιδικό πυρίτιο.

1.10. Δοκιμή σε αλεξικέραυνα

1.10.1. Δοκιμές αντοχής τάσης της μόνωσης του αλεξικεραύνου

Αυτές γίνονται στο περίβλημά του, για να αποδείξουν ότι η εξωτερική αντοχή της μόνωσης είναι μεγαλύτερη από την τάση που μένει στα εσωτερικά εξαρτήματά του, κάτω από κρουστικές συνθήκες.

1.10.2. Δοκιμές στην εναλλασσόμενη τάση (50 Hz)

Γίνονται για να φανεί ότι η αντοχή σε εναλλασσόμενη (50 Hz) τάση είναι μεγαλύτερη από την τάση λειτουργίας για ένα καθορισμένο εύρος.

1.10.3. Δοκιμές για τον σχεδιασμό του ρεύματος αντοχής

A) Οι δοκιμές αντοχής υψηλού ρεύματος, γίνονται στα 65 kA με κύμα 4/4 με δείγματα καθορισμένης αναλογίας, ώστε να φανεί ότι τα εσωτερικά τμήματα δεν θα διασπαστούν, ούτε θα αστοχήσουν μηχανικώς, σε κρουστικά ρεύματα.

B) Δοκιμές μεγάλης διάρκειας με χαμηλό ρεύμα, γίνονται για να ελεγχθεί η αντοχή του αλεξικέραυνου στην υψηλή ενέργεια που σχετίζεται με υπερτάσεις κεραυνών και χειρισμών μεγάλης διάρκειας. Δοκιμές μεγάλης διάρκειας γίνονται σε τεχνητές γραμμές μεταφοράς, οι οποίες κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας επαγωγή και χωρητικότητα σε σύνδεση Π.

Η γραμμή φορτίζεται σε τέτοια τιμή που θα δώσει τετραγωνισμένο κύμα ρεύματος περίπου 2.000 μsec , μέσα στα στοιχεία του αλεξικέραυνου. Το μέγεθος του ρεύματος που μπορεί να αντέξει, είναι το μέτρο της θερμικής ικανότητάς του.

Μια παρόμοια γραμμή μεταφοράς χρησιμοποιείται για δοκιμές εκφόρτισης της γραμμής μεταφοράς σε αλεξικέραυνα τύπου σταθμών και μεσαίου τύπου. Τα μοντέρνα αλεξικέραυνα τύπου σταθμών περιορίζουν το ρεύμα, γι' αυτό οι δοκιμές παραμέτρων είναι η τάση φόρτισης της γραμμής, το μήκος της γραμμής και η κρουστική εμπέδηση της γραμμής.

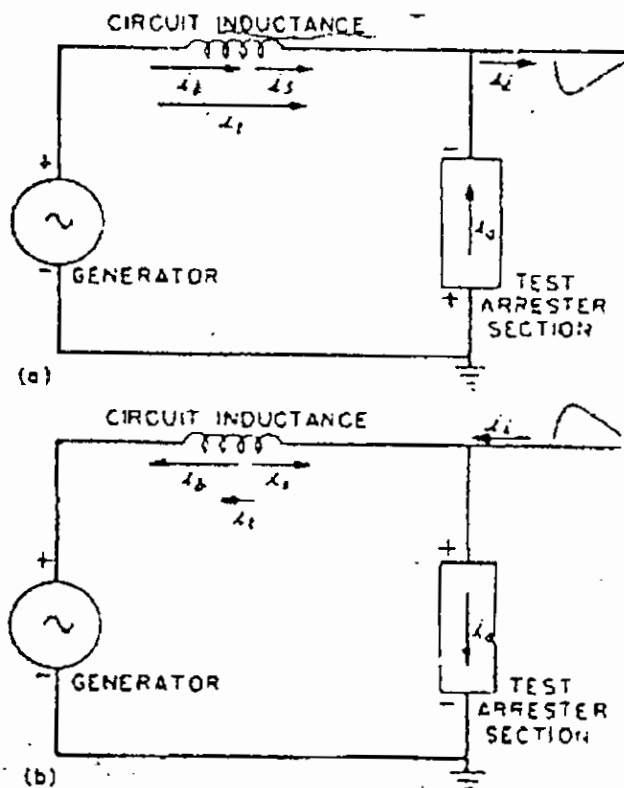
1.10.4. Δοκιμή σε κρουστική τάση χειρισμών

Γίνεται στην ίδια γραμμή μεταφοράς, που χρησιμοποιείται για την μεταφορά της γραμμικής εκφόρτισης, μόνο που τροποποιείται προσθέτοντας επαγωγή ανάμεσα στη γραμμή και το δοκίμιο. Οι τάσεις

φόρτισης της γραμμής εφαρμόζονται σε βήματα 0,25/ονομαστική τιμή δοκιμίου, σε μια περιοχή από την ονομαστική τιμή δοκιμίου σε 25/ονομαστική τιμή δοκιμίου. Η τάση διάσπασης στο δείγμα μετράται για κάθε εκφόρτιση και η υπέρταση χειρισμών κρουστικής τάσης εκφόρτισης του δοκιμίου, δίνεται σαν ο μέσος όρος των τριών υψηλότερων τιμών που μετρώνται στο δείγμα.

1.10.6. Χαρακτηριστικές κρουστικής τάσης γεφύρωσης – χρόνου

Οι δοκιμές γίνονται για να καθορίσουν το μέτωπο της κρουστικής τάσης γεφύρωσης 1,2/50 μsec διάσπασης και κρουστικής τάσης χειρισμών διάσπασης.



Σχήμα 1.12.
Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας του κυκλώματος για έλεγχο του κύκλου λειτουργίας κρουστικής και εναλλασσόμενης τάσης.
Α) διαφορετικής πολικότητας
Β) όμοιας πολικότητας
 i_a : κρουστικό ρεύμα μέσω αλεξικέραυνου.
 i_b : κρουστικό ρεύμα μέσω γεννήτριας.
 i_s : εμπέδηση κυκλώματος.
 i_i : συνολικό ρεύμα μέσω εμπέδησης κυκλώματος.
 $i_i = i_a + i_b$
: κρουστικό ρεύμα.

1.10.7. Δοκιμές τάσης εκφόρτισης

Αυτές μετρώνται για ρεύμα κορυφής από 1,5-20 kA, με κύματα 8/20 μ sec.

1.10.8. Δοκιμές ελέγχου του κύκλου λειτουργίας

Αυτές γίνονται σ' ένα κύκλωμα όπως φαίνεται στο σχ. 1.12, όπου μια ξεχωριστή γεννήτρια ρυθμίζεται για να εκφορτίσει ένα ορισμένο ρεύμα στο αλεξικέραυνο. Αναφέρεται λεπτομερώς από το ANSI C62.1, ότι η πηγή ισχύος θα έχει συμμετρική rms χωρητικότητα βραχυκυκλώματος, όχι λιγότερο από 4 kA. Καθώς το διαθέσιμο ρεύμα αυξάνεται, αυξάνεται και ο ρυθμός ανόδου του. Αλεξικέραυνα χωρίς περιορισμό ρεύματος, προσβάλλονται λιγότερο από τις διαφορές στο διαθέσιμο ρεύμα, μια και η αντίσταση του στοιχείου βαλβίδας γι' αυτά είναι υψηλή συγκρινόμενη με την εμπέδηση του κυκλώματος.

Η δοκιμή αποτελείται από 24 εφαρμογές που απέχουν το μέγιστο ένα λεπτό η μία από την άλλη χρησιμοποιώντας ένα κύμα έναυσης 8/20 μ sec και μέγεθος 10 kA για αλεξικέραυνα τύπου σταθμών, 5 kA για ενδιάμεσα και διανομής και τέλος 1,5 kA για δευτερεύοντα αλεξικέραυνα. Για την πρώτη εφαρμογή η αρχική κρούση χρονομετρείται να συμβεί σε 30 μοίρες, μετά από μηδενική τάση της ίδιας πολικότητας. Η ρύθμιση επιβραδύνεται κατά 30 μοίρες για την δεύτερη λειτουργία και για κάθε επόμενη λειτουργία μέχρι τη δωδεκάτη. Η δέκατη τρίτη λειτουργία γίνεται σε 15 μοίρες μετά από μηδενική τάση, στο μισό κύκλο της συχνότητας της τάσης, της ίδιας πολικότητας με την αρχική και η ρύθμιση επιβραδύνεται κατά 30 μοίρες για την δέκατη τέταρτη μέχρι και την εικοστή τέταρτη λειτουργία. Σαν αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι να αποκτήσουμε λειτουργία που να απέχει 15 μοίρες γύρω από ολόκληρο το κύμα τάσεως.

Ο λόγος που περιγράφεται η ημερήσια δοκιμή, είναι ότι η εργασία του αλεξικέραυνου δεν είναι ομοιόμορφη καθώς η ρύθμιση της τάσης αλλάζει. Όπως φαίνεται στο σχ. 1.12 μια κρούση με την ίδια πολικότητα με το μισό κύκλο της συχνότητας της τάσης, έχει σαν αποτέλεσμα εκφόρτιση τάσης στο αλεξικέραυνο αντίθετη με την τάση της πηγής. Σαν αποτέλεσμα το ρεύμα κινείται στο πηνίο του κυκλώματος προς την πηγή τάσεως κατά τη ροή του ρεύματος. Το αλεξικέραυνο και η πηγή

τάσης βοηθούν ώστε να κινηθεί το ρεύμα πάνω στο πηνίο μέσω του αλεξικέραυνου, όταν οι πολικότητες είναι αντίθετες.

1.10.9. Δοκιμές για τάση ιονισμού και τάση ραδιοφωνικών παρεμβολών

Δοκιμές (RIV) τάσης. Οι δοκιμές τάσης, εσωτερικού ιονισμού υπερέρχουν ένα μέτρο ρεύματος ιονισμού στο αλεξικέραυνο που μπορεί να βλάψει τα εσωτερικά εξαρτήματα του αλεξικέραυνου. Η δοκιμή τάσης για ραδιοφωνικές παρεμβολές, παρέχει ένα μέτρο τάσης υψηλής συχνότητας που παράγεται από ένα αλεξικέραυνο το οποίο μπορεί να προκαλέσει δυσάρεστες παρεμβολές επικοινωνίας.

Δοκιμές της πίεσης εκτόνωσης για αλεξικέραυνα τύπου σταθμών και ενδιάμεσα, γίνονται για να αποδείξουμε ότι αλεξικέραυνα με βλάβη θα αντέχουν ελαττωματικό ρεύμα κάτω από ορισμένες συνθήκες, χωρίς βίαιη διάλυση. Εισάγοντας ένα ρεύμα που ανταποκρίνεται στην ονομαστική τιμή της πίεσης ανακούφισης σ' ένα αλεξικέραυνο με βλάβη, η πίεση θα αυξηθεί εξ' αιτίας της θέρμανσης του αερίου που συνήθως στεγανοποιείται μέσα στο περίβλημα του αλεξικέραυνου και εξ' αιτίας της δράσης του αποτυχημένου τόξου στα εσωτερικά του τμήματα.

Η αυξημένη πίεση εκτονώνεται από διαφράγματα όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1 που μπορεί να διασπαστούν από αυτή. Οι διευθύνσεις ανοίγματος μπορεί να εξασφαλιστούν ώστε να κατευθύνουν το ιονισμένο αέριο κατά μήκος του αλεξικέραυνου, έτσι για να προκληθεί εξωτερικό τόξο. Για να πετύχει η δοκιμή, το αλεξικέραυνο πρέπει να εκτονωθεί σωστά, ώστε να εκτονώνεται η πίεση και το περίβλημά του να παραμένει ανέπαφο.

1.10.10. Δοκιμές αποζευκτήρα αλεξικέραυνων διανομής

Οι αποζευκτήρες σχεδιάζονται να λειτουργούν σε περίπτωση που το αλεξικέραυνο αστοχήσει να αφαιρέσει την γραμμή ή την γείωση – συνήθως τη γείωση – από το αλεξικέραυνο. Αν ένα αλεξικέραυνο με βλάβη παραμείνει άθικτο, θα διατηρηθεί ένα βραχυκύκλωμα στην

γραμμή και θα είναι αδύνατο να επανέρθουμε σε λειτουργία χωρίς να το εντοπίσουμε και να το αποσυνδέσουμε.

Δύο είδη δοκιμών γίνονται σε αποζευκτικές. Πρώτον η δοκιμή αντοχής ρεύματος εκφόρτισης και μια δοκιμή ρουτίνας για να δούμε την αντοχή σε ρεύματα κρουστικά και ρεύματα ομαλής ισχύος χωρίς λειτουργία. Δεύτερο, λαμβάνονται στοιχεία για να σχεδιάσουμε μια καμπύλη χρόνου – ρεύματος για την λειτουργία του.

1.10.11. Δοκιμές ρύπανσης

Αυτές γίνονται για να δούμε αν το αλεξικέραυνο αντέχει μια τάση, χωρίς διάσπαση υπό συνθήκες ρύπανσης στην επιφάνειά του.

Αυτές οι δοκιμές γίνονται βάζοντας αραιό τσιμεντοκονίαμα, απορρυπαντικό, χλωριούχο νάτριο και νερό στην επιφάνεια του αλεξικέραυνου. Μετά, όταν στεγνώσει η επιφάνεια, επιβάλλουμε τάση ίση με 80 % της ονομαστικής του τάσης για 60 sec, η οποία ακολουθείται από ένα διάλειμμα στην ονομαστική τιμή τάσης για 1 και μείωση 80% της ονομαστικής τιμής, μέχρι να αρχίσει ο επόμενος κύκλος. Μια σειρά αποτελείται από οκτώ δοκιμές. Αφού τοποθετήσουμε ξανά ρυπαντικά στοιχεία πριν από κάθε σειρά δοκιμών και μετά από τέσσερις σειρές, η δοκιμή ολοκληρώνεται. Το αλεξικέραυνο θεωρείται κατάλληλο αν δεν διασπασθεί στις διάφορες μεταβλητές τάσεις που αναφέρθηκαν.

Κεφάλαιο 2

Επιλογή αλεξικέραυνων

Περίληψη

Αυτό που κυρίως μας ενδιαφέρει, είναι η επιλογή της ονομαστικής τιμής και της τάξης του αλεξικέρανου.

2.1. Μελέτες εφαρμογών αλεξικέραυνων

Σημαντικά σημεία για την επιλογή των αλεξικέραυνων είναι:

- A) οι τάσεις κοντινής συχνότητας με την βιομηχανική που μπορούν να εφαρμοστούν στα τερματικά αλεξικέραυνα κατά τη λειτουργία τους.
- B) οι υπερτάσεις κεραυνιών και χειρισμών που εμφανίζονται στα αλεξικέραυνα, στον εξοπλισμό και στην μόνωση του ζυγού,
- Γ) η ονομαστική τιμή του αλεξικέρανου,
- Δ) η κατηγορία του αλεξικέρανου,
- Ε) οι τάσεις γεφύρωσης και διάσπασης,
- ΣΤ) η τοποθέτησή τους σε σχέση με την μόνωση του συστήματος που πρέπει να προστατευθεί,
- Ζ) τα χαρακτηριστικά αντοχής της μόνωσης υπό προστασία των εξοπλισμών και
- Η) η σχέση της αντοχής της μόνωσης προς τα προστατευτικά επίπεδα του αλεξικέρανου (διαβάθμιση μόνωσης).

2.2. Λειτουργία των αλεξικέραυνων

Ένα αλεξικέραυνο βαλβίδας, συνήθως αποτελείται από διάκενα και στοιχεία μη γραμμικής αντίστασης συνδεδεμένα σε σειρά. Όταν τα

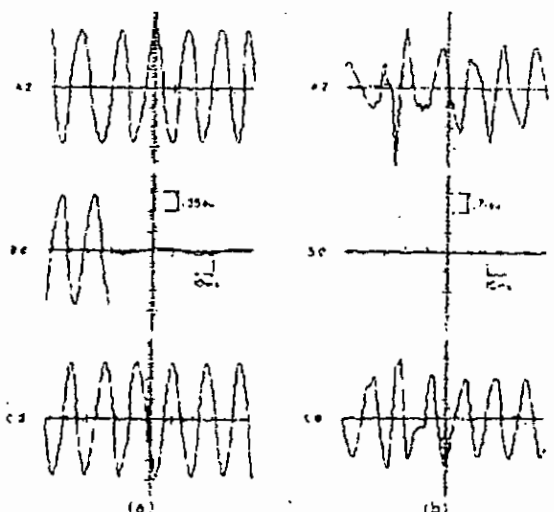
διάκενα διασπώνται, οι βαλβίδες φέρουν ρεύμα που προσεγγιστικά υπολογίζεται από:

$$i = k v^a$$

όπου $a \approx 4$ μέχρι 6 και το k είναι σταθερά που εξαρτάται από το σχέδιο και την ονομαστική τιμή του αλεξικέραυτου.

Το ρεύμα αυτό, μπορεί να φτάσει τα χιλιάδες ampere κατά την διάρκεια μιας υπέρτασης κεραυνού και μετά να ελαττωθεί σε περίπου 100 amperes ακόλουθο ρεύμα αφού η υπέρταση έχει καταναλωθεί. Τα διάκενα του αλεξικέραυτου, πρέπει να είναι ικανά, να διακόψουν το ρέον ρεύμα και να παραμείνουν «σφραγισμένα» ενάντια σε οποιαδήποτε προσωρινή υπέρταση T.O.V.² που παραμένει στα τερματικά του αλεξικέραυτου. Οι προσωρινές αυξημένες υπερτάσεις είναι κυρίως άθροισμα αρμονικών, με ισχυρή συνιστώσα στα 50 Hz, αλλά σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να υπερισχύει μια αρμονική. Μια απότομα μειούμενη υπέρταση χειρισμού με μέγιστη τιμή τόσο μεγάλη, ώστε να προκαλέσει μια ή περισσότερες διασπάσεις αλεξικέραυνων, μπορεί να συμβεί στην αρχή ως TOV και να διαρκέσει για δευτερόλεπτα. Η ονομαστική τιμή του αλεξικέραυτου πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με την μέγιστη φάση προς έδαφος TOV, αλλιώς το αλεξικέραυτο μπορεί να γεφυρωθεί επανειλημμένα, με αποτέλεσμα να γίνουν προοδευτικές ζημιές στις βαλβίδες και στα διάκενα.

2.3. Προσωρινή υπέρταση κατά την διάρκεια σφάλματος χειρισμού



Σχήμα 2.1. (a) Τάση οφειλόμενη σε 1-g σφάλμα στο ΒΟ. ΛΟ: κορυφή κύματος, 1,16 pu. Τάση υποστήριξης 1,09 pu.

Σχήμα 2.1. (b) Τάση οφειλόμενη σε ξανακλείσιμο μεταξύ σφαλμάτων γραμμής στο ΒΟ. ΛΟ: κύμα, (2,6) (-), 2,84 (+). Υποστήριξη 1,6. ΣΟ: κύμα, 2,6 (+), υποστήριξη 1,4.

Η συνηθέστερη πηγή ΤΟV, είναι η αύξηση τάσης σε μη ελαττωματικές φάσεις, για σφάλμα φάσης – γης (σχήμα 2.1 α). Αυτές οι τάσεις μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας πίνακες σαν αυτούς του σχήματος 2.2. Όπου η παράλληλη χωρητικότητα των γραμμών είναι μεγάλη όπως σε μακρύ απλό αγωγό και πολλαπλό αγωγό ΕHV³, οι επιδράσεις σφαλμάτων μπορεί να τονίζονται από την αύξηση των τάσεων που οφείλονται σε ρεύμα φόρτισης της γραμμής (σχήμα 2.1 b), από τις αρμονικές που οφείλονται στον κόρο των μετασχηματιστών και από τις επιδράσεις συντονισμού.

2.4. Άλλες συνθήκες υπέρτασης

Άλλες αιτίες υπέρτασης περιλαμβάνουν : έλλειψη του γειωμένου ουδετέρου σ' ένα φυσικά γειωμένο σύστημα, ξαφνική έλλειψη φορτίου ή επιτάχυνση της γεννήτριας, επιδράσεις συντονισμού και επαγωγή από παράλληλα κυκλώματα.

2.5. Επιλογή ονομαστικής τιμής του αλεξικέραυτου

Η ελάχιστη ονομαστική τιμή του αλεξικέραυτου, πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την μέγιστη τιμή ΤΟV που υπολογίζουμε. Είναι συνετό να επιλέγουμε την ελάχιστη τιμή, τουλάχιστον 1,25 φορές της μέγιστης τιμής της τάσης λειτουργίας φάσης –γης.

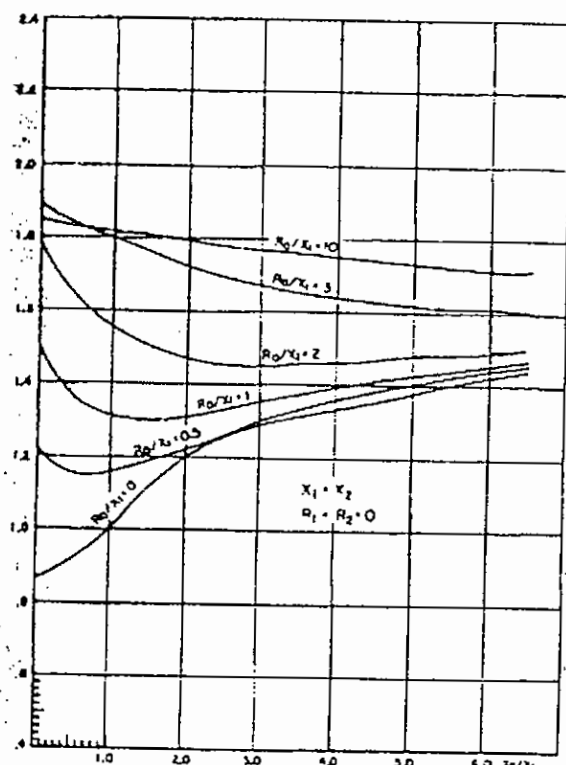
2.5.1. Ειδικές συνθήκες λειτουργίας

Η επιλογή της ονομαστικής τιμής του αλεξικέραυτου, μπορεί να επηρεαστεί από:

- A) συχνή μη κανονική τάση στη λειτουργία του συστήματος. Η επιλογή της ονομαστικής τιμής της τάσης του αλεξικέραυτου, που βασίζεται στο σύστημα μέγιστης τάσης, προϋποθέτει ότι η μέγιστη τάση υπερβαίνεται κάτω από μη φυσιολογικές συνθήκες και ότι είναι πολύ

μικρή, η πιθανότητα συμπτωματικής λειτουργίας του αλεξικέραυνου. Παρ' όλα αυτά, αν το σύστημα μεγίστων τάσεων που χρησιμοποιείται για να καθορίσει προσωρινές υπερτάσεις, υπερβαίνεται συχνά, αυξάνοντας την πιθανότητα λειτουργίας του αλεξικέραυνου, μπορεί να είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούμε ένα αλεξικέραυνο με υψηλότερη ονομαστική τιμή τάσεως.

- Β) Μη κανονική συχνότητα συστήματος. Η κανονική συχνότητα συστήματος, λιγότερο από 48 Hz ή περισσότερο από 62 Hz, μπορεί να απαιτήσει ειδική μελέτη στο σχέδιο ή στην εφαρμογή κρουστικών αλεξικέραυνων και πρέπει να συζητείται μεταξύ του χρήστη και του κατασκευαστή.
- Γ) αλλαγή στη διάταξη γείωσης. Αν κάποια διάταξη γείωσης αποσυνδεθεί, πρέπει να ελέγχεται η επίδραση στο TOV και στην ονομαστική τιμή του αλεξικέραυνου.



Σχήμα 2.2. Η ανά μονάδα τάσης σε φάση-γη, στις υγιείς φάσεις κατά την διάρκεια σφαλμάτων μεταξύ φάσης-γης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

Ratings RMS Station Class	Range of Application Nominal Voltage (kV)	Protective Levels * Per Unit Crest Arrester Rating				Durability Characteristics				
		Front of Wave Sparkover	1.2x50 Sparkover	Switching Surge Sparkover	Discharge Voltage 10 KA 8 x 20 Wave	Durn Cycle Initiating Surge (Crest Amps)	Trans. Line Discharge (Miles)	High Decurrent Withstand (Crest Amps)	Pressure Relief (RMS Symmetrical Amps)	
									Class I	Class II
3-15 kV	2.4-18	2.12-2.83	1.89-2.36	Test Not Required	1.57-2.44	10000	150	65000	65000	25000
21-46 kV	18-46	2.12-2.65	1.85-1.92	Required	1.58-2.09	10000	150	65000	65000	40000
60-120 kV	69-138	1.99-2.28	1.66-1.70	1.60-2.02	1.57-2.08	10000	150	65000	65000	40000
144-240 kV	161-287	1.97-2.34	1.57-1.70	1.57-1.93	1.57-2.06	10000	175	65000	65000	40000
258-312 kV	345	1.88-2.12	1.56-1.70	1.57-1.67	1.57-1.60	10000	200	65000	65000	25000
372 & higher Intermediate Class	500- higher	1.82-2.10	1.66-1.70	1.44-1.65	1.54-1.62V	10000	200	65000	65000	25000
3-6 kV	2.4-7.2	2.47-3.65	1.89-2.59	Test Not Required	1.89-2.55	5000	100	65000	65000	16100
9-16 kV	7.2-16	2.14-2.75	1.81-2.16	Required	1.82-2.51	5000	100	65000	65000	16100
60-120 kV	69-138	1.92-2.6	1.53-1.92	1.89-2.43	1.83-2.50	5000	100	65000	65000	16100

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2

Rating	Range of Application Max. Sys Voltage (kV)	Protective Levels * Per Unit Crest Arrester Rating			Durability Characteristics		
		Front of Wave Without External Gap	Sparkover With External Gap	Discharge Voltage 10 KA 8x20 Wave	(1)	(2)	(3)
					Duty Cycle Initiating Surge (Crest Amps)	Low Current Long Duration Withstand Crest Amps μ s	High Current Withstand Crest Amps
3 kV	2.6-4.5 kV	3.30-5.89	4.95-7.54	2.71-3.25	5000	75 amps - 1000 μ s	65000
6 kV	4.5-7.8 kV	3.18-4.12	4.83-6.01	2.65-3.06	5000	75 amps - 1000 μ s	65000
9-12 kV	7.8-14.3 kV	3.00-3.93	4.24-5.11	2.55-3.22	5000	75 amps - 1000 μ s	65000
15-21 kV	18-25.8 kV	2.02-3.58	3.37-5.05	2.51-3.02	5000	75 amps - 1000 μ s	65000
25-30 kV	38 kV	1.98-2.75		2.52-2.99	5000	75 amps - 1000 μ s	65000

2.6. Επιλογή τάξεων των αλεξικέραυνων

Τρεις τάξεις αλεξικέραυνων χρησιμοποιούνται σήμερα σε εφαρμογές υψηλής τάσεως: τύπου σταθμού, ενδιάμεσα, και διανομής. Στους πίνακες 2.1, 2.2, δίνεται μια σύγκριση της απόδοσης κάθε τύπου (σταθμού, ενδιάμεσα στον 2.1 και διανομής στον 2.2). Τα προστατευτικά επίπεδα για τα τύπου σταθμού, είναι χαμηλότερα από αυτά των ενδιάμεσων, ενώ των ενδιάμεσων είναι χαμηλότερα από αυτά των τύπου διανομής. Οι δοκιμές αντοχής για τα τύπου σταθμού είναι δυσκολότερες από αυτές των ενδιάμεσων, εάν αυτά των ενδιάμεσων είναι δυσκολότερες από του τύπου διανομής. Όταν τα αλεξικέραυνα αστοχήσουν στη λειτουργία τους, η ομάδα των βαλβίδων μπορεί να διατηρηθεί, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα εσωτερικό τόξο ισχύος με το έδαφος, αυξάνοντας επικίνδυνα την εσωτερική πίεση.

Στα αλεξικέραυνα τύπου σταθμού και τα ενδιάμεσα, παρέχουμε συσκευές ελάττωσης της πίεσης, έτσι ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος λάθους. Στον πίνακα 2.1 φαίνονται οι τιμές της μειωμένης πίεσης για τα τύπου σταθμού και τα ενδιάμεσα. Καμιά παρόμοια τιμή δεν καθορίζεται για τα αλεξικέραυνα διανομής.

Η ρύπανση της επιφάνειας των αλεξικέραυνων όταν είναι υγρά, μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα επιφανειακό τόξο ή και διάσπαση. Σε μερικές περιπτώσεις, το εξωτερικό τόξο προκαλεί διάσπαση σ' ένα τμήμα των διακένων του αλεξικέραυνου που καταλήγει σε ολοκληρωτική διάσπαση. Αν γίνουν αρκετές διασπάσεις λόγω διαρκούς υγρασίας, θα έχουμε διακοπή της λειτουργίας. Όλες οι τάξεις των αλεξικέραυνων, σχεδιάζονται να αντέχουν σε μια προκαθορισμένη κατάσταση μερικής δημιουργίας τόξου. Σε περίπτωση ακραίας ρύπανσης, τα καλύτερα γνωστά μέσα αντιμετώπισης είναι η χρήση γράσου σιλικόνης και ο περιοδικός καθαρισμός.

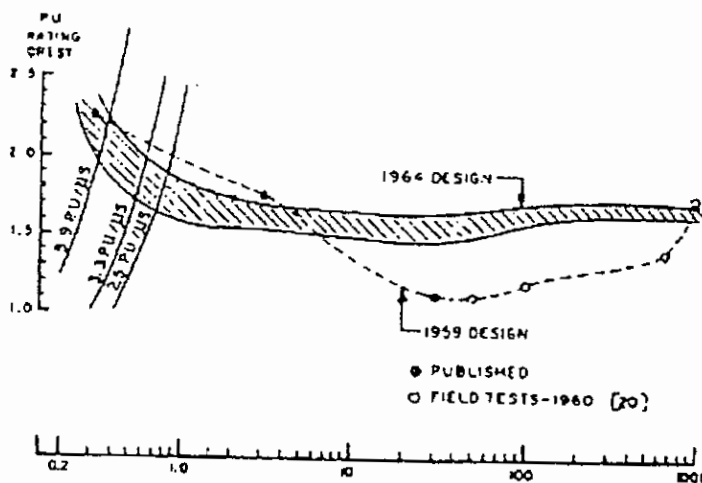
2.6.1. Επιλογή τάξης αλεξικέραυνου

Η σωστή επιλογή της τάξης του αλεξικέραυνου, βασίζεται στα προστατευτικά χαρακτηριστικά τους και : α) στις διαθέσιμες τιμές τάσης, β) στα όρια πίεσης ελάττωσης ρεύματος, που δεν πρέπει να ξεπερνιούνται από το διαθέσιμο σύστημα ρεύματος διάσπασης κατά την εγκατάσταση του αλεξικέραυνου, γ) στα χαρακτηριστικά αντοχής που είναι κατάλληλα για τις απαιτήσεις του συστήματος. Η τάξη του

αλεξικέραυνου που επιλέγεται, μπορεί να επηρεαστεί από το μέγεθος και την σπουδαιότητα του σταθμού ή τον εξοπλισμό που προστατεύεται. Τα αλεξικέραυνα τύπου σταθμού, πρέπει να χρησιμοποιούνται σε μεγάλους υποσταθμούς και σε όλο τον εξοπλισμό που προστατεύεται πάνω από 138 kV, αφού η μέγιστη τιμή τους είναι τα 120 kV. Τα αλεξικέραυνα μεσαίας τάξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικρότερους υποσταθμούς, σε γραμμές υποδιανομής και τερματικές καλωδιακές κολώνες. Αλεξικέραυνα τάξεως διανομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικρούς υποσταθμούς διανομής για να προστατέψουν την διανομή της τάσης στους ζυγούς.

2.7. Προστατευτικά χαρακτηριστικά των αλεξικέραυνων

Για τάσεις κάτω της τάσης διάσπασης, τα διάκενα των αλεξικέραυνων δεν είναι λειτουργικά, έτσι οι κρούσεις με μέγιστη τιμή κάτω από την τάση διάσπασης μπορούν να καταπονήσουν υπερβολικά την μόνωση. Τα χαρακτηριστικά της διάσπασης των αλεξικέραυνων, συνήθως παρουσιάζονται σε μια καμπύλη τάσης προς χρόνο όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3.
Χαρακτηριστικά διάσπασης του αλεξικέραυνου.

Παρατηρούμε ότι οι διασπάσεις για ένα δεδομένο χρόνο διάσπασης διαφέρουν από 5 έως 20%. Η τάση εκφόρτισης βαλβίδας (IR) είναι περίπου ίση με την τάση ενός αλεξικέραυνου χωρίς περιορισμό της έντασης διακένου.

Τα αλεξικέραυνα με διάκενα περιορισμού της έντασης, σχεδιάζονται ώστε να ελαττώνουν το συνεχές ρεύμα, αυξάνοντας την αντοχή του τόξου του διακένου. Η τάση του διακένου αυξάνει σημαντικά την τάση του αλεξικέραυνου, τότε όμως εμφανίζεται μόνο μετά τα 50 μs και επομένως μπορεί να παραληφθεί κατά την εκφόρτιση κεραυνών.

2.7.1. Τα χαρακτηριστικά της διάσπασης

Μια καμπύλη διάσπασης, γενικού χρόνου τάσης, μπορεί να την παρέχει ο κατασκευαστής. Τα πρότυπα μιας διάσπασης περιλαμβάνουν:

- A) FOW Γεφύρωση. Το σχήμα 2.3. δείχνει την τυπική αύξηση γεφύρωσης με χρόνο που υπερβαίνει τα 2,5 μs της ονομαστικής τιμής. Η πρότυπη δοκιμή αύξησης της τιμής για δοκιμές FOW είναι 5,89 μs/μs.
 - B) Το επίπεδο διαπέρασης (let-through), είναι η υψηλότερη κρούση που προσδοκούμε να προκαλέσει γεφύρωση σε περισσότερο από 3 μs.
 - Γ) Η διάσπαση από υπερτάσεις χειρισμών είναι η υψηλότερη γεφύρωση που περιμένουμε, με χρόνο 30μs ή μεγαλύτερο.
- Οι περιοχές της τάσης διάσπασης, δίνονται στους πίνακες 2.1 και 2.2.

2.7.2. Τα χαρακτηριστικά εκφόρτισης.

- A) Κρουσική τάση χειρισμών (SSD). Αυτή είναι μια καινούργια δοκιμή και τα χαρακτηριστικά δίνονται από τους κατασκευαστές.
- B) Τάση εκφόρτισης κεραυνού (IR). Οι τιμές δίνονται από τους κατασκευαστές στους πίνακες 2.1, 2.2 και στο παράρτημα Α. Το μέγεθος της εκφόρτισης πρέπει να εκτιμηθεί προτού καθοριστεί το IR.

2.7.3. Μέγεθος ρευμάτων εκφόρτισης

Η τιμή του ρεύματος που χρησιμοποιείται για να καθορίσει την τάση εκφόρτισης, εξαρτάται κατά πολύ από την προστασία των γραμμών και των υποσταθμών, από τα άμεσα πλήγματα.

Η προστασία είναι πιο αποτελεσματική αν η πιθανότητα α) για πλήγματα σε αγωγούς (σφάλματα προστασίας), β) αναστροφή από καλώδια, γ) πλήγματα σε γειωμένες κατασκευές ή σε άλλα λειτουργικά τμήματα, είναι τόσο μικρή, ώστε το ρίσκο να θεωρείται αποδεκτό.

Οι εγκαταστάσεις με αποτελεσματική προστασία είναι αυτές που παρέχουν στο σταθμό και σε όλες τις συνδεδεμένες γραμμές, προστασία σε άμεσα πλήγματα. Θεωρείται απαραίτητη η προστασία των γραμμών για τουλάχιστον μισό μίλι από το σταθμό (προστασία line-end).

Για αποτελεσματική προστασία, το ρεύμα εκφόρτισης θα κυμαίνεται περίπου από 1 έως 20 kA, ανάλογα με το σύστημα τάσης. Μια συντηρητική εκτίμηση του μέγιστου ρεύματος εκφόρτισης, για μια ειδική εφαρμογή, μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$i_a = (2e_0 - e_a) / z \quad (2.7.1)$$

όπου: i_a = ρεύμα εκφόρτισης σε kA.

e_0 = 1,2 επίπεδο μόνωσης (κρίσιμη διάσπαση κύματος $1,2 \times 50 \mu s$) σε kV.

e_a = τάση εκφόρτισης αλεξικέρανου σε kV.

z = εμπέδηση σε ohms.

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει τις τιμές του ρεύματος εκφόρτισης, για διάφορες τιμές της τάσης εκφόρτισης ενός αλεξικέρανου.

Σε εγκαταστάσεις με μη αποτελεσματική προστασία, συνιστάται ρεύμα 20 kA. Η επιλογή της τιμής του ρεύματος εκφόρτισης βασίζεται στα εξής: α) συχνότητα των καταιγίδων με κεραυνούς, β) την πιθανότητα υψηλότερων ρευμάτων και γ) την σπουδαιότητα της εγκατάστασης. Υψηλά ρεύματα, είναι πιο πιθανά όταν έχω ξύλινο πύργο πλήρως μονωμένο και χρησιμοποιούνται βραχίονες χωρίς γείωση.

kV	kA
15	*
36,5	*
72,5	5
121	5
145	5
242	10
362	10
550	15
800	20

2.7.4. Προστατευτικά επίπεδα

Το προστατευτικό επίπεδο υπερτάσεων κεραυνών (LPL) είναι η υψηλότερη διάσπαση από εκφόρτιση κεραυνού κατά την επιλογή ρεύματος εκφόρτισης από (2.7.3).

Το προστατευτικό επίπεδο υπερτάσεων χειρισμών (SSP) είναι η υψηλότερη διάσπαση από εκφόρτιση χειρισμού.

2.8. Επίπεδα κρουστικής μόνωσης

Η αντοχή σε υπερτάσεις της μόνωσης, υπολογίζεται από την τιμή κορυφής μιας τυποποιημένης κρουστικής δοκιμής, την οποία θα αντέξει. B.I.L. Βασικό επίπεδο μόνωσης από υπερτάσεις κεραυνών. (1,2 x50 στάνταρ κρούση που αντέχει η μόνωση).

C.W.W. (αντοχή αποκεκομμένου κύματος) είναι η τιμή κορυφής, για ένα κύμα 1,2x50 «αποκεκομμένο» (από την λειτουργία του διακένου ράβδου που τοποθετείται παράλληλα με την μόνωση) μετά από συγκεκριμένο χρόνο. (2.2).

B.S.L. Βασικό επίπεδο μόνωσης από υπερτάσεις χειρισμών. Δείχνει την μέγιστη τιμή από υπερτάσεις χειρισμών που η μόνωση μπορεί να αντέξει.

2.8.1. Αντοχές μόνωσης για εξοπλισμό

Δοκιμή	Τάση αντοχής	Εξοπλισμός
Μέτωπο (-5μs)	1,3 έως 1,5xBIL	Μετασχηματιστές επαγωγής αντιστάθμισης
Αποκεκομμένο κύμα (2 μs)	1,29xBIL	Διακόπτες έως 15, 5 kV και άνω
Αποκεκομμένο κύμα	1,1 έως 1,15xBIL	
Υπέρταση χειρισμών	1,15xBIL 0,83xBIL	
Υπέρταση χειρισμών (250 x2500 μs)	0,63 έως 0,69xBIL	

Με την έλλειψη στοιχείων για ειδικό εξοπλισμό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κατά προσέγγιση αντοχή σε τάση εξοπλισμού με μόνωση λαδιού όπως φαίνεται παραπάνω:

2.9. Τοποθέτηση των αλεξικέραυνων σε σχέση με τον προστατευμένο εξοπλισμό

Είναι μια καλή πρακτική να συνδέουμε τα αλεξικέραυνα όσο το δυνατό πιο κοντά, ώστε να προστατεύεται ο εξοπλισμός. Παρ' όλα αυτά στην περίπτωση των προστατευμένων σταθμών όπου η πιθανότητα των άμεσων πληγμάτων στο σταθμό ή στις γραμμές σε σημεία κοντά στο σταθμό είναι μικρή, και το ρεύμα εκφόρτισης περιορίζεται από την εμπέδηση, είναι δυνατόν μερικές φορές να προστατεύεται ένα ή περισσότερα κομμάτια εξοπλισμού με ένα μόνο αλεξικέραυνο.

Σε μη αποτελεσματικές εγκαταστάσεις προστασίας, τα αλεξικέραυνα πρέπει να τοποθετούνται ακριβώς στα τερματικά των μετασχηματιστών. Η παρουσία μερικών διαφορετικών γραμμών, μπορεί να μειώσει την σοβαρότητα των κρουστικών τάσεων που εισέρχονται σε μια γραμμή, πρέπει όμως να εξετάζεται η περίπτωση όπου μία ή περισσότερες γραμμές αποσυνδέονται. Σε όλες τις περιπτώσεις, πρέπει να εξετάζεται η προστασία του σταθμού έναντι σε άμεσα πλήγματα κεραυνού.

Σε εγκαταστάσεις πολλαπλών γραμμών, πολλαπλών μετασχηματιστών, μια λεπτομερής αναλογική ή ψηφιακή μελέτη κύματος, μπορεί να καθορίσει τον απαιτούμενο αριθμό αλεξικέραυνων και την τοποθεσία τους, ώστε να έχουμε καλύτερη προστασία του σταθμού (2.11). Η μέθοδος του τμήματος 2.10.1. προορίζεται κυρίως για μελέτες προστασίας μετασχηματιστών, σε σχετικά απλούς σταθμούς.

2.10. Επιδράσεις απόσπασης

Όταν ένα αλεξικέραυνο συνδέεται με τον προστατευόμενο εξοπλισμό μέσω αγωγών σημαντικού μήκους, συμβαίνουν ταλαντώσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα υπέρτασης στον εξοπλισμό, από το αλεξικέραυνο. Αυτή η αύξηση τάσης εκφράζεται σαν αναλογία:

$$\frac{\text{Τάση της μόνωσης}}{\text{Τάση του αλεξικέραυνου}}$$

και ονομάζεται επίδραση απόστασης (S.E.). Αυτή μπορεί να εκτιμηθεί από μελέτες μοντέλων (2.11) ή την μέθοδο (2.10.5) και δείχνει το ρυθμό ανόδου και το μέγεθος της εισερχόμενης υπέρτασης και την απόσταση ανάμεσα στο αλεξικέραυνο και τον εξοπλισμό.

Οι επιδράσεις της απόστασης αυξάνονται με την αύξηση του ρυθμού ανόδου και μεγέθους της εισερχόμενης υπέρτασης, αυξάνοντας το μήκος των αγωγών ή των ζυγών σύνδεσης και με την αύξηση της χωρητικότητας της γείωσης ως προς τη γη.

2.10.1. Απλοποιημένη μέθοδος εκτίμησης επιδράσεων απόστασης

Σε μια πολλαπλή γραμμή με διάταξη δύο μετασχηματιστών, επαρκής προστασία μπορεί να δοθεί από ένα αλεξικέραυνο. Μια διαδικασία μείωσης (2.10.3) χρησιμοποιείται για την εύρεση της ισοδύναμης «βασικής περίπτωσης» (2.10.2) που περιγράφεται στο τμήμα (2.10.5) πως μπορεί να εκτιμηθεί. Οι τερματικές γραμμές μετασχηματιστών έχουν την ίδια διαμόρφωση με την «βασική περίπτωση» ώστε να μην απαιτείται μείωση.

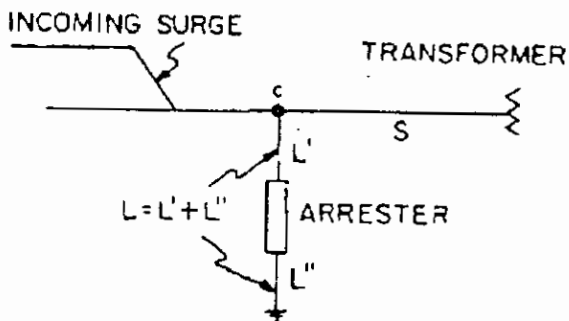
2.10.2. Βασική περίπτωση

Η βασική περίπτωση (σχήμα 2.4.) αποτελείται από μια μοναδική εισερχόμενη γραμμή σε μια σύνδεση "C", όπου ένας αγωγός L επεκτείνεται στο αλεξικέραυνο και ένας αγωγός S στο μετασχηματιστή. Στις μελέτες μοντέλων, τα S και L αντιπροσωπεύτηκαν με μια εμπέδηση ίση με αυτή της γραμμής. Οι μετασχηματιστές αντιπροσωπεύτηκαν με μια εμπέδηση ίση με αυτή της γραμμής. Οι μετασχηματιστές αντιπροσωπεύτηκαν με πυκνωτές. Η τάση στο αλεξικέραυνο διατηρήθηκε μετά την γεφύρωση του αλεξικέραυνου. Η εισερχόμενη κρουστική τάση αυξήθηκε γραμμικά σε μια οριακή τιμή, αφού πρώτα διατηρήθηκε συνεχής. Όλες οι μελέτες γίνανε σε αδιάστατες ποσότητες:

A) τάση ανά μονάδα γεφύρωσης αλεξικέραυνου.

B) χρόνος ανά μονάδα χρόνου που απαιτείται ώστε η τυποποιημένη εισερχόμενη τάση να γεφυρωθεί.

- Γ) απόσταση ανά μονάδα απόστασης, που μπορεί η τάση να ταξιδέψει στον βασικό χρόνο και
- Δ) χωρητικότητα, ο συνεχής χρόνος ανά μονάδα του βασικού χρόνου. Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν για τις ανά μονάδα τιμές, μπορούν όμως να εφαρμοστούν σε πραγματικές διαμορφώσεις, διαλέγοντας τις κατάλληλες βασικές τιμές.



Σχήμα 2.4. Βασική περίπτωση για υπολογισμούς στον διαχωρισμό.

2.10.3. Αναγωγή σύνθετων υποσταθμών στη βασική περίπτωση

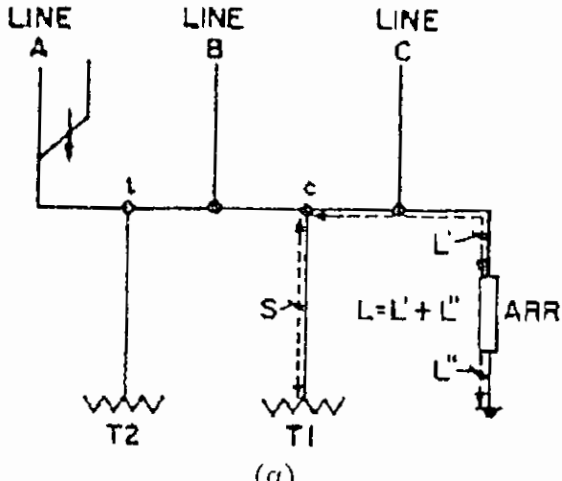
Η εργασία που περιγράφηκε στο 2.10.2. μετά επεκτάθηκε σε μελέτη σταθμού με πολλαπλές γραμμές, δύο μετασχηματιστών. Μελετήθηκαν 120 περιπτώσεις που κάλυψαν μια ποικιλία από κορυφές κρουστικών τάσεων, τιμές για τα S και L για κάθε μετασχηματιστή, τάσεις των χωρητικότητων του μετασχηματιστή και αποστάσεις ανάμεσα σε συνδέσεις C και t .

Σαν αποτέλεσμα των μελετών, αναπτύχθηκαν οι ακόλουθοι κανόνες:

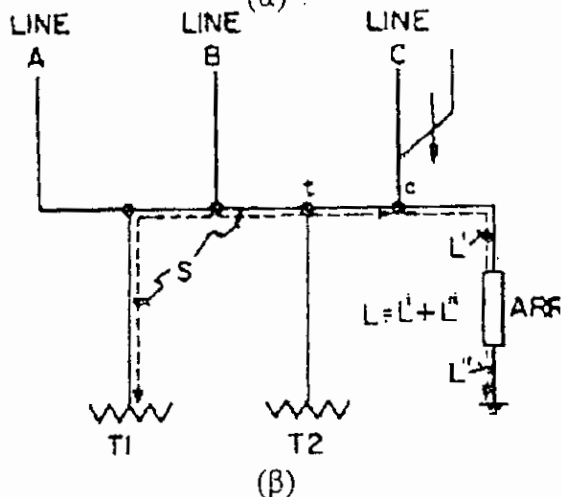
Κανόνας 1^{ος}: Αφαιρέστε τον μετασχηματιστή που δεν εξετάζεται.

Κανόνας 2^{ος}: Σχήμα 2.5.

- A) αναγνωρίστε την σύνδεση c , που είναι το κοινό σημείο ανάμεσα στον αγωγό του μετασχηματιστή, τον αγωγό του αλεξικέραυνου και την γραμμή, η οποία θα θεωρείται ως δεδομένο να έχει εισερχόμενη κρουστική τάση.
- B) Αναγνωρίστε το S σαν σύνδεση ζυγού ανάμεσα στην σύνδεση c και τον μετασχηματιστή.
- Γ) Αναγνωρίστε το L σαν σύνδεση μεταξύ της σύνδεσης C του αλεξικέραυνου.



Σχήμα 2.5. (α) Σύνδεση τάξης A. Τοποθεσία των t, c, s, L για μετασχηματιστή T_1 και υπέρταση στη γραμμή A.



(β) Σύνδεση τάξης B. Τοποθεσία των t, c, s, L για μετασχηματιστή T_2 και υπέρταση στη γραμμή B.

Κανόνας 3^{ος}: Αναγνωρίστε τη σύνδεση t (σχ. 2.5) το κοινό σημείο ανάμεσα στην γραμμή κρουστικής τάξης, της σύνδεσης του ζυγού στο μετασχηματιστή 1 και της σύνδεσης του ζυγού στον μετασχηματιστή 2. Το t και το c μπορεί να είναι στο ίδιο σημείο, επίσης το t δεν υπάρχει σ' ένα μόνο σταθμό μετασχηματιστή.

Μια σύνδεση τάξεως A έχει τη σύνδεση t να συμπίπτει με τη C ή να είναι στην ίδια μεριά της γραμμής με την t . Σε συνδέσεις τάξεως A, η μελέτη έδειξε ότι η επίδραση της απόστασης στο μετασχηματιστή που εξετάζαμε, ελαττώνονταν με την σύνδεση του δεύτερου μετασχηματιστή, επομένως η εφαρμογή του κανόνα 1 θα οδηγούσε σε επιλογή μιας συντηρητικής βασικής περίπτωσης. Σε σύνδεση τάξεως B ωστόσο, ο μετασχηματιστής με το μεγαλύτερο S έχει την επίδραση απόσταση του αυξημένη, με την επίδραση του δεύτερου μετασχηματιστή. Αυτή η δυσμενής περίπτωση γίνεται χειρότερη καθώς ελαττώνεται το S , αλλά βελτιώνεται αν αυξηθεί η απόσταση μεταξύ C και t .

Κανόνας 4^{ος}: Αυξήστε την υπολογισμένη αξία του S.E. κατά 5% όταν χρησιμοποιείται σύνδεση τάξεως B.

Κανόνας 5^{ος}: Αφαιρέστε όλες τις γραμμές που συνδέονται ανάμεσα στη σύνδεση και το τερματικό αλεξικέραυνο. Κοιτάξτε το σχ. 2.5(α). Παρατηρείστε ότι μια γραμμή συνδέεται στο L, ανάμεσα στο C και το αλεξικέραυνο. Η επίδραση τέτοιων γραμμών είναι να επηρεάσουν δυσμενώς την τάση του μετασχηματιστή του αγωγού που απέχει περισσότερο από το σημείο C. Αποτέλεσμα, να αυξήσουμε την επίδραση χωρισμού. Αποκτήθηκε επαρκής αποζημίωση αφαιρώντας τις γραμμές μειώνοντας έτσι την τιμή του.

Κανόνας 6^{ος}: Πολλαπλασιάστε την τιμή αύξησης της εισερχόμενης κρουστικής τάσης επί $3/(n+2)$, όπου ο αριθμός των γραμμών που παραμένουν, αφού έχει εφαρμοσθεί ο κανόνας 5.

Ο συντελεστής υπέρτασης $p=3/(n+2)$ του κανόνα 6 βρίσκεται, χρησιμοποιώντας την θεωρία των οδευόντων κυμάτων. Το σχήμα 2.6 δείχνει ένα σταθμό με $n=4$ γραμμές συν S και L, οι οποίες συναντώνται σ' ένα σημείο C και έχουν την ίδια εμπέδηση Z. Μια υπέρταση παρεμβάλλεται στο σταθμό A. Η ισοδύναμη εμπέδηση όλων των γραμμών συνδέεται στο C και όπως βλέπουμε είναι:

$$Z_2 = z/(n-1+2) = z/(n+1)$$

Αν ο ρυθμός ανόδου της εισερχόμενης υπέρτασης είναι R'_1 , η αύξηση της τιμής στην σύνδεση C είναι

$$R'_0 = 2z_2 R'_1 / (z+z_2) = 2R'_1 / (n+2)$$

Ψάχνουμε τον ρυθμό ανόδου R_r για μια εισερχόμενη υπέρταση σε μονή γραμμή της βασικής περίπτωσης (Σχ. 2.4), η οποία θα έχει αποτέλεσμα στο ρυθμό ανόδου στην βασική περίπτωση γραμμή S-L, σύνδεση που είναι ισοδύναμη με R'_0 . Η ισοτιμία της εμπέδησης όπως φαίνεται από τη γραμμή είναι:

$$z_1 = z/2$$

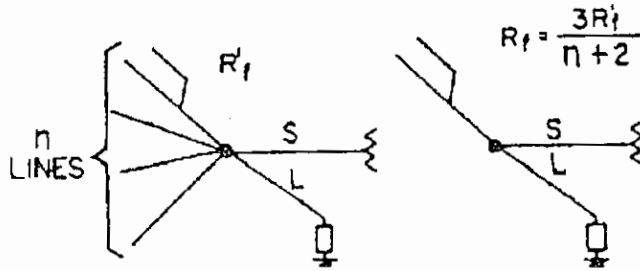
Και ο ρυθμός ανόδου στο σημείο της σύνδεσης

$$R_0 = 2 z_1 R_r / (z+z_1) = 2 R_r / 3$$

Αν το R_0 είναι ίσο με το R'_0 τότε:

$$2 R_r / 3 = 2 R'_1 / (n+2)$$

$$\text{Και } R_r = 3 R'_1 / (n+2) = p R'_1$$



Σχήμα 2.6.
Ισοδύναμο δίκτυο
για σταθμούς με
πολλαπλές γραμμές.

2.10.4. Παράμετροι για την επίλυση της βασικής περίπτωσης

S: Συνδυασμένο μήκος του ζυγού και συνδέσεις βραχυκυκλωτήρων μεταξύ C και των τερματικών των μετασχηματιστών.

L: Το συνδυασμένο μήκος του ζυγού και συνδέσεις βραχυκυκλωτήρων μεταξύ της σύνδεσης C και του πλέγματος γείωσης.

D: $S+L$ (πόδια ή μέτρα)

D: $D(R_f / E_f) / V$

R_f : Ρυθμός ανόδου του εισερχόμενου μετώπου, $kV/\mu s$.

E_f : Μέτωπο γεφύρωσης αλεξικέρανου σε kV . Χρησιμοποιείστε ταξινομημένη τιμή για το μέτωπο της γεφύρωσης, στην περίπτωση που το R_f είναι η πρότυπη δοκιμή F.O.W. του ρυθμού ανόδου. Εναλλακτικά καθορίστε το E_f που ανταποκρίνεται στο επιθυμητό R_f γραφικά.

E_i : Τάση σε προστατευμένη μόνωση

α : E_i/E_f

v : ταχύτητα κύματος. Για εναέριους αγωγούς, χρησιμοποιούμε $100 \text{ ft}/\mu s$ όταν S, L, D είναι σε πόδια και $300 \text{ m}/\mu s$ όταν S, L, D είναι σε μέτρα.

2.10.5. Εκτίμηση επιδράσεων απόστασης.

A) Μειώστε το σταθμό στην βασική περίπτωση. Σημειώστε: η βασική περίπτωση θα διαφέρει ανάλογα με την γραμμή αιχμής και τον μετασχηματιστή που εξετάζουμε.

- Β) Υπολογίστε μια σειρά σημείων $V_1 = t_1, R_{r1}, V_2 = t_2, R_{r2}, V_3 = t_3, R_{r3}$, κ.λ.π. και σχεδιάστε για την τιμή γεφύρωσης του κατασκευαστή καμπύλη για το αλεξικέραυνο. Διασταυρώστε μια απαλή καμπύλη στα σημεία $v_1, t_1, v_2, t_2, v_3, t_3$ και η καμπύλη της γεφύρωσης είναι E_f .
- Γ) Υπολογίστε το D. Από τον πίνακα του σχ. 2.7 βρείτε το α. Πολλαπλασιάστε το με το E_f να αποκτήσετε τάση στο μετασχηματιστή.
- Δ) Επαναλάβετε όπως είναι απαραίτητο για να εκτιμήσετε όλες τις μεταβολές των μετασχηματιστών και των γραμμών.

2.10.6. Επιτρεπόμενη απόσταση

Είναι η τιμή $D=S+L$ η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την μέγιστη επίδραση απόστασης. Ας σημειωθεί ότι $\alpha = E_i / E_f$, εξίσωση 2.10.3 είναι ίση στην «επίδραση διαχωρισμού» όπως δίνεται στο 2.10. Ο συντελεστής α μπορεί να εκφραστεί με την προστατευτική αναλογία $PR(1)=CWW/FOW$. Από το τμήμα 2.12.1β έχουμε:

$$CWW/(S.E.) (F.O.W.) \geq 1.15 \quad , \quad S.E. \leq (C.W.W.)/(F.O.W.) 1.15$$

Η μέγιστη επιτρεπτή επίδραση απόστασης σε όρους του F.O.W. είναι:

$$S.E._{max} = (CWW/F.O.W.)/1.15 \quad (2.10.4)$$

$$\text{Όπου: } (S.E.) (F.O.W.) = E_i = \alpha E_f$$

$$\beta = E_f / F.O.W.$$

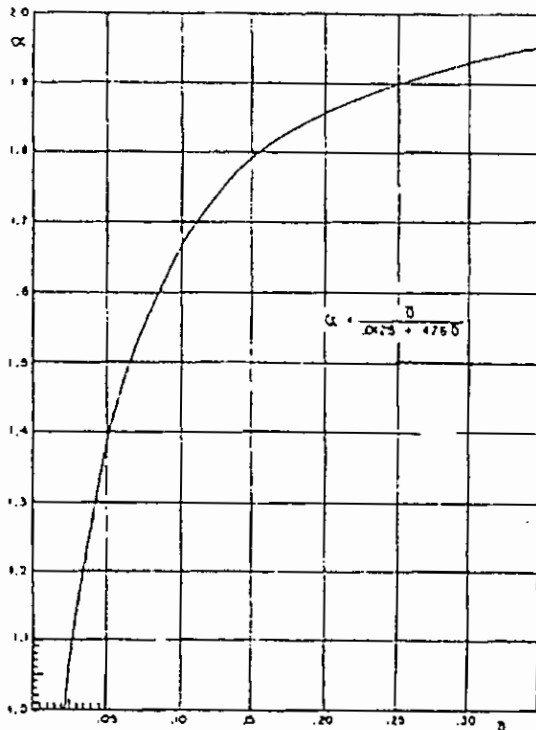
Αντικαθιστώντας β (F.O.W.) για το E_f , λύστε ως προς α :

$$\alpha = (S.E.) / \beta$$

Από την εξίσωση 2.10.4

$$\alpha_{max} = (C.W.W./F.O.W.)/1.15 \beta$$

2.10.7. Τυποποίηση της επίδρασης της απόστασης.



Σχήμα 2.7.
Καμπύλη
προσδιορισμού του
α. Το α ισούται με
την τάση στον
μετασχηματιστή
προς την τάση στο
αλεξικέραυνο.

Η καμπύλη του σχ. 2.7 έχει την εξίσωση

$$\alpha = D / (0.0125 + 0.476 D)$$

Αντικαθιστώντας για D σύμφωνα με την εξίσωση 2.10.2 και λύνοντας ως προς D δίνει:

$$D = 0.0125 \alpha V / (1 - 0.476 \alpha) (R_f / E_f) \quad (2.10.8)$$

Αντικαθιστώντας ρ R_f για R_f στην εξίσωση 2.10.1 β F.O.W. για E_f, α_{max} για α και χρησιμοποιώντας την εξίσωση 2.10.7. έχω:

$$D_{\max} = 0.0125 (C.W.W./F.O.W.) \beta v / [1.15 \beta - 0.476 (C.W.W./F.O.W.) \rho (R_f / F.O.W.)] \quad (2.10.9)$$

2.10.8 Πίνακας επιτρεπτών αποστάσεων απόστασης.

Ο πίνακας 2.3. υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση 2.10.9 και τον εμπειρικό τύπο:

$$\beta = 1 + 0.07 (\rho - 1) (R_f / F.O.W.) \quad (2.10.10)$$

Χρήση του πίνακα εικονογραφείται στο τμήμα 2.13, κανόνας 4.

Πίνακας 2.3. Επιτρεπτή απόσταση D(3)- Αριθμός γραμμών (2)

CWW FOW(1)	1	2	3	4	5	6	7
1,2	10	14	18	22	26	31	35
1,4	14	20	26	32	39	45	52
1,6	20	29	39	50	60	71	82
1,8	30	46	64	84	105	126	149
1,9	37	61	88	118	152	188	227
2,0	49	84	130	187	256	336	429
2,1	68	132	234	397	-	-	-
(4)							

Σημειώσεις:

- 1) Επίσης εφαρμόσιμα για BIL/LPL όπου η τιμή αύξησης της εισερχόμενης κρουστικής τάσης, έχει σαν αποτέλεσμα σε 1,5 μs ή περισσότερο.
- 2) Ο αριθμός γραμμών μετά από τους κανόνες μείωσης έχει εφαρμοστεί.
- 3) $D = S + L$ ft
- 4) Αν απαιτείται περισσότερος διαχωρισμός και είναι διαθέσιμος σταθμός >2.1, χρησιμοποιείται η 2.10.5.

2.11. Εκτίμηση επιδράσεων της απόστασης από μελέτες μοντέλων.

Η λεπτομερής ανάλυση υπερτάσεων κεραυνών σε σταθμούς, βασίζεται σε μελέτες μοντέλων. Ειδικές μελέτες μπορούν να γίνουν για συγκεκριμένους σταθμούς, όταν απαιτείται.

2.11.1. Ερμηνεία αποτελεσμάτων των μοντέλων των μελετών.

Μελέτες περίπλοκων σταθμών αναλαμβάνονται από ειδικούς, που είναι ειδικευμένοι στην επιλογή σημαντικών περιπτώσεων για μελέτη και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Υποθέτοντας ότι ένα κατάλληλο μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί οι τάσεις με ταλαντώσεις που παίρνουμε στον μετασχηματιστή, απαιτούν ερμηνεία ακόμη. Μόνο ελάχιστες δοκιμές μόνωσης έχουν γίνει με τέτοιες κυματομορφές. Μια γραφική μέθοδος έχει προταθεί και έχει χρησιμοποιηθεί μια αναλυτική. Και οι δυο φαίνονται σωστές, όμως δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα.

Και οι δυο χρησιμοποιούν μια πλήρη χαρακτηριστική ώρας- τάσης της μόνωσης του μετασχηματιστή ή άλλη πληροφορία εξοπλισμού που δεν είναι εύκολα διαθέσιμη. Μελετώντας την έλλειψη μιας γενικής αποδεκτής μεθόδου εκτίμησης των μη πρότυπων κυματομορφών, φαίνεται προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί αποκεκομμένο ρεύμα έτσι ώστε να αντέχει στον συντονισμό μόνωσης.

2.12. Διαβάθμιση μόνωσης.

Η διαδικασία διόρθωσης των επιπέδων αντοχής της μόνωσης, με προσδοκώμενες υπερτάσεις και με το προστατευτικό χαρακτηριστικό των κρουστικών προστατευτικών μηχανισμών (συνήθως διάκενα ή αλεξικέραυνα), λέγεται «διαβάθμιση μόνωσης».

Δύο γενικές μέθοδοι χρησιμοποιούμε. Στην «μέθοδο τριών σημείων», οι σταθμοί μόνωσης που αντέχουν στα προστατευτικά επίπεδα του αλεξικέραυνου, ελέγχονται σε μέτωπο κρουστικής τάσης, σε πλήρη κρουστική τάση και σε υπερτάσεις χειρισμού. Στη «μέθοδο καμπύλης» οι αντοχές της μόνωσης και τα προστατευτικά επίπεδα μόνωσης συγκρίνονται, χρησιμοποιώντας την γραφική διαδικασία.

2.12.1. Μέθοδος τριών σημείων.

Σε αυτή την μέθοδο, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι λόγοι προστασίας:

$$\begin{aligned} PR(1) &= CWW/FOW \\ PR(2) &= BIL /LPL \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PR(1S) &= PR(1) / S.E. \\ PR(3) &= BSL /SSP \end{aligned}$$

Τα B.I.L., C.W.W και B.S.L., καθορίζονται στο 2.8, ενώ το F.O.W. σχολιάζεται στο 2.7.1. Τα L.P.L. και S.S.P. περιγράφονται στην παράγρ. 2.7.4. Για σωστή προστασία τα πρέπει να ικανοποιούνται επαρκώς κριτήρια (α) ή (β), (γ) ή (δ) και (ε).

A) $PR(1) \geq 1,2$. Ελέγξτε τις επιτρεπτές αποστάσεις στον πίνακα 1.3 έναντι του CWW/FOW. Αν η απόσταση D δεν υπερβαίνει την ταξινομημένη τιμή, τότε οι επιδράσεις απόστασης, μπορούν να αγνοηθούν. Αλλιώς εκτιμήστε E_i χρησιμοποιώντας 2.10.4 και 2.10.5. Η απαίτηση είναι τότε:

B) $PR(1S) \geq 1,15$ όπου

$$PR(1S) = PR(1) / S.E. = CWW / E_i \quad (2.12.1)$$

Αναφορά σε:

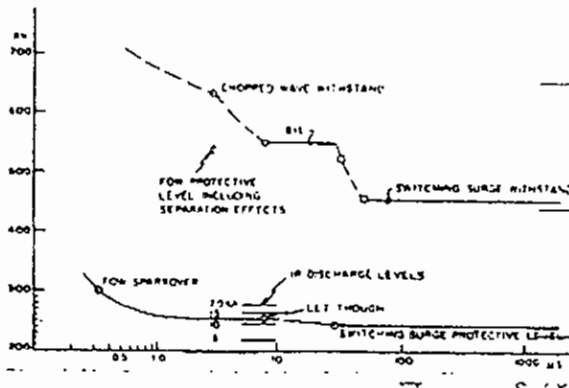
Γ) $PR(2) \geq 1,2$. Συνήθως δεν είναι απαραίτητο να εξετάζουμε τις επιδράσεις απόστασης σε σύνδεση με $PR(2)$. Βλέπε παράδειγμα στο τμήμα 2.14. Παρ' όλα αυτά, όπου απαιτείται προστατευτικός σταθμός χρησιμοποιείται η:

$$PR(2S) = PR(2) / (S.E.) = B.I.L. / E_i \quad (2.12.2)$$

Δ) $PR(2S) \geq 1,15$. Οι τιμές του ρυθμού ανόδου των υπερτάσεων χειρισμού, είναι σχετικά χαμηλές σε σχέση με τις υπερτάσεις κεραυνών και οι επιδράσεις απόστασης, είναι αντίστοιχα χαμηλές. Για το λόγο αυτό οι επιδράσεις απόστασης, μπορούν να αγνοηθούν όταν ελέγχουμε τον συντονισμό B.S.L., S.P.L.

E) $PR(3) \geq 1,15$.

2.12.2. Μέθοδος της καμπύλης.



Σχήμα 2.11. Καμπύλη μεθόδου του συντονισμού της μόνωσης.

Σχεδιάστε τέσσερα σημεία για τις ακόλουθες τάσεις αντοχής, όπως δίνονται από τον κατασκευαστή.

- (1) Μέτωπο κρουστικής τάσης (αν υπάρχει).
- (2) Αποκεκομμένο κύμα.
- (3) Πλήρες κύμα (B.I.L.) περίπου 8 μs , και
- (4) Υπέρταση χειρισμού περίπου 300 μs .

Συνδέστε τα σημεία με μια διακεκομμένη γραμμή, δείχνοντας τα κύματα αποσύνδεσης, στο σημείο του αποκεκομμένου κύματος. Επεκτείνουμε την τάση πλήρους κύματος σαν μια ευθεία γραμμή από 8-50 μs περίπου. Η υπέρταση χειρισμού επεκτείνεται με μία ευθεία γραμμή περίπου 50-200 μs και περνάει από το σχεδιασμένο σημείο, 300 μs . Δεν είναι δυνατόν να προσεγγίσουμε γραφικά, ακριβώς όλα τα σημεία της καμπύλης. Η καλή εμπειρία έχει αποκτηθεί ακολουθώντας τους εξής κανόνες:

- A) Η πλήρης δύναμη B.I.L. θα εφαρμόζεται για μέτωπο χρόνου ανάμεσα σε 8-50 μs .
- B) Η ελάχιστη υπέρταση χειρισμών, συμβαίνει ανάμεσα σε 50 και 2000 μs .

«Καμπύλη αλεξικέρανου».

Η κατά προσέγγιση καμπύλη γεφύρωσης, σχεδιάζεται ως εξής:

Σχεδιάστε 3 σημεία για τις ακόλουθες τάσεις γεφύρωσης, που απαιτούνται για την εγκατάσταση συγκεκριμένων αλεξικέρανων.

- 1) Μέτωπο κρουστικής τάσης.
- 2) 1,2x50 γεφύρωση (σε 8 μs).
- 3) Προστατευτικό επίπεδο υπερτάσεων χειρισμού σαν μια ευθεία γραμμή από 30-2000 μs περίπου. Συνδέστε τα σημεία με μια καμπύλη, όπως περίπου απεικονίζεται. Αν μια καμπύλη γεφύρωσης χρόνου τάσης, είναι διαθέσιμη από τον κατασκευαστή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί για την εκτίμηση B.

Σχεδιάστε μια κλίμακα γραμμών, που η κάθε μία εκτείνεται από 5 μs -10 μs , σε επίπεδα που συμφωνούν στο 5kA, 10kA και 20kA (τάση εκφόρτισης). Προσθέστε μια παρόμοια γραμμή, να περνάει μέσα από την γεφύρωση 1,2x50 μs .

«Πώς να χρησιμοποιήσετε την καμπύλη»

Πρέπει να συναντηθούν τα κριτήρια (α) και (β) για ικανοποιητικό συντονισμό:

- A) Εντοπίστε το σημείο ανάμεσα σε 0,5 μs και 50 μs όπου ο διαχωρισμός ανάμεσα στην αντοχή και στις καμπύλες του αλεξικέρανου, είναι ελάχιστος. (Θεωρήστε 1,2x50 γεφύρωση, επιλεγμένες γραμμές εκφόρτισης KA είναι ξεχωριστές καμπύλες).

Υπολογίστε: $PR = \text{τάση αντοχής} / \text{τάση αλεξικέρανου}$

Το PR πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 1,2 σε αυτό το σημείο.

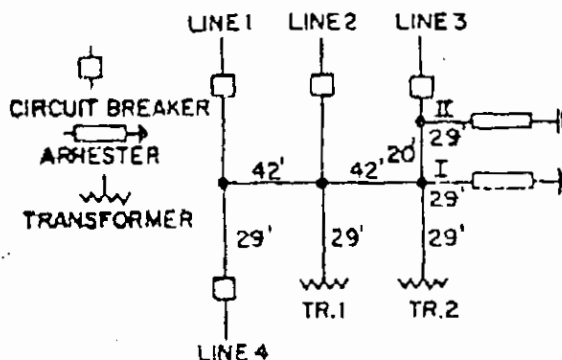
- B) Κάντε ένα παρόμοιο έλεγχο ανάμεσα σε 50 μs και 2000 μs . Το PR πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 1,15.

2.12.3. Μέθοδος εφικτής διαβάθμισης.

Μπορεί το πρώτο αλεξικέραυνο που θα διαλέξουμε να έχει προστατευτικά επίπεδα, που δεν θα είναι ταυτόσημα με τα επιθυμητά επίπεδα αντοχής της μόνωσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις μια ή περισσότερες εναλλακτικές λύσεις μπορούν να εξεταστούν.

- A) Διαλέγοντας ένα αλεξικέραυνο με μειωμένο επίπεδο από υπερτάσεις κεραυνών ή χειρισμού. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται μια διαφορετική τάξη, σχέδιο, ή ονομαστική τιμή τάσης. Ένα αλεξικέραυνο με μια ονομαστική τιμή χαμηλότερη από αυτή που ακολουθεί τις κατευθυντήριες γραμμές του 2.5, αυξάνει τον κίνδυνο της μη λειτουργίας του αλεξικέραυνου που είναι αποτέλεσμα της δυσκολίας των διακένων του αλεξικέραυνου να ξανακλείσουν.
- B) Αλλάζοντας τη θέση του αλεξικέραυνου για να μειώσουμε την απόσταση S ή το μήκος του αγωγού του αλεξικέραυνου L , ή και τα δύο.
- Γ) Αυξάνοντας το επίπεδο μόνωσης του εξοπλισμού που προστατεύεται.
- Δ) Βελτιώνοντας την προστασία.
- Ε) Τοποθετώντας επιπλέον αλεξικέραυνα.

2.13. Παράδειγμα επιλογής αλεξικέραυνου.



Σχήμα 2.9. Τυπικός σταθμός 138 kV που χρησιμοποιήθηκε στα παραδείγματα.

Η επιλογή αλεξικέραυνων για μια ειδική εφαρμογή μπορεί να πραγματοποιηθεί από μια συστηματική διαδικασία βήμα προς βήμα. Για να εικονογραφήσουμε αυτή την διαδικασία έχουμε επιλέξει σαν παράδειγμα ένα τυπικό σταθμό 38kV με δύο μετασχηματιστές προστατευμένους από ένα μονό αλεξικέραυνο (σχ. 2.9). Το σφάλμα ζυγού, είναι 4800 MVA ή 20 kA συμμετρικά. Τροφοδοτείται από ένα αποτελεσματικό σύστημα γείωσης αποτελούμενο από 4 γραμμές, η κάθε μία από τις οποίες προστατεύεται αποτελεσματικά όπως και ο σταθμός. Η μέγιστη τιμή αύξησης της εισερχόμενης υπέρτασης χειρισμού, δεν υπολογίζεται να ξεπεράσει τα 900 kV/μs. Κρίσιμη διάσπαση της γραμμής είναι τα 833 kV με γραμμική εμπέδηση υπέρτασης τα 450 ohms. Ακολουθούν οι κανόνες για την επιλογή του αλεξικέραυνου.

1) Δοκιμαστική επιλογή αλεξικέραυνου.

1) Υπολογίζουμε την μέγιστη προσωρινή υπέρταση (TOV).

A) υπολογίζουμε χρησιμοποιώντας τις καμπύλες R_0/x_1 προς x_0/x_1 (σχ.2.2) ή τους υπολογισμούς.

Ας υποθέσουμε ότι [$R_0/x_1 \leq 0.5$, $(x_0/x_1) \leq 3$] και ότι η μέγιστη τάση φάσης-γης του συστήματος είναι $144(\text{ρίζα})3 \text{ kV}$ ή 83,1 kV. Το σχήμα 2.2 δείχνει ότι η μέγιστη τάση φάσης-γης στις υγιείς φάσεις δεν θα ξεπεράσει τα $1,3 \times 83,1$ ή 108 kV. Επομένως τα 108 kV είναι μια κατάλληλη τιμή για το αλεξικέραυνο, εκτός αν οι συνθήκες του συστήματος που δεν σχετίζεται με τα σφάλματα, υπαγορεύουν τη χρήση υψηλότερης τιμής.

B) εκτιμήστε την επίδραση απόρριψης φορτίου χειρισμού, συντονισμού, κορεσμού, πιθανή απώλεια συστηματικής γείωσης.

Γ) Ελέγξτε για πιθανότητες συχνής λειτουργίας του συστήματος σε τάση υψηλότερη από το επίπεδο «μέγιστης τάσης συστήματος» μη κανονική συχνότητα ή αποσύνδεση της γείωσης.

Κανόνας: Οι τιμές της τάσης (ονομαστικές) είναι συνήθως ίσες ή μεγαλύτερες από το TOV. Οι συνθήκες που καλύπτουν οι κανόνες (β) και (γ), σχολιάζονται στο 2.4. Για το παράδειγμα θα υποθέσουμε ότι τέτοιες συνθήκες δεν υπάρχουν για το σύστημα.

2) Επιλέξτε τάση που ικανοποιεί τις απαιτήσεις αντοχής. Εξετάστε:

A) Την τιμή πίεσης εκτόνωσης να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την τιμή για την οποία δεν λειτουργεί το σύστημα.

B) Συμπεριφορά για υπερτάσεις κεραυνού.

Γ) Συμπεριφορά για υπερτάσεις χειρισμού (σταθμών και ενδιάμεσα).

Δ) Απαιτήσεις αξιοπιστίας.

Κανόνας: Η τάξη πρέπει να είναι διαθέσιμη σε επιλεγμένη ονομαστική τιμή και πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις αντοχής και αξιοπιστίας του συστήματος.

Μόνο τα αλεξικέραυνα σταθμού ή τα αλεξικέραυνα ενδιάμεσης τάξης, είναι διαθέσιμα με τιμή 108 kV. Τα ενδιάμεσης τάξης δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται όπου το ελαττωματικό ρεύμα ξεπερνά τα 16,1 kV. Τα αλεξικέραυνα τάξης σταθμού, είναι διαθέσιμα για χρήση, σε σταθμούς όπου τα σφάλματα είναι 40 kA ή λιγότερο. Πρέπει να γίνεται χρήση του κανόνα 2 (α), λόγω του ελαττώματος του ζυγού, και να χρησιμοποιείται ένα αλεξικέραυνο τάξης σταθμού.

II. Προσδιορισμός προστατευτικών χαρακτηριστικών επιλεγμένου αλεξικέραυνο.

- 1) Χρησιμοποιείστε στοιχεία για το επιλεγμένο αλεξικέραυνο όπου είναι διαθέσιμα. Χρησιμοποιήστε τον πίνακα 2.1 για γενικές μελέτες. Για επιλογή ρευμάτων αναφοράς εκφόρτισης κεραυνού, βλέπε τμήμα 2.7.3.
- 2) Εγκαταστήστε 3 πρότυπα επίπεδα προστασίας του αλεξικέραυνο.
 - A) Διάσπαση μετώπου κρουστικής τάσης.
 - B) Την μεγαλύτερη του 1,2×50 διάσπαση ή κρουστική εκφόρτιση κεραυνού σε επιλεγμένο ρεύμα (L.P.L.).
 - Γ) Υπέρταση χειρισμών (η μεγαλύτερη από την γεφύρωση ή την εκφόρτιση) (S.P.L.).

Προστατευτικά χαρακτηριστικά για ένα συγκεκριμένο αλεξικέραυνο σταθμού 108 kV, παίρνονται από τα τυπωμένα στοιχεία του κατασκευαστή. Παρόμοιες πληροφορίες είναι εύκολα διαθέσιμες απ' όλους τους κατασκευαστές. Οι τιμές που δίνονται είναι μέσα στις περιοχές που δίνονται από τον πίνακα 2.1. π.χ.

$$FOW, (1,99-2,28) \times 108 \times (\text{ρίζα})^2 = (304-348)$$

Προστατευτικά χαρακτηριστικά	Προστατευτικό επίπεδο
FOW	304 (kV)
1,2 × 50	254 ⁽¹⁾ (kV)
5 kA εκφόρτισης	218 (kV)
Υπέρταση χειρισμού	245 ⁽²⁾ (kV)
(1) LPL όπως 2.7.4	
(2) SSP όπως 2.7.4	

III. Προσδιορισμός κανόνα τάσης αντοχής της μόνωσης.

- (1) Βασικά επίπεδα μόνωσης από κεραυνούς (B.I.L.) καθορίζονται για τα περισσότερα είδη εξοπλισμού, είτε μέσω τάσης, είτε μέσω ειδικών δοκιμών.
- (2) Τάση αντοχής αποκεκομμένου ρεύματος (C.W.W.) για μετασχηματιστές λαδιού, είναι 1,1-1,15 φορές B.I.L. Προειδοποίηση: Χαμηλότερη στάθμη, απευθύνεται σε μόνωση ξηρού τύπου για μικρές περιόδους.

(3) Βασικά επίπεδα μόνωσης από κρούσεις χειρισμών (B.S.L.) είναι 0,75 -0,9 φορές B.I.L. για μετασχηματιστές και 0,63 -0,69 φορές B.I.L. για διακόπτες 362-765 kV.

Από την 2.8.1. χρησιμοποιούμε

$$CWW = 1,15 \times 550 = 632,5$$

$$SPL = 0,83 \times 550 = 456,3$$

IV. Εντοπισμός αλεξικέραυνων σε σχέση με τον εξοπλισμό.

Κανόνας:

- (1) Μη προστατευμένες εισερχόμενες γραμμές. Τοποθετήστε τα αλεξικέραυνα όσο το δυνατόν κοντύτερα στο μετασχηματιστή. Εξετάστε τη χρήση διακένων ή αλεξικέραυνων.
- (2) Προστατευμένες εισερχόμενες γραμμές. Τοποθετήστε τα αλεξικέραυνα έτσι ώστε να παρέχουν βέλτιστη προστασία σε όλο τον εξοπλισμό.

Στο παράδειγμα που μελετάται (σχ. 2.9) το αλεξικέραυνο είναι στο σημείο «II», ο μετασχηματιστής 2 έχει εγκατασταθεί, και σχεδιάζεται να εγκατασταθεί και ο μετασχηματιστής 1.

Η μέθοδος της μείωσης που περιγράφεται στο 2.10.3 είναι χρήσιμη εδώ. Πρώτα πρέπει να εκτιμηθεί το τωρινό επίπεδο προστασίας του μετασχηματιστή 2. Πριν εγκατασταθεί ο μετασχηματιστής 1, η χειρότερη περίπτωση είναι μια εισερχόμενη υπέρταση στη γραμμή 1, 2 ή 4. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η γραμμή 3 πρέπει να αποσυνδεθεί, επειδή τροφοδοτεί τον αγωγό του αλεξικέραυνου και την γραμμή 4 και θεωρείται εκτός λειτουργίας σαν ένα πρώτο ενδεχόμενο. Για κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις S είναι 29' και $L=20+29=49\text{ft}$. D είναι 78', $CWW/FOW=(1,15 \times 550)/304$ ή 2,08. Από τον πίνακα 2.3 η καλύτερη προσέγγιση για την επιτρεπόμενη απόσταση είναι 122 ft για 2 γραμμές και λόγο 2,08.

Ένας παρόμοιος έλεγχος μπορεί να γίνει με το μετασχηματιστή 1 συνδεδεμένο και το αλεξικέραυνο στο II, με την γραμμή 4 ανοικτή και μια υπέρταση σε οποιαδήποτε γραμμή 1 ή 2. Για τον μετασχηματιστή 1, $L=29+20+42=91\text{ft}$ και $S=29$ και $D=120\text{ft}$. Είναι η καλύτερη προσέγγιση αλλά ένας πιο λεπτομερειακός έλεγχος πρέπει να γίνει. Αναφορά: 2.10.4, 2.10.5.

A) $R_f = 900 \times 3 / (2+2) = 675$

B) $E_f = 286$ (σχήμα 1.8)

Γ) $D = 120 \times (675/286) / 1000 = 0,283$

Δ) από σχήμα 1.7, $\alpha = 1,93$ και

E) $E_f = 1,93 \times 286 = 552$.

Z) $PR(1S) = (1,15 \times 550) / 552 = 1,146$.

Αυτός ο λόγος προστασίας είναι οριακός. Καλύτερη προστασία μπορεί να έχουμε μετακινώντας το αλεξικέραυνο στο σημείο 1. Κάνουμε έλεγχο με την γραμμή 4 εκτός λειτουργίας και αποσυνδέουμε την γραμμή 3.

χάρη στον κανόνα 3. Το $L=42+29=71\text{ft}$. Το S παραμένει 29 ft. Το D γίνεται 100 ft , $D=100 \times (675/286)/100=0,236$, $\alpha=1,88$, $E_i = 286 \times 1,88 = 538\text{ kV}$, $PR(1S) = (1,15 \times 550) / 538 = 1,17$ που είναι ένας ικανοποιητικός λόγος.

Η απλοποιημένη μέθοδος που διευκρινίζεται πιο πάνω δίνει συντηρητικά αποτελέσματα.

2.14. Έλεγχος συντονισμού της μόνωσης.

Το $PR(1S)$ βρέθηκε στο 2.13 να είναι 1,17.

$PR(2)$: Από την εξίσωση 2.7.1 της παραγρ. 2.7.3. το ρεύμα εκφόρτισης είναι

$$i_a = (2 \times 1,2 \times 833 - 218) / 450 = 3,96\text{ kA}$$

Χρησιμοποιούμε 5 kA εκφόρτιση για 218 kV. Η επιτρεπτή τάση είναι 254 kV. Για το LPL από την παράγραφο 1.7.4 $PR(2)=550/254=2,2$. Υπάρχει ανάγκη να ελεγχθεί το $PR(2S)$ γι' αυτή την υψηλή τιμή του $PR(2)$, αλλά η μέθοδος παρουσιάζεται εδώ για διευκρινιστικούς λόγους. Χρησιμοποιείστε $R'_f = LPL / 3\mu\text{s} = 85\text{ kV}/\mu\text{s}$. Απ' όταν η επιτρεπτή τάση καθορίζει γεφύρωση στα 3μs ή περισσότερο, η R'_f θα είναι 85 kV/μs ή λιγότερο.

$$A) R_f = [3/(2+2)] \times 85 = 64\text{ kV}/\mu\text{s}.$$

$$B) E_f = 254$$

Σημειώνεται ότι η επιτρεπτή τάση γεφύρωσης δεν επηρεάζεται από τον ρυθμό ανόδου.

$$Γ) D = 120 \times (64/254) / 1000 = 0,03$$

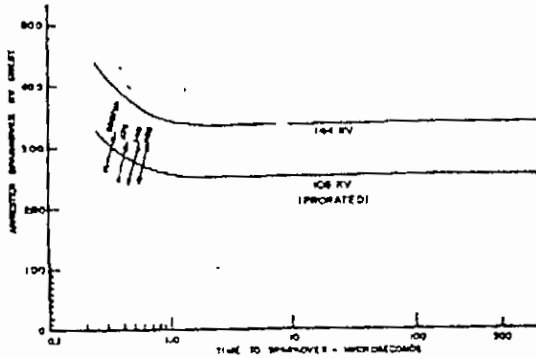
$$Δ) \alpha = 1,12, E_i = 1,12 \times 254 = 285$$

$$PR(2S) = 550 / 285 = 1,93$$

$$PR(3) = 0,83 \times 550 / 245 = 1,86$$

Συμπέρασμα: Αφού το $PR(1S) > 1,15$, $PR(2S) > 1,15$, $PR(3) > 1,15$, ο συντονισμός είναι ικανοποιητικός.

2.15. Έλεγχος συντονισμού μόνωσης με την μέθοδο της καμπύλης (σχ. 2.11).



Σχήμα 2.8. Χαρακτηριστική διάσπασης ενός αλεξικέρανου σταθμού 108 kV.

Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν λαμβάνονται από το παράδειγμα του 2.13. Οι καμπύλες που σχεδιάστηκαν, χρησιμοποιούν στοιχεία γεφύρωσης από το σχ. 2.8 και στοιχεία εκφόρτισης από το σχ. 2.9, σε σχέση με τις οδηγίες του τμήματος 2.12.2. Η επίδραση της απόστασης στην περιοχή FOW προστίθεται στην γεφύρωση και φαίνεται σαν σημείο.

2.16. Εφαρμογή Ε.Η.Υ. αλεξικέρανου.

Τα συστήματα Ε.Η.Υ. προσδιορίζονται να έχουν μέγιστη ονομαστική τιμή τάσης μεγαλύτερη από 242 kV και λιγότερο από 1000 kV. Συγκρινόμενα με συστήματα χαμηλότερης ονομαστικής τιμής στην τάση, οι γραμμές μπορεί να έχουν περισσότερο από ένα αγωγό για κάθε φάση, οι χωρητικότητες είναι μεγαλύτερες, οι επιδράσεις συντονισμού πιο συνηθισμένες και οι υπερτάσεις χειρισμού έχουν υψηλότερα επίπεδα ενέργειας. Τα αλεξικέρανα σε σύστημα Ε.Η.Υ. πρέπει να μπορούν να ελέγξουν υψηλότερες υπερτάσεις ρεύματος και να αντέχουν στην παρουσία υψηλότερων TOV. Τα επίπεδα μόνωσης του εξοπλισμού Ε.Η.Υ., τείνουν να είναι χαμηλότερα σε σχέση με τις ονομαστικές τάσεις, απ' ό,τι σε σύστημα χαμηλότερων τάσεων. Σαν αποτέλεσμα, μια χαμηλότερη στάθμη της τάσης του αλεξικέρανου σε ονομαστική τάση, μπορεί να απαιτηθεί ώστε να διατηρηθούν τα επίπεδα προστασίας.

2.17. Αιτίες υπερτάσεων χειρισμού που επηρεάζουν τις εφαρμογές των αλεξικέραυνων.

Η λίστα των υπερτάσεων χειρισμού στις παραγράφους 2.17.1, 2.17.2 και 2.17.3 είναι ατελής και περιλαμβάνει υπερτάσεις που συχνά απαιτούν ειδική μελέτη. Η σπουδαιότητα των διαφορετικών τύπων υπερτάσεων, μελετάται πιο κάτω.

2.17.1. Υπερτάσεις εκεί που μερικές γεφυρώσεις επιτρέπονται.

- A) Προ-πλήγμα, όταν ενεργοποιούμε κυκλώματα χωρητικότητας αποσυνδέοντας τους διακόπτες.
- B) Προπλήγμα, όταν επανεργοποιούμε κυκλώματα χωρητικότητας αποσυνδέοντας τους χειρισμούς.

2.17.2. Υπερτάσεις όταν ένα ή δύο γεφυρώσεις επιτρέπονται.

- Γ) Ενεργοποιώντας μια γραμμή ή την γραμμή του μετασχηματιστή.
- Δ) Ενεργοποιώντας μια γραμμή με παράλληλη αντιστάθμιση.
- Ε) Ξανακλείνοντας την φορτισμένη γραμμή.
- Στ) Ξανακλείνοντας την φορτισμένη γραμμή με παράλληλη αντιστάθμιση.
- Ζ) Ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας τη γραμμή με πτώση φορτίου της μονάδας της γραμμής – μετασχηματιστή (αρμονική υπέρταση).
- Η) Αύξηση της τάσης στο κλείσιμο.
- Θ) Ξαναπλήπτοντας τον διακόπτη του κυκλώματος όταν επανεργοποιούμε την γραμμή.
- Ι) Συνδέοντας ή αποσυνδέοντας τις τράπεζες πυκνωτών ή μακρυά καλώδια.
- Ια) αποκόπτοντας το επαγωγικό ρεύμα με τους διακόπτες του κυκλώματος.

2.17.3. Υπερτάσεις, όταν οι προσωρινές υπερτάσεις φθάνουν σε ξανακλείσιμο των διακοπών.

- ιβ) Καθαρίζοντας σφάλματα φάσης-γης στην μια άκρη της γραμμής.
- ιγ) Καθαρίζοντας μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος μεγάλης ταχύτητας.
- ιδ) Κλείνοντας όταν είναι έξω από τη φάση.
- ιε) Γραμμικά αποτελέσματα συντονισμού.
- ιστ) Ταλαντώσεις σιδηροσυντονισμού.

2.18. Μέγιστη επιτρεπτή υπέρταση χειρισμών.

Αυτή περιορίζεται από την ικανότητα του διακένου του αλεξικέραυτου να ξανακλείσει και την βαλβίδα του αλεξικέραυτου να διοχετεύσει ρεύμα υπέρτασης χωρίς ζημιά. Σ' ένα τύπο αλεξικέραυτου με διάκενο περιορισμού ρεύματος, το ρεύμα μέσα στο αλεξικέραυτο μετά από περίπου 50 μs καθορίζεται από το φράγμα βαλβίδας και την αντίσταση του διακένου. Έτσι το αρχικό ρεύμα μέσα στο αλεξικέραυτο περιορίζεται μόνο από το σύστημα εμπέδησης υπερτάσεως και την αντίσταση βαλβίδων. Αν το ρεύμα υπερβαίνει την κρίσιμη τιμή (2-3kA), η διαδικασία περιορισμού του ρεύματος, δεν θα συμβεί, και το διάκενο ή το φράγμα βαλβίδας μπορεί να υποστούν ζημιά από το υψηλό ρεύμα εκφόρτισης. Μερικά μοντέρνα αλεξικέραυτα σχεδιάζονται να αντέχουν υπερτάσεις με πιθανή ονομαστική τιμή κορυφής του αλεξικέραυτου 20 pu.

Η Α υπέρταση φαίνεται στο σχήμα 2.1(β), και είναι 2,84 pu. Ένα τυπικό Ε.Η.Υ. σύστημα έχει αλεξικέραυτο σταθμού που δεν μπορεί να αντέξει αυτή την λειτουργία αν η υπέρταση είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ότι δύο φορές την ονομαστική τιμή κορυφής της τάσης.

Υποθέστε ότι μια ονομαστική τιμή ίση με $2,84 \text{ pu}/2=1,42 \text{ pu}$ σύστημα γραμμής –εδάφους επιλέγεται. Σ' ένα 765 kV ονομαστικό σύστημα, θα συμφωνεί περίπου με ένα αλεξικέραυτο 624 kV με $1,2 \times 50 \text{ μs}$ γεφύρωση στα 1465 kV και ένα 20 kA εκφόρτιση στα 1545 kV. Τέτοιο αλεξικέραυτο δεν θα προστατεύει επαρκώς τον εξοπλισμό με ονομαστική τιμή μικρότερη από 1860 kV B.I.L. Σημειώστε στο σχ. 2.1(β) ότι η τάση συγκρατείται σε σύστημα 1,6 pu που συμφωνεί σε 1,13 pu για ένα αλεξικέραυτο στα 624 kV. Για τη δεδομένη υπέρταση, αυτό το αλεξικέραυτο απαιτείται πάνω από την ονομαστική τιμή του.

Αν η μέγιστη υπέρταση στο υποτιθέμενο σύστημα 765 kV θα μπορούσε να περιοριστεί σε 2,5 ρυ, ένα αλεξικέραυνο με τιμή περίπου 1,25 ρυ θα ήταν πιθανό (μια υψηλότερη ονομαστική τιμή, ας πούμε 576 kV –1,3 ρυ θα πρέπει να επιλεγεί ώστε να επιτρέπει την λειτουργία σε μέγιστη τάση του συστήματος). Οι υπερτάσεις μπορούν να περιοριστούν σε τιμές 2,0 ρυ ή μικρότερες χρησιμοποιώντας διακόπτες στο κύκλωμα εξοπλισμένους με αντιστάτη προ-εισαγωγής και φόρτιση παγιδευμένη στις γραμμές μπορεί να εκκενώσει μέσω παράλληλης αντιστάθμισης και αντιστάτες εν σειρά ή από υποθετικούς μετασχηματιστές. Και οι δύο μέθοδοι περιορίζουν την μέγιστη υπέρταση χειρισμού σ' ένα επίπεδο, όπου το κριτήριο εφαρμογής, δεν είναι η μέγιστη υπέρταση, αλλά το ξανακλείσιμο ή το T.O.V.

2.19. Το TOV μεγαλύτερο από την ονομαστική τιμή του αλεξικέραυνου.

Ο χαμηλότερος περιορισμός της ονομαστικής τιμής του αλεξικέραυνου, μπορεί να καθιερωθεί, από την ικανότητά του, να ξανακλείσει έναντι του T.O.V. που σε εφαρμογή E.H.V., μπορεί να είναι μεγαλύτερο από την ονομαστική του τιμή. Ο συντονισμός ανάμεσα στην πηγή επαγωγικότητας και χωρητικότητας της γραμμής 2.17.3 (ιε), τα ενεργοποιημένα ρεύματα μετασχηματιστή που συντονίζονται με την εμπέδηση συστήματος 2.17.2. (ζ), και οι επιδράσεις κορεσμού που μπορεί να οδηγήσουν σε συνθήκες σιδηρομαγνητισμού. 2.17.3 (ιστ) μπορεί το καθένα απ' αυτά να οδηγήσει στο TOV που επιμένει για δευτερόλεπτα. Αλεξικέραυνα που μπορούν να αντέξουν τέτοια κύματα για τον απαιτούμενο χρόνο, είναι διαθέσιμα, ακόμη κι αν ακολουθεί γεφύρωση. Είναι αναγκαίο, να χρησιμοποιούνται αλεξικέραυνα, που έχουν σταθερή και γνωστή ελάχιστη γεφύρωση.

2.19.1. Επανακλείσιμο.

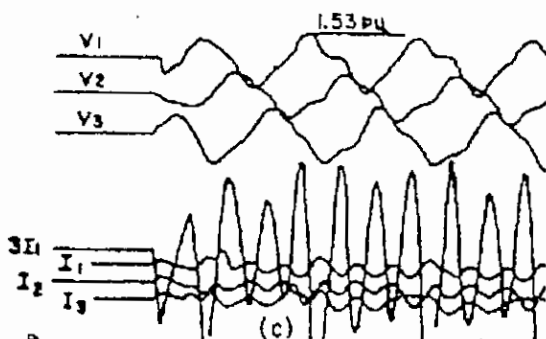
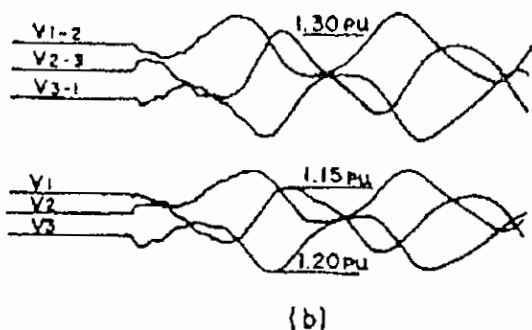
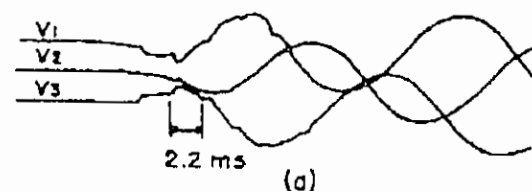
Η πιθανότητα εμφάνισης περισσότερων διασπάσεων που οφείλονται στις TOV, έχει μειωθεί στα καινούργια αλεξικέραυνα, με καλύτερο έλεγχο της ελάχιστης τιμής διάσπασης. Αυτό διευκρινίζεται στο σχήμα 2.3. που συγκρίνει χαρακτηριστικές διάσπασης του 1959, με το 1964.

Τα χαρακτηριστικά διάσπασης των σύγχρονων αλεξικέραυνων, είναι αρκετά όμοια με αυτά του 1964. Αν η τιμή της ελάχιστης διάσπασης για υπερτάσεις χειρισμού, είναι γνωστή και είναι μικρότερη από την τιμή επανακλεισίματος, το επίπεδο διάσπασης πρέπει να χρησιμοποιηθεί ώστε να καθοριστεί η μέγιστη επιτρεπτή ΤΟV για το αλεξικέραυνο.

Για την ελάχιστη διάσπαση χειρισμών η μέγιστη ΤΟV που μπορεί να είναι επιτρεπτή, είναι μια συνάρτηση της τάσης διάσπασης σε ρυ, της ονομαστικής τιμής του αλεξικέραυνου και της ονομαστικής τιμής σε ρυ της τάσης φάση-γη. Το σχήμα 2.12 δείχνει ένα 1,53 ρυ ΤΟV που εισήχθη ενεργοποιώντας μια γραμμή από 20 μίλια, 765 kV η οποία τελειώνει με ένα μετασχηματιστή 1500 MVA. Τα αλεξικέραυνα που χρησιμοποιούνται σ' αυτό το σύστημα των 765 kV έχουν ονομαστική τιμή 588 kV ή 1,33 ρυ σ' ένα σύστημα φάσης-γης. Τα αλεξικέραυνα πρέπει επομένως να έχουν μια ελάχιστη υπέρταση διάσπασης χειρισμών $1,53/1,33=1,15$ ρυ της ονομαστικής τιμής, ή 956 kV. Η πραγματική ελάχιστη τιμή διάσπασης είναι περίπου 1040 kV ή 1,25 ρυ της ονομαστικής τιμής του αλεξικέραυνου, έτσι ώστε τα αλεξικέραυνα να αντέχουν επιτυχώς τις ΤΟV με τιμές μέχρι 1,66 ρυ του συστήματος.

Το ξανακλείσιμο ορίζεται σαν η μέγιστη τάση επανέναυσης του αλεξικέραυνου, για συγκεκριμένο χρόνο μετά από μια ή περισσότερες λειτουργίες. Προτείνεται: δύο διασπάσεις 1,6 ρυ ονομαστική τιμή αλεξικέραυνου σε διαδοχικούς μισούς κύκλους ακολουθούμενη από 10 κύκλους των 1,12 ρυ, 10 κύκλους των 1,2 ρυ και 40 κύκλους των 1,15 ρυ. Αυτό σημαίνει 2.1, 1.63, 1.56, 1.50 ρυ σύστημα, αντίστοιχα για 1,3 ρυ αλεξικέραυνο. Ένα αλεξικέραυνο με αυτή την ικανότητα, θα μπορούσε να αντέξει ΤΟV σαν αυτά που δείχνει το σχ. 2.12(γ).

Αν η τάση επανακλεισίματος του αλεξικέραυνου υπερβεί την τιμή της και συμβεί μια διάσπαση για οποιαδήποτε λόγο, πολλαπλές διασπάσεις μπορούν να ακολουθήσουν που θα έχουν σαν αποτέλεσμα την μη λειτουργία, που θα οφείλεται σε ζημιά του διακένου των βαλβίδων. Μερικές από τις συνθήκες που η ΤΟV του κλεισίματος προσεγγίζεται στο 2.17.3, μπορούν να επηρεαστούν από το σύστημα γείωσης, από την διάταξη του συστήματος ή την διέγερση του ελέγχου της γεννήτριας. Γραμμικός συντονισμός ή σιδηροσυντονισμός, μπορούν να αποφευχθούν από τους περιορισμούς στην διαμόρφωση του συστήματος λειτουργίας. Μπορεί να είναι επικτή η χρήση αλεξικέραυνων με υψηλότερη ονομαστική τιμή, σε ευαίσθητες εγκαταστάσεις με κατάλληλες ρυθμίσεις στο επίπεδο αντοχής της μόνωσης του προστατευμένου εξοπλισμού, διατηρώντας τον συντονισμό της μόνωσης.



Σχήμα 2.12. Προσωρινές υπερτάσεις.
 (α) Κλιμακωτή μετάβαση,
 (β) Συντονισμός ανάμεσα στην γραμμή και την πηγή του συστήματος
 (γ) Ταλαντώσεις μακράς διάρκειας που οφείλονται σε κορεσμό του μετασχηματιστή κατά την ενεργοποίηση μέσω μεγάλης γραμμής.

2.20. Περιπτώσεις όπου ένας αριθμός διασπάσεων επιτρέπεται.

Σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν διατήρηση του επανακλεισίματος του πλησιέστερου αλεξικέρανου της ΤΟV, το αλεξικέρανο πρέπει να σχεδιάζεται με προσεκτικό έλεγχο βάσει της ελάχιστης γεφύρωσης αφού τυχαίες διασπάσεις δεν επιτρέπονται. Υπάρχουν περιπτώσεις σαν αυτές που περιγράφονται στο 2.17.1, όπου παρ' όλα αυτά, ένας

αριθμός υπερτάσεων χαμηλής ενέργειας, μπορεί να προκαλέσει πολλαπλές διασπάσεις. Επικεντρώνουμε στα αποτελέσματα του αλεξικέρανου από επαναλαμβανόμενο επακόλουθο ρεύμα, παρά από ενέργεια υπερτάσεων. Τα αλεξικέρανα περιορισμού ρεύματος περιορίζουν το ακόλουθο ρεύμα και μειώνουν την διάχυση της βαλβίδας. Ένας κατασκευαστής, έχει αναφέρει δοκιμές, όπου το αλεξικέρανο αστόχησε μετά από πέντε διαδοχικές διασπάσεις, σκανδαλίστηκε σε τάση των 60 Hz, με 1,3 της ονομαστικής τιμής που διατηρείται στα τερματικά. Άλλος κατασκευαστής αναφέρει δοκιμές που δείχνουν το αλεξικέρανο να λειτουργεί μέχρι 20 φορές γρήγορης εναλλαγής, αρκεί η τάση ανάκτησης να μην ξεπερνά την ονομαστική τιμή του αλεξικέρανου.

2.21. Ικανότητες E.H.V. αλεξικέρανου.

Περίληπτικά οι παρακάτω ιδιότητες είναι σημαντικές για αλεξικέρανα σε δίκτυο E.H.V.

- A) Η ικανότητα να αντέχουν θερμικά, σε καθορισμένη TOV.
- B) Η ικανότητα να ξανακλείσουν έναντι συγκεκριμένης TOV.
- Γ) Η ικανότητα να διασπώνται για ένα καθορισμένο αριθμό και να ξανακλείνουν έναντι της TOV για ένα καθορισμένο διάστημα.
- Δ) Η ικανότητα να διασπώνται για ένα καθορισμένο αριθμό, σε τάση κοντά στην ονομαστική τιμή.

2.22. Προστατευτικά χαρακτηριστικά.

Οι συνθήκες E.H.V. του συστήματος, τείνουν να επιβάλλουν αυστηρές απαιτήσεις σχεδιασμού. Για να φτάσει το αλεξικέρανο στο απαιτούμενο προστατευτικό επίπεδο, πρέπει να λυθούν τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν.

2.22.1. Ανάγκη για υψηλότερα ρεύματα εκφόρτισης.

Λόγω της φύσης της λειτουργίας τους, τα αλεξικέραυνα πρέπει να σχεδιάζονται να έχουν χαμηλές τάσεις εκφόρτισης στα επίπεδα υψηλού ρεύματος. Αυτό εξηγείται με αναφορά στην εξίσωση 2.7.1 που τροποποιείται σε σχέση με την τάση εκφόρτισης του αλεξικέραυνου

$$e_a = 2e_0 - z i_a \quad (2.22.1)$$

διευκρινίζοντας το γεγονός ότι το αλεξικέραυνο ελέγχει την τάση στα τερματικά του, οδηγώντας ρεύμα μέσα από μια κρουστική εμπέδηση. Έτσι διαιρώντας με την τάση του συστήματος E_{sys} , έχω:

$$e_a / E_{sys} = (2e_0 / E_{sys}) - z i_a / E_{sys} \quad (2.22.2)$$

Καθώς το z και οι δύο στάθμες της τάσης παραμένουν σχετικά συνεχείς στην περιοχή Ε.Η.Υ., περισσότερο ρεύμα εκφόρτισης απαιτείται με αυξημένη τάση λειτουργίας του συστήματος. Αυτό αντανακλάται στα προτεινόμενα επίπεδα εκφόρτισης του ρεύματος που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν το IR του αλεξικέραυνου όπως αναφέρεται στην παράγραφο 2.7.3.

2.22.2. Απότομος ρυθμός ανόδου.

Έχει αναγνωριστεί ότι τα κύματα που διαδίδονται μέσω συστημάτων Ε.Η.Υ., είναι πιθανό να έχουν πιο απότομο μέτωπο, από αυτά σε χαμηλότερα συστήματα τάσης. Αυτό αναγνωρίστηκε λόγω της απαίτησης των αλεξικέραυνων να ελέγχονται σε ρυθμούς ανόδου ίσους με 8,33 kV/μs σε r.m.s., με ονομαστική τιμή μέχρι 2000 kV/μs (το όριο αυξήθηκε από το επίπεδο των 1200 kV/μs). Ήταν όμως αναγκαίο, να κρατήσουμε την F.O.W. διάσπασης χαμηλή, αφού πρόσφατες εφαρμογές σε σχέδια μετασχηματιστών Ε.Η.Υ., παρέχουν ένα αποκεκομμένο ρεύμα αντοχής ίσο με 1,1 φορές του B.I.L.

Παράρτημα

Θεωρούμε μια γραμμή μεταφοράς 400kV (Αχελώος – Αθήνα) και θέλουμε να μελετήσουμε τη μόνωση των γραμμών και των Υ.Σ. Τα χαρακτηριστικά της γραμμής αυτής όπως δίνονται από τη Δ.Ε.Η. είναι:

Μήκος γραμμής: 253,610 km

Αριθμός πύργων: 715

Αριθμός μονωτήρων για κάθε φάση: 18

Βασικά ανοίγματα μεταξύ πύργων: 350 και 500m.

A) Για το άνοιγμα των 350m, το βέλος κάμψης των αγωγών φάσης είναι 9,4 m σε 20 °C.

B) Για το άνοιγμα των 500 m, το βέλος κάμψης των αγωγών φάσης είναι 21,4 m σε 20 °C.

Μέσο ύψος πύργων: 43,750 m.

Υπάρχει ένας πύργος με αντίσταση 45 ohms (δεν λαμβάνεται υπ' όψιν)

Οι άλλοι πύργοι έχουν αντίσταση 5 ohms.

Όπως είναι γνωστό για συστήματα υπερυψηλής τάσης, η σχεδίαση της μόνωσης γίνεται με βάση τις μεταβατικές υπερτάσεις χειρισμών. Βρίσκουμε για το λόγο αυτό την «κρουστική στάθμη μόνωσης κεραυνών» ή «B.I.L.» και επίσης την «κρουστική στάθμη μόνωσης χειρισμών» ή «S.I.L.».

Συμβατική μέγιστη υπέρταση χειρισμών (Συσκευής)

Σε μια γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η συμβατική μέγιστη υπέρταση χειρισμών, ορίζεται σαν η τιμή της υπέρτασης εκείνης, που η πιθανότητα να συμβεί υπέρταση μεγέθους ίσου ή μεγαλύτερου από αυτή είναι 2%.

Για να συνεχίσουμε την ανάλυσή μας, χρησιμοποιούμε μια καμπύλη χειρισμών, που περιέχει τον αριθμό των υπερτάσεων οι οποίες εμφανίζονται σε μια γραμμή 400 kV μετά από 1.000 δοκιμές. Την καμπύλη δανειστήκαμε από το τεύχος: IEEE Transactions on power apparatus and systems Vol. Pas. 98, No. 3, May/June 1979 με τίτλο άρθρου: «The accuracy of statistical methods in evaluating the insulation of E.H.V. systems». Το άρθρο είναι του: B. C. Papadias, Senior Member IEEE, National Technical University, Athens, Greece.

Θέλουμε να προσδιορίσουμε την τιμή που αντιστοιχεί στη μέγιστη συμβατική υπέρταση. Πρώτα υπολογίζουμε το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη (ισόγραμμα). Βρίσκουμε:

$S = 3334,7$ αριθμός υπερτάσεων \times kV p.u.

Στη συνέχεια ορίζουμε από τα δεξιά της καμπύλης ένα εμβαδό που να αντιστοιχεί στα 2% του συνολικού εμβαδού και εύκολα τώρα μπορούμε να βρούμε την $U_{2\%}$. Αυτή είναι:

$S_{2\%} = 0,002s = 0,02 \times 3334,7 = 66,698$.

Άρα η $U_{2\%} = 4,5$ pu.

Την τάση $U_{2\%}$ μπορούμε να την υπολογίσουμε και με μαθηματικό τρόπο αφού ξέρουμε ότι ισχύει $U_{2\%} \approx U_{50\%}(1+2\sigma)$. Πρέπει να πούμε ότι

η $U_{50\%}$ είναι η υπέρταση χειρισμών που έχει πιθανότητα 50% να συμβεί, και σ η τυπική απόκλιση κατανομής.

Παρατηρούμε, ότι η καμπύλη που αναφερθήκαμε, έχει μέγιστη υπέρταση χειρισμών 4,7 pu. Στην πράξη όμως, λαμβάνουμε διάφορα μέτρα περιορισμού των υπερτάσεων, ώστε να μην λαμβάνουν τόσο υψηλές τιμές.

Χωρίς να λάβουμε υπ' όψιν την πραγματική κατάσταση των γραμμών, μια και όπως προαναφέρθηκε έχουν ληφθεί μέτρα για τον περιορισμό των υπερτάσεων χειρισμών, παίρνουμε σαν μέγιστη τιμή μιας υπέρτασης χειρισμών την τιμή 2,6 pu. Επίσης από την καμπύλη βλέπουμε ότι η μικρότερη υπέρταση χειρισμών θα είναι 1,1 pu. Επομένως μπορούμε να υπολογίσουμε την $U_{50\%}$ ως εξής:

$$U_{50\%} = (1,1 + 2,6) / 2 \approx 1,8 \text{ pu}$$

Και θεωρώντας την τυπική απόκλιση περίπου 0,2 pu, έχουμε

$$0,2 / 0,8 = 0,11 \text{ pu}$$

Η συμβατική μέγιστη υπέρταση χειρισμών $U_{2\%}$ είναι ίση με:

$$U_{2\%} = 1,8 (1 + 2 \times 0,11) = 2,2 \text{ pu}$$

B.I.L. (Κ.Υ.Τ)

Η υπέρταση λόγω μονοφασικού βραχυκυκλώματος μιας γραμμής 400 kV από την βιβλιογραφία βρίσκεται περίπου ίση με 71%. Από τη βιβλιογραφία βρίσκουμε ότι τα αλεξικέραυνα που η Δ.Ε.Η. χρησιμοποιεί για τα Κ.Υ.Τ. έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

Ονομαστική τάση:	340 kV
Μέγιστη τάση διάσπασης μετώπου:	1170 kV
Κλίση μετώπου κατά την είσοδο στο Κ.Υ.Τ.:	322 kV/μs
Μέγιστη απόσταση αλεξικέραυνων από συσκευές:	60 m

Επομένως η μέγιστη τάση U_{max} (kV) που αναπτύσσεται στα άκρα του μετασχηματιστή μετά την πρώτη ανάκλαση δίνεται από την έκφραση:

$$U_{M\%} = 1170 \text{ kV} + (2 \cdot 60 \text{ m} \cdot dv) / (300 \text{ m} \cdot dt)$$

$$U_{M\%} = 1170 \text{ kV} + (2 \cdot 322 \text{ kV} \cdot 60) / (300 \mu\text{s})$$

$$U_{M\%} = 1170 \text{ kV} + 128,8 \text{ kV}$$

$$\text{Άρα } U_{M\%} \approx 1299 \text{ kV.}$$

Για να βρω το B.I.L. προσθέτω το 15% της $U_{M\%}$ στην $U_{M\%}$ και έχω την τιμή 1493,85 kV.

Από τον πίνακα «Τυποποιημένες κρουστικές τάσεις δοκιμής (1,2/50μs) για μετασχηματιστές, ρυθμιστές τάσεων και αυτεπαγωγές» του βιβλίου «Μόνωση Ηλεκτρικών Δικτύων Υψηλής Τάσης» του καθηγητή κ. Χρήστου Μαινεμενλή, βλέπουμε ότι για ονομαστική τάση 345 kV το B.I.L. είναι 1550 kV. Η τιμή που βρήκαμε είναι μικρότερη από αυτή και είναι αποδεκτή.

Βιβλιογραφία

Αναφορές κεφαλαίου 1

American national Standard, "Surge arresters for alternating-current power circuits". ANSI C62.1-1975.

J. W. Kalb, A. G. Yost, "New current-limiting gap extends valve-type lightning arrester performance" AIEE Transactions, Vol. 78, Pt III-A Power apparatus and systems, pp 462-467, August 1959.

J. C. Osterhour, "Separation of gap functions a new concept in station class arrester design" IEE Trans. On power apparatus and systems, Volume PAS-91, No. 5, page 2104, September/October 1972.

E. C. Sakshaug, "Current-limiting gap arresters- some fundamental considerations". IEE Trans. On power apparatus and systems, Vol. 90, p. 1563-1573, 1971.

J. D. Cobine, "Gaseous conductors, theory and engineering applications" (Book) Dover Publications, Inc, New York, p. 358.

E. C. Sakshaug, T. J. Carpenter, E. W. Stetson, "Duty cycle testing of current limiting station and intermediate lightning arresterw", IEEE Transactions on power apparatus and systems, Vol. PAS-84/No. 5, p. 425, May 1965.

R. W. Flugum, J. W. Kalb, "Operation of surge arresters on low surge impedance circuits", IEEE Transactions on power apparatus and systems, vol. PAS-93, No. 5, p. 1367, September/October, 1974.

E. C. Sakshaug, J. W. Kresge, S. A. Miske, Jr., "A new concept in station arrester design" IEE Trans. power apparatus and systems, Vol. PAS-96, p. 647, March/April, 1977.

M. Kobayashi, M. Mizuno, T. Aizawa, M. Hayashi, K. Mitani, "Development of Zinc-oxide non-linear resistors and their applications to gapless surge arresters", IEEE Transactions on power apparatus and systems, vol. PAS-97, No. 4, p. 1149, July/August 1978.

Αναφορές κεφαλαίου 2

Guide for application of valve-type arresters for alternating current systems, ANSI Standard C62.2-1969.

Standard for surge arresters for alternating current power circuits, ANSI Standard C62.1-1995.

Standard voltage values for preferred transient insulation levels, ANSI Standard C92.1-1971.

AIEE Working group of the lightning protective devices subcommittee, "Simplified method for determining permissible separation between arresters and transformers", AIEE Transactions, Special supplement, p.33-57, 1963.

